



ICIA, S.A. de C.V.

Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C.V.

Ingenieros Consultores

San Salvador, 12 de octubre de 2011.

Contratación Directa No FOVIAL CD-009/2011
Ref.: ES-142-11, Informe Final

Señores:

FONDO DE CONSERVACION VIAL,
FOVIAL

Presente.

Estimado Ing. Rodríguez:

Sírvase encontrar adjunto original, copia y archivo digital de nuestro Informe Final del proyecto “DISEÑO DE OBRAS DE MITIGACION EN KM 124+000 DE LA CARRETERA CA08W, FRONTERA LAS CHINAMAS”, Departamento de Ahuachapán, el cual incluye el Estudio Geológico, Geotécnico, Estudio Hidrogeológico, Diseños, Planos y Presupuestos de Obras de Mitigación, con sus respectivas Especificaciones Técnicas.

Atn.: Ing. Jaime Rodríguez.
Administrador de Proyecto

Muy atentamente,

Por ICIA, S.A. de C.V.

Ing. Enrique Edgardo Melara Ruiz, MsCE
Gerente de Proyecto



I. COMENTARIOS INICIALES

Los diseños de las obras de protección planteados en este informe fueron realizados durante el periodo del 13 de mayo al 12 de octubre de 2011, durante el cual nuestra firma realizó visitas periódicas al sitio para recabar información de las condiciones existentes y evidenciar cualquier movimiento en las masas de suelo y roca, los cuales pudiesen provocar un cambio en la topografía y morfología en la zona objeto de este estudio.

Por lo anteriormente expuesto es posible que al momento de ejecución de las obras de protección presentadas en este informe, pudiesen existir cambios provocados por factores diversos, tales como lluvias o sismos, por lo que se recomienda evaluar previamente el sitio para evidenciar cualquier cambio que se dé después de concluido este trabajo.

Es recomendable evaluar la topografía, geomorfología, drenajes y demás factores para dar inicio a la construcción de las obras, es por ello, que se prevé la necesidad de realizar estudios geotécnicos comprobatorios y un levantamiento topográfico actualizado a fin de garantizar la constructibilidad de las obras planteadas por nuestra empresa.



Estudio Geológico



I. RESUMEN EJECUTIVO

En el kilómetro 124 + 000 de la carretera CAO8W, cercano al punto fronterizo de Las Chinamas con la república de Guatemala, se localiza un área desestabilizada por factores, tanto geológicos como antropológicos, la cual constituye un alto riesgo de destrucción, o en el menor de los casos, de obstrucción de la citada carretera por efectos de deslizamientos de tierra que ocurren constantemente, tanto en la época lluviosa como en la seca.

La zona desestabilizada corresponde a la vertiente norte de la colina denominada La Artillería, la cual está delimitada en este sector por el cauce del río Paz. En este sector, como consecuencia de la construcción de la citada carretera, se cortó un talud de gran magnitud que provocó la desestabilización de los macizos rocosos, debido a que esta zona fue afectada en época geológica previa por fallas tectónicas.

Los estudios geológicos realizados fueron orientados a determinar los orígenes y las causas del fenómeno desestabilizador de la colina donde actualmente se registran los desprendimientos del macizo rocoso que conforma el talud de la carretera. Una vez determinados los parámetros anteriores de desestabilización, se concluyó que el movimiento de masa del talud corresponde al tipo de deslizamiento traslacional (Plano GG3) y seguidamente se procedió a estudiar la caracterización, tanto geológica como geotécnica, de la secuencia de los estratos litoestratigráficos que conforman el talud, así como la caracterización geológica general de la ladera citada.

Mediante los estudios se determinó que en la zona existen dos taludes gemelos desestabilizados; el primero de ellos se localiza aproximadamente en el kilómetro 123 + 800 y el otro, aproximadamente en el kilómetro 124 + 000. En el primer talud actualmente funciona una explotación mecanizada de piedra triturada, cuya explotación ha contribuido a darle cierta estabilidad al talud, por lo menos en cuanto a que los desprendimientos de rocas no alcancen a la carretera. El segundo talud, objeto de este estudio, es parcialmente explotado en forma artesanal en la extracción de piedra cuarta y piedra para cimientos de paredes. Esta explotación contribuye a que la desestabilización del talud se incremente. En un área aledaña a la carretera se han colocado gaviones con el fin de retener material rocoso que se desprende de la parte alta del talud y que en repetidas ocasiones el material deslizado ha sobrepasado a estos y obstruido el paso vehicular en la carretera.



Aledañosamente al talud descrito se localiza una depresión del terreno abierta hacia el oeste, o sea, en dirección a la carretera, la cual constituye una corona de deslizamiento fósil, que en la actualidad no presenta actividad de deslizamientos, lo cual no significa que esta área no represente una amenaza para las estructuras localizadas al interior de la misma.

Mediante los estudios se determinó que la colina donde se localizan los taludes descritos está afectada por dos sistemas de fallas tectónicas de orientación norte – sur y noreste – suroeste. Estos sistemas de fallas y sus vectores secundarios afectaron a las rocas que conforman la secuencia litoestratigráfica de la colina La Artillería en general y en particular de los taludes cortados en ésta durante la construcción de la carretera.

II. CONSIDERACIONES INICIALES:

Las rocas que conforman la secuencia litoestratigráfica de los taludes son de dos tipos principales; el fundamental de ellos considerado así por ser el basamento de la secuencia litoestratigráfica, consiste en una toba que aglutina fragmentos lávicos, predominantemente de tamaño medio a fino, denominada por tal razón toba aglomerática. El segundo en importancia está conformado por estratos de lavas básicas que se intercalan con estratos de las tobas aglomeráticas.

Como se dijo anteriormente, ambos tipos de roca que conforman la colina y consecuentemente los taludes generados por la construcción de la carretera han sido afectados por las fallas tectónicas en diferentes formas. Así, las coladas de lavas que presentan un índice de elasticidad muy bajo son frágiles cuando son sometidas a esfuerzos cortantes, dando como resultado una conversión de estrato masivo a estrato fracturado en partículas lávicas de diferente tamaño (bloques, piedra cuarta y grava). Mientras que la toba aglomerática, por tener un índice de elasticidad mayor y estar conformada por partículas aglutinadas en matrices finas responden ante los esfuerzos cortantes, formando grietas y fisuras.

De lo expuesto anteriormente se deduce que los estratos que presentan mayor vulnerabilidad al deslizamiento son aquellos fragmentados por efectos tectónicos como los estratos de lavas, mientras que los estratos de toba aglomerática, por su naturaleza de respuesta a los esfuerzos cortantes en fisuras y grietas, tienden a ser menos propensos a los deslizamientos.

Debe traerse a consideración que la colina denominada La Artillería, mientras permaneció intacta, las rocas que la conforman a pesar de que estaban afectadas por las fallas tectónicas se mantenían



Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C.V.

Ingenieros Consultores

estáticas o en equilibrio cinético, pero una vez realizado los cortes para generar a los taludes de la carretera se rompe el equilibrio, trayendo como consecuencia la desestabilización del terreno.

Mediante el estudio de las condiciones geológicas del área donde se ubica el talud crítico y tomando en cuenta la caracterización geológica y geotécnica de los estratos que conforman el macizo rocoso, se establece como diagnóstico que el talud en estudio permaneció estable hasta el momento en que se construyó la carretera y con la generación de taludes en la ladera norte de la colina, trajo como consecuencia la desestabilización del macizo rocoso, provocando los deslizamientos que ponen bajo riesgo de destrucción a la estructura vial y en menor escala, la obstrucción del tránsito vehicular sobre la misma.

La mitigación del fenómeno tendría que estar basado en obras de ingeniería de estabilización, que por las grandes dimensiones del talud, especialmente por su altura de aproximadamente de 165 metros y un ancho en la base de más o menos 210 metros y por el alto grado de inestabilidad que presenta la totalidad del macizo rocoso, la obra de ingeniería a realizarse sería de gran magnitud.

El talud gemelo localizado inmediatamente al este del talud en estudio está integrado por similar composición litoestratigráfica, lo mismo que su caracterización geológica y geotécnica, debido a que ambos taludes han sido originados por las mismas causas geológicas y antropológicas.

La diferencia entre ambos estriba en que el talud localizado aldañamente al norte del primero ha sido objeto de una intensa explotación de material pétreo, mediante la cual se han formado dos terrazas a diferentes niveles; la primera de ellas constituye una amplia plazuela donde se ha instalado la maquinaria de trituración y tamizado y patio de acopio del material producido. La segunda se localiza en la parte media baja del talud, la cual constituye el frente de extracción del material rocoso que es empujado hacia la terraza inferior donde es procesada. Este sistema de extracción del material pétreo ha contribuido a la formación de terrazas o plataformas que funcionan como un medio de mitigación en el momento de ocurrir un derrumbe o deslizamiento de las capas superiores, evitando que el material pétreo deslizado alcance la carretera.

En cambio el talud del lado sur del anterior, el cual presenta los deslizamientos de alto riesgo para la carretera, es objeto de una explotación irracional, ya que se extrae material deslizado y en ocasiones arrancado, que no se apega a ningún sistema de explotación controlada, lo cual contribuye a que se intensifique la inestabilidad del talud.



El proyectista del diseño de estabilización del talud crítico en su análisis integral de la solución a tomar para la mitigación de los efectos negativos que provoca éste, debe tomar en consideración el sistema de explotación empleado en la cantera vecina, ya que éste representa una alternativa prácticamente artesanal que está contribuyendo a mitigar los efectos negativos de los deslizamientos del talud donde se localiza ésta.

Las normas de ingeniería de estabilización de taludes que presentan inestabilidad de este tipo, se basan en el diseño de estabilización mediante sistemas de taludes con bermas (terrazas) y sus respectivas obras complementarias, tales como drenajes, tanto verticales como horizontales, mallas de contención, impermeabilización, plantación de vetiver para contrarrestar a la erosión, etc.

III. INTRODUCCION

El talud generado en el km 124 + 000 de la carretera CA08W que conduce a la frontera El Salvador – Guatemala, denominada Las Chinamas, presenta constantes deslizamientos de tierra que representan un riesgo constante para la obra vial y el tránsito sobre la misma.

El presente estudio geológico tiene por objeto definir las causas geológicas que producen el fenómeno de deslizamiento y la caracterización geológica y física de los diferentes estratos que integran la secuencia litológica del talud inestable.

El estudio está orientado a establecer el diagnóstico de la situación de inestabilidad que presenta en la actualidad el talud, el cual se basa en la información geológica y geotécnica que se ha recabado en el trabajo de prospección geológica de campo. En base a este diagnóstico se proporcionan las conclusiones y recomendaciones de carácter geológico – geotécnico para ser tomadas en cuenta por el proyectista de las obras de mitigación.

IV. ESTUDIO GEOLOGICO

MARCO GEOLOGICO REGIONAL

El área donde se localiza el talud inestable se enmarca en un ambiente geológico enteramente volcánico.



Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C.V.

Ingenieros Consultores

Las rocas volcánicas que conforman el suelo y subsuelo del área, están representadas por lavas y tobas pertenecientes a los períodos terciario y cuaternario correspondientes a las formaciones litoestratigráficas denominadas Bálsamo y San Salvador, respectivamente.

Las formaciones rocosas del área han sido fracturadas, según sus características físicas de elasticidad, por dos sistemas de fallas tectónicas de carácter regional y sus respectivos vectores secundarios. Las fallas anunciadas pertenecen a los sistemas tectónicos de orientación noreste-suroeste y norte-sur.

Desde el punto de vista geomorfológico, el área en estudio se desarrolla en el interior de una depresión tectónica regional de orientación noreste-suroeste, la cual está estructurada por las fallas tectónicas de similar orientación y que en el campo geológico se conoce como “Graben de Ipala”.

Hidrogeológicamente el área se localiza al interior de la cuenca hidrográfica del río Paz. Las colinas de baja altura del área forman parte de la pared sur del cauce del río Paz. En las laderas de estas colinas fue construida la carretera, cuyo talud desestabilizado, tanto por los fenómenos tectónicos, como por la mano del hombre, constituyen el objeto de este estudio.

En el límite formado por el cauce del río Paz y la ladera del área de estudio existen pequeñas manifestaciones de agua termal. Esta actividad hidrotermal ha afectado en bajo grado las rocas del talud, las cuales presentan incrustaciones de sílice en el sistema de fracturas. En las rocas localizadas al nivel del cauce, las fracturas que presentan están totalmente rellenas de sílice depositadas por las aguas termales ascendentes, formando un enrejado de pequeñas vetas de cuarzo. La alteración por sílice y la formación de un enrejado de vetas de cuarzo, le imprime un alto grado de estabilidad a éstos macizos rocosos. Desde el punto de vista geotécnico, este basamento considerado profundo con relación al nivel de la rasante de la carretera, constituye un elemento positivo para la estabilidad de los macizos rocosos sobreyacentes. Lastimosamente éste fenómeno de consolidación por efectos de silicificación proveniente de la actividad hidrotermal no alcanzó los macizos rocosos superiores donde se encuentra el talud desestabilizado. En esta parte de la colina únicamente se observan, como se dijo antes, impregnaciones de sílice en las grietas de las rocas.

Las fracturas que contienen las rocas del talud inestable sirven de conducto al agua meteórica de infiltración, la cual se manifiesta en el talud en forma de llorareros en la época lluviosa. Esta situación de escurrimiento hídrico en las rocas del talud le imprime mayor inestabilidad.



En cuanto al volcanismo del área, las rocas que constituyen el macizo del talud consisten en coladas de lavas que se alternan con estratos de tobas, cuyo conjunto forma el basamento litológico de la zona. Estas formaciones litoestratigráficas pertenecen a una actividad volcánica de la época pliocénica (Formación Bálsamo), la cual constituye la plataforma sobre la que tuvo lugar una nueva actividad volcánica en la época pliocénica-pleistocénica, la cual está representada en el área por una estructura volcánica (cono volcánico) denominada La Artillería.

V. GEOLOGÍA LOCAL (ANEXO GG-1 MAPA GEOLOGICO DE DETALLE)

V.1 INTRODUCCION

Las rocas que constituyen el macizo rocoso del talud desestabilizado en estudio, están conformadas por una secuencia de estratos de rocas volcánicas alternantes entre lavas andesíticas y basálticas y tobas aglomeráticas de igual género, las cuales pertenecen al período terciario, época pliocénica, de la Formación Bálsamo, elementos b2 y b3. En el techo de esta Formación se presenta un estrato lávico de carácter basáltico andesítico de edad cuaternaria, época holocénica inferior, elemento sl de la Formación San Salvador, conformada por una colada de lava brechada en bloques, que en ciertas partes presenta un suelo residual arcilloso de color café rojizo como producto de la meteorización de la roca original. La secuencia del macizo rocoso presenta en la superficie una cobertura de toba aglomerática joven perteneciente al período cuaternario, época holocénica de la Formación San Salvador, elemento sl.

V.2 SECUENCIA LITOLOGICA DEL TALUD

El basamento del macizo rocoso del talud a nivel de la rasante y hacia arriba y debajo de ésta, lo constituye un potente estrato de toba aglomerática b3i, el cual no presenta fracturamiento intenso por efectos tectónicos, únicamente se observan fracturas longitudinales más o menos verticales y planos de deslizamiento tectónico con evidencia de movimientos activos recientes.

El estado del estrato tobáceo aglomerático a partir del nivel del río Paz hacia arriba, se considera sano por no presentar evidencias de meteorización, así como de alteración hidrotermal. El espesor de este estrato se estima en 70 metros, el cual inicia a nivel del cauce del río Paz hasta 25 metros arriba de la rasante. A partir de la rasante de la carretera se inicia el talud generado de la misma, el cual se ha dicho constituye el objeto de este estudio.

Estrato de lava andesítica b3: Este se localiza a partir del contacto con el basamento de toba aglomerática y tiene un espesor aproximado de 77 metros. La lava se presenta fracturada por efectos



tectónicos, así como también por diaclasas de tipo laminar. El tamaño de los fragmentos resultantes del tectonismo se clasifica como de granulometría gruesa entre los tamaños de piedra cuarta y grava gruesa. Dado su estado de alto fracturamiento éste estrato es totalmente inestable, y por lo tanto, pequeños movimientos de tierra o flujos de agua o desprendimientos de material de la parte superior, provocan su deslizamiento hacia la carretera.

Toba Aglomerática superior b3s: En contacto con el estrato de lava anterior se localiza un nuevo estrato de toba aglomerática, cuyos fragmentos lávicos son de menor tamaño que los incluidos en el estrato del basamento. El espesor aproximado de éste es de 43 metros y su estado prácticamente es sano. No se encuentra fracturado, pero se observan fisuras y planos de deslizamientos.







Los deslizamientos de los estratos superiores a éste, arrastran el material constituyente de este estrato y se ha observado que en ocasiones ha habido deslizamientos de grandes bloques de este material que llegan a la base del talud en forma fragmentada, pero puede observarse que alguno de estos bloques no han alcanzado en su traslación la base del talud, estando en la actualidad en suspensión en el trayecto de su caída.







Lava Basáltica sla: Sobre yaciendo a la secuencia de estratos litológicos descritos se localiza una colada de lava brechada basáltica en bloques con un espesor promedio de 10 metros, la cual aflora prácticamente en toda la corona del deslizamiento. Esta colada presenta zonas meteorizadas y como producto de ésta se transforma en un suelo residual arcilloso de color café rojizo. Debido a la estructura en bloques sueltos, la colada lávica está totalmente inestable y constituye prácticamente el detonante que provoca el deslizamiento de los estratos tobáceos y lávicos subyacentes. Dicho de otra manera, los deslizamientos que experimenta el talud se inician en la parte superior del mismo, o sea, en la corona conformada por el estrato de lava brechada inestable. Cuando este estrato experimenta deslizamientos, el material desprendido pasa arrastrando al resto de los estratos inferiores.



Toba aglomerática sl: Esta se presenta en el techo de la secuencia litológica descrita, formando una cobertura de baja permeabilidad y en estado sano, es decir, que no presenta meteorización, así como tampoco fracturamiento por tectonismo.

V.3 CARACTERIZACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA:

A continuación se presenta una tabulación de los diferentes estratos y sus espesores:

ESTRATO	ESPESOR (m)	CARACTERIZACION GEOLOGICA	CARACTERIZACION GEOTECNICA
1. Toba aglomerática (sl)	Cobertura superficial de espesor variable: de 0 a 10 metros.	<p>Litología: Toba aglomerática formada de ceniza y fragmentos lávicos basálticos – andesíticos. Forma una cobertura sobre la secuencia litoestratigráfica que conforma al talud.</p> <p>Estratigrafía: Período cuaternario; época holocénica inferior. Formación San Salvador, elemento sl.</p> 	<p>Sana en un 90%, resistencia media a la erosión, baja permeabilidad, sin fracturamiento, densidad media, compacta, sin plasticidad, removible con maquinaria. Estable.</p> 
2. Lava basáltica andesítica (sla)	7 metros	<p>Litología: Colada de lava brechada en bloques, con sectores meteorizados.</p> <p>Estratigrafía: Período cuaternario; época holocénica inferior. Formación San Salvador, elemento sl.</p> 	<p>Colada de lava en bloques sanos y sectores conteniendo material arcilloso, producto de la meteorización, con baja resistencia a la erosión, alta permeabilidad, lava densa, material meteorizado residual de baja densidad, compactación baja, con plasticidad en sectores meteorizados, removible con maquinaria. Inestable.</p> 
3. Toba aglomerática (b3s)	43 metros	<p>Litología: Toba aglomerática superior compuesta de ceniza volcánica y fragmentos lávicos de tamaño fino a medio, presentando planos de deslizamiento y fisuras tectónicas.</p> <p>Estratigrafía: Período terciario; época: plioceno superior. Formación Bálsamo, elemento b3.</p> 	<p>Estrato de toba aglomerática de tamaño medio a fino, no meteorizada (sana), baja resistencia a la erosión, fracturada, de alta permeabilidad, densidad media, bajo grado de compactación, removible con maquinaria. Baja estabilidad.</p> 

4. Secuencia de coladas de lava andesítica (b3)	77 metros	<p>Litología: Secuencia de coladas de lava andesítica, fracturada por tectonismo y diaclasada (discordancias de enfriamiento). Estratigrafía: Período terciario; época: plioceno superior. Formación Bálsamo, elemento b3.</p> 	<p>Estratos de lava sana (no meteorizados). Fracturados. Los estratos con fracturamiento intenso presentan baja resistencia a la erosión hídrica. Alta permeabilidad secundaria, fragmentos lávicos densos, compactación alta, sin plasticidad, Removible con maquinaria. Inestables.</p> 
5. Toba aglomerática (b3i)	25 metros hasta el nivel de la rasante de la carretera y de la rasante hacia abajo sobre talud del río, 45 metros. Espesor total del estrato: 70 metros.	<p>Litología: Potente estrato de toba volcánica compuesta de ceniza como material aglutinante y fragmentos lávicos de tamaño medio. Estratigrafía: Período terciario; época: plioceno superior. Formación Bálsamo, elemento b3.</p> 	<p>No meteorizada (sana), resistente a la erosión hídrica, semidura, sin fracturamiento, únicamente presenta fisuramiento tectónico aislado (en bloques), con planos de deslizamiento recientes, baja permeabilidad primaria, con permeabilidad secundaria a través de fisuras tectónicas y planos de deslizamiento, densidad media, compactación alta, removible con maquinaria. De estabilidad media.</p> 
6. Epiclastita (b2a)	3 metros	<p>Litología: Capa de material sedimentario de poco espesor, compuesto de material volcánico fragmentado de tamaño fino, el cual constituye la zona de contacto concordante entre el elemento b3 y b2. Estratigrafía: Período terciario; época: plioceno medio. Formación Bálsamo, elemento b2.</p> 	<p>Meteorizada en un 30%, baja resistencia a la erosión, no fracturada, permeabilidad baja (nivel reteniente), densidad baja, compactación media, plasticidad media, removible con maquinaria. Eventualmente constituiría un plano de deslizamiento para los estratos superiores (sobreyacientes). Inestable.</p> 

<p>7. Secuencia Tobácea aglomerática - lávica (b2)</p>	<p>A partir del nivel del cauce del río hacia abajo, espesor no determinado.</p>	<p><i>Litología:</i> <i>Estrato de toba compuesto de ceniza volcánica como material aglutinante y fragmentos lávicos de tamaño medio a fino, alternando con flujos lávicos basáltico andesítico. Alterado por efectos hidrotermales (impregnaciones de sílice en planos de discordancia y formación de vetillas de cuarzo). Se observan pequeñas manifestaciones de aguas termales de baja temperatura.</i></p> <p><i>Estratigrafía: período terciario; época: plioceno medio. Formación Bálsamo, elemento b2.</i></p> 	<p><i>Estratos tobáceos alterados por efectos hidrotermales (relleno de fisuras de sílice en forma reticular), resistente a la erosión de dureza media, fracturas selladas por sílice, permeabilidad secundaria media, densidad media, compacta, sin plasticidad, removible con maquinaria. Estable.</i></p> 
--	--	--	--

VI. CONCLUSIONES

VI.1 La inestabilidad del talud del kilómetro 124 + 000 de la carretera CAO8W obedece a causas naturales y antropológicas. La primera de ella se refiere al fenómeno geológico tectónico (fallas tectónicas), las cuales fracturaron al macizo rocoso, imprimiéndole inestabilidad en pendientes y cortes; mientras que el segundo se refiere a la generación del talud durante la construcción de la carretera, lo cual rompió el equilibrio estático en que permanecía el talud previo a la apertura de la carretera.

VI.2 El área de estudio se enmarca en un ambiente geológico enteramente volcánico, por lo que el talud generado por la construcción de la carretera en el kilómetro 124 + 000, está conformado por una secuencia de estratos de tobas aglomeráticas y coladas de lava que se intercalan entre sí.

VI.3 El basamento de la secuencia litológica del talud inestable consiste en un potente estrato de toba aglomerática, el cual tiene un espesor aproximado de 25 metros a partir de la rasante de la carretera. Sin embargo, la base de este estrato se localiza 45 metros abajo del nivel de la rasante de la carretera, prácticamente al nivel del cauce del río Paz. En total el espesor de este estrato tobáceo es de 70 metros.

VI.4 A partir del basamento, el macizo del talud está conformado por la secuencia alterna arriba mencionada de lavas y tobas aglomeráticas. Las lavas son de tipo andesítico, a excepción de la colada de lava superior que corona el deslizamiento, la cual es de carácter basáltico andesítico. Debido al alto grado de fracturamiento y diaclasismo que presentan éstas son susceptibles a deslizamientos; mientras que las tobas de esta secuencia litológica presentan mayor estabilidad, debido a que no están fracturadas, pero presentan grietas y planos de deslizamiento ocasionadas por el tectonismo a que estuvo sometido la totalidad de las colinas que actualmente corta la carretera.

VI.5 En la corona del talud deslizado, formando una cobertura sobre el macizo rocoso que conforma en general la colina y en particular el macizo rocoso cortado por el talud inestable, se presenta una colada de lava brechada basáltica, integrada por múltiples bloques lávicos sueltos, lo cual la vuelve totalmente inestable. En la base de esta colada de lava se presenta un estrato de toba con características similares de inestabilidad. Tanto la colada de lava como el estrato de toba constituyen el factor detonante principal de los continuos deslizamientos que experimenta el talud, de tal manera que cuando se produce el deslizamiento de la capa superior de la corona del talud inestable, los estratos litológicos, tanto lávicos como tobáceos, son arrastrados por el material desprendido de la parte superior del talud.

VII. RECOMENDACIONES

Con el objeto de mitigar los efectos negativos que causan los constantes deslizamientos del talud inestable localizado en el kilómetro 124 + 000 de la carretera CAO8W, los cuales ponen bajo riesgo de destrucción esta porción de la estructura vial, y en el menor de los casos, la obstrucción del tránsito vial, se recomienda ejecutar las obras de ingeniería para la mitigación y la seguridad del talud.

VII.1 La obra de ingeniería de mitigación y seguridad estaría en principio orientada a amortiguar el peso del talud que recae sobre su basamento, lo cual se lograría mediante el procedimiento de construcción de vermas escalonadas bajo un diseño adecuado a la caracterización de los estratos que conforman el macizo rocoso del talud inestable.

VII.2 Se recomienda especialmente proceder dentro de lo posible descapotar parcial o totalmente el estrato superior de lava brechada basáltica conformada por bloques, ya que ésta se considera como uno de los factores que contribuye en alto grado a generar los constantes deslizamientos de la totalidad del macizo rocoso que conforma el talud desestabilizado.



Estudio Geotécnico

II. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se realiza con el fin de evaluar las condiciones existentes del subsuelo en el sector del km 124+000 de la carretera CA08W hacia Frontera Las Chinamas, determinar de la Ley de Resistencia de los suelos, Estratigrafía, Resistencia a la compresión y otros parámetros necesarios para el diseño de las obras de mitigación. Sector en donde en el lateral izquierdo se producen deslizamientos continuos que provocan y han provocado el cierre temporal de la carretera. El día 30 de mayo el paso hacia la frontera nuevamente amaneció cerrado debido a un deslizamiento provocado por las lluvias, siendo rehabilitado poco tiempo después.



Fotografías 1 y 2. Vista general del último derrumbe en fecha 29 de mayo

Cabe mencionar que además de los derrumbes ocasionados por las lluvias, el sector sur-oeste del deslizamiento objeto de este estudio, se sigue explotando como banco de materiales pétreos, lo que contribuye a la degradación del sector.



Fotografías 3 y 4. Vista general del último derrumbe de mayo y explotación del talud como banco de préstamo.

II. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO

El sector objeto de estudio comprende un tramo de carretera de aproximadamente 235 m de longitud, la cual se encuentra perfilada y construida en la ladera de una montaña, abarcando un área de aproximadamente 10.77 Mz.



Fotografía 5. Vista general del talud en estudio.

En el *lateral izquierdo* de la vía se ubica el talud de mayores magnitudes, con una diferencia de niveles entre sus puntos más bajo y más alto de 186 m, en este talud se observan los deslizamientos mayores que han provocado el cierre de la carretera en diversas ocasiones, por lo que se construyó para retención parcial, un muro gavionado de una altura promedio de 3.50 m. En el cuerpo del talud, se observan afloramientos de materiales diversos, como tobas, conglomerados, roca basáltica y suelo.

En el *lateral derecho* de la vía, el talud presenta una altura promedio de 45.00 m, se encuentra parcialmente vegetado. Se evidenciaron en el talud colindante con el Río Paz, deslizamientos superficiales provocados por flujos anormales de agua y muy probablemente flujos de lodo y escombros de materiales volcados, los cuales de no prestarles la atención inmediata podrían provocar un deslizamiento mayor. Esto aunado a la presencia de escarpados principales en la vía, los que son indicativos de falla en la corona del talud, pudieran cortar el paso sobre la carretera y por tanto también la actividad en el paso fronterizo.

Es de mencionar que este sector en el lateral derecho es muy susceptible a los deslizamientos provocados por la erosión Hídrica, tal como se evidenció en nuestras visitas de campo



Fotografías 6 y 7. Escarpados en la vía y deslizamientos en el talud colindante con el Río Paz.

III. TRABAJO REALIZADO

El trabajo de campo de la campaña Geotécnica se realizó del día 18 de mayo al 7 de junio de 2011, consistiendo en SEIS (6) sondeos del tipo Penetración Estándar (SPT) y DOS (2) sondeos rotativos de profundidades de 15.00 y 20.00 m, a ambos lados de la calzada.

III.1 SONDEOS DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

Los sondeos de Penetración Estándar (SPT) fueron distribuidos inicialmente a lo largo del muro gavionado (sondeos S-1 a S-4), así mismo, se exploraron las condiciones del subsuelo en el sector de la corona del talud que linda con el Río Paz (sondeos S-5 y S-6), sobre el lateral derecho y finalmente, se realizaron sondeos en la corona del talud ubicado en el lateral izquierdo (sondeos S-7 a S-10), tal como se muestra en el plano de ubicación de sondeos Anexo, alcanzando una profundidad mínima y máxima de 1.00 y 11.00 m, respectivamente, medidos a partir del nivel del terreno natural. Dicha profundidad estuvo determinada por la mínima penetración de la herramienta de avance debido a la intercepción de **suelos muy densos, conglomerados y roca** que no pueden ser atravesados por el Método de Penetración Estándar (SPT).

A través de los ensayos de Penetración Estándar (SPT) normalizados por ASTM D 1586-92, se establece la resistencia del suelo (valor de "N" golpes/30 cm), así como se obtiene un muestreo continuo del mismo.



Fotografías 8 y 9. Ejecución de sondeos del tipo Penetración Estándar (SPT) a ambos lado de la vía.

III.2 PERFORACIONES ROTATIVAS:

Según lo solicitado por el Contratante, se realizaron DOS (2) Sondeos Rotativos, utilizando una máquina motorizada marca ACKER C-25, perforando con brocas diamantinas AW y NW de diámetros internos de 1 $\frac{3}{16}$ " y 2 $\frac{5}{32}$ " obteniéndose un muestreo continuo. Ubicados tal como se observa en el Plano Anexo, habiéndose alcanzado una profundidad promedio de 15.00 m y 20.00 m, medidos a partir del nivel del terreno natural, debido a las condiciones poco favorables detectadas en la zona del lateral derecho, nuestra empresa ICIA, S.A. de C.V., consideró necesario profundizar este sondeo más allá de los metrajes contratados inicialmente.

Adicionalmente, durante la ejecución de las perforaciones Rotativas (en los estratos que así lo permitieron) se realizaron determinaciones de Resistencia a la Penetración alternos a diferentes profundidades, con el objeto de estimar la Capacidad de Carga Admisible del suelo, asociada con los valores de "N" obtenidos, los cuales se presentan en los Registros de Perforación en Anexos.

En los Planos GG anexos se presenta el Perfil Estratigráfico elaborado con la información obtenida de las Perforaciones Rotativas realizadas, indicándose las características de los suelos y rocas detectados; adicionalmente se presentan Fotografías indicando los puntos de emplazamiento del equipo de perforación (ver plano de ubicación de Sondeos en Anexos). Las muestras de suelos y rocas recuperadas fueron trasladadas al laboratorio en donde fueron sometidas a Ensayos de Clasificación de suelos, Contenidos de Humedad Natural (w%), Resistencia a la Compresión Simple, Peso Volumétrico y determinación del Rock Quality Designation (Índice de Calidad de La Roca, RQD).

III.3 TRABAJO COMPLEMENTARIO REALIZADO:

El trabajo de campo de la campaña Geotécnica complementaria se realizó del día 19 al 27 de julio de 2011, consistiendo en TRES (3) sondeos rotativos según lo aprobado por el Contratante, utilizando para ello una máquina motorizada marca ACKER C-25, ubicados tal como se observa en los Planos GG Anexos, habiéndose alcanzado una profundidad promedio de 9.00 m y 16.00 m, medidos a partir del nivel del terreno natural. Adicionalmente se ejecutaron CUATRO (4) sondeos de Penetración Estándar (SPT) en el talud colindante con las márgenes del Río Paz, para conocer la profundidad del suelo natural en la zona.

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

IV.1 CONDICIONES DEL SUBSUELO SONDEOS DE PENETRACION ESTANDAR (SPT).

IV.1.1 CONDICIONES GENERALES: A continuación se resumen las condiciones del subsuelo detectadas en las perforaciones de Penetración Estándar (SPT) y en los ensayos de laboratorio realizados:

PRIMERA CAMPAÑA GEOTECNICA:

Lateral izquierdo, pie de talud

Sondeo N°	Prof. de Expl. (m)	Prof. de los estratos detectados (m)	Observaciones
S-1	1.50	0.00-1.00	Arena limosa café oscuro, con gravas, muy densa, seca a parcial saturada (SM)
		1.00-1.50	Se interceptó roca o toba
S-2	2.00	0.00-1.50	Arena limosa café oscuro, con gravas, semidensa a muy densa, parcial saturada (SM)
		1.50-2.00	Se interceptó toba
S-3	6.00	0.00-1.00	Arena limosa café claro, con gravas, semidensa a muy densa, parcial saturada (SM)
		1.00-2.00	Arena limosa café oscuro, muy densa a semidensa, parcial saturada (SM)
		2.00-3.00	Arena limosa café oscuro, suelta, parcial saturada (SM)
		3.00-6.00	Arena limosa café oscuro, con gravas, semidensa a muy densa, seca a parcial saturada (SM)
S-4	1.00	0.00-0.50	Arena limosa café claro, con restos de roca, muy densa, seca (SM)
		0.50-1.00	Se interceptó roca
S-4A	6.00	0.00-1.00	Arena limosa café claro, con gravas, muy densa, seca (SM)
		1.00-2.50	No hubo recuperación
		2.50-6.00	Arena mal graduada, roca molida gris claro, muy densa, seca (SP)

Tabla 1a. Profundidad de los estratos detectados.

Lateral derecho, corona talud hacia Rio Paz

Sondeo N°	Prof. de Expl. (m)	Prof. de los estratos detectados (m)	Observaciones
S-5	11.00	0.00-2.00	Arena limosa café oscuro, con gravas, semidensa, seca a parcial saturada (SM)
		2.00-3.00	Arena limosa café oscuro, con gravas, suelta, parcial saturada (SM)
		3.00-8.00	Arena limosa café oscuro, con gravas, semidensa, parcial saturada
		8.00-11.00	Avance con punta cónica suelos densos a muy densos
S-6	5.00	0.00-3.50	Arena limosa café oscuro, con gravas, semidensa a muy densa, seca a parcial saturada (SM)
		3.50-5.00	Arena limosa café rojizo, con gravas, densa a muy densa, parcial saturada (SM)

Tabla 1b. Profundidad de los estratos detectados.

Notas:

- La profundidad está referida a partir del nivel de brocal de cada perforación realizada.

Lateral izquierdo, corona de talud:

Sondeo N°	Prof. de Expl. (m)	Prof. de los estratos detectados (m)	Observaciones
S-7	4.00	0.00-1.00	Limo arenoso café oscuro, orgánico, muy suelto a semidenso, saturado
		1.00-4.00	Limo arenoso café claro, de alta plasticidad, con gravas, muy duro, parcial saturado (MH)
S-8	3.50	0.00-0.50	Arena limosa café oscuro, con gravas y raíces, semidensa, parcial saturada (SM)
		0.50-3.50	Arena limosa café claro, con gravas y fragmentos de roca, semidensa a muy densa, parcial saturada (SM)
S-9	2.00	0.00-1.00	Arena arcillosa café oscuro, semidensa, parcial saturada (SC)
		1.00-2.00	Arena arcillosa café oscuro, con fragmentos de roca, muy densa, parcial saturada (SC)
S-9A	1.50	0.00-1.00	Arena arcillosa café oscuro, con gravas, densa a muy densa, parcial saturada (SC)
		1.00-1.50	Se interceptó roca
S-10	4.50	0.00-1.00	Limo arenoso café oscuro/marrón, de media plasticidad, suelto a semidenso, saturado (ML")
		1.00-4.50	Limo arenoso café claro, de media plasticidad, con gravas, semidenso a muy denso, parcial saturado (ML")

Tabla 1c. Profundidad de los estratos detectados.

Nota:

- La profundidad está referida a partir del nivel de brocal de cada perforación realizada.

CAMPAÑA GEOTECNICA COMPLEMENTARIA:

Sondeo N°	Prof. de Expl. (m)	Prof. de los estratos detectados (m)	Observaciones
S-11	7.50	0.00-1.50	Arena limosa café oscuro, con gravas, suelta a semidensa, parcial saturada (SM)
		1.50-6.00	Arena limosa café oscuro, con fragmentos de roca, parcial saturada (SM)
		6.00-7.50	Suelos semidensos a muy densos
S-12	4.50	0.00-1.50	Arena limosa café oscuro, con gravas, suelta a semidensa, parcial saturada (SC)
		1.50-4.50	Arena limosa café oscuro, con fragmentos de roca, semidensa a muy densa, parcial saturada (SM)
S-13	6.00	0.00-6.00	Arena limosa café oscuro, con gravas, suelta a muy densa, parcial saturada (SM)
S-14	4.00	0.00-2.50	Arena limosa café oscuro, con gravas, muy suelta a semidensa, parcial saturada (SM)
		2.50-4.00	Arena limosa café oscuro, con fragmentos de roca, densa a muy densa, parcial saturada (SM)

Tabla 1d. Profundidad de los estratos detectados.

Nota:

- La profundidad está referida a partir del nivel de brocal de cada perforación realizada..

IV.1.2 CONTENIDOS DE HUMEDAD NATURAL

Los Contenidos de Humedad Natural (w%) de los suelos interceptados indican un estado general de **seco a saturado** ($4 < w\% < 48$), sin embargo se debe tomar en cuenta que estos suelos disminuyen su resistencia cuando se saturan, por lo que las condiciones actuales del subsuelo (mayo-septiembre/11) podrían cambiar significativamente si se incrementan sus Contenidos de Humedad Natural (w%).

IV.1.3 NIVEL FREÁTICO:

Hasta la máxima profundidad de exploración no se detectó el Nivel Freático o Tabla de Agua Permanente en ninguno de los sondeos realizados.

IV.1.4 PRESENCIA DE ROCA:

Se interceptaron en todos los sondeos realizados, **suelos muy densos y roca fragmentada** a partir de los 1.00 m de profundidad, los cuales presentan Rechazo a la Penetración ($N > 50$ golpes/pie), ver perfiles estratigráficos anexos, en planos GG-6 y GG-7.

IV.1.5 CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE, Kg/cm².

La Capacidad de Carga Admisible del subsuelo correlacionada a través de los Ensayos de Penetración Estándar (SPT) es variable según cada sondeo y profundidad, como se indica en las Tablas 2:

Lateral izquierdo, pie de talud

Prof. en metros	Sondeos				
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-4A
0.50	>5.0	1.5	2.5	2.1	5.0
1.00	>5.0	5.0	>5.0	>5.0	>5.0
1.50	>5.0	>5.0	>5.0	roca	2.9
2.00		>5.0	2.6		4.7
2.50		toba	0.8		>5.0
3.00			1.0		4.6
3.50			3.9		4.9
4.00			2.5		>5.0
4.50			4.2		5.0
5.00			3.5		>5.0
5.50			3.5		roca
6.00			>5.0		

Tabla 2a. Capacidad de Carga del subsuelo (Kg/cm²), según la profundidad.

Lateral derecho, corona talud hacia Río Paz

Prof. en metros	Sondeos	
	S-5	S-6
0.50	2.6	2.2
1.00	1.6	>5.0
1.50	3.2	2.9
2.00	2.1	1.8
2.50	0.9	1.1
3.00	0.8	1.8
3.50	1.5	>5.0
4.00	2.2	3.1
4.50	2.1	>5.0
5.00	2.1	>5.0
5.50	2.1	
6.00	1.9	
6.50	2.0	
7.00	3.9	
7.50	3.3	
8.00	4.7	
8.50	3.1	
9.00	3.6	
9.50	3.2	
10.00	3.5	
10.50	3.9	
11.00	>5.0	

Tabla 2b. Capacidad de Carga del subsuelo (Kg/cm²), según la profundidad.

Lateral izquierdo, corona de talud

Prof. en metros	Sondeos				
	S-7	S-8	S-9	S-9A	S-10
0.50	(*)	1.7	1.1	3.6	0.6
1.00	(*)	2.1	2.2	>5.0	1.2
1.50	>4.0+	3.1	>5.0	>5.0	2.8
2.00	>4.0+	2.7	>5.0		4.4
2.50	>4.0+	2.6			4.9
3.00	>4.0+	>5.0			>5.0
3.50	>4.0+	>5.0			>5.0
4.00	>4.0+				>5.0
4.50					>5.0

Tabla 2c. Capacidad de Carga del subsuelo (Kg/cm²), según la profundidad.

Notas:

- La profundidad está referida a partir del nivel de terreno existente al momento de la investigación de campo.
- Valores de Capacidad de Carga calculados para un ancho de fundación B<1.22m y un asentamiento máximo de 25.4 mm. Según Meyerhof, 1960.
- (*) suelo orgánico o ligeramente orgánico.
- (+) Resistencia no confinada, suelos cohesivos.

Lateral derecho, talud hacia Río Paz

Prof. en metros	Sondeos			
	S-11	S-12	S-13	S-14
0.50	0.8	1.0	0.5	0.3
1.00	1.0	1.2	0.8	0.7
1.50	1.8	1.9	1.1	0.4
2.00	3.0	4.8	0.5	1.6
2.50	2.4	2.6	1.1	1.4
3.00	0.9	2.8	1.3	3.2
3.50	3.1	2.6	>5.0	>5.0
4.00	2.1	>5.0	0.9	>5.0
4.50	3.2	>5.0	0.5	
5.00	3.4		1.6	
5.50	>5.0		>5.0	
6.00	>5.0		>5.0	
6.50	2.6			
7.00	4.9			
7.50	>5.0			

Tabla 2d. Capacidad de Carga del subsuelo (Kg/cm²), según la profundidad.

Notas:

- La profundidad está referida a partir del nivel de terreno existente al momento de la investigación de campo.
- Valores de Capacidad de Carga calculados para un ancho de fundación B<1.22m y un asentamiento máximo de 25.4 mm. Según Meyerhof, 1960.



Fotografías 10 y 11. Ejecución de sondeos del tipo Penetración Estándar (SPT) en talud lateral derecho.

IV.2 PERFORACIÓN ROTATIVA

IV.2.1 CONDICIONES DEL SUBSUELO SONDEOS ROTATIVOS.

A continuación se presenta una tabulación de los estratos detectados en los sondeos rotativos realizados:

Lateral izquierdo, pie de talud

Sondeo N°	Prof. de Expl. (m)	Prof. de estratos detectados (m)	Observaciones
S-1R	15.00	0.00-0.50	Arena limosa café oscuro, con gravas, muy densa, parcial saturada (SM)
		0.50-1.50	Rocas fragmentadas del tipo basáltico, con arenas gruesas
		1.50-2.50	Mezcla de arenas gruesas con fragmentos de roca basáltica
		2.50-3.50	Roca fragmentada de diámetros ½ a 5" con arenas gruesas
		3.50-4.00	Grava mal graduada gris oscuro, con arenas gruesas a finas
		4.00-5.00	Rocas basálticas con grietas y juntas color gris claro, con incrustaciones de suelos arenosos gruesos y medios, color gris oscuro
		5.00-9.50	Grava mal graduada gris oscuro, con arenas finas a medias, semidensa a muy densa
		9.50-10.50	Roca fragmentada basáltica con juntas y grietas, con arenas finas a medias
		10.50-11.50	Grava mal graduada gris claro, seca
		11.50-12.50	Mezcla de arena fina y media con fragmentos de roca basáltica con juntas y grietas
		12.50-14.00	Mezcla de arena fina y media con fragmentos de roca basáltica con juntas y grietas
		14.00-15.00	Mezcla de arena fina y media con fragmentos de roca basáltica con juntas y grietas

Tabla 3a. Profundidad de los diferentes estratos detectados.

Notas:

- La profundidad está referida a partir del nivel de brocal de cada perforación realizada
- Elevación del sondeo 393.35 msnm



Fotografías 12 y 13. Vista ejecución sondeo rotativo S-1R

Lateral derecho, corona de talud

Sondeo N°	Prof. de Expl. (m)	Prof. de estratos detectados (m)	Observaciones
S-2R	15.00	0.00-0.50	Arena mal graduada café oscuro, con fragmentos de roca basáltica
		0.50-9.50	Arena limosa café oscuro, con gravas, suelta a semidensa, parcial saturada
		9.50-13.50	Arena arcillosa café oscuro, con gravas, semidensa a muy densa, parcial saturada
		13.50-14.50	Arena fina a media mal graduada con incrustaciones de roca basálticas
		14.50-16.50	Arena gruesa a media mal graduada con incrustaciones rocosas
		16.50-17.50	Roca basáltica y andesítica color gris claro y rojizo con incrustaciones de arenas medias a gruesas
		17.50-19.50	Arena gruesa a media mal graduada gris oscuro, con incrustaciones rocosas basálticas con juntas y grietas
		19.50-20.00	Arena mal graduada gris claro, tipo escoria, con incrustaciones de roca

Tabla 3b. Profundidad de los diferentes estratos detectados.

Notas:

- La profundidad está referida a partir del nivel de brocal de cada perforación realizada
- Elevación del sondeo 397.80 msnm



Fotografías 14 y 15. Vista ejecución sondeo rotativo S-2R

Sondeo N°	Prof. de Expl. (m)	Prof. de estratos detectados (m)	Observaciones
S-3R	15.00	0.00-2.50	Arena limosa café oscuro, con fragmentos de roca, suelta a semidensa, parcial saturada (SM)
		2.50-5.50	Arena mal graduada café oscuro, con fragmentos de roca, muy suelta a semidensa, parcial saturada (SP)
		5.50-7.50	Arena arcillosa café oscuro, con fragmentos de roca, semidensa a densa, parcial saturada (SC)
		7.50-8.50	Arena limosa café oscuro, con fragmentos de roca, densa, parcial saturada (SM)
		8.50-10.00	Basalto color gris claro fracturado
		10.00-11.00	Arena arcillosa café oscuro, con fragmentos de roca, semidensa (SC)
		11.00-12.00	Arena mal graduada gris oscuro, densa a muy densa (SP)
		12.00-15.00	Arena mal graduada gris oscuro, con fragmentos de roca basáltica, gris claro, fracturada

Tabla 1a. Profundidad de los diferentes estratos detectados.

Notas:

- La profundidad está referida a partir del nivel de brocal de cada perforación realizada
- Elevación del sondeo 396.50 msnm



Fotografías 16 y 17. Vista ejecución sondeo rotativo S-3R

Sondeo N°	Prof. de Expl. (m)	Prof. de estratos detectados (m)	Observaciones
S-4R	16.00	0.00-0.50	Arena limosa café oscuro, semidensa (SM)
		0.50-1.00	Arena mal graduada café oscuro, semidensa, parcial saturada (SP)
		1.00-1.50	Arena limosa café claro, con fragmentos de roca, semidensa (SM)
		1.50-3.00	Arena mal graduada café oscuro, semidensa a muy densa, parcial saturada (SP)
		3.00-4.00	Limo arenoso café oscuro, con gravas, denso (ML)
		4.00-8.00	Arena mal graduada café oscuro, con fragmentos de roca, semidensa (SP)
		8.00-9.00	Roca basáltica color gris claro, fragmentada con grietas
		9.00-10.00	Arena mal graduada café oscuro, con fragmentos de roca (SP)
		10.00-11.50	Arena arcillosa café oscuro, con gravillas, densa, parcial saturada (SC)
		11.50-12.50	Roca basáltica gris claro, fracturada con mezcla de arenas mal graduadas
		12.50-16.00	Arena mal graduada café y gris oscuro, con fragmentos de roca (SP)

Tabla 1b. Profundidad de los diferentes estratos detectados.

Notas:

- La profundidad está referida a partir del nivel de brocal de cada perforación realizada
- Elevación del sondeo 399.55 msnm



Fotografías 18 y 19. Vista ejecución sondeo rotativo S-4R

Lateral izquierdo

Sondeo N°	Prof. de Expl. (m)	Prof. de estratos detectados (m)	Observaciones
S-5R	9.00	0.00-1.00	Arena limosa café oscuro, con gravas y fragmentos de roca, semidensa, parcial saturada (SM)
		1.00-1.50	Arena mal graduada café oscuro, con fragmentos de roca, muy densa (SP)
		1.50-2.00	Restos de roca basáltica y escorias volcánicas
		2.00-3.50	Arena arcillosa café oscuro, con incrustaciones de roca, densa (SC)
		3.50-4.00	Roca basáltica gris claro, fracturado
		4.00-4.50	Roca basáltica gris claro, fracturado
		4.50-6.00	Arena mal graduada café marrón, tipo escoria volcánica (SP)
		6.00-6.50	Escoria volcánica café marrón (SP)
		6.50-8.50	Roca basáltica gris claro, fracturada, con arenas mal graduadas
		8.50-9.00	Mezcla de arena mal graduada y fragmentos de roca

Tabla 1c. Profundidad de los diferentes estratos detectados.

Notas:

- La profundidad está referida a partir del nivel de brocal de cada perforación realizada
- Elevación del sondeo 396.60 msnm



Fotografías 20 y 21. Vista ejecución sondeo rotativo S-5R

IV.2.2 ESTRATIGRAFIA SONDEOS ROTATIVOS:

Estratigrafía General de la zona de estudio, se presenta en Planos GG-8 a GG-10, en Anexos de este informe.

Las características estratigráficas observadas “in situ” y producto de las CINCO (5) perforaciones rotativas realizadas se describen a continuación:

Sondeo S-1R (elevación 393.35):

Este sondeo inicia con suelos del tipo areno limosos con gravas, color café oscuro, seguido por un estrato de roca fragmenta del tipo basáltico, con arenas gruesas, a 1.50 m un estrato de arenas gruesas con fragmentos de roca, subyacente a este estrato se detectan rocas fragmentadas de ½ a 5” con arenas gruesas a medias, luego un estrato de 0.50 de gravas mal graduadas gris oscuro, con arenas. A los 4.00 m se detecta un estrato de rocas basálticas con grietas y juntas color gris claro, con incrustaciones de suelos arenoso gruesos y medios, en un espesor de 1.00 m. El estrato de grava mal graduada gris oscuro, con arenas finas a gruesas semidensas a muy densas alcanza una profundidad de 9.50 m. Subyacente se detectan rocas fragmentadas con juntas y grietas y arenas medias en un espesor de 1.00 m. Los siguientes 0.50 m están conformados por gravas mal graduadas gris claro, para finalizar con una mezcla de arena fina y media con fragmentos de roca basáltica con juntas y grietas hasta los 15.00 m de profundidad. (Ver perfiles estratigráficos en Anexos, Planos GG-9 y GG-10).



Fotografía 22. Vista de muestras recuperadas de sondeo S-1R.

Sondeo S-2R (elevación 397.80):

Este sondeo inicia con suelos del tipo arenas mal graduadas café oscuro, con fragmentos de roca en los primeros 0.50 m, seguidos de un estrato de arenas limosas café oscuro, con gravas, en un estado semidenso hasta los 9.50 m de profundidad, donde inicia un estrato de arenas arcillosas café oscuro, con gravas hasta los 13.50, subyacente se detectan arenas gruesas mal graduadas con incrustaciones rocosas, a los 16.50 m se detecta un estrato de roca basáltica y andesítica con incrustaciones de arenas medias a gruesas en 1.00 m de espesor para finalizar hasta los 20.00 m con arenas gruesas a medias, mal graduadas con incrustaciones de roca basáltica con juntas y grietas (Ver perfil estratigráfico anexo).



Fotografía 23. Vista de muestras recuperadas de sondeo rotativo S-2R.

Sondeo S-3R (elevación 396.50):

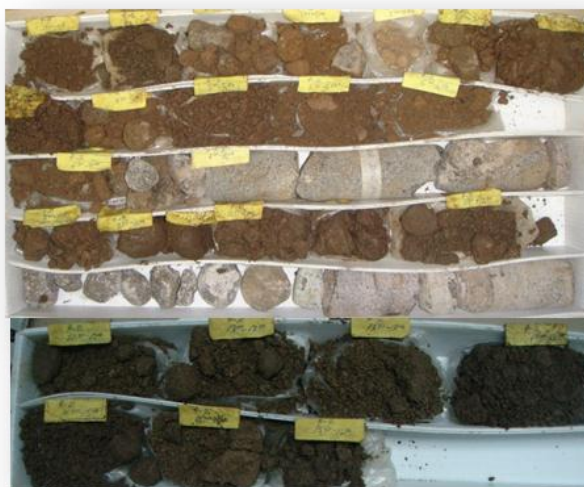
Este sondeo inicia con suelos del tipo areno limosos con gravas y fragmentos de roca, color café oscuro, en un espesor de 2.50 m, seguido de un estrato de arenas gruesas mal graduadas, con fragmentos de roca, hasta los 5.50 m de profundidad subyacente a este estrato se detectan arenas arcillosas café oscuro, con fragmentos de roca, en un espesor promedio de 2.00 m, detectándose nuevamente un estrato de 1.00 m conformado por arenas limosas con fragmentos de roca, entre 8.50 a 10.00 m, se detectan rocas basálticas gris claro, fracturadas, entre 10.00 y 11.00 m de profundidad se tiene un estrato de arenas arcillosas con fragmentos de roca y finalmente de los 11.00 hasta los 15.00 m se interceptaron arenas mal graduadas café oscuro con fragmentos de roca de diámetros variables.



Fotografía 24. Vista de muestras recuperadas de sondeo S-3R.

Sondeo S-4R (elevación 399.35):

Este sondeo inicia con suelos del tipo arenas limosas café oscuro intercaladas con arenas mal graduadas café oscuro, con fragmentos de roca hasta los 3.00 m de profundidad, posteriormente entre 3.00 y 4.00m, existe un estrato de limos arenosos café oscuro, con gravas en un espesor de 1.00 m, seguido de arenas mal graduadas café oscuro, con fragmentos de roca hasta los 8.00 m de profundidad, entre 8.00 y 9.00 m se detectan Rocas basálticas gris claro, con fragmentos de roca, posteriormente se detecta 1.00 m de arenas mal graduadas café oscuro, con fragmentos de roca, seguidas de 1.50 m de espesor de arenas arcillosas café oscuro, con gravillas, a una profundidad de 11.50 m hasta los 12.50 m, se interceptan rocas basálticas gris claro, fracturadas y desde 12.50 a 16.00 m, arenas mal graduadas café oscuro, con fragmentos de roca(Ver perfiles estratigráficos anexos).



Fotografía 25. Vista de muestras recuperadas de sondeo rotativo S-4R.

Sondeo S-5R (elevación 396.60):

Este sondeo inicia con suelos del tipo areno limosos con gravas y fragmentos de roca, color café oscuro, en un espesor de 1.00 m, seguido de un estrato de arenas gruesas mal graduadas, con fragmentos de roca, hasta 1.50 m de profundidad subyacente a este estrato se detectan restos de roca basáltica con escorias volcánicas, entre 2.00 y 3.50 m de profundidad, se interceptan arenas arcillosas café oscuro, con fragmentos de roca, detectándose nuevamente un estrato de 1.00 m conformado roca basáltica gris claro, fracturada, seguidos de arenas mal graduadas con fragmentos de roca, hasta los 6.00 m de profundidad, seguido de un estrato de 0.50 m conformado por arenas mal graduadas tipo escorias volcánicas, se detectan rocas basálticas gris claro, fracturadas, entre 6.50 y 8.50 m de profundidad y finalmente hasta los 9.00 m se interceptaron arenas mal graduadas café oscuro con fragmentos de roca de diámetros variables. (Ver perfiles estratigráficos anexos).



Fotografía 26. Vista de muestras recuperadas de sondeo rotativo S-5R.

IV.2.3 CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE Y RQD , Kg/cm^2 .

La Capacidad de Carga Admisible del subsuelo correlacionada a través de los Ensayos de Penetración Estándar (SPT) realizados alternamente durante la perforación Rotativa, los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión simple, así como el valor de Índice de Calidad de la Roca (Rock Quality Designation, RQD) calculado para las muestras de roca, son variables según cada sondeo y profundidad, tal como se indica en la Tabla 2 a continuación:

Prof. en metros	S-1R	
	Q _{ad}	RQD
0.50	>5.0	No aplica
1.00	Rot	0.00
1.50	Rot	0.00
2.00	2.6	No aplica
2.50	>5.0	
3.00	Rot	0.00
3.50	Rot	0.00
4.00	>5.0	No aplica
4.50	Rot	0.00
5.00	Rot	0.00
5.50	2.9	No aplica
6.00	2.7	
6.50	4.2	
7.00	2.6	
7.50	3.0	
8.00	2.8	
8.50	4.2	
9.00	>5.0	
9.50	>5.0	
10.00	Rot	0.00
10.50	Rot	0.00
11.00	>5.0	No aplica
11.50	>5.0	
12.00	Rot	0.00
12.50	Rot	0.00
13.00	2.3	No aplica
13.50	3.1	
14.00	5.0	
14.50	Rot	0.00
15.00	Rot	0.00

Prof. en metros	S-2R	
	Q _{ad}	RQD
0.50	Rot	0.00
1.00	1.8	No aplica
1.50	2.4	
2.00	1.2	
2.50	1.0	
3.00	2.3	
3.50	2.8	
4.00	1.3	
4.50	1.9	
5.00	0.9	
5.50	1.3	
6.00	1.2	
6.50	1.1	
7.00	1.8	
7.50	1.4	
8.00	3.7	
8.50	3.3	
9.00	1.2	
9.50	>5.0	
10.00	4.6	
10.50	2.9	
11.00	3.2	
11.50	2.7	
12.00	4.4	
12.50	3.9	
13.00	4.2	
13.50	4.5	
14.00	Rot	0.00
14.50	Rot	0.00
15.00	>5.0	No aplica
15.50	3.0	
16.00	4.6	
16.50	>5.0	24%
17.00	Rot	
17.50	Rot	No aplica
18.00	4.2	
18.50	>5.0	
19.00	>5.0	
19.50	>5.0	
20.00	Rot	

Tabla 4a. Capacidad de Carga Admisible (Kg/cm²) y RQD % según la profundidad.

Notas:

- 1- La profundidad está referida a partir del nivel de terreno existente al momento de la investigación de campo.
- 2- Los niveles de brocal fueron dados en el levantamiento topográfico
- 3- Los valores de N presentados fueron determinados a través de la penetración estándar (SPT) asociada con la perforación rotativa en los estratos de suelos y rocas detectados.
- 4- ROT avance con perforación rotativa, suelos muy densos.

Prof. en metros	S-3R	
	Q _{ad}	RQD
0.50	2.2	NO APLICA
1.00	2.0	
1.50	2.2	
2.00	2.0	
2.50	0.9	
3.00	0.9	
3.50	0.5	
4.00	0.6	
4.50	1.8	
5.00	2.0	
5.50	2.6	
6.00	2.2	
6.50	4.6	
7.00	3.1	
7.50	2.1	
8.00	4.7	
8.50	3.7	
9.00	ROT	8
9.50		
10.00	NO APLICA	NO APLICA
10.50		
11.00		
11.50		
12.00	>5.0	
12.50	ROT	0
13.00		
13.80	ROT	0
14.50	ROT	0
15.00		

Prof.en metros	S-4R	
	Q _{ad}	RQD
0.50	2.1	NO APLICA
1.00	1.3	
1.50	1.9	
2.00	1.9	
2.50	0.8	
3.00	>5.0	
3.50	ROT	0
4.00		
4.50	1.4	NO APLICA
5.00	1.3	
5.50	2.5	
6.00	1.0	
6.50	1.4	
7.00	1.3	
7.50	2.1	
8.00	4.0	
8.50	ROT	11
9.00		
9.50	2.7	NO APLICA
10.00	>5.0	
10.50	3.9	
11.00	>5.0	
11.50	>5.0	
12.00	ROT	21
12.50		
13.00	>5.0	NO APLICA
13.50	3.3	
14.00	3.0	
14.50	2.6	
15.00	3.7	
15.50	>5.0	
16.00	>5.0	

Tabla 4b. Capacidad de Carga Admisible (Kg/cm²) y RQD % según la profundidad.

Notas:

- 1- La profundidad está referida a partir del nivel de terreno existente al momento de la investigación de campo.
- 2- Los niveles de brocal fueron dados en el levantamiento topográfico
- 3- Los valores de N presentados fueron determinados a través de la penetración estándar (SPT) asociada con la perforación rotativa en los estratos de suelos y rocas detectados.
- 4- ROT avance con perforación rotativa, suelos muy densos.

Prof. en metros	S-5R	
	Q _{ad}	RQD
0.50	2.4	NO APLICA
1.00	>5.0	
1.50	>5.0	
2.00	>5.0	
2.50	ROT	0
3.00	ROT	0
3.50	ROT	0
4.00	ROT	0
4.50	ROT	0
5.00	3.6	NO APLICA
5.50	3.1	
6.00	4.7	
6.50	>5.0	
7.00	ROT	28
7.50		
8.00	ROT	0
8.50		
9.00	ROT	0

Tabla 4c. Capacidad de Carga Admisible (Kg/cm²) y RQD % según la profundidad.

Notas:

- 1- La profundidad está referida a partir del nivel de terreno existente al momento de la investigación de campo.
- 2- Los niveles de brocal fueron dados en el levantamiento topográfico
- 3- Los valores de N presentados fueron determinados a través de la penetración estándar (SPT) asociada con la perforación rotativa en los estratos de suelos y rocas detectados.
- 4- ROT avance con perforación rotativa, suelos muy densos.

INDICE DE CALIDAD DE ROCAS, RQD. (Rock Quality Designation)

$$RQD = \frac{\Sigma (\text{longitud fragmentos} > 10 \text{ cm})}{\text{Longitud total perforada}} \times 100$$

Notas:

- Se consideran solamente fragmentos iguales o superiores a 100 mm de longitud.
- El Diámetro del testigo tiene que ser igual o superior a 57.4 mm y tiene que ser perforado con un doble tubo de extracción de testigo.

RQD %	Calidad de Roca
>25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

IV.2.4 VALORES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE:

Las muestras más representativas de roca basáltica en mejor estado, obtenidas en las perforaciones rotativas, fueron sometidas a ensayos de compresión simple, obteniéndose los siguientes resultados:

Muestra	Profundidad en metros	Descripción	Peso Volumétrico (Kg/m ³)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)
S-1R	4.00-5.00	Roca basáltica	2619.8	404.4
S-2R	16.50-17.50	Roca basáltica	2611.5	491.5
S-3R	8.00-10.00	Roca basáltica gris claro	2504.1	589.4
S-4R	8.00-9.00	Roca basáltica gris claro	2507.6	424.3

Tabla 5. Valores de Resistencia a la Compresión Simple y Peso Volumétrico (Kg/m³)



Fotografía 27. Muestras sometidas a Ensayos de Resistencia a la Compresión.

IV.2.5 NIVEL FREÁTICO

En ninguno de los CINCO (5) sondeos rotativos realizados no se detectó la presencia del Nivel Freático o Tabla de Agua Permanente.

IV.2.6 LECHOROCOSO

En las CINCO (5) perforaciones rotativas realizadas a ambos lados de la vía, se detectó la presencia de *suelos muy densos, incrustaciones rocosas y roca* a diferentes profundidades en todos los sondeos realizados (Ver perfiles estratigráficos en Planos GG-9 y GG-10 en Anexos).

IV.3 ENSAYOS VARIOS DE LABORATORIO:

IV.3.1 GRANULOMETRIAS Y LIMITES DE ATTERBERG

A las muestras de suelo 1 y 3, obtenidas en el lateral izquierdo, se les realizaron los siguientes ensayos de granulometría y límites de Atterberg, obteniéndose los siguientes resultados:

Muestra	Clasificación	Límites de Atterberg		Granulometrías	
1	arena gravo limosa café claro, con finos ligeramente plásticos, (SM)	LPlástico	---	Gravas	30.6%
		LLíquido	---	Arenas	53.7%
		IPlástico	---	finos	15.8%
				Mayor malla 200	84.2%
3	Arena arcillosa café claro, con gravas (SC)	LPlástico	31.3%	Gravas	29.8%
		LLíquido	40.45%	Arenas	52.1%
		IPlástico	9.2%	finos	18.1%
				Mayor malla 200	81.9%

Tabla 6. Valores de Granulometrías y Límites de Atterberg

IV.3.2 ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

A las muestras tomadas “in situ” se le realizaron ensayos de corte directo, con el objeto de determinar la Ley de Resistencia de los suelos, obteniéndose los siguientes resultados:

Muestra	Lateral	Clasificación	Valores de ensayo	
1	Izquierdo	Arena limosa fina a media con 85-95% de arena color café rojizo	Angulo de rozamiento	51.65°
			cohesión	0.87 Kg/cm ²
3	Izquierdo	Arena arcillosa café claro, con gravas (SC)	Angulo de rozamiento	47.04°
			cohesión	1.4 Kg/cm ²
1	Derecho	Arena arcillosa café claro, con gravas (SC)	Angulo de rozamiento	33.80°
			cohesión	0.24 kg/cm ²

Tabla 7. Valores de Ensayos de corte directo



Fotografía 28. Mostrando la excavación para la muestra del lateral derecho contiguo a la vía existente, en el sector donde se observan fallas importantes (escarpados principales).

IV3.3 VALORES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE:

Debido a la presencia de formaciones tobáceas y rocosas en el sector objeto de estudio, así como incrustaciones rocosas en el matriz del suelo, la realización de ensayos triaxiales o de corte directo, sería poco representativo de las condiciones reales en sitio, razón por la cual se procedió a la extracción de núcleos en el manto de roca, realizándose en muestras del lateral izquierdo, así como del manto de roca observado en la margen del Río Paz, el cual es el pie de talud inicial.

A las muestras obtenidas en campo y en las perforaciones, se extrajeron núcleos para ser sometidos a ensayos de Resistencia a la Compresión Simple, obteniéndose los siguientes resultados:

Se extrajeron núcleos de la muestra 2, parte superior, en la zona del lateral izquierdo, sin embargo estos núcleos se fracturaron por encontrarse el material en su estado natural con fisuras internas.



Fotografía 29. Muestras que no pudieron ser sometidas a Ensayos de Resistencia a la Compresión

Muestra	Espécimen	Ubicación	Descripción	Peso Volumétrico (Kg/m ³)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)
2	A ₁	Talud izquierdo	Conglomerado gris claro	1996.3	66.8
	A ₁	Talud izquierdo	Conglomerado gris claro	2016.1	58.1
	A ₂	Talud izquierdo	Conglomerado gris claro	2042.1	63.6
	A ₃	Talud izquierdo	Conglomerado gris claro	1948.8	72.5
3	A	Talud izquierdo	Conglomerado color café rojizo	1960.1	100.7
	B	Talud izquierdo	Conglomerado color gris claro	2140.5	63.7
4	A	Margen Río	Andesita color gris claro	2337.0	369.3
5	A	Margen Río	Conglomerado	2157.2	64.4
6	A	Margen Río	Toba gris claro	2269.4	200.5
7	B	Margen Río	Toba gris claro	2257.5	173.0

Tabla 8. Valores de Resistencia a la Compresión Simple y Peso Volumétrico (Kg/m³)



Fotografías 30 y 31. Muestras sometidas a Ensayos de Resistencia a la Compresión de las muestras 3 y 2.



Fotografías 32, 33, 34, 35 y 36. Mostrando pruebas realizadas a núcleos extraídos en la ribera del Río.



Con el objeto de ampliar la campaña geotécnica realizada, y conocer las condiciones prevalecientes de la roca observada, el día 23 de junio se procedió a la realización de extracciones de núcleo de los diferentes estratos rocosos detectados en el lateral izquierdo. Las muestras así obtenidas iban a ser ensayadas a compresión simple, sin embargo, debido a las fisuras y fracturas que estas presentaban internamente no fue posible llevar a cabo dichos ensayos, se presentan las fotografías de las muestras extraídas:



Fotografía 37. Mostrando rocas fracturadas prevalecientes en el pie del talud lateral izquierdo donde se proyecta la colocación de la malla de doble torsión.



Fotografía 38. Mostrando material extraído de la parte media del cuerpo del talud, con el objeto de definir profundidades de los anclajes de la malla de doble torsión proyectada en el sector medio del talud

IV.4 REGISTRO FOTOGRÁFICO SECTORES VARIOS:

Sobre la rasante de la vía en el carril derecho que conduce hacia Guatemala, en el tramo objeto de estudio se evidencia un escarpado avanzado, lo que representa una amenaza latente en la conectividad El Salvador – Guatemala.



Fotografías 39 y 40. Vista de la grieta del escarpado existente en el lateral derecho.





Fotografía 41 y 42. Mostrando cuerpo del talud donde se observan suelos y rocas sueltas que deberán ser evacuadas prioritariamente.

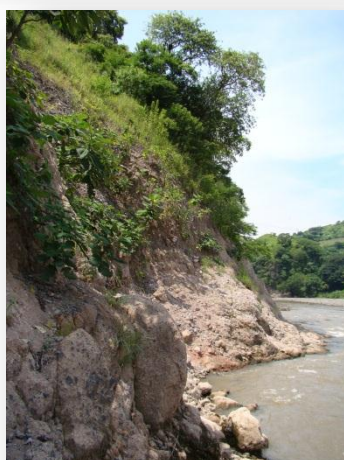


Fotografía 43 y 44. Mostrando presencia de rocas muy intemperizadas presentando juntas y grietas, en el sector donde se proyecta la colocación de la malla de doble torsión para controlar desprendimientos.

A continuación se presentan las fotografías que evidencian las condiciones prevalecientes al pie del talud del lateral derecho, colindante con el Río Paz, sector en donde se observan mantos de roca y conglomerados.



Fotografías 45, 46, 47, 49, 49 y 50. Mostrando parte de los escombros de derrumbes y el afloramiento de manto rocoso a lo largo de la ribera del Río Paz y el pie de talud.



IV.5 INFORMACIÓN ADICIONAL

De requerirse información adicional sobre los contenidos de humedad natural (w%), clasificación del suelo, ubicación de sondeos, valores de “N”, resistencia a la compresión simple y RQD, referirse a los perfiles estratigráficos, registros de perforación, ensayos de laboratorio y Fotografías presentados en Anexos.



Estudio Hidrológico

I. INTRODUCCIÓN

En este apartado, se presenta el Estudio hidrológico-hidrogeológico de la zona, en el cual se describe el fenómeno “agua” como uno de los detonantes de deslizamientos y en el caso particular de la zona bajo estudio, el arrastre de material suelo hacia la carretera. Se describe el agua que escurre superficialmente y se analiza la existencia de flujos subsuperficiales y/o subterráneos que pueden afectar la estabilidad de las obras futuras a construir en la base del talud. Basado en lo anterior y considerando las medidas de prevención de daños a la carretera y a sus usuarios, se presentan también en este apartado, propuestas preliminares para el drenaje del agua lluvia.

II. DIAGNOSTICO HIDROLÓGICO

II.1 PRECIPITACIÓN

Para definir la cantidad de agua que se precipita sobre los taludes en la época de lluvia, se ha tomado de base la estación meteorológica de Ahuachapán. En la tabla A, se presentan los valores promedio mensual de precipitación, puede notarse que los meses con intensidades mayores a 150 mm por mes, comprenden los meses entre mayo a octubre (6 meses).

Tabla A. Precipitación Promedio Mensual Estación Ahuachapán

Estación Ahuachapán	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agt	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Precipitación Promedio	3	3	6	46	168	331	361	331	375	196	34	5	1,863

II.2 AGUA COMO FACTOR DETONANTE DE DESLIZAMIENTOS

La precipitación y de forma particular el contenido de humedad es uno de los detonantes de deslizamientos. De acuerdo a la metodología de evaluación de susceptibilidad a deslizamientos Mora-Varhson-Mora, a la precipitación promedio mensual se le asigna un valor como se muestra en la tabla 1 y luego estos valores son sumados para tener una valoración cualitativa de la influencia en la generación de deslizamientos en la zona, en nuestro caso el valor acumulado es 10 (ver tabla 2) lo cual representa, que la precipitación en la zona de deslizamientos tiene una influencia Media (Ver tabla 3.).

La precipitación, sumada a la gran cantidad de material suelto, puede provocar en la zona, flujos de escombros que pueden obstruir las canaletas existentes y en el peor de los casos, llegar a afectar el tránsito de la carretera.

Tabla 1. Valor de Precipitación

Precipitación Promedio mensual mm/año	Valor
< 125	0
125-250	1
> 250	2

Fuente: Metodología SNET

Tabla 2. Valor acumulado en función de la precipitación.

Estación Ahuachapán	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agt	Sep	Oct	Nov	Dic	Sum
Precipitación Promedio	3	3	6	46	168	331	361	331	375	196	34	5	
Valor	0	00	0	0	1	2	2	2	2	1	0		10

Tabla 3. Valoración de factor humedad

Valor acumulado	Valoración cualitativa
de 0 a 4	Muy Bajo
de 5 a 9	Bajo
de 10 a 14	Medio
de 15 a 19	Alto
de 20 a 24	Muy Alto

Fuente: Metodología SNET

II.3 PATRONES DE DRENAJE SUPERFICIAL

En la zona bajo estudio los patrones de drenaje superficial se encuentran definidos por la acumulación de antiguos deslizamientos, observándose claramente tres patrones principales, con dirección Este-Oeste, como se muestran en la siguiente figura a.



Figura a. Patrones de drenaje superficial.

II.4 AGUA SUBSUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Uno de los problemas principales en la estabilidad de taludes es la presencia de agua subsuperficial y/o agua subterránea; la primera se evidencia por lentas descargas de agua infiltrada durante la época de lluvia y la segunda en algunos casos se presenta como nacimientos permanentes o intermitentes y en otros casos no existe evidencia en la superficie de su existencia. La presencia de estos flujos está ligada a la permeabilidad¹ de los distintos estratos geológicos.

En la zona bajo estudio, no existe evidencia superficial de la existencia de flujos subsuperficiales y/o subterráneos que afecten al cuerpo o base del talud en la época seca, no existen tampoco pozos excavados en las cercanías que nos indiquen que el nivel freático se encuentre a menos de 15 metros de profundidad.

El área en estudio corresponde a un *deslizamiento consumado*, cuya corona coincide con el parte agua del drenaje superficial. En el cuerpo del talud aún se encuentra alojado el material producto del deslizamiento, material suelto e inestable sujeto a la erosión hídrica y es a través de este material donde durante la época de lluvia, se asume que existen flujos subsuperficiales, los cuales son evacuados mediante las estructuras gavionadas, estas estructuras poseen entre sus características el ser permeables, por lo que se *sugiere que estos gaviones no sean retirados* ya que funcionan como obra de captación de flujos subsuperficiales.

Desde el punto de vista hidrogeológico, las rocas presentes en la zona bajo estudio compuestas por piroclastitas, epiclastitas volcánicas y efusivas básicas intermedias (S1) de la Formación San Salvador en la parte alta del talud tienen una permeabilidad baja y las rocas efusivas básicas intermedias, piroclastitas, epiclastitas (b2, b3) de la Formación Bálsamo (Ver Figura b) ubicadas en la zona media y baja del talud se pueden considerar impermeables a menos que se encuentren fracturadas, en cuyo caso el agua se infiltra a través de las fisuras y grietas.

En general los estratos geológicos tienen una permeabilidad baja, por lo que es de esperarse que durante la época de lluvia, pequeños flujos subsuperficiales se manifiesten en el contacto de ambas formaciones. Debido a la baja permeabilidad en la parte alta y suelos impermeables en la parte media y baja del talud, no se espera que existencia de flujos subterráneos considerables que afecten la estabilidad de las nuevas obras de protección a construir en la base del talud.

¹ Permeabilidad: Capacidad de un suelo de absorber y ceder agua

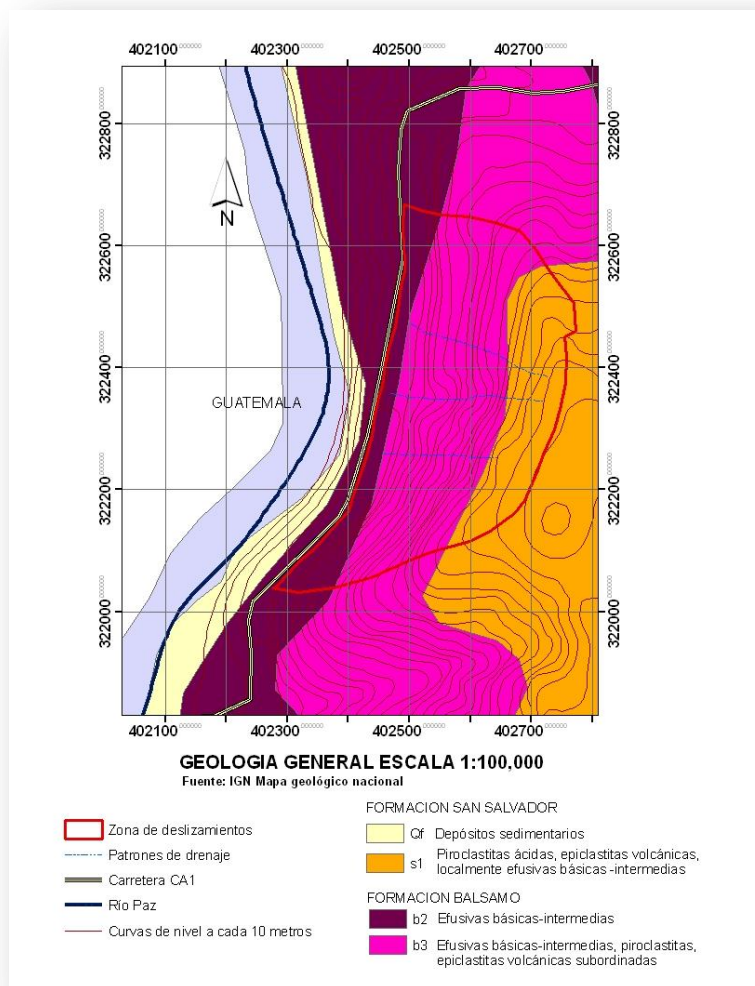


Figura b. Mapa Geológico
Fuente: IGN – Mapa Geológico Nacional Esc:1,100,000

II.5 AGUA SUPERFICIAL

Para estimar la escorrentía superficial que fluye en el cuerpo del talud, se ha considerado la curva de Intensidad Frecuencia Duración de la Estación de Ahuachapán, considerando tormentas con periodo de retorno de 5, 15, 25 y 50 años. El tiempo de concentración en el análisis es de 5 minutos, el área de drenaje se estima en 4.5 hectáreas. En la tabla z, se presentan los caudales y en la última columna se presenta un valor de escorrentía superficial estimada por hectárea. La ecuación para la estimación del caudal (Método Racional) es la siguiente:

$$Q = A \times C \times I / 6$$

Donde:

Q: Caudal m³/s

C: Coeficiente de escorrentía (adimensional)

A: Área de drenaje en hectáreas

I: Intensidad de lluvia en mm/minuto

Tabla 4. Escorrentía superficial para periodos de retorno 5, 15, 25 y 50 años

Zona de deslizamiento	Área (Hectáreas)	C	I (mm/minuto)	$Q = A \times C \times I / 6$ m ³ /seg	Caudal m ³ /Hectárea
5 años	4	0.6	3	1.36	0.30
15 años	4	0.6	3.5	1.58	0.35
25 años	4	0.6	3.8	1.72	0.38
50 años	4	0.6	4.2	1.90	0.42

II.6 MANEJO ACTUAL DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

La escorrentía superficial generada en el cuerpo del talud, fluye en el cuerpo del talud, hasta descargar en una canaleta triangular al pie de la estructura gavionada, esta canaleta triangular descarga en una canaleta trapezoidal, la cual finalmente llega hasta un cabezal de descarga. Estas canaletas no solo transportan la escorrentía superficial del talud, si no también reciben el drenaje superficial de la carretera.



Canaleta Triangular 1.9m de ancho y 0.30m de profundidad con una capacidad de 452 lts/seg (Tabla 2)

Canaleta Triangular 1.3 m de ancho superior, 0.5 m de base con una altura de 0.50m de profundidad con una capacidad de 981 lts/seg (Tabla 2)





Este sistema descarga en un pozo que conduce el agua por medio de una tubería de 0.84m de diámetro hacia el cabezal de descarga.

Para estimar la capacidad hidráulica de las canaletas trabajando al 100% se ha utilizado la ecuación de Manning:

$$Q = 1000 \times A \times S^{1/2} \times Rh^{2/3} / n$$

Donde

Q: Caudal en l/s
A: Área en m²
Pm: Perímetro mojado
Rh: Radio Hidráulico
S: Pendiente (m/m)
n: Coeficiente de rugosidad

Tabla 5. Calculo de capacidad de canaletas existentes

Canaleta	Área en m ²	Pm Perímetro mojado	Rh	Rh ^{2/3}	S(m/m)	S ^{1/2}	V = S ^{1/2} *Rh ^{2/3} /n m/s	Q = A*V*1000 l/s
Trapezoidal	0.45	1.94	0.23	0.38	0.03	0.17	2.18	980.83
Triangular	0.29	1.98	0.14	0.27	0.03	0.17	1.59	451.93

Cuando por falta de mantenimiento o por los efectos del arrastre de material suelto del cuerpo del talud, las canaletas son obstruidas, el agua fluye hacia la margen derecha de la carretera, incrementando la escorrentía sobre el talud en la referida margen, lo que provoca la erosión del talud y pone en riesgo la carretera. Este hecho ya ha ocurrido en el pasado y fue evidenciado en las visitas de campo al observar que en un tramo del talud de la margen derecha la erosión se encuentra a pocos metros de la carretera.



Erosión de talud de margen derecha y vista general del talud objeto de estudio

III. PROPUESTAS PRELIMINARES PARA EL MANEJO DEL AGUA

III.1 MANEJO DEL AGUA EN LA CORONA DEL TALUD

Para el manejo de las aguas lluvias en la corona del talud, se requerirá realizar una evaluación de detalle, con el objeto de definir la forma de controlar y drenar las aguas que fluyen hacia el cuerpo del talud y que pudiesen continuar provocando los flujos de escombros como los evidenciados en nuestra visita de campo. Para evitar futuros deslizamientos provocados por la acumulación de agua, sería recomendable la construcción de una berma de 3 metros de ancho, con un talud de 5 metros de altura máxima y una pendiente de acuerdo al tipo de material geológico presente en la corona. Al pie de la berma colocar una canaleta semitrapezoidal (1.00 metro de ancho superior, 0.50 metros de base y 0.50 metros de altura) acompañadas de bajantes para conducir el agua hasta la canaleta intermedia ya propuesta. La Berma anteriormente recomendada, se propone a lo largo de toda la corona.

III.2 MANEJO DEL AGUA EN EL CUERPO DEL TALUD

Se propone seleccionar en la parte media del talud, un sitio para la construcción de una canaleta transversal al cuerpo del talud “tipo trapezoidal” de mampostería de piedra, con sus respectivas bajantes hasta una canaleta de descarga principal. Durante las visitas de campo, se identificaron tres patrones de drenajes principales, se propone adecuar estos patrones naturales por medio de bajantes de mampostería de piedra con gradas disipadoras de energía. En la siguiente figura se presenta en forma

esquemática el drenaje propuesto. La ubicación de las canaletas y bajantes, así como su dimensionamiento final está en función de los resultados de pruebas de suelos y de la propuesta definitiva al pie del talud.



Dimensionamiento:

La canaleta transversal mostrada en el esquema anterior estaría recibiendo $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ dividido en 3 tramos, asumiendo una distribución uniforme, cada tramo estaría recibiendo $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$, cada tramo tendría una capacidad equivalentes al caudal antes mencionado, para lo cual se proponen las siguientes dimensiones:

Ancho mayor: 1.5 metros
Base: metros: 1.0 metros
Profundidad: 0.5 metros
Pendiente: 0.5%

Tabla 6. Capacidad hidráulica de canaleta transversal propuesta

Área en m^2	Pm Perímetro mojado	Rh	$Rh^{2/3}$	S(m/m)	$S^{1/2}$	$V = \frac{S^{1/2} \cdot Rh^{2/3}}{n}$ (m/s)	$Q = A \cdot V \cdot 1000$ (l/s)
0.75	2.62	0.29	0.43	0.005	0.07	1.02	0.76

Las bajantes, se proponen de un metro de 1.5 metros de ancho, con una altura de 0.8 metros. Las bajantes estarán descargando hacia una canaleta de descarga, la cual se describe a continuación.

III.3 MANEJO DEL AGUA EN LA BASE DEL TALUD

Se propone la construcción de una canaleta trapezoidal de mampostería de piedra, colocada previo a los gaviones existentes, con la capacidad de drenar la escorrentía de una tormenta con periodo de retorno de 50 años ($1.9 \text{ m}^3/\text{s}$) con las siguientes dimensiones:

Ancho mayor: 1.8 metros
Base: metros: 1.0 metros
Profundidad: 0.8 metros
Pendiente: 0.5%

Tabla 7. Capacidad hidráulica de canaleta de descarga propuesta

Área en m ²	Pm Perímetro mojado	Rh	Rh ^{2/3}	S(m/m)	S ^{1/2}	V = S ^{1/2} *Rh ^{2/3} /n (m/s)	Q = A*V*1000 (l/s)
1.44	2.93	0.49	0.62	0.005	0.07	1.47	2,1

En el extremo sur de la canaleta principal se propone la construcción de un cabezal de descarga, para incorporar el flujo proveniente de los taludes a la canaleta trapezoidal existente en la margen izquierda de la carretera, descrita en el numeral 2.6, del presente diagnóstico. El cabezal de descarga es una caja con gradas disipadoras de energía las dimensiones de la caja son: 1.80 metros de ancho (coincidiendo con el ancho de la canaleta), 1.00 metro de largo y de altura dependerá de la limpieza de la zona de escombros, ya que al momento no se tiene información de los espesores de escombros depositados en la zona.



Planteamiento del Diseño de las Obras de Mitigación



I. INTRODUCCION

Después de realizar los Estudios de suelos, topografía, geotecnia, hidrología, levantamiento de daños, fallas de talud, visitas al campo, elaboración de los planos de las alternativas propuestas, con la experiencia en trabajos similares por parte de nuestra empresa y empresas constructoras, así como tomando en consideración los resultados obtenidos con los sondeos rotativos adicionales aprobados por el propietario, se ha podido mejorar sustancialmente la alternativa 2 planteada en los primeros informes mensuales presentados, para ser convertida en nuestra solución para el diseño de las obras de mitigación. En función de lo anteriormente expuesto, se presenta el Diseño Final de las Obras de Protección más adecuadas para mitigar daños futuros que podrían afectar la transitabilidad del paso fronterizo El Salvador – Guatemala (Frontera Las Chinamas – Valle Nuevo)

II. PROPUESTA PLANTEADA

Esta propuesta, para fines de presupuesto, se dividirá en diferentes etapas de construcción, a cada una de las cuales se le asignarán sus respectivas prioridades para su construcción paulatina.

III.1 ETAPA I: MURO CON ANCLAJES ACTIVOS:

En general, la alternativa de diseño mantendrá como prioridad, la protección del lateral derecho o sector poniente del proyecto, iniciando desde la corona del talud con un sistema de anclajes activos, de una longitud lo suficientemente larga que nos garantice penetren dentro del estrato firme o resistente, sobrepasando la cuña de falla que ha generado los escarpados principales sobre la vía, este anclaje estará posteriormente protegidos con electromalla y concreto lanzado, a lo largo de la zona en donde ya se poseen deslizamientos avanzados, con un acho de aproximadamente 12.00 m y una longitud promedio de 80.00 ml, este muro anclado además poseerá su zapata y una berma de ancho variable, con su sistema de canalización de aguas lluvias. Posteriormente a esta zona, se deberá continuar con el perfilado del talud, evacuando los suelos sueltos existentes y rellenando en los sectores que así lo requieran, colocándose un recubrimiento para prevenir la erosión hídrica que pueda debilitar el cuerpo del talud. A lo largo del pie de este se colocará un muro de concreto inclinado, colindante con el Río Paz, anclado en la base del talud, de tal forma de prevenir que las crecidas de éste pongan en peligro la estabilidad de las masas de suelo que conforman el talud. Además de las obras anteriormente descritas, se colocarán muros gavionados, aguas arriba y aguas abajo, con el mismo fin de protección, tanto al inicio como al final del muro inclinado.

II.2 ETAPA II: MURO DE CONTRAFUERTE Y SISTEMA DE CATCHER:

En el lateral izquierdo o sector oriente, se iniciará el proyecto con la construcción de un muro de contrafuertes, dividido en dos (2) secciones, las cuales se detallan a continuación:

El primer tramo se cimentará sobre pilotes del tipo perforación previa de diámetro igual a 1.00 m y una longitud promedio igual a 7.50 m, sobresaliendo del nivel de la rasante en aproximadamente 5.90 m, entre pilotes/contrafuertes, en este último sector se colocará una pantalla de concreto con un espesor promedio igual a 0.15 m y sobre la parte superior de este se colocará un catcher de acero de 1.50 m de altura. Este tramo posee una longitud de aproximadamente 84.32 m. El siguiente tramo está definido por la zona en donde la pendiente del talud y los escombros generados por los deslizamientos, presentan menor peligro al usuario. Este será cimentado sobre pilotes de 3.50 m de longitud y 0.60 m de diámetro, sobresaliendo aproximadamente 4.20 m, con un catcher metálico de 1.50 m de altura. La pantalla de concreto poseerá un espesor de 0.15 m. Este tramo posee una longitud estimada de 117.74 m, la longitud total de la pantalla será de 202.06 m (ver detalle en planos ES- 4 a ES-6). Es de indicar que la pantalla de concreto mencionada se ubicará entre la calzada actual y el rostro del muro gavión existente, brindando soporte a las masas de suelo depositadas, mientras se realiza la construcción definitiva.

Se dejarán dos accesos a la parte posterior de este muro de contrafuertes, de tal manera de darle mantenimiento en caso de producirse nuevos deslizamientos. Cabe mencionar que una vez finalizada la construcción de este muro, se podrá proceder sin poner en peligro al usuario, ni a los trabajadores, al desalojo del material (suelo y roca) retenido en los muros gaviones y en el resto del cuerpo del talud, el cual ha sido producto de los diferentes deslizamientos y flujos de escombros.

II.3 ETAPA III: RECUBRIMIENTOS Y CATCHER:

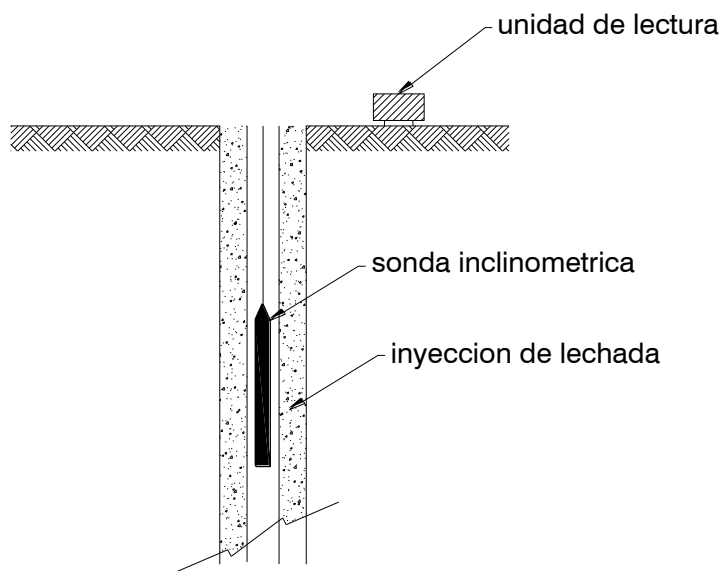
En el cuerpo del talud, se recomienda además de la limpieza de escombros, y material suelto depositado de los diferentes derrumbes producidos o provocados, la colocación de malla de doble torsión para controlar pequeños caídos de roca o conglomerados. En la zona de derecho de vía y al oriente de la primera fila catcher, partiendo del centro de la carretera a una distancia de 30 m, se construirá la siguiente cortina metálica de catcher para detenerlos flujos de rocas y escombros a base de columnas metálicas perfiles w 6x12 anclados a la roca y unidos entre ellos por medio de cables verticales y horizontales de 3/8" y 5/8" galvanizados para no dejar pasar rocas medianas y/o pequeñas. La altura promedio de los catcher será de 1.50 a 2.50 m.

II.4 OBRAS DE DRENAJE:

Estas obras se complementarán con un sistema de drenaje para la adecuada canalización de las aguas lluvias en forma controlada y consistirá en dos canales en gradas verticales de concreto armado y tres longitudinales de mampostería de piedra, con sus respectivas gradas disipadoras y cabezal de descarga. Adicionalmente el cuerpo del talud colindante con el Río Paz, será dotado de un sistema de drenaje para la evacuación de las aguas pluviales (ver planos estructurales anexos)

II.5 INSTRUMENTACION:

En la zona de corona del talud, se deberá realizar un sondeo de 25.00 m de profundidad, con una tubería de diámetro interior mínimo de 2.75" con acoples, para la instalación del inclinómetro. Es de indicar que este será ubicado en la corona del talud, dentro de la perforación ya ejecutada y estabilizada se colocará la tubería inclinométrica, posteriormente se inyectará lechada de cemento, de abajo hacia arriba para envolver la tubería y asegurar un adecuado contacto entre el tubo y las paredes de la perforación. El propósito de esta tubería es el de proveer un acceso a la sonda que efectuará mediciones que pudieran indicar posibles deformaciones o cambios en el comportamiento del talud. Se recomienda que el inclinómetro tenga una longitud de cable de 50.00 m, una resolución de 0.005 mm por cada 500 m, precisión de ± 2 mm cada 25.00 m y con una longitud de sonda promedio de 710 mm, con conexión a mini computadora de alta resistencia.



Esquema de Inclinómetro Propuesto



Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C.V.

Ingenieros Consultores

Este pozo de monitoreo propuesto y al poseer inclinómetro de última generación, servirá al iniciar las lecturas y llevar su registro, detectar deformaciones o cambios que pudiesen darse con el tiempo, lo que permitirá tomar medidas remediales pertinentes. Con el inclinómetro recomendado se poseerá la ventaja que este podrá ser utilizado en otros proyectos que sean administrados por el FOVIAL o el MOP, contribuyendo a poseer una información rápida y oportuna de cualquier anomalía que se de en los proyectos en que se tenga a bien INSTRUMENTAR.

II.6 PRESUPUESTO:

El presupuesto final de estas obras planteadas, por cada una de las etapas propuestas se define en la siguiente tabla:

PROYECTO: LAS CHINAMAS		
FECHA: 12 de octubre de 2011		
ITEM	DESCRIPCIÓN	
ETAPA I	TALUD PONIENTE (Muro con Anclajes activos y muro inclinado)	\$1013,449.92
ETAPA II	TALUD ORIENTE hasta 30.0m del eje de calle (Muros y canaletas con Catcher)	\$728,191.83
ETAPA III	TALUD ORIENTE después de los 30.0m del eje de calle	\$654,760.12
TOTAL SIN IVA		\$2396,401.87
I.V.A (13%)		\$311,532.24
COSTO TOTAL		\$2707,934.11



ANEXOS
