

**ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR 10+ 0850 DE LA VÍA SAN GIL– MOGOTES – SAN
JOAQUÍN –ONZAGA.**

CARLOS RENE SANTAMARÍA RODRÍGUEZ

Trabajo de grado para optar al título de Magister en Geotecnia



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO – MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2012**

**ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR 10+ 0850 DE LA VÍA SAN GIL– MOGOTES – SAN
JOAQUÍN –ONZAGA.**

Elaborado por:

ING. CARLOS RENE SANTAMARÍA RODRÍGUEZ

Trabajo de grado para optar al título de Magister en Geotecnia



DIRECTOR: PHD, ING. VLADIMIR MERCHÁN

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO – MECANICAS**

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

BUCARAMANGA

2012

DEDICATORIA

A mi esposa e hijos, porque me acompañaron en este proceso y supieron entender mis ausencias y siempre me dieron las fuerzas necesarias para no desfallecer.

A mis padres, que sus consejos siempre me enseñaron que el mejor capital es el estudio.

Mil Gracias.

CARLOS RENE SANTAMARIA RODRIGUEZ

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Jaime Suarez, el cual con su inspiración y algo de "locura" sembró la semilla de este excelente programa de Maestría en Geotecnia de la Universidad Industrial de Santander para el servicio del oriente Colombiano.

Al ingeniero Wilfredo del Toro, que desde su acertada dirección de la Maestría supo cimentar las bases para fortalecerla y continuarla.

A mis compañeras y compañeros de la Primera Cohorte, con los cuales compartí, reí, llore y aprendí unos nuevos "trucos" para entender la geotecnia.

¡A todos Muchas Gracias!

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. OBJETIVOS Y ALCANCES	15
2.1 OBJETIVO GENERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2.3 ALCANCES.	16
2.4 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	16
3. METODOLOGÍA.....	17
3.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO.	17
3.2 RECONOCIMIENTO DE CAMPO.....	17
3.3 ELABORACIÓN INFORME FINAL.....	17
4. GENERALIDADES DEL PROYECTO	18
5. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	21
5.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	22
5.2 DESCRIPCIÓN DEL TALUD.	22
5.3 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS.	22
5.4 NIVELES FREÁTICOS.	22
6. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL TALUD EN ESTUDIO	23
7. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS GENERALES.....	24
7.1 ESTRATIGRAFÍA	25
a) Formación Tambor (kita).....	25
b) Formación Tablazo (kit).....	26
c) formación Rosablanca (kir).....	27
7.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	27
7.2.1 FALLA RIACHUELO:.....	28
7.3 GEOLOGÍA LOCAL	28

8. INVESTIGACIONES DE CAMPO	29
8.1 SONDEOS GEOTÉCNICOS.....	29
9. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	36
10. ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES	38
10.1 MODELO Y SOFTWARE UTILIZADO.	38
10.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA	39
10.3 EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE	40
10.4 ESCENARIO PSEUDOESTÁTICO	41
10.5 CALIBRACIÓN DEL MODELO, TALUD ANTES DE LA FALLA.	41
10.6 PROPIEDADES UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS:.....	42
10.7 MODELO GEOTÉCNICO EN SLOPE W TALUD SATURADO NIVELES DE PRESIÓN DE POROS.....	45
10.8 GRAFICA DEL FACTOR DE SEGURIDAD.....	46
11. MODELO GEOTÉCNICO EN PLAXIS 8.2	47
11.1 ANÁLISIS DE ESFUERZOS	47
11.2 PROPIEDADES UTILIZADAS PARA EL ANALISIS.....	47
11.3 MODELO GEOTÉCNICO EN PLAXIS TALUD SATURADO NIVELES DE PRESIÓN DE POROS.....	48
12. PROPUESTAS DE LAS POSIBLES OBRAS DE MITIGACIÓN	51
12.1 ALTERNATIVA 1: MURO DE CONTENCIÓN	51
13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	62

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: sondeo geotécnico.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 2: Valores de SPT corregidos</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3: Ensayos de humedad.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 4: Límites de Atterberg</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 5: Resultados granulométricos de los apiques</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 6: Resultados Límites de Atterberg y clasificación de los apiques</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 8: Características físicas típicas de diversos suelos</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 9: Valores de diseño finales de las unidades geológicas para el modelamiento</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 10: Criterios de Evaluación de Amenaza</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 11: Características sísmicas.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 12: Propiedades de suelo para modelación en GEO-SLOPE.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 13: Valores de factor de seguridad, con ϕ (ψ) vs cohesión (c')</i>	<i>.....</i>
<i>Tabla 14: Propiedades de suelo para modelación en GEO-SLOPE.....</i>	<i>47</i>

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Vista general del deslizamiento, se observa parte de la banca de la vía en la parte inferior del deslizamiento.</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 2: Vista general del deslizamiento, se observa el desplazamiento de la mitad de la banca de la vía.</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 3: Vista del descole de una alcantarilla localizada en uno de los costados del fallo, no se observaron grietas en el muro.</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 4: Estado actual del talud.</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 5: Localización general del proyecto.</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 6: Localización general del proyecto.</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 7: Mapa geológico de la zona de estudio (Mapa Geológico de Ingeominas)</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 8: Fotografía del tipo de material presente en la superficie de falla (lutitas grises oscuras, altamente diaclasadas y meteorizadas).</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 9: Perfiles de consistencia de los materiales inferidos de los valores de SPT.</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 10: recolección de muestra.</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 11: Análisis de estabilidad estático, Talud saturado.</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 12: Modelo geotécnico en Slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga vía de 5KN/m2</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 13: Detalle Falla crítica.</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 14: Modelo geotécnico en Slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga sísmica de 0.13g + carga vía de 8KN/m2, talud saturado.</i>	<i>44</i>
Ilustración 15: Detalle Falla crítica.	45
<i>Ilustración 16: Presión de poros talud saturado.</i>	<i>45</i>
Ilustración 17: grafica factor de seguridad.	46
<i>Ilustración 18: Presión de poros talud saturado.</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 19: Análisis deformación, talud saturado.</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 20: Desplazamientos totales vectorialmente.</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 21: Grafica desplazamiento total en la vía.</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 22: factor de seguridad generado en Plaxis.</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 23: Localización de las obras recomendadas en planta</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 24: Perfil típico de obras recomendadas</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 25: Detalle de la sección transversal del caisson</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 26: Detalle del muro en concreto armado cimentado sobre caissons.</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 27: Detalle geometría muro de concreto armado</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 28: Perfil del canal en concreto y piedra pegada.</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 29: Detalle del canal en concreto y piedra pegada</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 30: Detalle del muro en gaviones</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 31: Detalle de la revegetalización</i>	<i>56</i>
Ilustración 32: Escenario estático.	57
Ilustración 33: detalle muro de contención, con caissons.	58
<i>Ilustración 34: Representación mediante Plaxis del perfil con obras</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 35: Presión de poros talud con obras.</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 36: Deformación total del talud con obras.</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 37: factor de seguridad, posible falla con obras de mitigación.</i>	<i>60</i>

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: MAPA DE EJES VIALES DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER.....	65
ANEXO B: RETRO CÁLCULO.....	66
ANEXO C: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	67
ANEXO D: PERFILES CON OBRAS.....	88

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR 10+ 0850 DE LA VÍA SAN GIL- MOGOTES - SAN
JOAQUÍN -ONZAGA.*

AUTORES: CARLOS RENE SANTAMARIA RODRIGUEZ**

PALABRAS CLAVES: Amenaza, Deslizamiento, Talud, Geo - Slope, Factor de Seguridad, Mohr
Coulomb, Estabilidad, métodos analíticos, elementos finitos.

DESCRIPCIÓN

El presente estudio se realizó con el fin determinar el nivel de amenaza de un talud ubicado en el K 10+ 850 de la vía SAN GIL- MOGOTES-SAN JOAQUIN- ONZAGA. en el Departamento de Santander.

El talud se encuentra en una zona correspondiente a un paisaje de relieve montañoso estructural erosional, mostrando un patrón de fracturamiento asociado a la tectónica regional, conformado en su geología principalmente por rocas sedimentarias, en las cuales se evidencia la presencia de la Formación Rosablanca (Kir), proveniente del periodo cretáceo y Depósitos Coluviales (Qc), provenientes del periodo cuaternario. Debido a los evidentes problemas de erosión y estabilidad presentes en el talud es necesario analizar y determinar el nivel de amenaza de este, para así proponer un diagnóstico preciso y un diseño efectivo que mitigue este problema.

El estudio se llevó a cabo en diferentes etapas, la primera consistió en un reconocimiento previo del área afectada; la segunda etapa fue la recopilación de información existente de la zona en estudio y la tercera etapa consistió en la ejecución y clasificación de los apiques realizados en los sectores más críticos del talud.

Posterior a estas etapas se analizó los resultados obtenidos, hallando los parámetros de resistencia del suelo y así poder evaluar el nivel de amenaza actual y los posibles factores que influyeron en la inestabilidad del mismo a través de software GEO/SLOPE. Así mismo se utilizó el software PLAXIS para estimar las deformaciones ocurridas por el terreno a lo largo del talud.

Obtenido el grado de amenaza presente en el talud se planteó la mejor alternativa de obra que mitigara la inestabilidad y vulnerabilidad de la zona, garantizando así la seguridad para los usuarios que transitan en esta vía.

* Tesis de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Vladimir Merchán.

SUMMARY

TITLE: EVALUATION GEOTECHNICAL INSTABILITY PROBLEMS SUBMITTED PR 10 + 0850 OF THE ROAD SAN GIL-MOGOTES - SAN JOAQUIN-ONZAGA.*

AUTHORS: CARLOS RENE SANTAMARIA RODRIGUEZ **

KEYWORDS: Threat, Landslide, Slope, Erosion, Geo/slope, Safety Factor, Mohr Coulomb, Stability.

DESCRIPTION

The present study was conducted to determine the threat level of a bank located in the K 10 + 850 road-MOGOTES SAN GIL-SAN JOAQUIN-Onzaga. in the Department of Santander.

The slope is located in an area corresponding to a structural mountainous landscape erosional, showing a pattern of fracturing associated with regional tectonics, geology consists mainly in sedimentary rocks, which showed the presence of Vocational Rosablanca (Kir), from the Cretaceous period and colluvial deposits (Qc) from the quaternary period. Due to the obvious problems of erosion and slope stability in the present is necessary to analyze and determine the threat level of this in order to propose an accurate diagnosis and an effective design that mitigates this problem.

The study was carried out in several stages, the first was a preliminary recognition of the affected area, the second stage was the collection of information existing in the study area and the third step was the implementation and classification made apiques the most critical sectors of the slope.

After these steps are analyzed the results and found the soil strength parameters and thus to assess the current threat level and potential factors that influenced the instability of the same software through GEO / SLOPE. Likewise PLAXIS software was used to estimate the ground deformations occurring along the slope.

Retrieved present threat level was raised in the slope of the best alternative work that mitigate the instability and vulnerability of the area, ensuring safety for users who travel on this road.

* Senior thesis

**Faculty of Physical Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Vladimir Merchán.

1. INTRODUCCIÓN

El Departamento de Santander es susceptible a la ocurrencia de deslizamientos debido a diversos factores relacionados con las condiciones del suelo tales como: topografía, meteorización, sismicidad y lluvias intensas que hacen que el suelo se sature, debilite los estratos y produzca fallas en los taludes, estimulando el suelo al colapso en algunos casos.

El presente documento corresponde al estudio de estabilidad de taludes y calibración del modelo geológico geotécnico, localizado sobre la vía que conduce de San Gil- Mogotes a la altura de PR 10+850.

En el presente se consignan los estudios de geología, geomorfología y zona críticas del tramo vial ubicado en PR10+850 en la vía San Gil-Mogotes, carretera que une éstos municipios, en los que se indican las condiciones tanto regionales como locales o a nivel de la vía misma; Debido a esto, es importante comprender el nivel de amenaza que presenta este talud para de esta manera plantear posibles obras que mitiguen dicho fenómeno.

La evaluación de Amenaza por fenómenos de remoción en masa se realizó por medio de los factores de seguridad de las laderas en la zona de estudio. El modelo fue generado a través del software SLOPE/W, de GEO-SLOPE, que usa la teoría del Equilibrio Límite para calcular el factor de seguridad de taludes de tierra y roca, en condiciones estáticas y pseudoestáticas (sismo); así mismo se utilizó el software Plaxis v 8.5 versión profesional, para hallar las deformaciones y desplazamientos del talud por medio de elementos finitos.

2. OBJETIVOS Y ALCANCES

2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo del presente estudio es establecer las condiciones de estabilidad y recomendar obras que garanticen el buen funcionamiento de la vía San Gil - Mogotes Pr 10+850 del Departamento de Santander estudiando y definiendo las actividades a ejecutar con tal de obtener, de ser posible, una solución definitiva o plantear las obras de mitigación del punto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir la estratigrafía, la geología estructural y los elementos hidrológicos en la zona en donde se encuentra el talud analizado.
- Calcular los factores de seguridad al deslizamiento de los taludes.
- Calcular los desplazamientos efectuados por el talud en estudio.
- Identificar las variables del problema para apreciar el estado más crítico del talud con base a los conocimientos previos.
- Diseñar alternativas de mitigación reales y eficientes, con base en los conocimientos y estudios obtenidos durante la Maestría, generando una solución apropiada real económica, eficiente y segura y de ser posible definitiva a este punto crítico.

2.3 ALCANCES.

Para la elaboración del estudio se realizaron sondeos y levantamiento topográfico detallado, y ensayos de laboratorio, se analizó la geología regional local, así como las características geomorfológicas de la zona. Debe tenerse en cuenta que en el desarrollo del proyecto pueden detectarse algunas condiciones específicas que no fueron identificadas en el momento de la realización del estudio.

Es importante que un ingeniero geotecnista realice un acompañamiento durante la construcción del proyecto, para confirmar si las hipótesis del estudio corresponden a las condiciones encontradas.

2.4 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

- Análisis de toda la información secundaria disponible, especialmente la topografía, los estudios geológicos y geotécnicos de la zona de estudio.
- Representación gráfica de los resultados obtenidos en los ensayos por medio del modelamiento del talud en Software.

3. METODOLOGÍA

En la realización del presente estudio se siguieron las siguientes etapas:

3.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO.

En esta etapa se recopilaron y consultaron informes, mapas regionales y locales, bibliografía relacionada con el proyecto.

3.2 RECONOCIMIENTO DE CAMPO.

Esta etapa fue llevada a cabo a mediados de junio del 2012, habiéndose efectuado el recorrido de la vía en ambos sentidos, identificando los terrenos geológicos utilizando el mapa geológico preliminar, reconociendo las formaciones existentes y geoformas principales del terreno, los eventos críticos recientes (socavamientos, derrumbes, deslizamientos) y la posible influencia estructural en el comportamiento de la vía. Se hizo control topográfico y se tomaron fotografías a color como material de apoyo. También se realizaron observaciones desde puntos estratégicos.

3.3 ELABORACIÓN INFORME FINAL.

Con base en la información previa recopilada se elaboró un texto borrador en microcomputador el cual fue complemento con las observaciones de campo, resultados de la fotointerpretación realizada y el apoyo de las fotos de campo, hasta llegarse a la versión definitiva.

4. GENERALIDADES DEL PROYECTO

Luego de la Ola Invernal que presencié el Departamento de Santander en los años 2010 y 2011, se ratificó la importancia de identificar y actuar en los sitios de riesgo inminentes por los deslizamientos de los taludes en la infraestructura vial, que pudieran ocasionar daños a los usuarios de la vía e interrupción de la conectividad entre las ciudades de la zona; haciendo necesaria la prevención y mitigación de corto, mediano y largo plazo, centradas en la aplicación de la geotecnia en especial en el talud en estudio ubicado entre el K10+750 al K10+850 de la vía San Gil – Onzaga.

La problemática consiste en un deslizamiento de tipo complejo con tendencia rotacional (ver Figura 1) comprometiendo media banca de la vía en el talud inferior como se observa en la Figura 2. Por otra parte, la alcantarilla aledaña al deslizamiento no sufrió procesos de inestabilidad (Figura 3)



Ilustración 1: Vista general del deslizamiento, se observa parte de la banca de la vía en la parte inferior del deslizamiento.



Ilustración 2: Vista general del deslizamiento, se observa el desplazamiento de la mitad de la banca de la vía.



Ilustración 3: Vista del descole de una alcantarilla localizada en uno de los costados del fallo, no se observaron grietas en el muro.

El Departamento de Santander se encuentra adelantando una inversión para efectuar el mejoramiento y pavimentación de la vía San Gil - Mogotes – Onzaga. La ejecución que se estaba avanzando sobre el trayecto vial, fue interrumpida a causa de la Ola Invernal, la cual produjo infiltración y activó movimientos de grandes masas, desestabilizando taludes en el trayecto vial dependiendo de la geotecnia de cada uno de ellos.

Ilustración 4: Estado actual del talud



Fuente: Autor

5. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO



Ilustración 5: Localización general del proyecto

5.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.

El talud se encuentra localizado en PR10+850 de la vía San Gil – Onzaga departamento de Santander-Colombia.

5.2 DESCRIPCIÓN DEL TALUD.

En general se observó un perfil de suelos correspondiente a lutitas altamente meteorizadas, de la formación Rosablanca, susceptibles a pérdidas de resistencia y rigidez por efectos del agua y con fisibilidad importante.

La geología de la zona Presencia de niveles freáticos sub superficiales. Esto puede variar según presenten lluvias en la zona. El talud presenta Ausencia de estructuras de contención en el talud inferior de la vía.

5.3 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS.

La zona donde se encuentra PR10+850, corresponde a una ladera de pendiente media - alta, donde existe fuerte intervención antrópica que afecta el comportamiento de los suelos en el sitio.

Se realizó un levantamiento topográfico detallado de la zona de estudio, teniendo en cuenta los elementos existentes dentro del área, con curvas de nivel cada metro, que permiten la optimización de los modelos geológico – geotécnico.

5.4 NIVELES FREÁTICOS.

El perfil de suelo se considera relativamente bien drenado ya que existe una alcantarilla aledaña; Sin embargo, el talud, generalmente se encuentra en estado, húmedo debido a la quebrada cercana; el nivel freático se evidencio en el talud de forma subsuperficial.

6. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL TALUD EN ESTUDIO

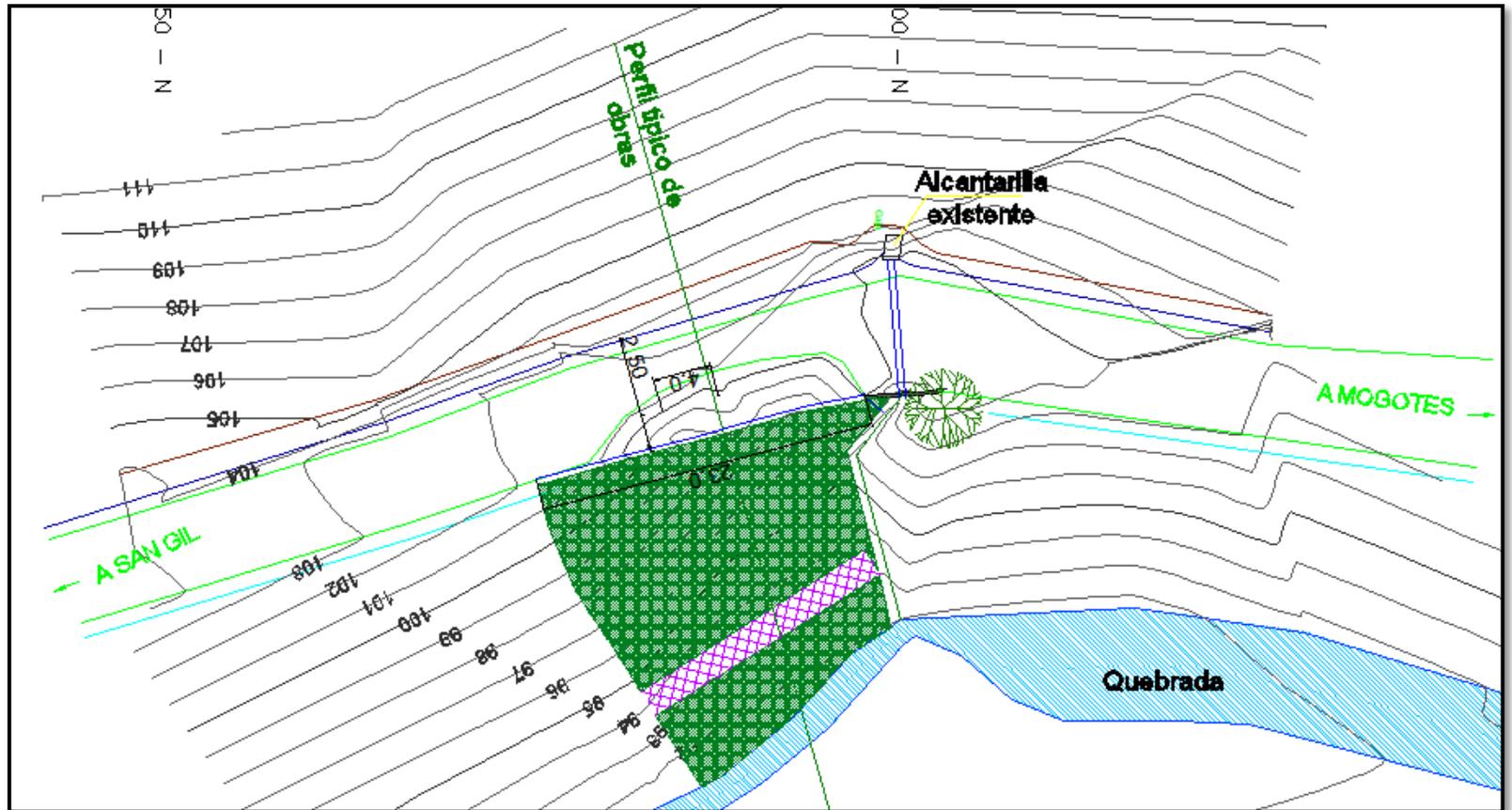
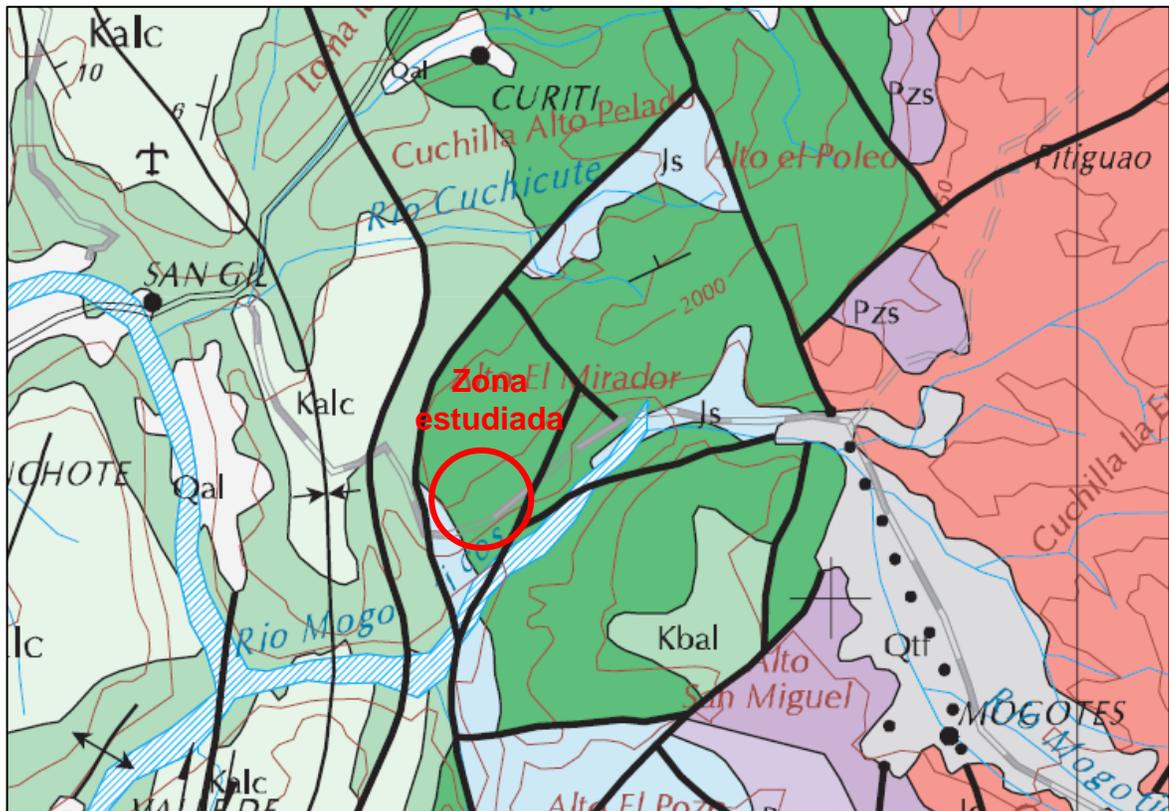


Ilustración 6: Localización general del proyecto.

7. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS GENERALES

Regionalmente el área estudiada incluye unidades lito estratigráficas de origen sedimentario, tipo Rosablanca (Kir), Tablazo (Kit) y Tambor (Kita)



Kbeh

FORMACIONES LOS SANTOS (TAMBOR),
CUMBRE, ROSA BLANCA.
Areniscas, limolitas, calizas, lutitas, con
niveles conglomeráticos y evaporíticos,
continentales y epicontinentales.

Ilustración 7: Mapa geológico de la zona de estudio (Mapa Geológico de Ingeominas)

Localmente se reconocieron rocas de la formación Rosablanca (Kir), consistentes en lutitas de color gris oscuro altamente fracturadas y meteorizadas como se observa en la siguiente figura.



Ilustración 8: Fotografía del tipo de material presente en la superficie de falla (lutitas grises oscuras, altamente diaclasadas y meteorizadas).

7.1 ESTRATIGRAFÍA

Se realizara a continuación una descripción de las unidades geológicas presentes en el talud.

a) Formación Tambor (kita).

Fue estudiada por Ward et al (1973) quien la cartografió en los alrededores de la Mesa de los Santos, aplicándole el nombre Tambor a todas las areniscas que forman la parte baja del Cretáceo y afloran al norte de la región de mesa y

Cuestas. Cediél (1968) propone el termino Formación los Santos para referirse a los estratos del Tambor que afloran en la Mesa de los Santos. Mientras se somete a un examen minucioso referente a esta unidad, se ha optado por llevar la Formación hasta la unión de los ríos Mogoticos y Guare. Esta Formación ha sido datada dando una edad del Cretáceo (Berriasiano al Hauteriviano), cuyos afloramientos se encuentran restringidos a las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental.

b) Formación Tablazo (kit)

Descrita por O.C. Wheeler (en MORALES, L. et al., 1958) y la localidad tipo está en el sitio Tablazo, en el puente del cruce del Río Sogamoso de la vía Bucaramanga-San Vicente. La secuencia de esta unidad consiste de calizas gris a negras, fosilíferas, localmente glauconíticas y arcillosas de color negro, con niveles intercalados de arcillolitas grises a gris azulado, calcáreas, fosilíferas, en capas medianas a gruesas, con intercalaciones de arenisca grises, grano fino a medio, arcillosas, levemente calcáreas, en capas delgadas. El ambiente de depósito parece corresponder a condiciones neríticas, pocas profundas. El espesor varía entre 150 y 325 m y su edad es considerada del Aptiano superior-Albiano inferior. Esta unidad en parte es crono estratigráficamente correlacionable con las formaciones Tibú-Mercedes y Aguardiente.

En el área de estudio aflora al Occidente y Suroccidente de la cabecera del Municipio de Onzaga, en pequeñas franjas en un sector de la vereda Santa Lucia y San Roque. Macroscópicamente se observan calizas duras, azulosas, fosilíferas con alternancia de areniscas grisáceas de grano fino y shales grises oscuros.

c) formación Rosablanca (kir)

Descrita originalmente por Wheeler (1929) y estudiada en detalle por Cardozo y Ramírez (1985) en la región de Villa de Leiva (Boyacá) y Gámbita (Santander), según Morales, et al.(1958) su nombre se deriva del Cerro Rosablanca, sin embargo se encuentra una sección bien expuesta en el Cañón del Río Sogamoso, donde se determinó un espesor de 425m constituida esencialmente por calizas. En el resto de Santander está distribuida indistintamente y sus mejores expresiones se observan en el flanco del Anticlinal de los Cobardes y en la parte media de los Cañones del Chicamocha y Suárez.

Según la sección tipo está compuesta en su parte inferior por capas de caliza y yeso con oolitos, ostrácodos y dolomías; hacia la parte superior consta de areniscas y lodolitas calcáreas. En la parte inferior presenta depósitos evaporíticos como yeso y polialita que indican una hipersalinidad y tranquilidad en las condiciones de depositación; el resto de la secuencia se depositó en un medio marino somero en condiciones neríticas. El espesor varía de 150 a 425 m. La edad comprende el intervalo Valanginiano - Hauteriviano inferior (ETAYO, 1968; ETAYO y RODRIGUEZ, 1985). Litológicamente es comparable con la Formación Tibú-Mercedes del Catatumbo-Maracaibo.

Localmente se reconocieron lutitas grises oscuras muy meteorizadas en directamente sobre el deslizamiento y en los taludes aledaños.

7.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La tendencia estructural es compresional, generando una serie fallas locales con dirección predominante NE-SW, NW-SE y unos pequeños sinclinales y anticlinales que afectan principalmente a rocas del Cretáceo. Las estructuras locales hacen parte de una orogenia compleja de la región andina que modela el territorio. No se

han estudiado a detalle por lo tanto no están definidas con nombres ni características específicas. La zona de estudio se encuentra enmarcada dentro del sistema de fallas Riachuelo - Curití.

7.2.1 FALLA RIACHUELO:

Esta falla se localiza en el sector suroccidental de Santander y se extiende por más de 55 Km en dirección NNE desde los alrededores de Virolín al Sur hasta el Occidente de Onzaga. Esta falla de tipo inverso con inclinación al Occidente, es desplazada por otras transversales de menor importancia y enfrenta rocas de edad paleozoica, jurásica y cretácica. Atraviesa el territorio de Onzaga en dirección N-NE afectando rocas principalmente del Jurásico y Cretácico enmascarándose en los depósitos inconsolidados al Noroccidente del casco urbano.

7.3 GEOLOGÍA LOCAL

A continuación se presenta una descripción de los suelos observados en campo y su ubicación estratigráfica, realizando un breve análisis de la geología en términos litológicos, la geomorfología.

Los ensayos de compresión simple arrojan resultados variables influenciados por el grado de meteorización de la roca lo cual genera muestras con gran cantidad de discontinuidades arrojando valores bajos de compresión simple de hasta 0,30 Kg/cm² y 0,70 Kg/cm². Para profundidades entre 8 a 10 m, esta condición muy fracturada del macizo rocoso

8. INVESTIGACIONES DE CAMPO

8.1 SONDEOS GEOTÉCNICOS

- Se realizaron visitas de inspección a la zona de estudio con el objeto de determinar las características físicas, geológicas y geotécnicas que afecten la estabilidad general de la vía y el talud.
- Se realizaron dos sondeos a percusión en tramos de 50 centímetros de longitud realizando ensayos de penetración estándar SPT en cada uno de los tramos.

Los sondeos se localizaron sobre el perfil deslizado 5.1 metros por debajo de la vía existente, en la parte central del movimiento.

Tabla 1: sondeo geotécnico

Profundidad	No de Golpes		
m	6	12	18
0 - 0,5	0	0	0
0,5 - 1,0	0	1	1
1,0 - 1,5	3	4	4
1,5 - 2,0	5	6	8
2,0 - 2,5	6	6	11
2,5 - 3,0	16	20	11
3,0 - 3,5	16	30	45
3,5 - 4,0	R	R	R
4,0 - 4,5			
4,5 - 5,0			
5,0 - 5,5			
5,5 - 6,0			

Se analizaron los sondeos y se escogió el sondeo numero dos como el que mejor representa el perfil de suelo del deslizamiento.

Profundidad	No de Golpes			
	m	6	12	18
0 - 0,5	0	0	0	0
0,5 - 1,0	0	1	1	1
1,0 - 1,5	2	3	5	5
1,5 - 2,0	6	7	7	7
2,0 - 2,5	5	7	8	8
2,5 - 3,0	15	14	12	12
3,0 - 3,5	16	20	15	15
3,5 - 4,0	17	19	16	16
4,0 - 4,5	18	21	19	19
4,5 - 5,0	19	19	20	20
5,0 - 5,5	18	21	20	20
5,5 - 6,0	20	25	28	28
6,0 - 6,5	30	30	34	34
6,5 - 7,0	38	45	R	R

Tabla 2: Valores de SPT corregidos

A continuación se muestra el proceso de análisis para la corrección del ensayo SPT. A partir de un estimado de la consistencia de los materiales se determinó un perfil básico para la ubicación de obras de mitigación (ver Figura 7).

Localización	5,1	debajo nivel de la vía				Pesa	140	lb		
Cota	96					tubería	AW			
nh	45	Eficiencia martillo				Caída libre	30	in		
hb	1	Corr. Diámetro perforación				long. Toma	18	in		
ns	1	Corrección muestreador				diámetro	1,33	in		
nr	0,75	Corrección longitud barra								
γ	18	kN/m ³								
N.F.	1	m	Consistencia				Granular			
Prof	N	N60	Cota	arcillas	so	Pw	so_efectivo	CN	(N1)60	ϕ'
0,5	0	0,00	95,50	muy blanda	9	0	9	1,00	0,00	0
1	1	0,56	95,00	muy blanda	18	0	18	1,00	0,56	18
1,5	8	4,50	94,50	Blando	27	4,905	22,095	1,00	4,50	33
2	14	7,88	94,00	Medio firme	36	9,81	26,19	1,58	12,48	37
2,5	15	8,44	93,50	Medio firme	45	14,715	30,285	1,54	12,95	38
3	26	14,63	93,00	firme	54	19,62	34,38	1,49	21,77	42
3,5	35	19,69	92,50	firme	63	24,525	38,475	1,44	28,43	45
4	35	19,69	92,00	firme	72	29,43	42,57	1,40	27,62	44
4,5	40	22,50	91,50	muy firme	81	34,335	46,665	1,36	30,68	45
5	39	21,94	91,00	muy firme	90	39,24	50,76	1,33	29,10	45
5,5	41	23,06	90,50	muy firme	99	44,145	54,855	1,29	29,79	45
6	53	29,81	90,00	muy firme	108	49,05	58,95	1,26	37,51	47
6,5	64	36,00	89,50	Dura	117	53,955	63,045	1,23	44,16	49
7	45	25,31	89,00	Dura	126	58,86	67,14	1,20	30,29	45

De los ensayos de laboratorio en términos del contenido de humedad y de los límites de Atterberg (Tablas 4 y 5), se puede concluir que el material arcilloso que conforma la roca es poco susceptible a sufrir cambios volumétricos importantes por efectos de los cambios de humedad.

Tabla 3: Ensayos de humedad

Sondeo	Prof. (m)	W%
2	2.00 a 3.00	15.79
2	4.00 a 5.00	10.86
2	6.00 a 7.00	10.08

Tabla 4: Límites de Atterberg

Sondeo	% Finos	% L.L.	% L.P.	% I. P.	Clasificación S.U.C.S.
2	34.2	29.2	20.7	8.5	SC-SM

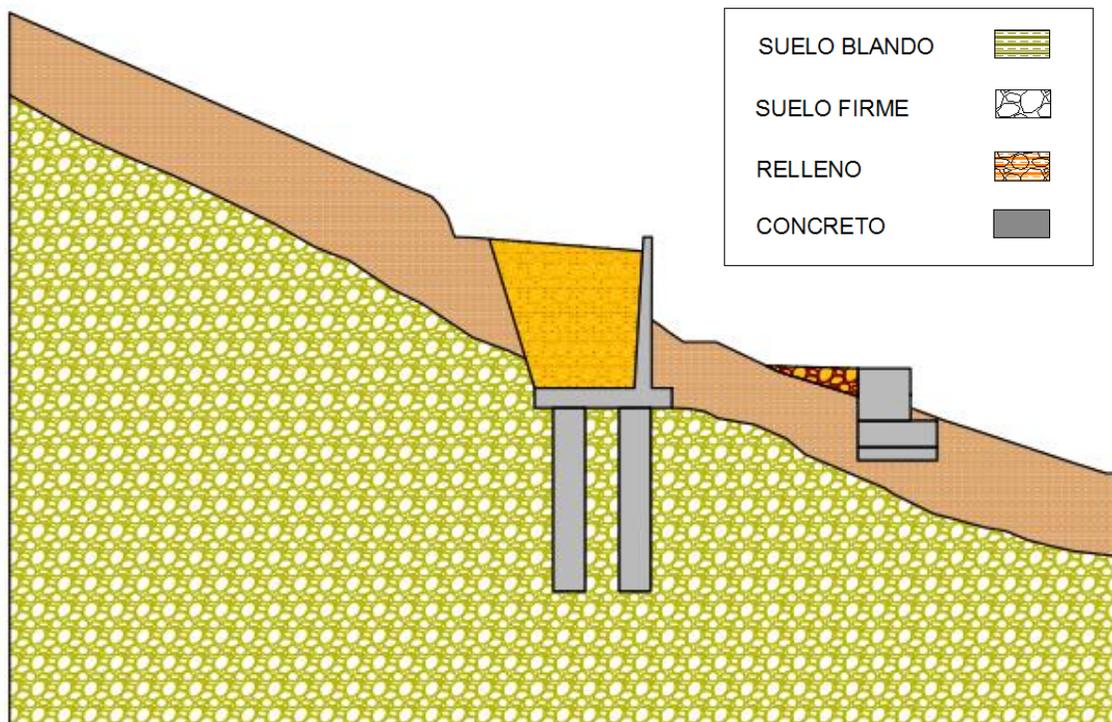


Ilustración 9: Perfiles de consistencia de los materiales inferidos de los valores de SPT.

Los estudios geotécnicos se aplican a los materiales obtenidos como muestras del talud de estudiado por medio de ensayos de laboratorio, como son: ensayo de humedad, límites de Atterberg, granulometría y resistencia al corte, siendo estos necesarios para obtener la clasificación y parámetros de resistencia del suelo.

Para la recolección de muestras se realizó dos apiques en las ubicaciones de la zona de estudio (Ilustración), de cada una de estas excavaciones manuales se recolectaron muestras de bloque, conservándolas por separado en bolsas herméticas, para realizar los respectivos ensayos de laboratorio mencionados anteriormente y obtener los siguientes resultados. Véase Anexo.



Ilustración 10: recolección de muestra

8.1.1 Humedad

La determinación del porcentaje de agua contenido en un suelo se realiza obteniendo una parte de la muestra tomada del talud y evaluando el peso de la misma antes y después del proceso de secado.

$$W_{(\text{Humedad})} = \frac{\text{peso muestra humeda}}{\text{peso muestra seca}} \times 100\%$$

Sabiendo que la resistencia de un suelo varía de acuerdo a su humedad determinada en la mayoría de los casos por la presencia del nivel freático. Teniendo presente que un suelo con alto contenido de humedad generalmente resiste menos carga que el mismo suelo a un grado de humedad menor.

8.1.2 Granulometría

La granulometría de un talud consiste en hacer pasar una parte de muestra del suelo previamente lavada y secada, por una serie de tamices normalizados en orden sucesivo de mayor a menor abertura del tamiz y luego someterlos a una vibración constante, quedando retenida parte de la muestra en cada tamiz, los cuales se graficaran en porcentajes contra los diámetros de las mallas.

Este ensayo nos permite determinar el porcentaje de finos, arenas y gravas que conforman cada muestra, para su posterior clasificación.

A continuación se presentaran los resultados de los ensayos granulométricos realizados:

Tabla 5: Resultados granulométricos de los apiques

	GRANULOMETRÍA [%]		
	Gravas	Arenas	Finos
APIQUE 1	0.43	7.44	92.13
APIQUE 2	0.99	14.23	84.79

Fuente: Autor

8.1.3 Límites de Atterberg

Los suelos que poseen algo de cohesión, según su naturaleza y cantidad de agua, pueden presentar propiedades que los incluyan dentro de un estado sólido, semi-

sólido, plástico o semi-líquido. El contenido de agua o humedad con los cuales se produce los cambios de estado se denominan límites de Atterberg y puede variar de un suelo a otro¹. Este ensayo cumple un papel importante en la clasificación de un suelo junto con el ensayo granulométrico.

El ensayo de límites de Atterberg se compone de:

- **Límite Líquido (LL):** Humedad en la cual una muestra de suelo colocada en una cazuela de bronce (Cazuela de Casagrande), se cierra la ranura una longitud de media pulgada al caer 25 veces de una altura de un centímetro. En el laboratorio se repite esta parte del ensayo varias veces a diferentes humedades, anotando el número de golpes; luego en la correspondiente gráfica hallamos la humedad correspondiente a los 25 golpes.
- **Límite Plástico (LP):** Es el contenido más bajo de humedad en el cual un suelo al enrollarse con la mano se agrieta, formando un rollito con diámetro de 3 mm.
- **Índice de Plasticidad (IP):** Se encuentra en el intervalo de contenido de humedad, representado como un porcentaje de la masa seca del suelo, en el cual el material se encuentra en un estado plástico. Definiéndose como la diferencia entre el Límite líquido (LL) y el Límite Plástico (LP).

Basándose en los resultados granulométricos presentados en la Tabla 6 y en los límites de Atterberg presentados a continuación, se clasificará las muestras del suelo de acuerdo al SUCS.

¹ PEDROZA NIÑO, Orlando y VERA SARMIENTO, Jorge. Manual técnico para el desarrollo del laboratorio de caracterización de materiales I. Tesis de la Escuela de Ing. Civil. UIS. 2008. Pág. 187.

Tabla 6: Resultados Límites de Atterberg y clasificación de los apiques

	% FINOS	LIMITES ATTERBERG [%]			SUCS
		LL	LP	IP	
APIQUE 1	92.13	48	37	11	ML
APIQUE 2	84.79	41	28	13	ML

Fuente: Autor

8.1.4 Corte Directo

Este ensayo determina la resistencia al corte de una muestra de suelo, previamente sometiéndola a un proceso de consolidación, para luego aplicarle un esfuerzo de cizalladura o corte directo con velocidad controlada mientras se permite un drenaje completo de ella.

Generalmente, se ensayan tres o más muestras del mismo apique, cada uno bajo una carga diferente para determinar su efecto sobre la resistencia al corte y las propiedades de resistencia a partir de las envolventes de resistencia de Mohr. Para este proyecto se halló la resistencia al corte del suelo en estado natural, en estado saturado y en estado compactado con la humedad óptima.

9. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para caracterizar las propiedades presentes de cada estrato de suelo en el talud de estudio fue necesario realizar un análisis comparativo de la información existente en la zona y los resultados obtenidos de los apiques realizados en campo.

De esta manera se conoce que ambos apiques son conformados por limos embebidos en matriz arcillosa y se corrobora que actualmente el talud en la parte baja de la vía presenta problemas de estabilidad, evidenciado por el deslizamiento de tierra, para mitigar el movimiento de desplazamiento y por el alto contenido de humedad debido a la infiltración; los cuales fueron favorecidos por la dirección de buzamiento y por el carácter de los materiales calcáreos meteorizados que conforman la unidad superficial.

En cuanto a los resultados obtenidos en el laboratorio, fueron comparados con coeficientes de variación generalizados de las propiedades Geotécnicas, esto con el fin de observar si los resultados obtenidos se encuentran en el rango de valores presentados en la siguiente tabla:

Tabla 7: Características físicas típicas de diversos suelos

TIPO DE SUELO	γ (T/m ³)	ϕ (Grados)	C (T/m ²)
Bloques y Bolos Suelos	1,70	35 - 40°	-
Grava	1,70	37,5°	-
Grava Arenosa	1,90	35°	-
Arena Compactada	1,90	32,5 - 35°	-
Arena Semi-compactada	1,80	30 - 32,5°	-
Arena Suelta	1,70	27,5 - 30°	-
Limo Firme	2,00	27,5°	1 - 5
Limo	1,90	25°	1 - 5
Limo Blando	1,80	22,5°	1 - 2,5
Marga Arenosa Rígida	2,20	30°	20 - 70
Arcilla Arenosa Firme	1,90	25°	10 - 20
Arcilla Media	1,80	20°	5 - 10
Arcilla Blanda	1,70	17,5°	2 - 5

Fuente: Documento Estabilidad de Taludes de Luis Bañón Blázquez

Se observa con esto que los resultados finales se encuentran dentro de los rangos de valores de tipos de suelo limoso y arcilloso, debido a que en la zona hay presencia de ambos. Con lo anterior, se indica que los valores de las características físicas obtenidas pueden ser utilizados para el modelamiento en las unidades geológicas dadas por los Sondeos spt.

Los valores finales utilizados para el sistema de parámetros totales de resistencia, de acuerdo al sistema de Mohr-Coulomb obtenidos en los ensayos de Corte Directo se realizaron tomando un promedio de los apiques 1 y 2 ,utilizando para la primera capa los coeficientes residuales saturados y para la segunda capa los coeficientes residuales saturados y compactados, tratando se asemejar las condiciones más críticas en el sector. Se considera también el Coeficiente Pseudoestático: $0.20 \cdot g$ (Zona de Riesgo Sísmico Intermedio) y la carga de 5 KN aproximada para el transporte que transita en la vía.

Tabla 8: Valores de diseño finales de las unidades geológicas para el modelamiento

Suelo	Peso unitario KN/m ³	Angulo de fricción (ϕ)	Cohesión (KN/m ²)
Suelo blando	17	14	7
Suelo firme	17	30	30

Fuente: Autores

10. ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES.

Se presenta un análisis de estabilidad de taludes basados en la proyección de taludes tanto en su estado natural como donde se proyectan cortes y rellenos, previniendo su comportamiento en condiciones de estabilidad para la adecuada operación de la vía. Se ha realizado una zonificación geotécnica de ella se escogen perfiles críticos para el posterior cálculo de factores de seguridad.

El siguiente análisis se presenta para el sector Bucaramanga-pamplona PR100+200.

10.1 MODELO Y SOFTWARE UTILIZADO.

Para el análisis del modelo geotécnico se utilizó el software para computador SLOPE/W, Versión 8.1 de GEO-SLOPE International Ltd, Calgary Alberta, Canadá. SLOPE/W es un producto de Software que utiliza la teoría de equilibrio límite para obtener los factores de seguridad al deslizamiento de los taludes.

Este programa es una solución gráfica de 32 bits, la cual opera dentro de la interfase gráfica de Microsoft Windows.

El programa permite trabajar con doce diferentes métodos de análisis, para objeto del presente estudio se trabajó conjuntamente los siguientes métodos:

1. Método ordinario o de Fellenius
2. Método Bishop simplificado
3. Método de Janbú simplificado
4. Método de Morgenstern -Price

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

Se utilizó el criterio de la falla circular, generando una malla de 10 centros de giro, y 10 líneas de superficie de tangencia, para un total de 1331 círculos de falla analizados.

10.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA

10.2.1 REMOCIÓN EN MASA

Son movimientos en masa de los materiales que forman laderas (tierra y roca) por una pendiente. Se clasifican según la geomorfología en caídos, volcamientos, reptación, deslizamientos rotacionales y traslacionales, flujos; según el tipo de material transportado puede ser roca, residuos (detritos) o suelo; y la velocidad del movimiento ya que pueden ser deslizamientos lentos o rápidos.

10.2.2 AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA

Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente nocivo, dentro de un período específico de tiempo y en un área dada.

10.2.3 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

Es el proceso mediante el cual se determina la probabilidad de ocurrencia y la severidad de un evento en un tiempo dado y en un área establecida, se determinó mediante la evaluación de los factores de seguridad en diferentes tramos del talud en estudio, se clasificó el área según los siguientes criterios de evaluación:

Tabla 9: Criterios de Evaluación de Amenaza

CONDICIÓN ESTÁTICA	F.S.
Amenaza Baja	> 1.50
Amenaza Media	1.25 - 1.50
Amenaza Alta	< 1.25
CONDICION CON SISMO Y AGUA	F.S.
Amenaza Baja	> 1.20
Amenaza Media	1.0 - 1.20
Amenaza Alta	< 1.0

Fuente: Norma Geotécnica CDMB

10.3 EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE

Un análisis de Equilibrio Límite permite obtener un factor de seguridad por medio de los parámetros de resistencia del suelo básicos como lo son cohesión y ángulo de fricción del material, además del peso unitario de los suelos, utilizando la teoría de Mohr Coulomb.

Este análisis de estabilidad consiste en determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para soportar los esfuerzos que tienden a causar la falla o deslizamiento. Véase Anexo C.

Para dicho análisis del modelo se utilizó el software SLOPE/W, de GEO-SLOPE que usa la teoría de Equilibrio Límite para calcular el factor de seguridad de taludes de tierra y roca, en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

10.4 ESCENARIO PSEUDOESTÁTICO

Corresponde al estudio de las condiciones naturales de un terreno con relación a los valores de aceleración establecidos que permitan modelar la estabilidad de laderas y taludes que afecten las obras proyectadas. Para el análisis de estabilidad de taludes o laderas se exige como mínimo utilizar un coeficiente sísmico horizontal de 0.13g.

Características del sitio (Norma NSR 10)

De acuerdo a los requerimientos de la Norma NSR-10 se indican las características sísmicas principales del sector de la vía:

Amenaza sísmica	Alta
Aa	0.20
Ad	0.04
Coeficiente de sitio	1.2

Tabla 10: Características sísmicas

Para analizar la estabilidad de taludes se tomó sección existente estable y se llevó a los factores de seguridad mínimo mediante la variación de cohesión y unos valores de fricción.

10.5 CALIBRACIÓN DEL MODELO, TALUD ANTES DE LA FALLA.

La calibración del modelo geotécnico consiste en analizar la morfología antes de la falla del talud, por medio de observaciones de campo y evolución en los procesos morfológicos. Por medio de “Retro Cálculo” (Véase Anexo D) se calibró el modelo geotécnico, ajustando los parámetros de resistencia del suelo hasta obtener un factor de seguridad de 1.0, que indica que el talud se encuentra en el límite entre la estabilidad y la inestabilidad, y habrá fallado. Se analizó el perfil para el estrato 1 (Suelo blando), ya que por medio de visitas de campo se pudo observar e identificar deslizamientos en la del talud.

Se asumió para la calibración mediante “Retro Cálculo” la saturación del suelo debido al ascenso en el nivel freático, la disminución del valor de la cohesión debido al evidente desprendimiento del terreno y el aumento en el ángulo de fricción se dio para alcanzar un factor de seguridad igual a 1. La combinación de estas características se usó con el fin de simular las posibles causas del deslizamiento. La calibración mostró los siguientes valores utilizando el modelo de Mohr-Coulomb, para un factor de seguridad de 0.957, (Ilustración 12).

10.6 PROPIEDADES UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS:

Estas propiedades son las actuales del talud, el cual en su estado estático se encuentra inestable; al incluir la carga de 5 KN/m² por el tráfico de vehículos pesados este nos muestra un estado de inestabilidad por parte del talud.

Suelo	Peso unitario KN/m ³	Angulo de fricción (φ)	Cohesión (KN/m ²)
Suelo blando	17	14	7
Suelo firme	17	30	30

Tabla 11: Propiedades de suelo para modelación en GEO-SLOPE

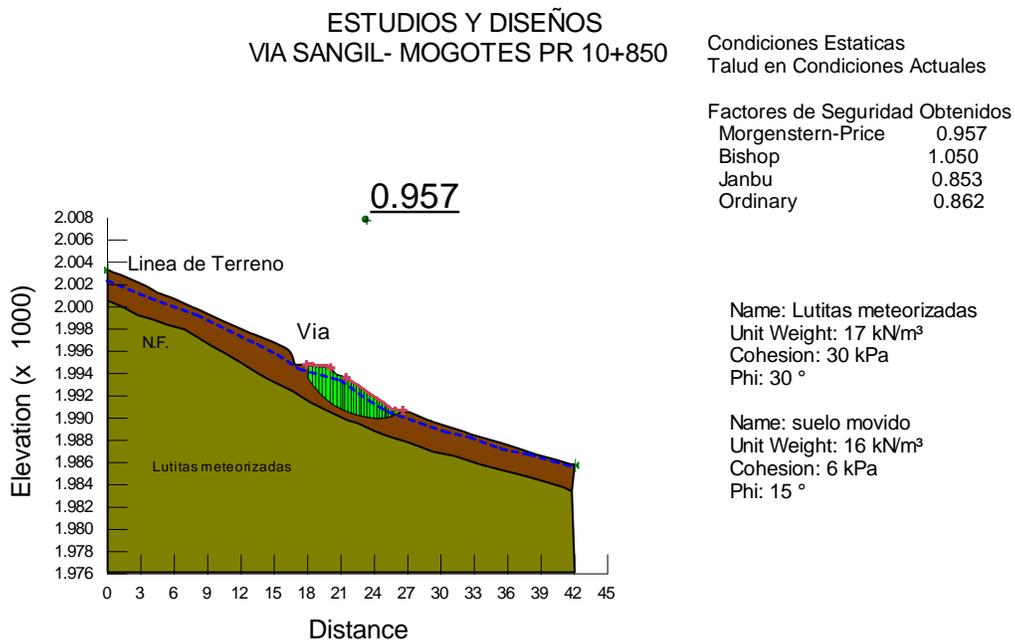


Ilustración 11: Análisis de estabilidad estático, Talud saturado.

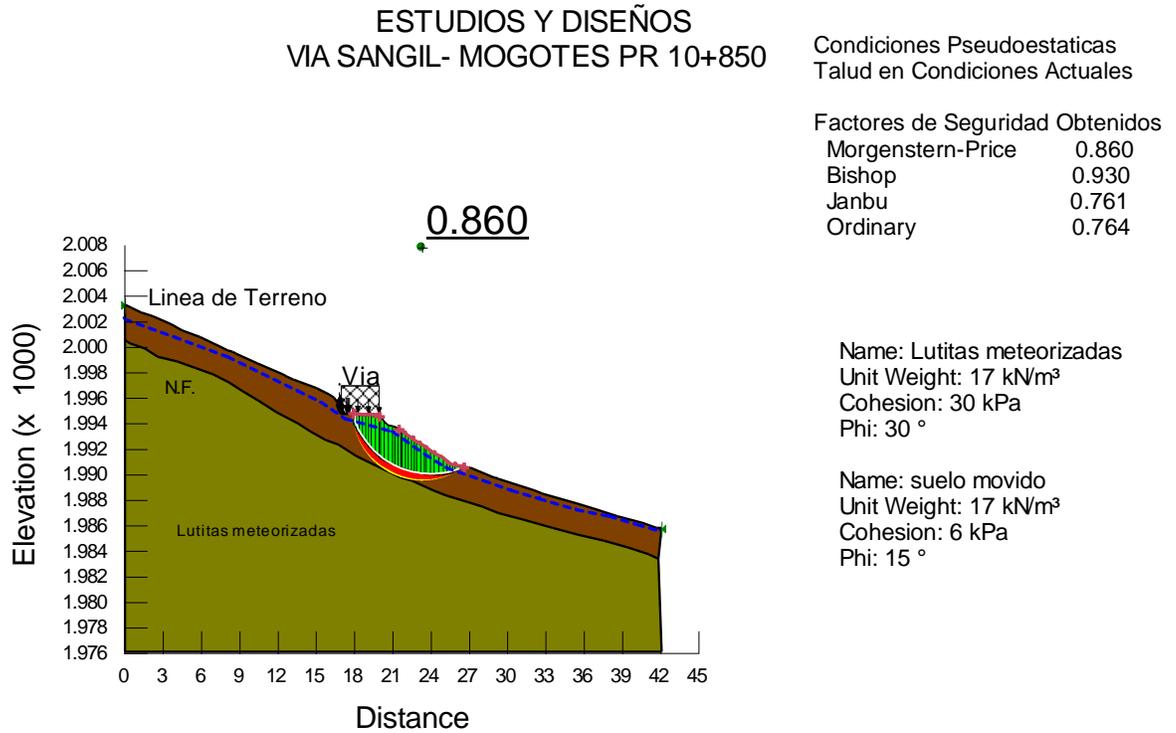


Ilustración 12: Modelo geotécnico en Slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga vía de 5KN/m2

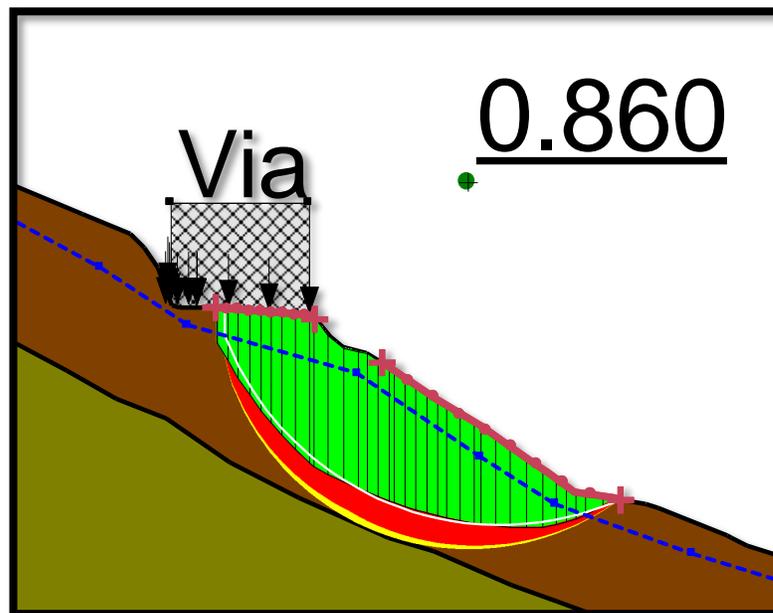


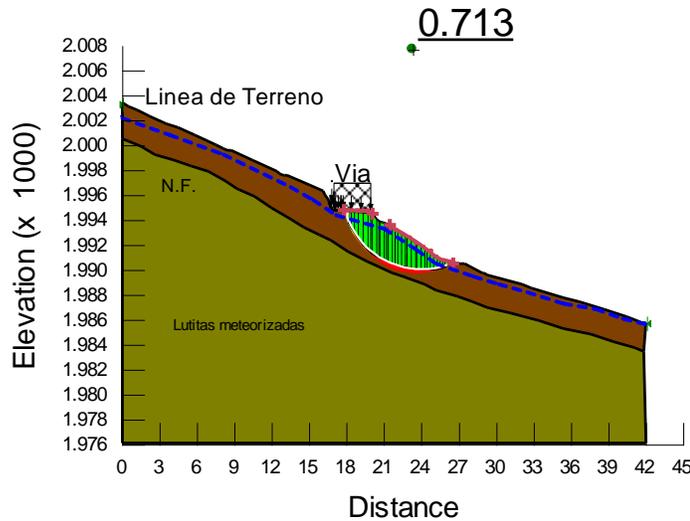
Ilustración 13: Detalle Falla crítica.

ESTUDIOS Y DISEÑOS
VIA SANGIL- MOGOTES PR 10+850

Condiciones Pseudoestaticas
Talud en Condiciones Actuales

Factores de Seguridad Obtenidos

Morgenstern-Price	0.713
Bishop	0.794
Janbu	0.626
Ordinary	0.747



Name: Lutitas meteorizadas
Unit Weight: 17 kN/m³
Cohesion: 30 kPa
Phi: 30 °

Name: suelo movido
Unit Weight: 17 kN/m³
Cohesion: 6 kPa
Phi: 15 °

Ilustración 14: Modelo geotécnico en Slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga sísmica de 0.13g + carga vía de 8KN/m2, talud saturado.

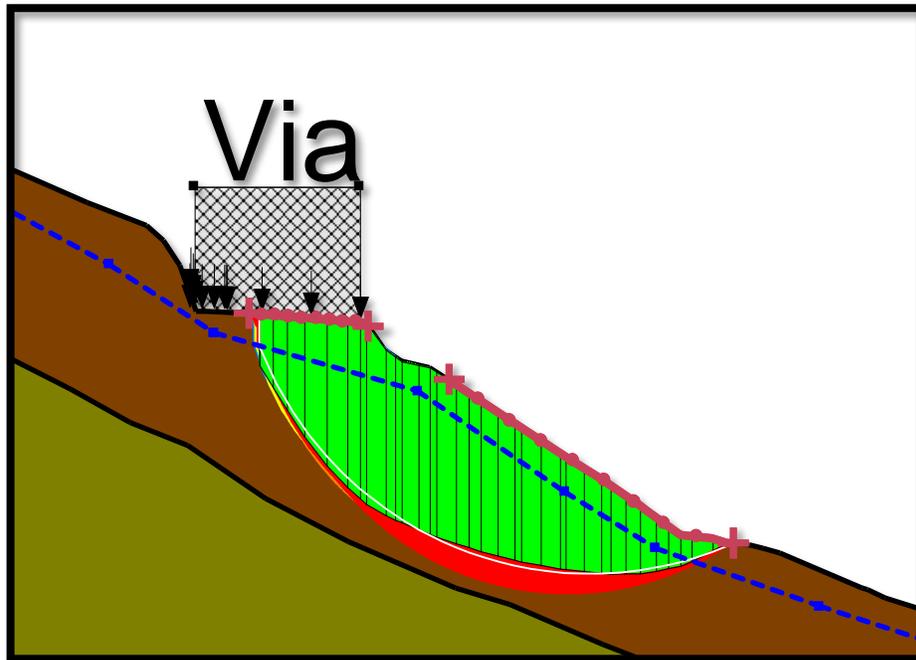


Ilustración 15: Detalle Falla crítica.

Una vez obtenidos los parámetros de resistencia del suelo blando por medio del “Retro Calculo”, se realizó la modelación del talud.

De acuerdo a los análisis realizados para condiciones estáticas y pseudoestáticas, los factores de seguridad los valores inferiores a los admisibles, lo que indica que el talud se encuentre en amenaza alta a deslizamientos.

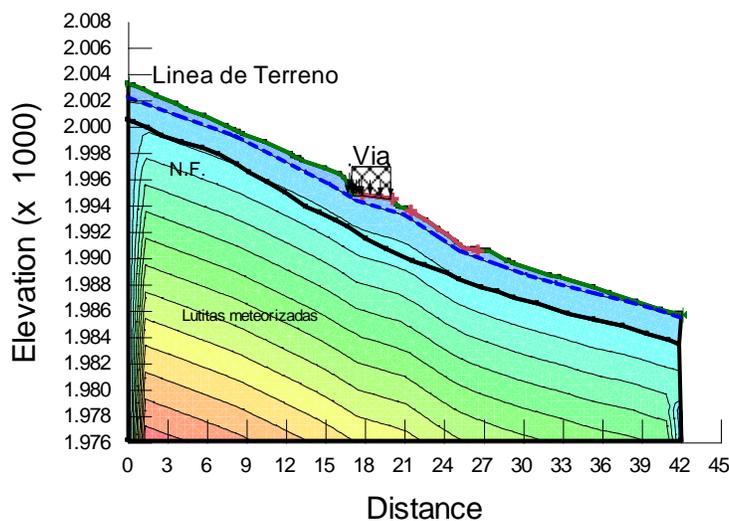
10.7 MODELO GEOTÉCNICO EN SLOPE W TALUD SATURADO NIVELES DE PRESIÓN DE POROS.

Ilustración 16: Presión de poros talud saturado

ESTUDIOS Y DISEÑOS
VIA SANGIL- MOGOTES PR 10+850

Condiciones Pseudoestaticas
Talud en Condiciones Actuales

Factores de Seguridad Obtenidos	
Morgenstern-Price	0.860
Bishop	0.930
Janbu	0.761
Ordinary	0.764



Name: Lutitas meteorizadas
Unit Weight: 17 kN/m³
Cohesion: 30 kPa
Phi: 30 °

Name: suelo movido
Unit Weight: 17 kN/m³
Cohesion: 6 kPa
Phi: 15 °

Se hace el análisis del talud saturado debido a que en estas condiciones es más propenso a sufrir una falla, debido a q las propiedades del suelo disminuyen.

Para modelar las presiones de poro se supuso la línea de nivel freático dependiendo de la información obtenida en los sondeos. Al igual que se decidió

saturar el talud suponiendo la línea del nivel freático en la superficie del talud, para obtener un estado crítico.

10.8 GRAFICA DEL FACTOR DE SEGURIDAD.

TALUD SATURADO		
ψ	C'	F.S
12	5	0,768
	6	0,858
	7	0,944
	8	1,031
	10	1,215
14	5	0,823
	6	0,913
	7	1,004
	8	1,094
	10	1,264
15	5	0,860
	6	0,957
	7	1,049
	8	1,119
	10	1,324

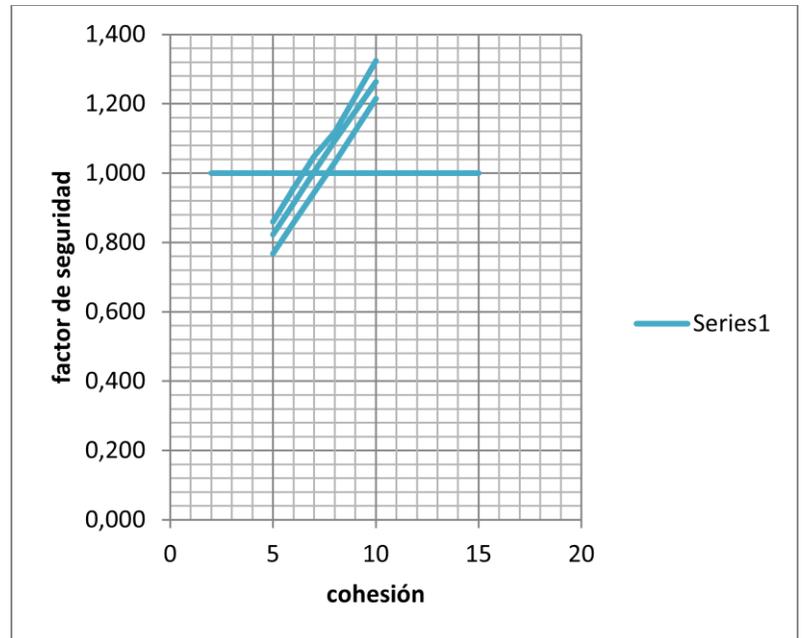


Tabla 12: Valores de factor de seguridad, con ψ vs cohesión (c')

Ilustración 17: grafica factor de seguridad

Se graficó el factor de seguridad únicamente variando las propiedades del suelo blando con los demás parámetros, dejándolos estables.

Se graficó buscando cuales son los posibles valores de Phi (φ) y cohesión (C') para los cuales el talud es inestable F.S<1.

11. MODELO GEOTÉCNICO EN PLAXIS 8.2

11.1 ANÁLISIS DE ESFUERZOS

Para el análisis de esfuerzos y momentos se utilizó el software para computador PLAXIS versión Profesional 8.2, desarrollada por la Universidad de Delft, en Holanda. PLAXIS es un código numérico que emplea el método de los Elementos Finitos para calcular los esfuerzos y deformaciones en estructuras geotécnicas.

Los valores de ángulo de fricción y cohesión utilizados para la modelación en PLAXIS fueron obtenidos a partir del ensayo de laboratorio de Corte Directo.

11.2 PROPIEDADES UTILIZADAS PARA EL ANALISIS

Se utilizó el sistema de parámetros totales de resistencia obtenidos en los ensayos de Corte Directo.

Suelo	Peso unitario KN/m ³	Angulo de fricción (ϕ)	Cohesión (KN/m ²)
Suelo blando	17	14	7
Suelo firme	17	30	30

Tabla 13: Propiedades de suelo para modelación en GEO-SLOPE

11.3 MODELO GEOTÉCNICO EN PLAXIS TALUD SATURADO NIVELES DE PRESIÓN DE POROS.

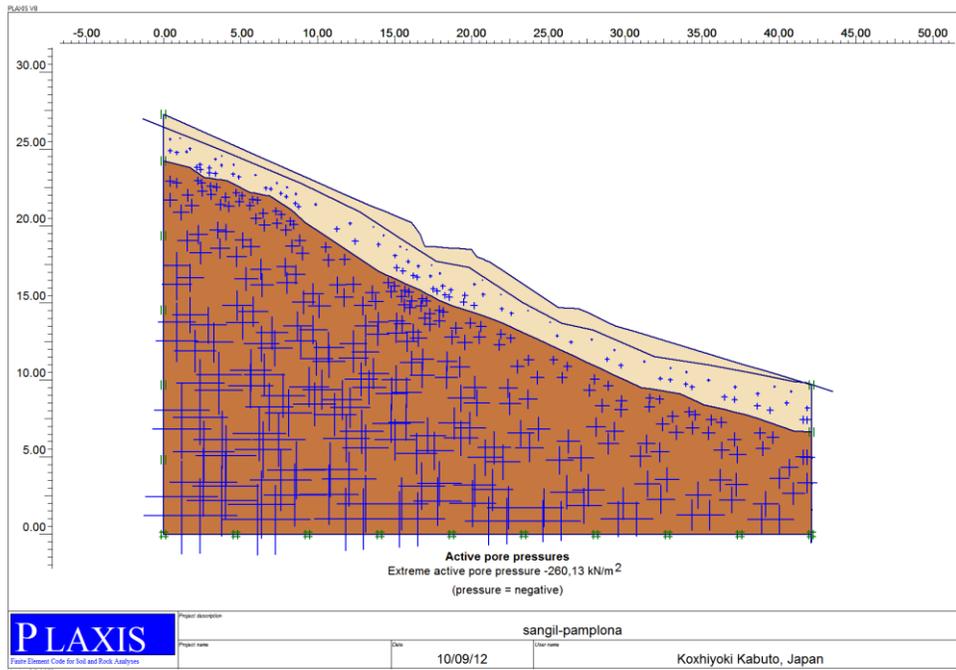
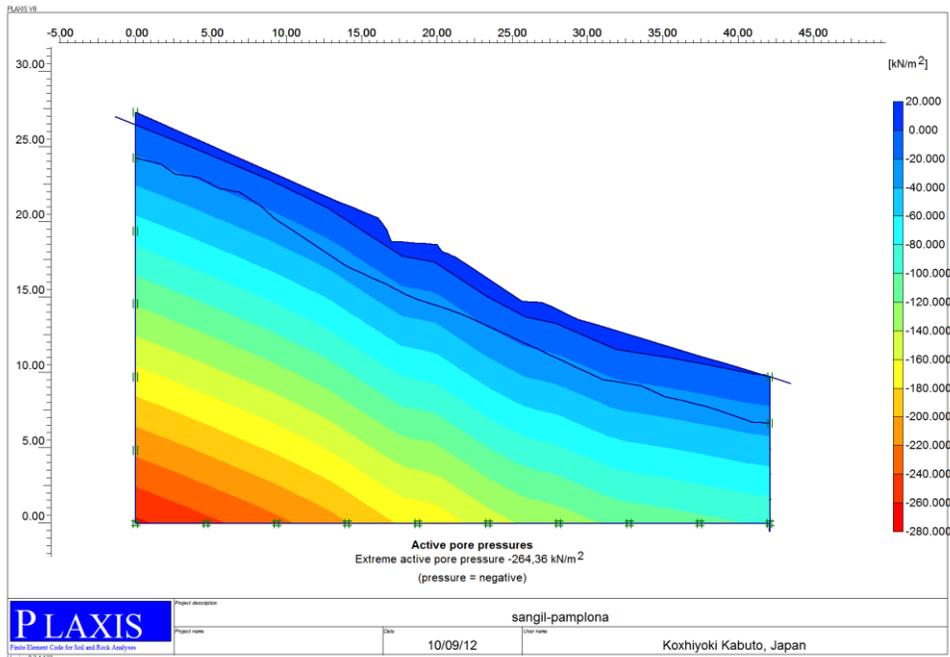


Ilustración 18: Presión de poros talud saturado



**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR 10+ 0850 DE LA VÍA SAN GIL- MOGOTES -
SAN JOAQUÍN -ONZAGA.**

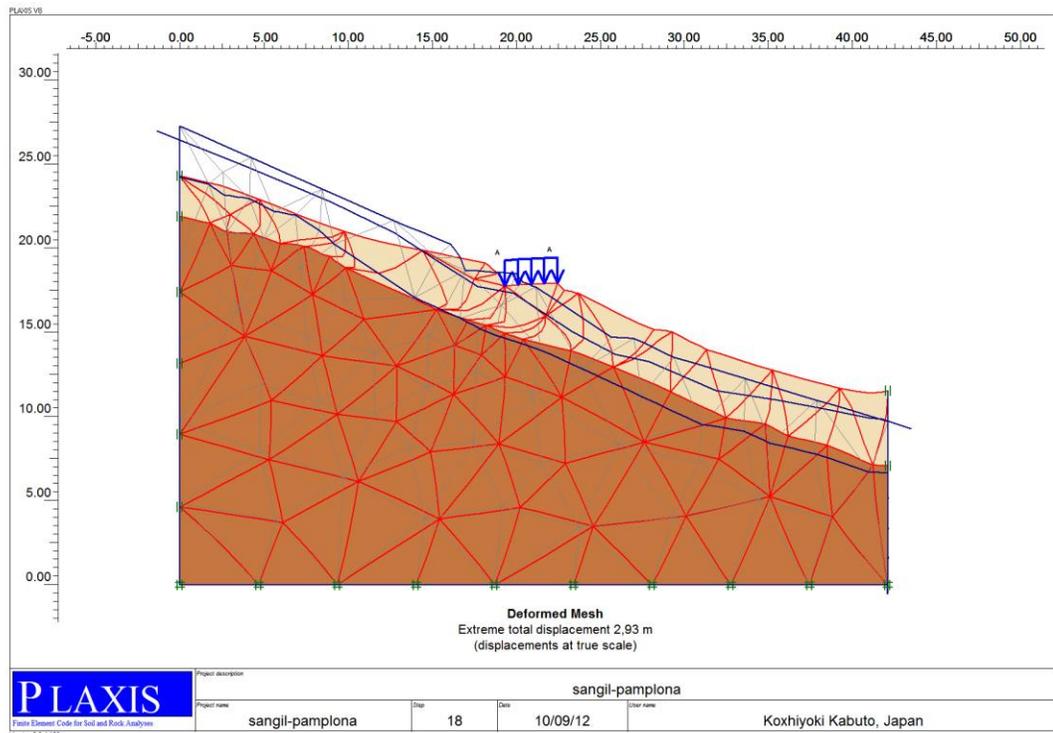


Ilustración 19: Análisis deformación, talud saturado.

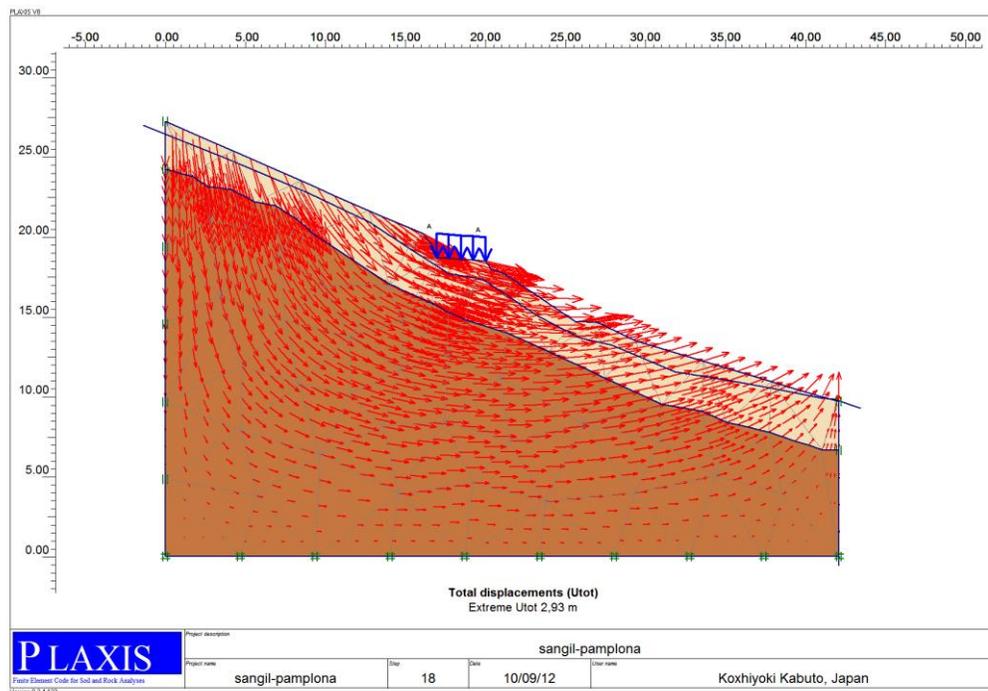


Ilustración 20: Desplazamientos totales vectorialmente.

EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR 10+ 0850 DE LA VÍA SAN GIL- MOGOTES -
SAN JOAQUÍN -ONZAGA.

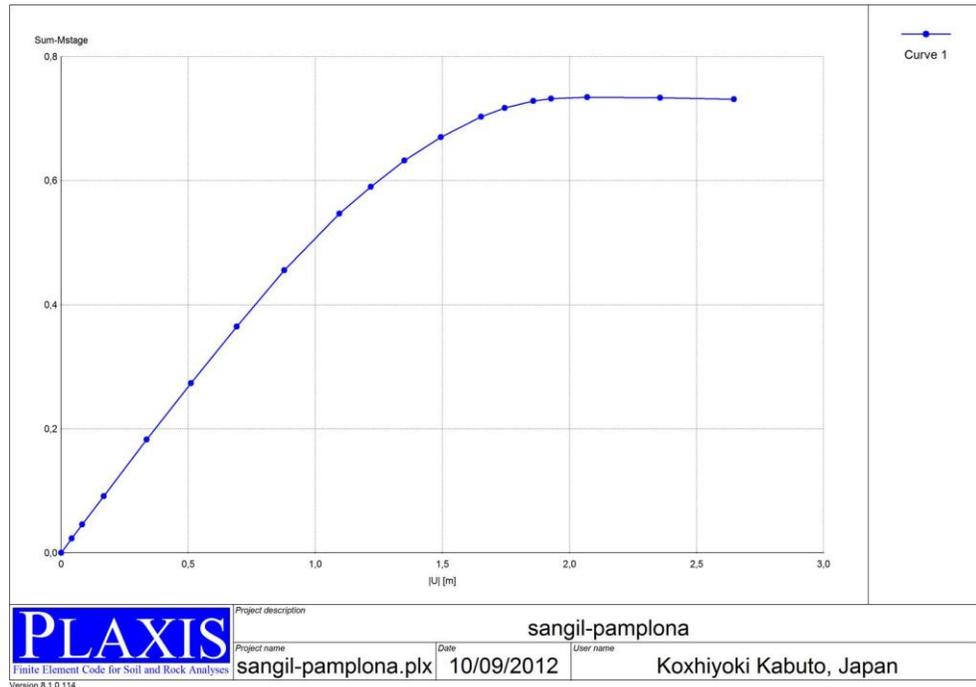


Ilustración 21: Grafica desplazamiento total en la vía.

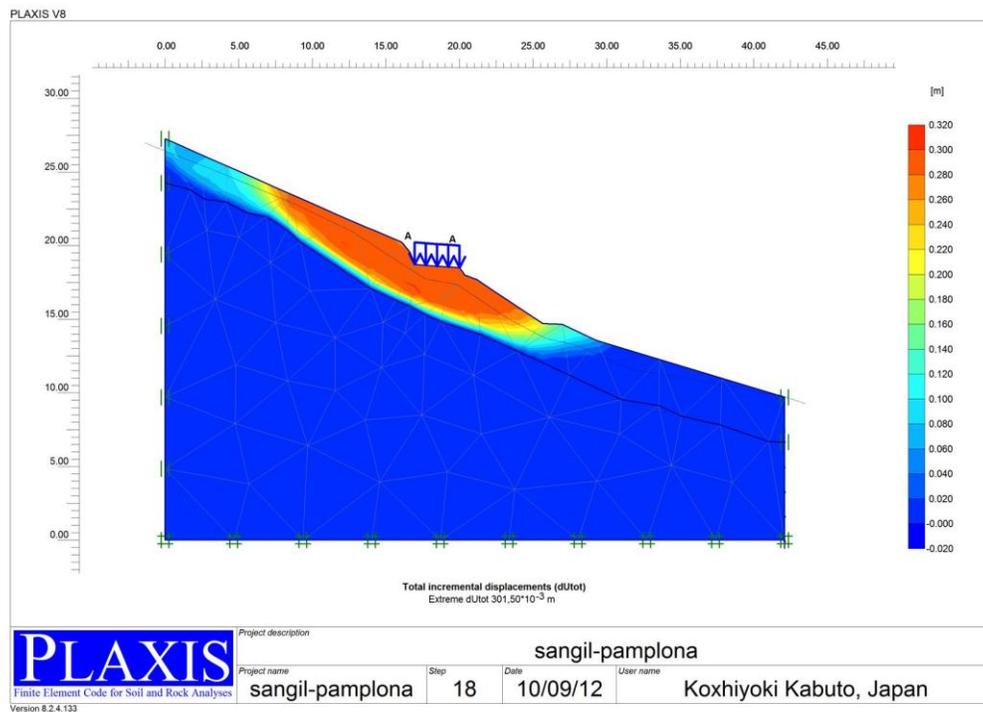


Ilustración 22: factor de seguridad generado en Plaxis.

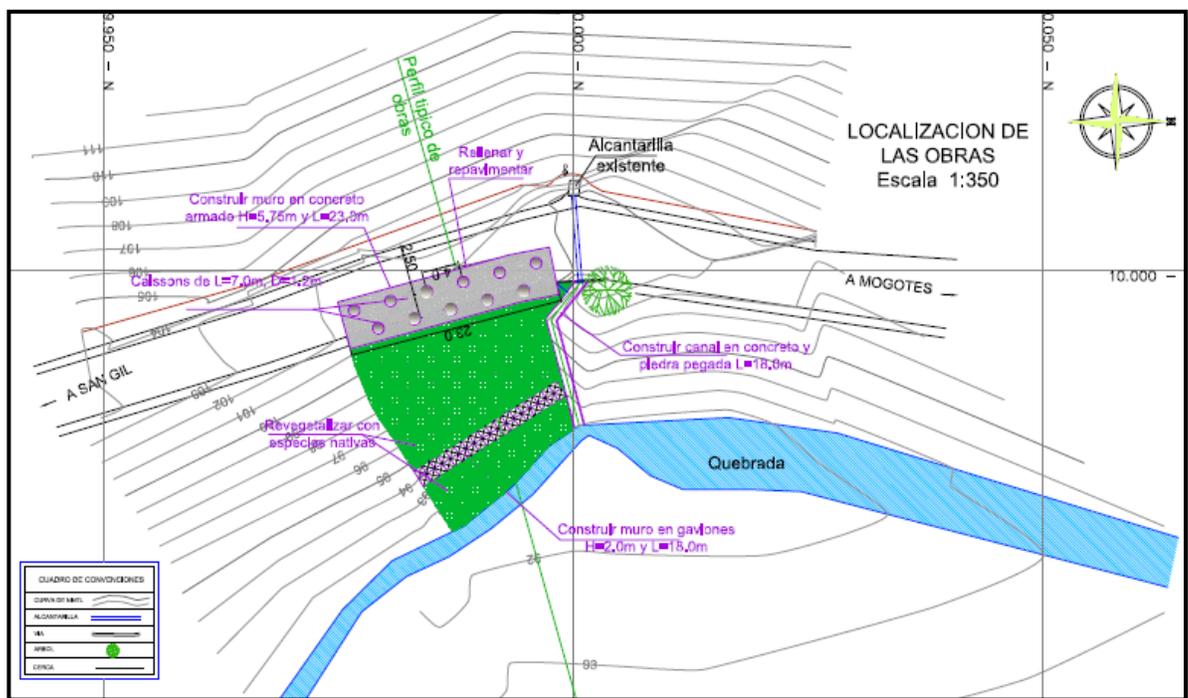
12. PROPUESTAS DE LAS POSIBLES OBRAS DE MITIGACIÓN

12.1 ALTERNATIVA 1: MURO DE CONTENCIÓN

El talud analizado compromete la mitad de la banca de la vía existente y el talud inferior; el material comprometido en el proceso de inestabilidad corresponde a lutitas altamente meteorizadas, de la formación Rosablanca, susceptibles a pérdidas de resistencia y rigidez por efectos del agua y con fisibilidad importante.

Se recomienda construir obras de protección y mitigación, con el fin de recuperar y mantener la banca de la vía.

Ilustración 23: Localización de las obras recomendadas en planta



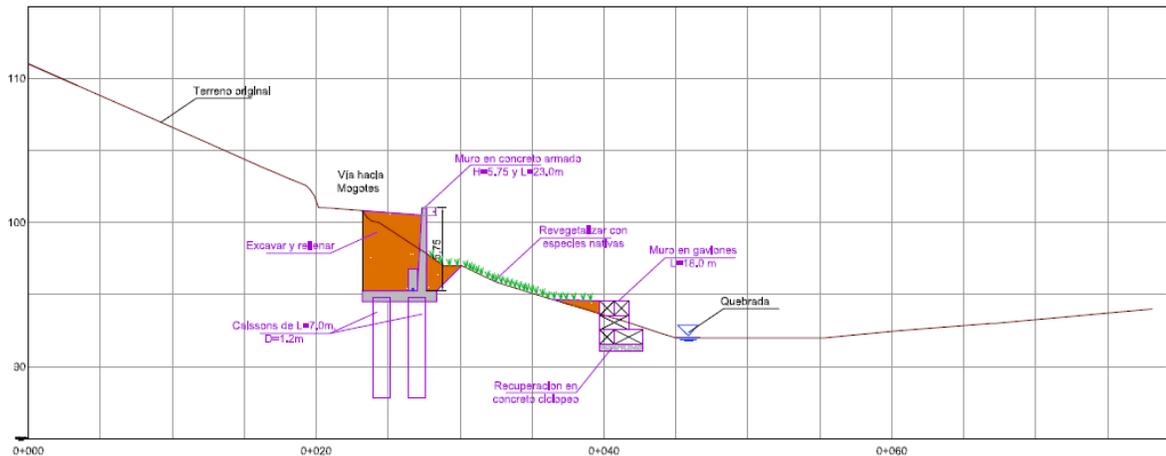


Ilustración 24: Perfil típico de obras recomendadas

Descripción de las obras planteadas:

12.1.1 Muro de contención en concreto armado:

Esta obra consiste en la construcción de un muro en concreto armado de $H=5.75\text{m}$ y 23.0m de longitud en el borde externo de la vía. Se recomienda cimentar el muro mediante 11 caissons en concreto clase C de 1.0m de diámetro efectivo y 7m de longitud. A pesar de que el muro en concreto cumple con los factores de seguridad al deslizamiento, volteo y capacidad de carga funcionando como muro cantiléver, se sugiere construir el sistema de fundación propuesto, teniendo en cuenta la susceptibilidad que presentan las lutitas ante el contacto con el agua.

Se recomienda construir un subdren de 1.5m de alto y 0.6m de ancho en la parte posterior del muro para el manejo los niveles freáticos, adicionalmente se deben colocar dos filas de lloraderos a lo largo del muro, para evitar presiones excesivas sobre el muro.

Detalle del sub dren

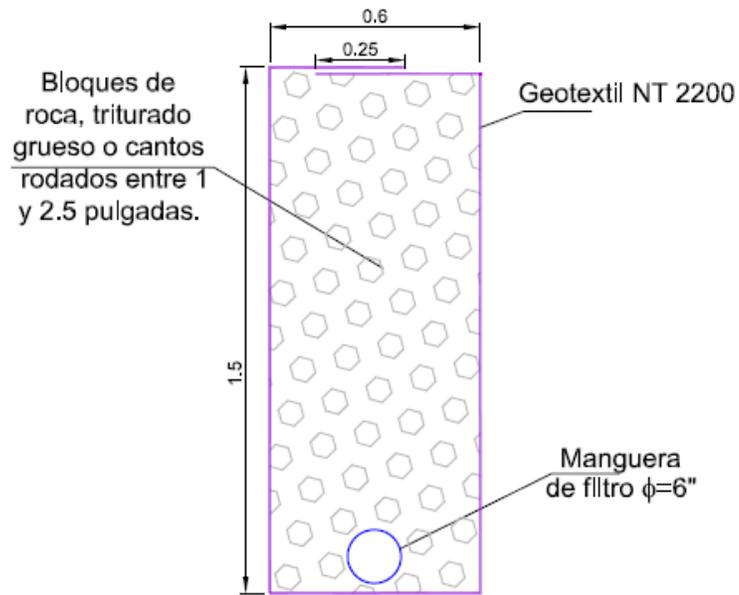


Ilustración 25: *Detalle de la sección transversal del caisson*

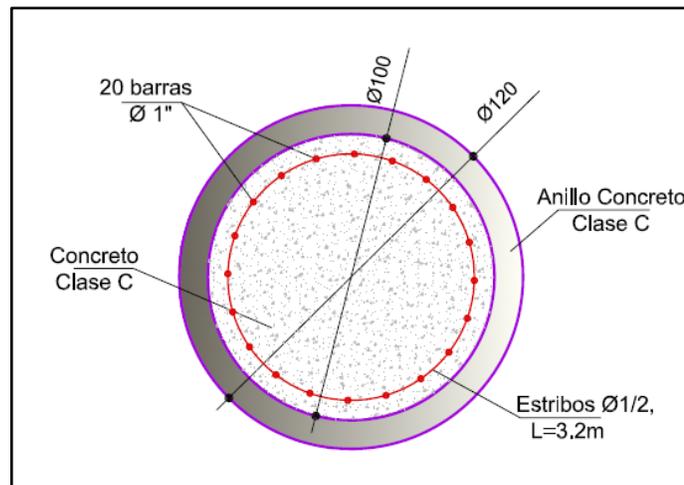


Ilustración 26: *Detalle del muro en concreto armado cimentado sobre caissons*

DETALLE GEOMETRIA DEL MURO EN CONCRETO ARMADO
Escala 1:50

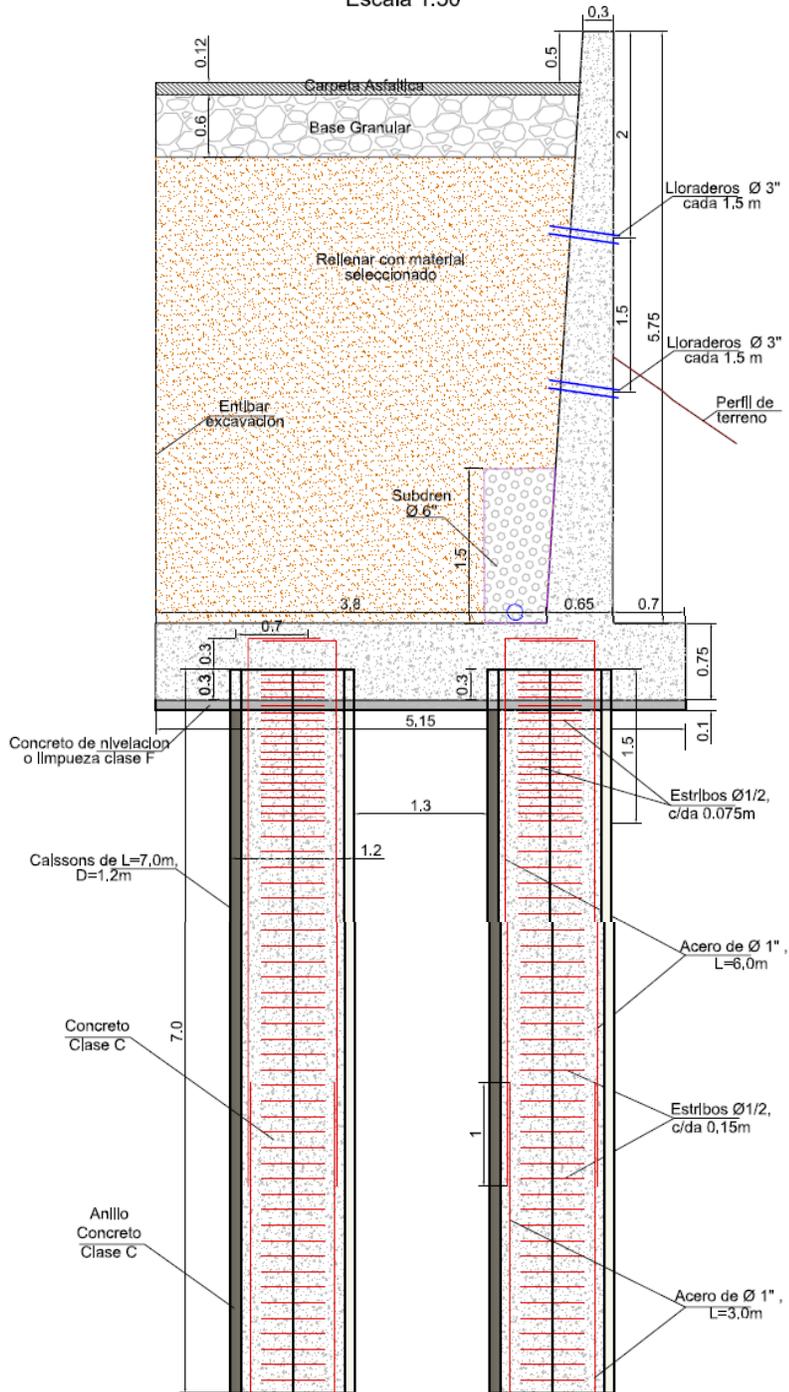


Ilustración 27: Detalle geometría muro de concreto armado

12.1.2 Estructura de disipación en canal de concreto y piedra pegada:

Como manejo preventivo se recomienda conectar el descole de la alcantarilla existente a un canal en concreto clase E y piedra pegada que conduzca las aguas de escorrentía a la quebrada. El canal cuenta con una base de 0.8m, altura de 0.5m y una longitud total aproximada de 18.0 metros hasta la quebrada: para evitar la socavación del suelo debajo del canal se recomienda colocar una protección en concreto clase E debajo de la base del canal, la cual será de 0.5m de alto.

Ilustración 28: Perfil del canal en concreto y piedra pegada

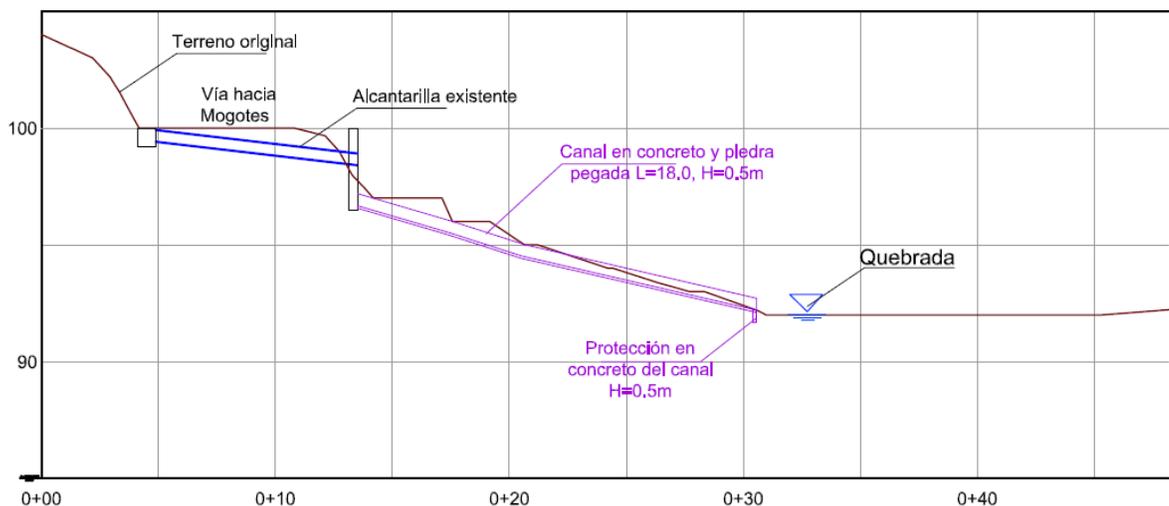
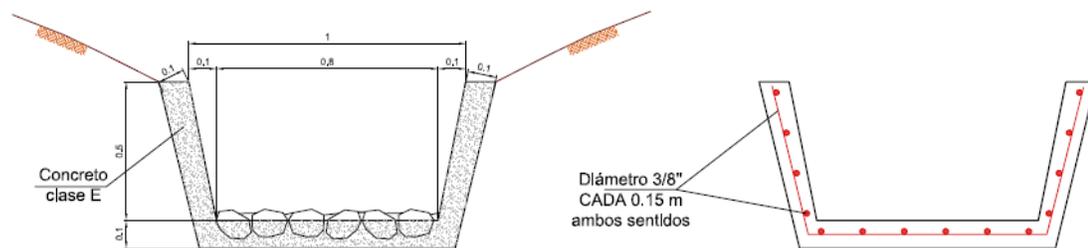


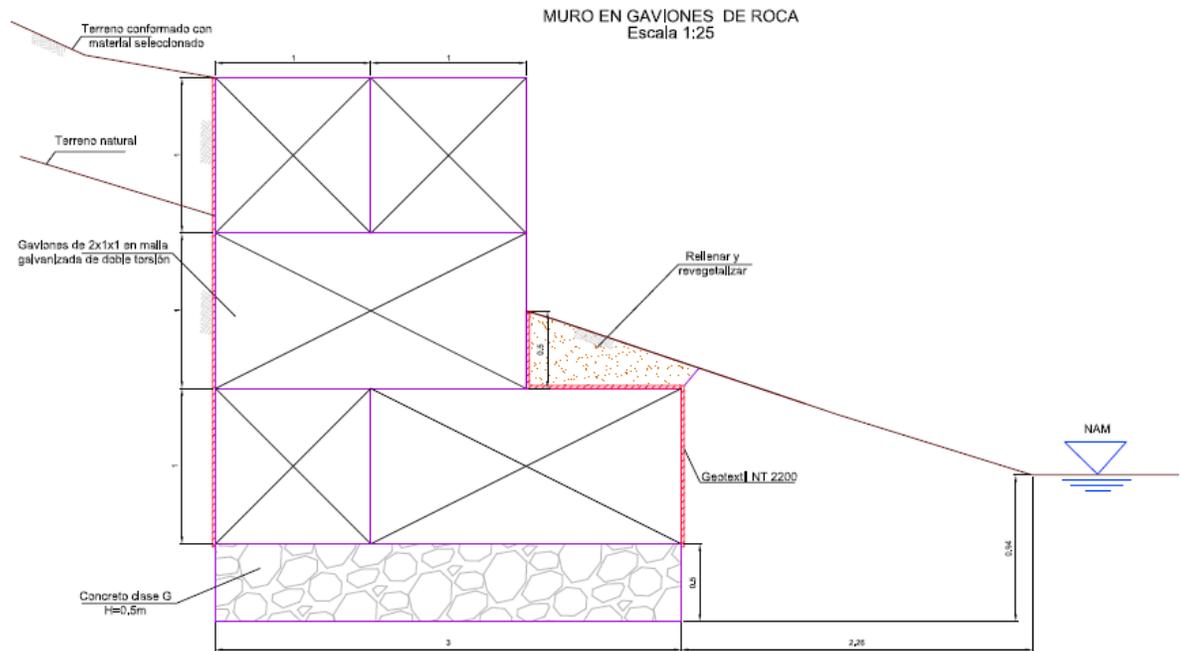
Ilustración 29: Detalle del canal en concreto y piedra pegada



12.1.3 Muro en gaviones:

Esta obra consiste en construir un muro en gaviones en el pie del talud, de 3 niveles y una longitud total de 18.0 metros. Esta obra tiene como función dar mayor rigidez a la masa de suelo que se encuentra en movimiento y evitar procesos erosivos hacia la pata del talud que puedan comprometer la estabilidad del sector a futuro.

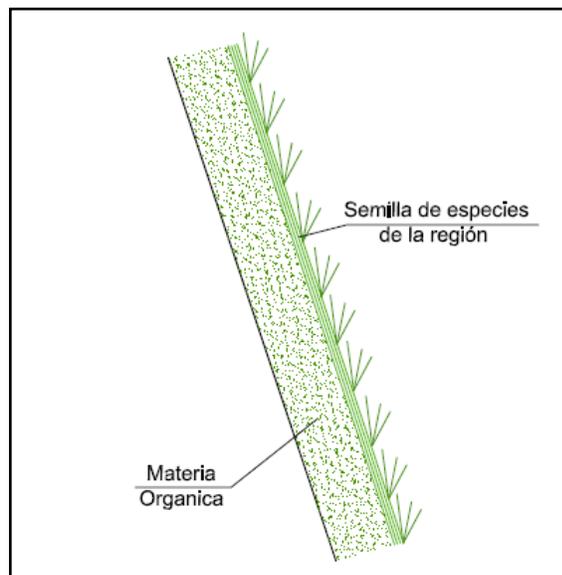
Ilustración 30: Detalle del muro en gaviones



12.1.4 Revegetalización del talud:

Se recomienda revegetalizar todas las áreas afectadas por el movimiento y por las obras a construir mediante semillas de especies de la región y lodo fertilizado.

Ilustración 31: Detalle de la revegetalización



Para este caso la implementación de muro de contención es recomendable con Caissons, con un buen seguimiento en la obra de construcción.

DISEÑO MURO DE CONTENCIO PR 10 + 850 VIA SAN GIL - MOGOTES

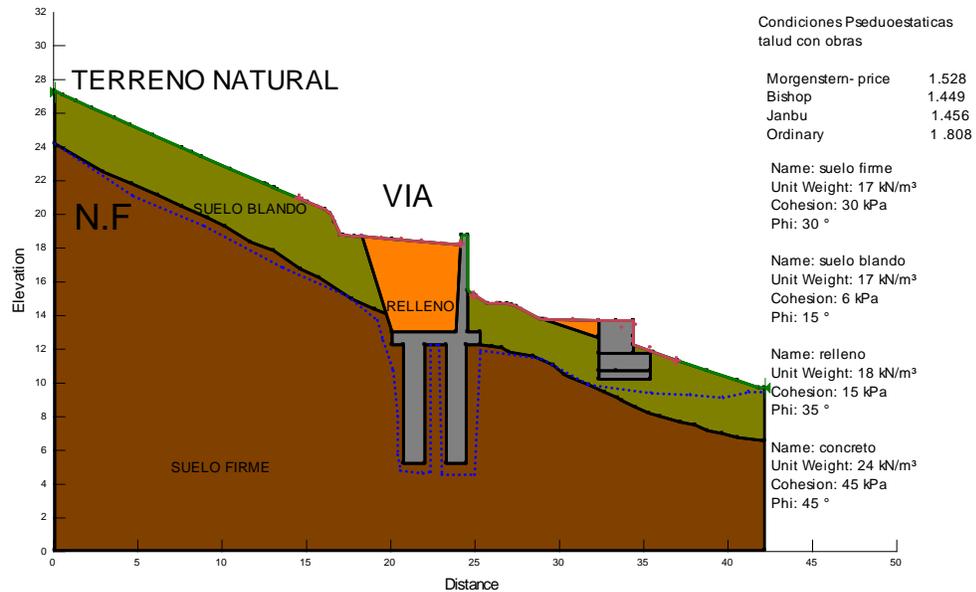
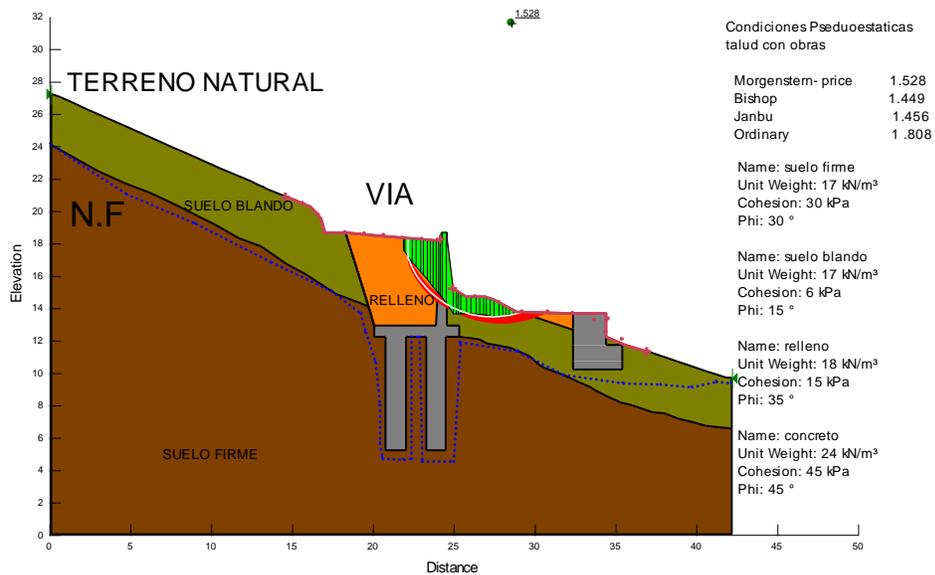


Ilustración 32: Escenario estático.

DISEÑO MURO DE CONTENCIO PR 10 + 850 VIA SAN GIL - MOGOTES



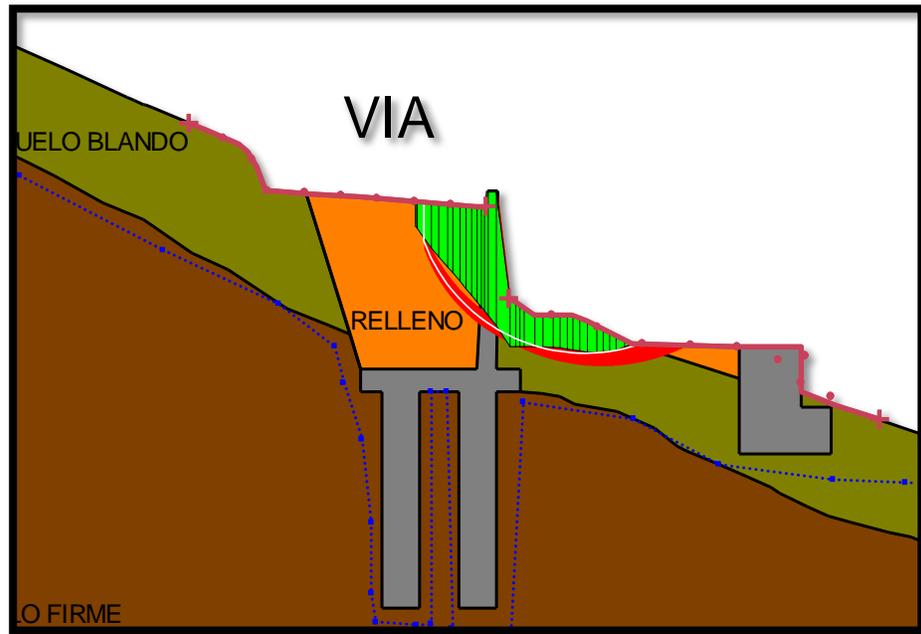


Ilustración 33: detalle muro de contención, con caissons.

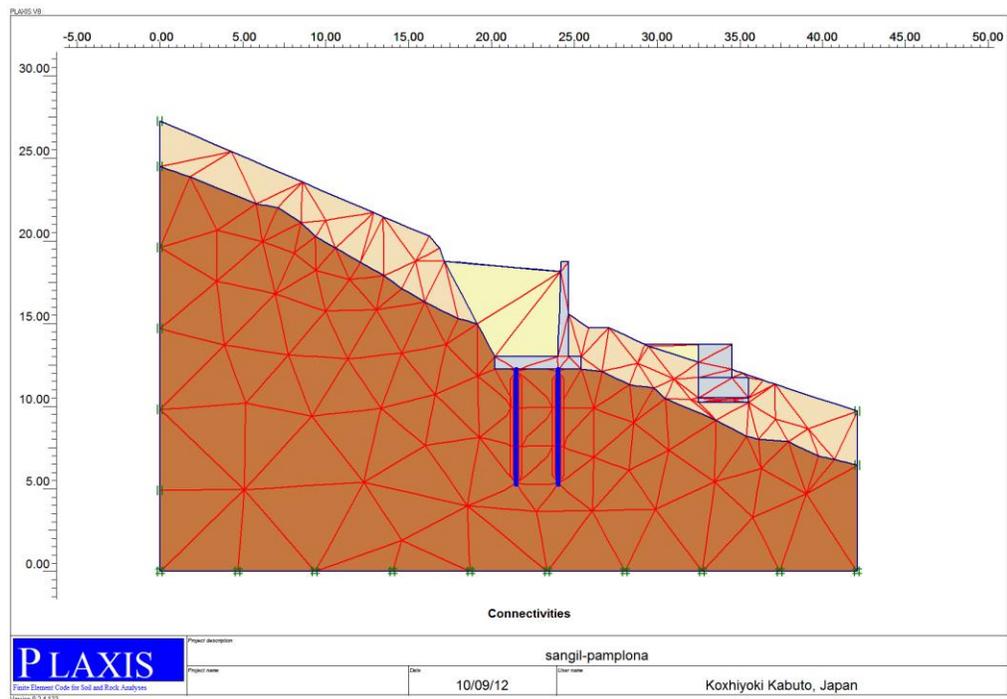


Ilustración 34: Representación mediante Plaxis del perfil con obras

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR 10+ 0850 DE LA VÍA SAN GIL- MOGOTES -
SAN JOAQUÍN -ONZAGA.**

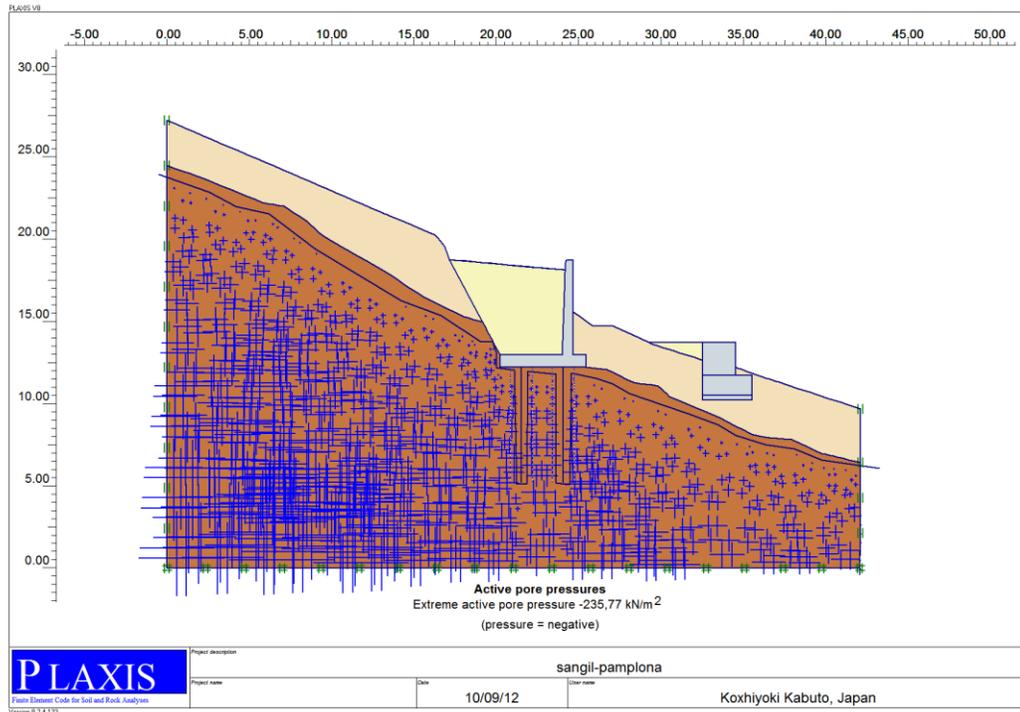


Ilustración 35: Presión de poros talud con obras.

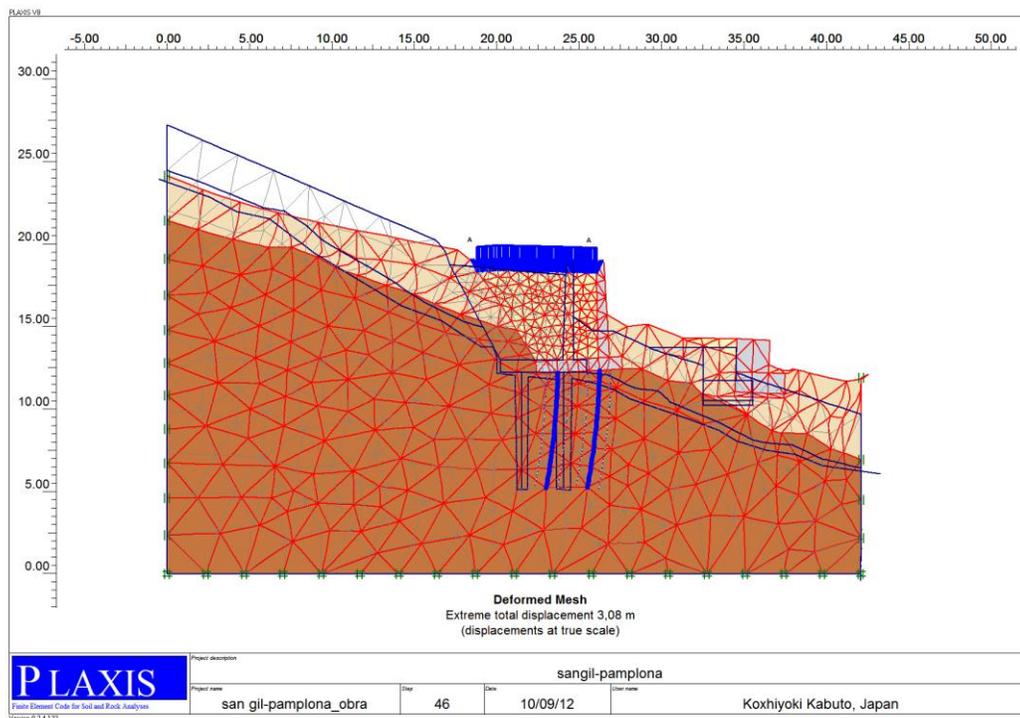


Ilustración 36: Deformación total del talud con obras

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR 10+ 0850 DE LA VÍA SAN GIL- MOGOTES -
SAN JOAQUÍN -ONZAGA.**

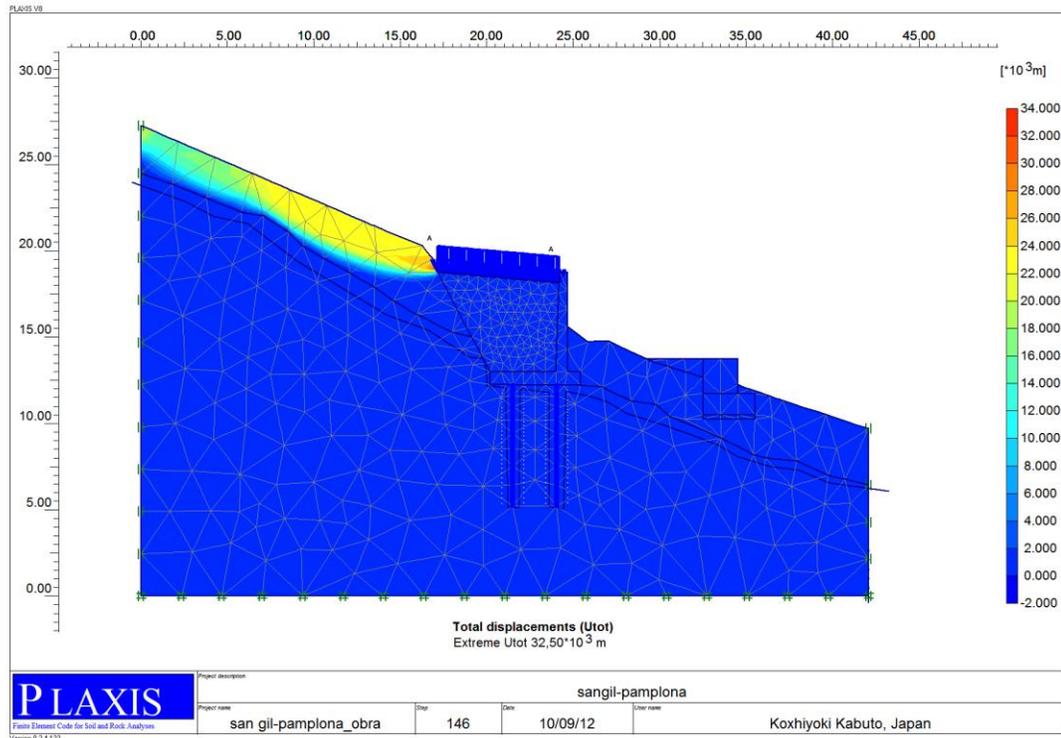


Ilustración 37: factor de seguridad, posible falla con obras de mitigación.

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Al observar la presencia de materiales sueltos soportados por roca firme, los cuales en temporada de lluvias son propensos al arrastre de materiales
- Un factor causante de la inestabilidad de ladera es el Aumento de nivel del nivel freático,
- Arrastre de material en el pie de la ladera ocasionando deslizamientos en la ladera.
- Al zonificar el talud y generar mapas de amenaza tanto para el escenario estático como para el escenario pseudoestático, el área del talud se encuentra en amenaza es alta. Por esto, y con las evidencias de falla en las estructuras existentes, es necesario proponer obras que mitiguen el problema de inestabilidad.
- La evaluación y el modelamiento de diferentes alternativas de obras que mitiguen los problemas de erosión e inestabilidad que ha venido presentando la zona, nos lleva a proponer que un sistema combinado de manejo de aguas superficiales y la creación de un muro de concreto reforzado con caissons seria la alternativa más viable que garantice la estabilidad y aumenta considerablemente del factor de seguridad, disminuyendo así la amenaza en la zona.
- Se sugiere realizar diseños a nivel de fase III definiendo los diseños a detalle de las obras anteriormente propuestas para implementarlas en la zona de estudio ya que el alcance del proyecto solo permitía proponer preliminares de obras de mitigación y/o estabilización.

BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACION Colombiana de Ingeniería Sísmica (Colombia).
Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente (NSR-10). Bogotá,
2010. 1625p

BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis. Estabilidad de taludes. Infraestructura, pág. 17.

Corpes Gobernación de Santander. 1991. Atlas Ambiental del Departamento de
Santander. 148p.

DUNCAN, J. Michael and WRIGHT, Stephen G. Soil Strength and
Slope Stability. 1ra. Ed. 2005. 312p.

Estabilidad de Taludes. Sitio Web del Ingeniero Jaime Suárez Díaz:
http://www.erosion.com.co/index.php?option=com_content&task=view&id=76

Estudios Geológicos. Sitio Web del Instituto Colombiano de Geología y Minería:
<http://www.ingominas.gov.co>

INGEOMINAS. Mapa geológico de Colombia, 1 plano. 1976.

INGEOMINAS. Mapa geológico generalizado de Santander. 1998.

INGEOMINAS. Boletín geológico. Volumen V, Número 3.

INGEOMINAS. 2001. Mapa geológico generalizado del departamento de
Santander. Memoria explicativa. 92p.

INSTITUTO Nacional de Vías (Colombia). I.N.V.E-126. Límite Plástico en índice Plasticidad.4p

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA, Ingeominas. Informe final zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta.2001.632p.

INSTITUTO Nacional de Vías (Colombia). I.N.V. E-154. Determinación de la Resistencia al Corte. Método del Corte Directo (Consolidado Drenado). 10p.

JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRIGUEZ, Alfonso. Mecánica de Suelos. Limusa. 1999-2000

OQUENDO VARGAS, Diana y QUINTERO VELASCO, Astrid. Elaboración de un manual con ejercicios para la estabilización de taludes utilizando estructuras de contención. Tesis de la Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Físico-Mecánicas. UIS. 2008

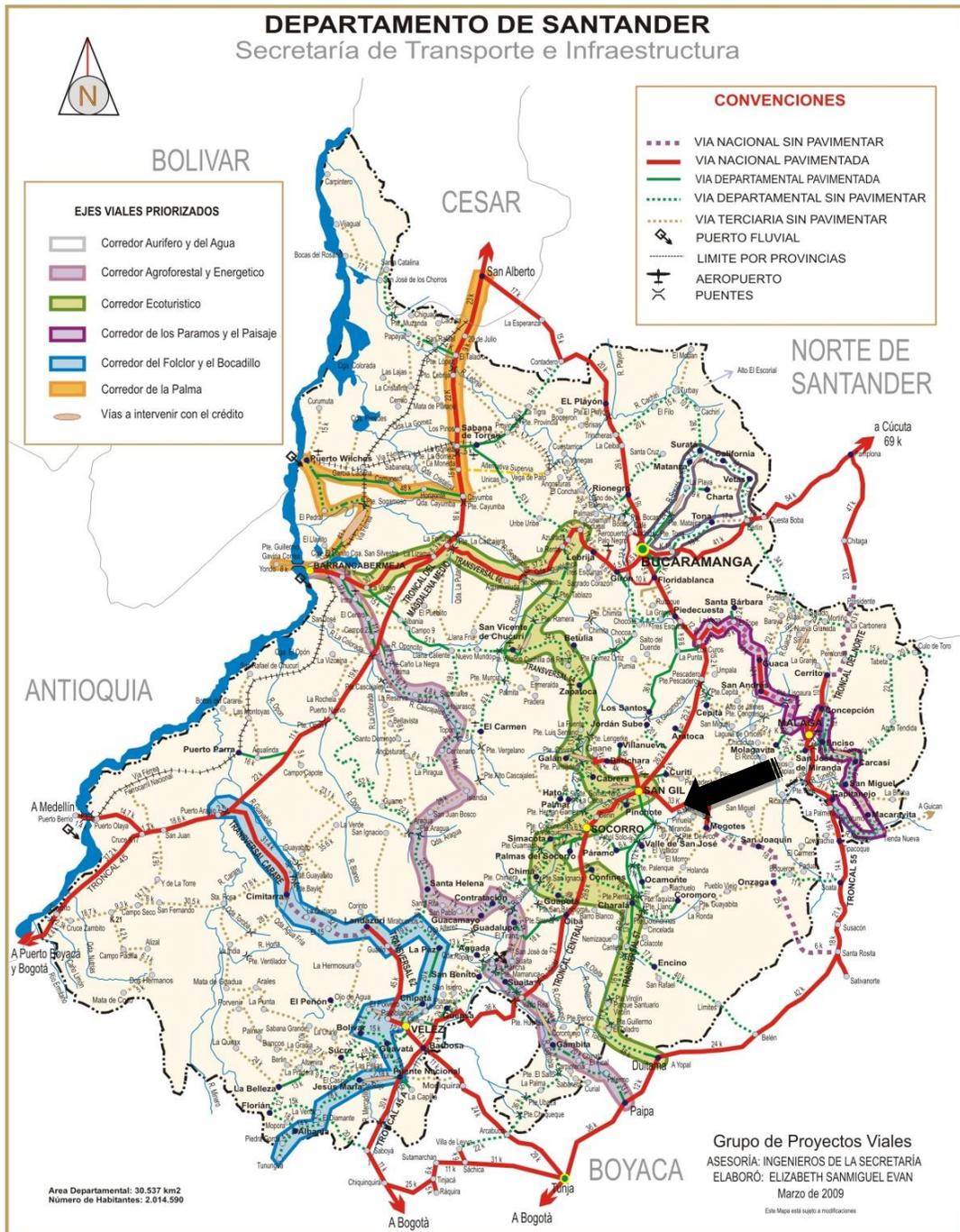
R. HOLLINGSWORTH AND J. STEWART. Guidelines for analyzing and mitigating landslide hazards in California (2002).

SUAREZ DIAZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga, Editor: Ingeniería de Suelos Ltda.1998.540p

ZONIFICACION SISMOGEOTECNICA INDICATIVA DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, Mapa Geológico. Edgar Carrillo, Eduardo Castro, Diego Ibáñez, Heyley Vergara. Escala 1:25000. 2001.

ANEXOS

ANEXO A: MAPA DE EJES VIALES DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER



Fuente: Secretaria de transporte e infraestructura

ANEXO B: RETRO CÁLCULO

RETRO CÁLCULO

Para este tipo de análisis “Retro Cálculo”, el documento GUIDELINES FOR ANALYZING AND MITIGATING LANDSLIDE HAZARDS IN CALIFORNIA (2002), hace la siguiente referencia: este procedimiento es conocido como retro cálculo retro análisis, y requiere determinar la configuración de la superficie de falla del deslizamiento relativa a la topografía en el instante en que ocurrió la falla, perfil estratigráfico del subsuelo a lo largo de la superficie de falla, niveles freáticos, condiciones de carga externa y densidad del suelo. Una vez esta información es conocida, se elige un método de análisis matemático acorde a la superficie de falla. Los parámetros de resistencia al cortante son ajustados mediante análisis consecutivos hasta obtener un factor de seguridad de 1.0. Este método provee diferentes combinaciones de cohesión y ángulos de fricción.

Estos parámetros de resistencia pueden ser utilizados en la evaluación de las alternativas de estabilización. Skempton (1985) comparó resistencias al cortante drenadas obtenidas mediante métodos cuidadosos de alta calidad en muestras de superficies de falla con resistencias determinadas por retro análisis de superficies de falla y obtuvo buenas correlaciones, indicando que el “Retro Cálculo” es un método válido para fallas con comportamiento drenado.

Usando esta técnica y apropiados métodos de análisis, como equilibrio límite, es posible obtener un modelo de deslizamiento en el instante que este fallo, Duncan (2005).

ANEXO C: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

MÉTODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Métodos de equilibrio límite y factor de seguridad

El análisis de los movimientos de los taludes o laderas durante muchos años se ha realizado utilizando las técnicas del equilibrio límite. Este tipo de análisis requiere información sobre la resistencia del suelo, pero no requiere sobre la relación esfuerzo-deformación. El sistema de equilibrio límite supone que en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0.

El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. Cada día se han mejorado los sistemas de Dovelas desarrollados a inicios del siglo XX y existe Software muy fácil de utilizar. Generalmente, los métodos son de iteración y cada uno de ellos posee cierto grado de precisión.

El Factor de Seguridad es empleado por los Ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1927) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$F.S = \frac{\textit{Resistencia al corte}}{\textit{Esfuerzo al cortante}}$$

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$F.S = \frac{\textit{Momento Resistente}}{\textit{Momento Actuante}}$$

Existen, además, otros sistemas de plantear el factor de seguridad, tales como la relación de altura crítica y altura real del talud y método probabilístico. La mayoría de los sistemas de análisis asumen un criterio de “equilibrio límite” donde el criterio

de falla de Coulomb es satisfecho a lo largo de una determinada superficie. Se estudia un cuerpo libre en equilibrio, partiendo de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para producir el equilibrio. Calculada esta fuerza resistente, se compara con la disponible del suelo o roca y se obtiene una indicación del Factor de Seguridad.

Otro criterio es el de dividir la masa a estudiar en una serie de tajadas, dovelas o bloques y considerar el equilibrio de cada tajada por separado. Una vez realizado el análisis de cada tajada se analizan las condiciones de equilibrio de la sumatoria de fuerzas o de momentos.

$$F.S = \frac{\Sigma \text{Resistencias al corte}}{\Sigma \text{Esfuerzos al cortante}}$$

Formulación de los métodos del equilibrio límite.

Estática, geometría de la falla y propiedades de los materiales

La formulación de los métodos de equilibrio límite asume lo siguiente:

a) El factor de seguridad de la componente cohesiva y el de la componente friccionante, es el mismo.

b) El factor de seguridad es el mismo para todas las dovelas.

Cada una de las variables relacionadas con el mecanismo se definen como sigue a continuación:

- **W**: El peso total de una dovela de ancho b y de altura h .
- **N**: Fuerza normal actuando en la base de una dovela.
- **S**: Fuerza cortante que actúa en la base de cada dovela.
- **E**: Fuerza normal que actúa entre cada dovela. Los subíndices L y R se refieren a los lados izquierdos y derecho de la dovela, respectivamente.
- **X**: Fuerza cortante vertical entre cada dovela. Los subíndices L y R se refieren a los lados izquierdos y derecho de la dovela, respectivamente.
- **D**: Carga externa puntual.
- **Kw**: Fuerza sísmica aplicada en el Centroides de cada dovela.

- **R**: Es el radio de giro para una superficie de falla circular o el brazo de momentos
- Asociados con la fuerza cortante, S_m para cualquier forma de superficie de falla.
- **f**: Es la distancia perpendicular medida desde el eje longitudinal de la fuerza normal al centro de rotación o centro de momentos. Se asume que aquellas distancias f , ubicadas al lado derecho del eje de rotación de una pendiente negativa (taludes inclinados hacia la izquierda), son negativas y las distancias f ubicadas al lado izquierdo, son positivas. Para pendientes positivas, la convención de signos es la contraria.
- **x** : Distancia horizontal que existe entre el eje longitudinal de la dovela al centro de rotación o centro de momentos.
- **e** : Distancia vertical medida desde el Centroides de cada dovela al centro de rotación o centro de momentos.
- **d** : Distancia perpendicular medida desde el eje longitudinal de una carga puntual al eje de rotación o centro de momentos.
- **h** : Distancia vertical medida desde el centro de la base de cada dovela a la superficie del terreno.
- **a** : Es la distancia perpendicular medida desde la resultante de las fuerzas debidas a fluidos al centro de rotación o centro de momentos. Los subíndices L y R se refieren a los lados izquierdo y derecho del talud, respectivamente.
- **A** : Es la resultante de las fuerzas debidas al agua. Los subíndices L y R se refieren a los lados izquierdo y derecho del talud, respectivamente.
- α : Es el ángulo de la carga puntual con respecto a la horizontal. Este ángulo es medido en sentido contrario a las agujas del reloj.
- β : Es el ángulo entre la tangente al centro de la base de cada dovela y la horizontal. La convención de signos es la siguiente: es positivo cuando el ángulo de la pendiente se ubica en la misma dirección que la geometría de la pendiente. Es negativo cuando la geometría es la contraria.
- s_n : Esfuerzo normal promedio en la base de cada dovela.
- **F** : Factor de seguridad.
- **b** : Longitud de la base de cada dovela.
- **I** : Relación de fuerza cortante y fuerza normal en la interfase de dovelas.
- **F_f** = Factor de seguridad del equilibrio de fuerzas.
- **F_m** : Factor de seguridad del equilibrio de momentos.

Las figuras 1 y 2 muestran todas las fuerzas que actúan en una superficie circular y en una superficie compuesta.

La figura 3 muestra las fuerzas actuando en una superficie de falla definida por una serie de líneas rectas. La ubicación del centro de momentos no es importante cuando se satisfacen tanto las condiciones de equilibrio de fuerzas y momentos. Sin embargo, cuando sólo el equilibrio de momentos es satisfecho, es importante la ubicación del mismo.

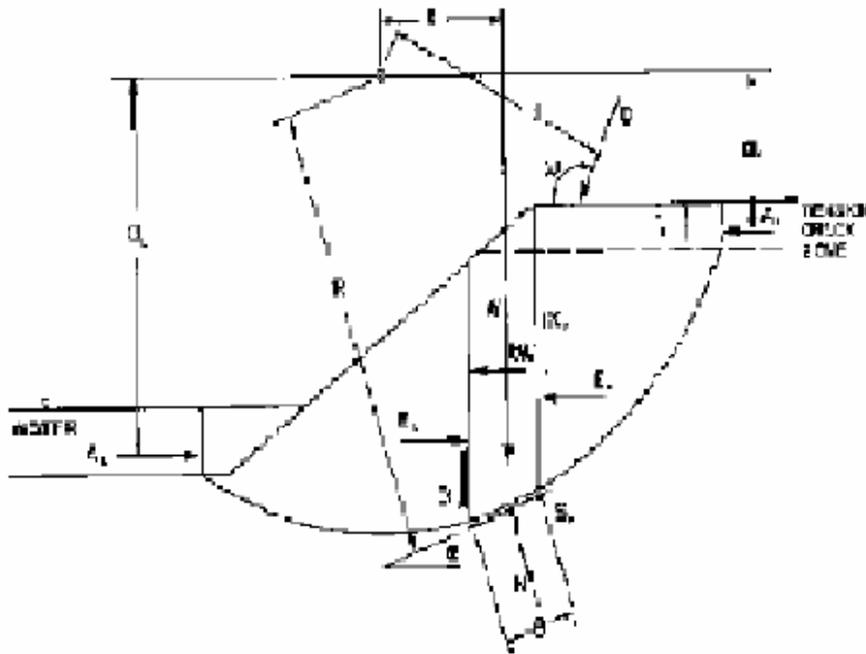


Figura 1. Fuerza actuando en una dovela cuando la superficie de falla es circular. [GEO-SLOPE, 2002]

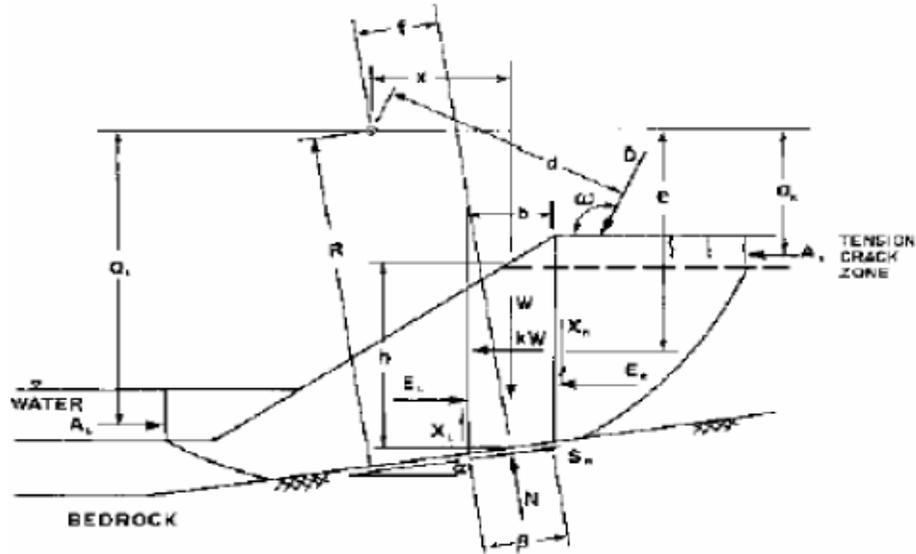


Figura 2. Fuerzas actuando en una dovela cuando la superficie de falla es compuesta. [GEO-SLOPE, 2002]

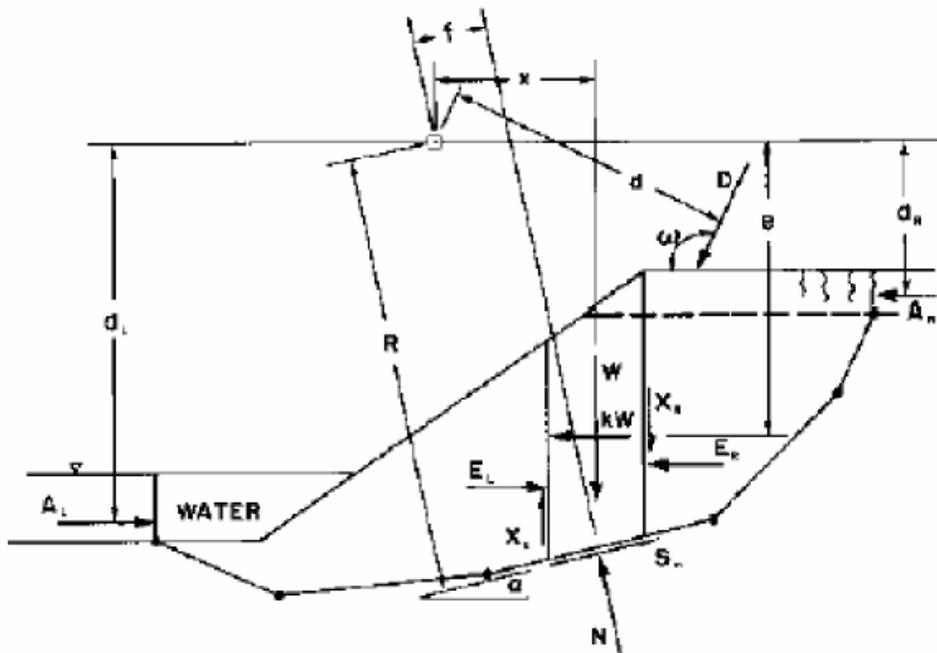


Figura 3. Fuerzas actuando en una dovela cuando la superficie de falla está definida por segmentos de líneas rectas.[GEO-SLOPE, 2002]

Cuando se realiza un análisis de esfuerzos efectivos, el esfuerzo cortante es definido como:

$$S = c' + (\sigma_n - u * \tan \varphi')$$

Donde:

- S = Esfuerzo cortante.
- c' =Cohesión efectiva.
- φ' =Angulo de fricción interna efectivo.
- σ_n = Esfuerzo normal total.
- u = Presión de poros.

La magnitud de la fuerza cortante para satisfacer las condiciones de equilibrio es la siguiente:

$$S_m = \frac{s\beta}{F} = \frac{\beta(c' + (\sigma_n - u \tan \varphi'))}{F}$$

Donde:

$\sigma_n = \frac{N}{\beta}$, que es igual al esfuerzo normal promedio en cada dovela

Para calcular el factor de seguridad se recurre al equilibrio de fuerzas y equilibrio de momentos. Estas ecuaciones, junto con el criterio de falla son insuficientes para determinar el problema. Se requiere de un mayor conocimiento acerca de la distribución de la fuerza normal en la base de cada dovela y la distribución de las fuerzas entre dovelas. En las figuras 1 y 2 se presentan el número de ecuaciones disponibles y variables desconocidas asociadas con problemas de estabilidad.

Número de ecuaciones disponibles	Descripción
n	Sumatoria de fuerzas en la dirección horizontal
n	Sumatoria de fuerzas en la dirección vertical
n	Sumatoria de momentos
n	Criterio de falla Mohr-Coulomb
4n	Total de ecuaciones

Figura 4. Ecuación disponible para resolver el factor de seguridad

En vista de que el número de variables desconocidas excede al número de ecuaciones disponibles, el problema se vuelve indeterminado. Para hacer el problema determinado se requiere asumir direcciones, magnitudes y/o puntos de aplicación de algunas de las fuerzas. En la mayoría de los métodos primero asume que el punto de aplicación de la fuerza normal que actúa en la base de cada dovela, se ubica en el eje central de la misma; después se asumen las magnitudes, direcciones o puntos de aplicación de las fuerzas que actúan en la interfase de dovelas. En general, los métodos asociados con dovelas pueden ser clasificados en términos de (1) las ecuaciones de estática utilizadas para el cálculo del factor de seguridad y (2) las suposiciones de fuerzas que actúan en la interfase de las dovelas para volver el problema determinado.

Número de variables desconocidas	Descripción
n	Magnitud de la fuerza normal en la base de una dovela, N.
n	Punto de aplicación de la fuerza normal en la base de cada dovela.
n - 1	Magnitud de la fuerza normal generada en la interfase de dovelas, E.
n - 1	Punto de aplicación de la fuerza normal en la interfase de dovelas, X.
n - 1	Magnitud de la fuerza cortante en la interfase de dovelas, X.
n	Fuerza cortante en la base de cada dovela, S_m .
1	Factor de seguridad
1	Relación de fuerza normal y cortante en la interfase de dovelas, λ .
$6n - 1$	Total de variables desconocidas.

Figura 5. Variables desconocidas para resolver el factor de seguridad [GEO-SLOPE, 2002]

Método general del límite de equilibrio:

En el método general del límite de equilibrio se utilizan las siguientes ecuaciones de

Estática:

1. La sumatoria de las fuerzas en la dirección vertical para cada dovela. Esta se resuelve para la fuerza normal que actúa en la base de cada dovela, N.

2. La sumatoria de fuerzas en la dirección horizontal para cada dovela es utilizada para el cálculo de la fuerza normal que actúa en la interface de dovelas, E.
3. La sumatoria de momentos de todas las dovelas con respecto a un punto común. Esta ecuación puede ser configurada para resolver el factor de seguridad de equilibrio de momentos, Fm.
4. La sumatoria de fuerzas en la dirección horizontal de todas las dovelas. Con esta ecuación se plantea el factor de seguridad de equilibrio de fuerzas, Ff.

Aun con las ecuaciones de estática planteadas previamente, el problema sigue siendo indeterminado. Para poder resolver el problema, se deberá asumir una función arbitraria que plantee la dirección de la resultante de las fuerzas que actúan en la interfase de cada dovela. Después, el factor de seguridad puede ser calculado basado en el equilibrio de momentos (Fm) y el equilibrio de fuerzas (Fr). Los factores de seguridad pueden variar dependiendo del porcentaje de la fuerza normal (γ) que se utiliza en el cálculo.

Utilizando el mismo método general del límite de equilibrio, se puede especificar una variedad de fuerzas de interface para satisfacer las condiciones de equilibrio de fuerzas o equilibrio de momentos. La mayoría de métodos de análisis de equilibrio, están basados en las suposiciones hechas para las fuerzas de interface y la selección del factor de seguridad generado del equilibrio de momentos (Fm) o equilibrio de fuerzas (Fm). Un método más riguroso deberá satisfacer tanto el equilibrio de fuerzas como el equilibrio de momentos.

Factor de seguridad para equilibrio de momentos:

Para poder plantear la ecuación del factor de seguridad para equilibrio de momentos, se deberá efectuar la sumatoria de momentos de todas las dovelas con respecto a un punto en común (Figuras 1 – 3). Dicha ecuación se escribe de la siguiente manera:

$$\sum W_x - \sum S_n R - \sum N_f + \sum k W_e \pm [Dd] \pm Aa = 0$$

Ecuación 3

El término entre corchetes significa que esa fuerza será considerada sólo en aquella dovela ven la cual actúa la fuerza. Sustituyendo la Ecuación 2 en la Ecuación 3 y resolviendo para el factor de seguridad se tiene:

$$F_s = \frac{\sum (c' \beta R + (N - u \beta R \tan \phi'))}{\sum W_x - \sum N_f + \sum k W_e \pm [D d] \pm A a}$$

Ecuación 4

La Ecuación 4 es no lineal debido a que la fuerza normal, N, es también función del factor de seguridad. El procedimiento para resolver la ecuación será descrita más adelante.

Factor de seguridad para equilibrio de fuerzas:

Tomando en cuenta las Figuras 1 a 3, se realiza la sumatoria de fuerzas en la dirección horizontal para todas las dovelas, dando como resultado la siguiente ecuación:

$$\sum (E_L - E_R) + \sum N (\sin \alpha) + \sum S_m (\cos \alpha) - \sum k W + [D \cos \alpha] \pm A = 0$$

Ecuación 5

La primera sumatoria de la expresión anterior deberá ser cero cuando el cálculo se realiza con respecto a la masa deslizante total. Sustituyendo la Ecuación 2 en la Ecuación 5 y resolviendo para el factor de seguridad, se tiene:

$$F_f = \frac{\sum (c' \beta \cos \alpha + (N - u \beta \tan \phi \cos \alpha))}{\sum (N \sin \alpha) + \sum k W - [D \cos \alpha] \pm A}$$

Ecuación 6

La Ecuación 6 es también no lineal, y el procedimiento para resolver la ecuación será descrito más adelante en este capítulo.

Fuerza normal en la base de la dovela:

La fuerza normal en la base de una dovela es derivada de la sumatoria de fuerzas en la dirección vertical de cada dovela.

$$-W + (X_L - X_R) + N \cos \alpha + S_m \sin \alpha - [D \sin \omega] = 0$$

Ecuación 7

Sustituyendo la Ecuación 2 en la Ecuación 7 y resolviendo para la fuerza normal, se tiene lo siguiente:

$$N = \frac{W + (X_R - X_L) + \frac{c' \beta \sin \alpha + u \beta \sin \alpha \tan \phi'}{F} + [D \sin \omega]}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{F}}$$

Ecuación 8

Es de la práctica común asignarle la variable m a al denominador de la Ecuación 8. El factor de seguridad, F , puede ser tanto el factor de seguridad para equilibrio de momentos (F_m) como el factor de seguridad para el equilibrio de fuerzas (F_f).

La Ecuación 8 no puede ser resuelta directamente debido a que el factor de seguridad (F) y las fuerzas cortantes entre dovelas (X_L y X_R) son desconocidos.

Una de las soluciones dadas al factor de seguridad, es propuesta por Fellinius (1936), en la cual las fuerzas cortantes y normales que actúan en la interfase de las dovelas son nulas.

Cuando las fuerzas son asumidas en la dirección perpendicular a la base de cada dovela, se obtiene la siguiente ecuación de la fuerza normal:

$$N = W \cos \alpha - k W \sin \alpha + [D \cos(\omega + \alpha - 90)$$

Ecuación 9

Utilizando la Ecuación 9 y sustituyéndola en las Ecuaciones 4 y 6, se tiene la primera iteración del factor de seguridad. El factor de seguridad de la Ecuación 4 es también conocido como el factor de seguridad del Método Ordinario de Fellinius. Suponiendo que las fuerzas cortantes entre dovelas en la Ecuación 8 son iguales a cero, la fuerza normal en la base puede ser calculada de la manera siguiente:

$$N = \frac{W - \frac{c'\beta \sin\alpha + u\beta \sin\alpha \tan\phi'}{F} + [D \sin\alpha]}{\cos\alpha + \frac{\sin\alpha \tan\phi'}{F}}$$

Ecuación 10

Cuando la Ecuación 10 es utilizada en el cálculo del factor de seguridad del Equilibrio de Momentos (Ecuación 4), la solución es el factor de seguridad del Método Simplificado de Bishop.

La Ecuación 10 puede ser utilizada para resolver el factor de seguridad del equilibrio de fuerzas (Ecuación 6). La solución presentada es también conocida como el Método Simplificado de Janbu sin el factor de corrección empírico f_0 (Janbu, Bjerrum, and Kjaernsli, 1956).

Fuerzas que actúan en la interfase de las dovelas:

La fuerza cortante que actúa en la interfase de cada dovela es requerida para el cálculo de la fuerza normal que actúa en la base de cada dovela. La fuerza cortante que actúa en la interfase de las dovelas es calculada como un porcentaje de la fuerza normal que actúa en la interfase de las dovelas de acuerdo con la siguiente ecuación empírica, (Morgenstern and Price, 1965):

$$X = E\lambda f(x)$$

Ecuación 11

Donde:

- γ = Porcentaje en forma decimal de la función utilizada.
- $f(x)$ = Función que representa la dirección relativa de la resultante de las fuerzas de interfase. La figura 4 muestra algunas de las funciones típicas utilizadas.

La figura 5 ilustra como la función de fuerzas de interfase $f(x)$ es utilizada para el cálculo de fuerza cortante en la interfase. Considerando que se utiliza una función senoidal, asuma que la fuerza normal E, entre la dovela 1 y 2 es 100 kN y el valor de Lambda (γ) es 0.5. Los límites de la dovela se ubican en el primer cuarto de la superficie de falla. El valor $f(x)$ en este punto es 0.707 (sin 45). La fuerza cortante X se calcula entonces como:

- $f(x) = \sin 45=0.707$
- $\gamma=0.5$
- $E=100$
- $X=100*0.5*0.707=35.35\text{kN}$

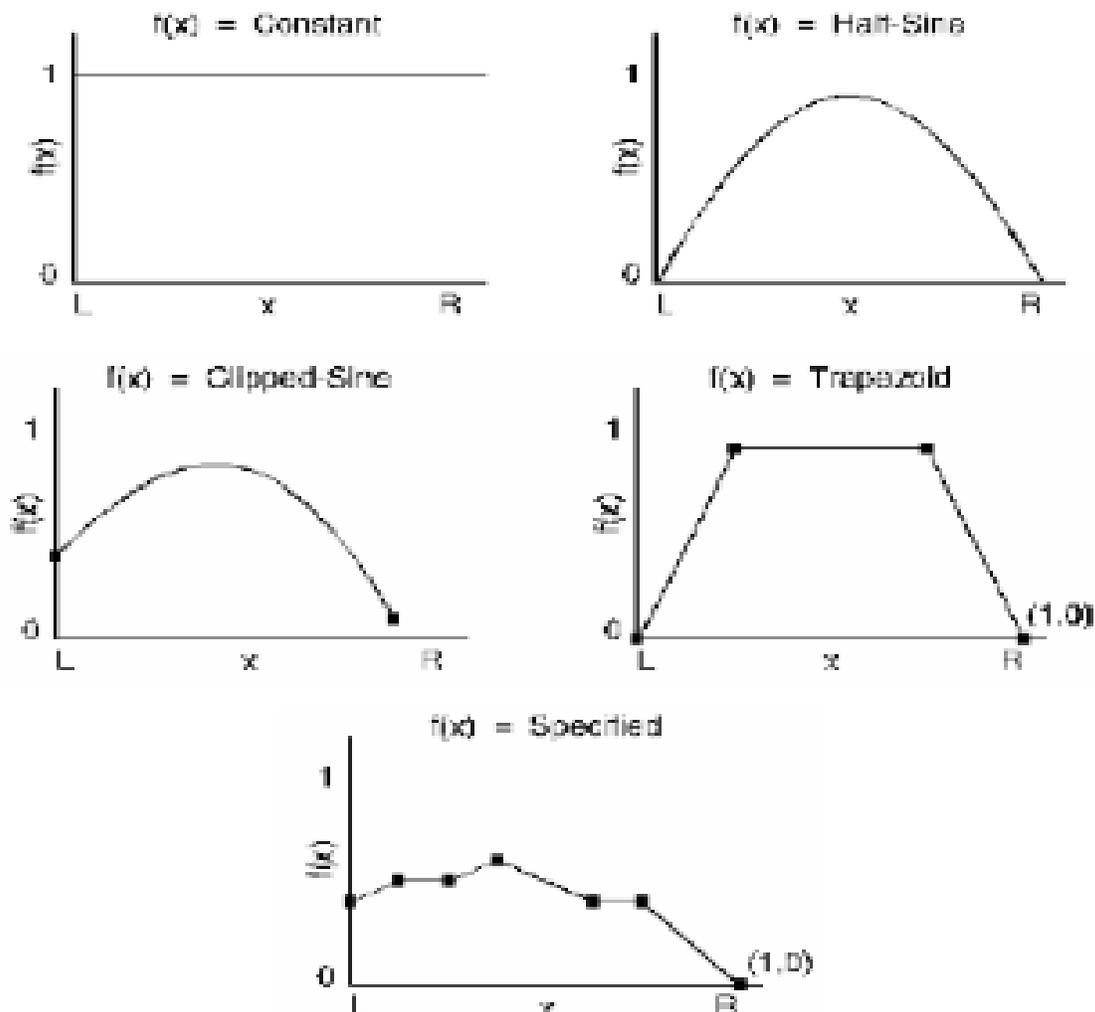


Figura 6 Variación de la dirección de las fuerzas de interfase con respecto al eje X [GEO-SLOPE,2002]

Para éste ejemplo, la relación de fuerza cortante a fuerza normal varía de cero en la cresta y en el pie, a un máximo de 0.5 en el punto medio de la superficie de falla.

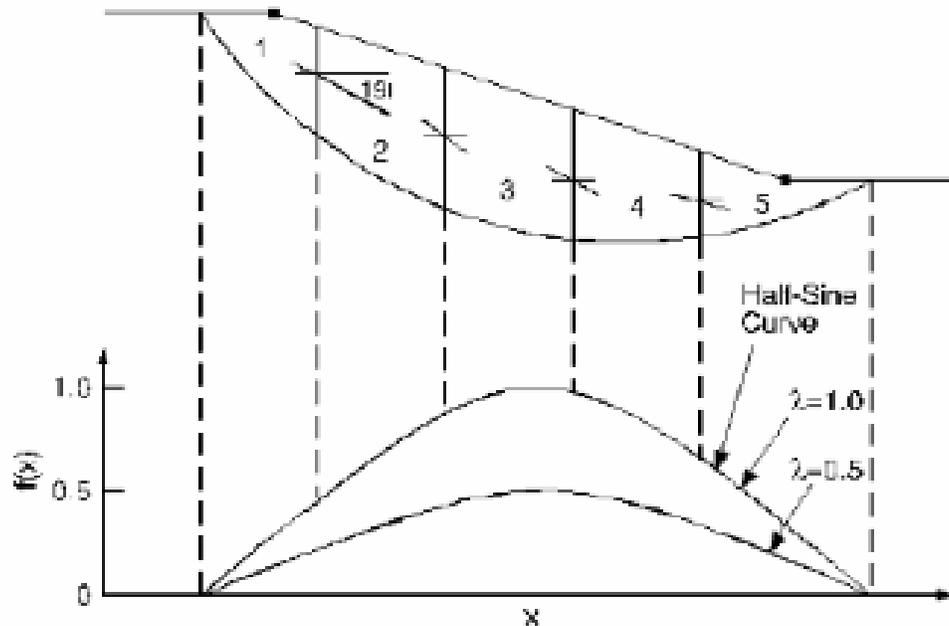


Figura 7 Variación de la dirección de las fuerzas de interfase a lo largo de la superficie de falla[GEO-SLOPE,2002]

Para cada dovela, sumatoria de fuerzas en la dirección horizontal puede ser escrita como sigue:

$$(E_L - E_R - N \sin\alpha + S_m \cos\alpha - kW + [D \cos\alpha = 0$$

Ecuación 12

Sustituyendo la Ecuación 2 en la Ecuación 12, y resolviendo para la fuerza normal en el lado derecho de cada dovela se tiene,

$$E_R = E_L + \frac{(c'\beta - u\beta \tan\phi \cos\alpha)}{F} + N \left(\frac{\tan\phi \cos\alpha}{F} - \sin\alpha \right) - kW + [D \cos\omega] \quad (\text{Ec. 6.13})$$

Ecuación 13

El cálculo de las fuerzas normales en la interfase de las dovelas se puede realizar de izquierda a derecha a lo largo de la superficie de falla.

Método utilizado por el programa Slope/w de Geo-Slope para el cálculo del factor de seguridad.

Para calcular los factores de seguridad según los diversos métodos de equilibrio límite, se realizan cuatro etapas para la solución.

Primera etapa:

Para la primera iteración, las fuerzas normales y cortantes entre las dovelas son nulas. El factor de seguridad obtenido para el equilibrio de momentos corresponde al factor de seguridad del Método Ordinario de Fellinius. Este factor de seguridad es utilizado como la primera aproximación correspondiente a la segunda etapa de iteración.

Segunda Etapa:

En la segunda etapa se resuelven las ecuaciones no lineales de los factores de seguridad (Ecuaciones 4 y 6). El valor I (relación de fuerza cortante y fuerza normal entre dovelas) se iguala a cero, por lo tanto, la fuerza cortante que actúa en la interfase de las dovelas es nula. Se requieren de 4 a 6 iteraciones para asegurar la convergencia de los factores de seguridad de fuerzas y momentos. La respuesta para la ecuación del equilibrio de momentos corresponde al Método Simplificado de Bishop. La solución del factor de seguridad del equilibrio de fuerzas corresponde al Método Simplificado de Janbu sin la aplicación del factor de corrección empírico, f_0 . El factor de corrección depende de la geometría de la superficie de falla, la cohesión y el ángulo de fricción del suelo. El cálculo del

factor de seguridad de Janbu, se deberá realizar manualmente si se requiere utilizar el factor de corrección f_0 . Utilizar Figuras 6 y 7 para el cálculo manual.

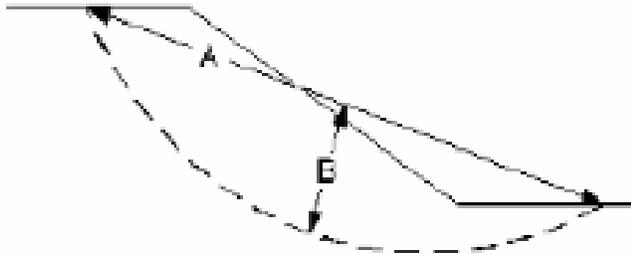


Figura 8 Distancia B definida por Janbu, Bjerrum and Kjaemslil[GEO-SLOPE,2002]

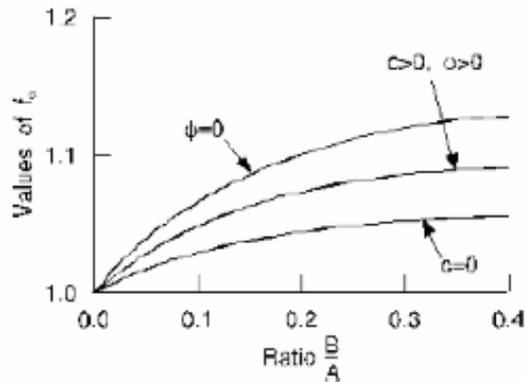


Figura 9 Factor de corrección de f_0 del Método simplificado de Janbu[GEO-SLOPE,2002]

Tercera Etapa:

En esta etapa se calculan los factores de seguridad de fuerzas y momentos para aquellos métodos que consideran las fuerzas entre dovelas.

En la etapa 3, el programa calcula un valor del γ que provee el mismo factor de seguridad para equilibrio de fuerzas y momentos. La técnica utilizada es conocida como "Solución Rápida" y es muy similar al Método de convergencia de Newton-Raphson.

En la Solución Rápida se asigna un valor inicial de γ igual a $2/3$ de la cuerda del talud (Figura 8). Los factores de seguridad de equilibrio de fuerzas y momentos son calculados utilizando esta estimación de λ . Estos factores de seguridad junto a los obtenidos con el valor de λ nulo, son utilizados para predecir un

valor de lambda tal que los factores de seguridad de equilibrio de momentos y fuerzas sean iguales.

El procedimiento descrito previamente se repite hasta que se cumpla una tolerancia definida previamente. De esta manera se puede realizar el cálculo de factores de seguridad para cualquier función que defina la relación de las fuerzas entre dovelas.

La Figura muestra el procedimiento utilizado cuando el factor de seguridad de momentos es mayor que el factor de seguridad de fuerzas, en la Figura 10 muestra el procedimiento contrario al descrito anteriormente.

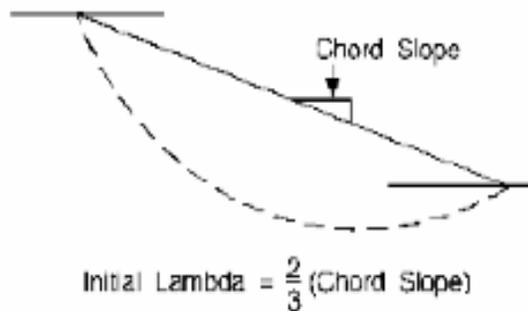


Figura 10 Primera estimación de γ utilizada en la Solución Rápida [GEO-SLOPE,2002]

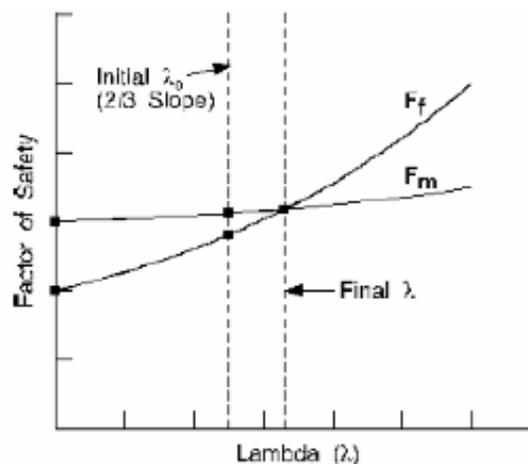


Figura 11 procedimiento utilizado cuando $F_m > F_f$ para la estimación de γ_0 [GEO-SLOPE,2002]

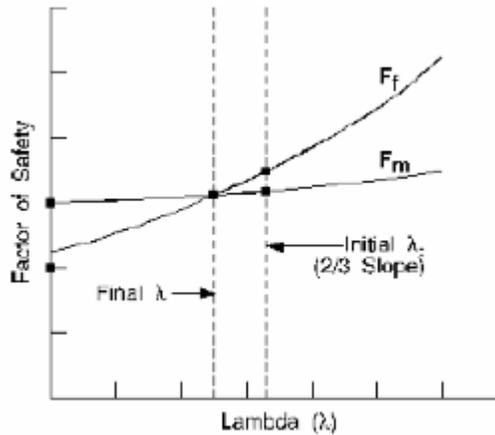


Figura 12 Procedimiento utilizado cuando $F_m < F_f$ para la estimación γ_o [GEO-SLOPE,2002]

Cuarta Etapa:

La cuarta etapa es realizada cuando se definen valores de I para el cálculo de factores de seguridad de equilibrio de fuerzas y momentos. Los factores de seguridad pueden ser graficados para varios valores de I como se demuestra en las Figuras 11 y 12.

La etapa 4 provee un entendimiento completo de la relación entre los factores de seguridad y la función definida para las fuerzas entre dovelas. También puede ser utilizada para simular todos los métodos de estabilidad que emplean las fuerzas entre dovelas.

En la etapa 4 se realizan las soluciones para los métodos de Corps of Engineers y LoweKarafiath. El factor de seguridad es calculado utilizando la ecuación de equilibrio de fuerzas con un valor de γ igual a 1. En la Figura 13 se comparan los factores de seguridad obtenidos en distintos métodos de análisis.

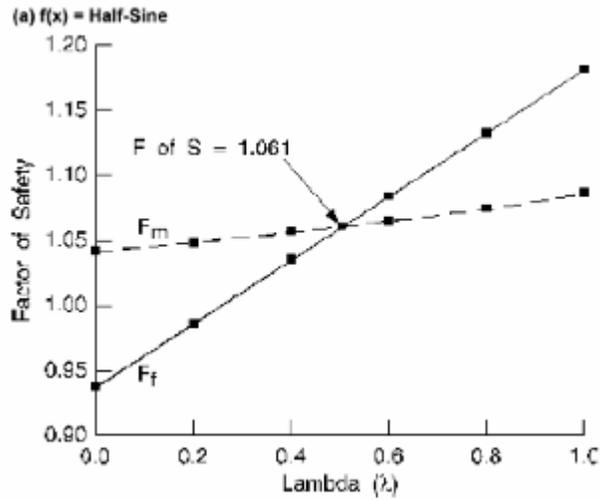


Figura 13 Variación del factor de seguridad respecto a γ cuando la función es senoidal [GEO-SLOPE,2002]

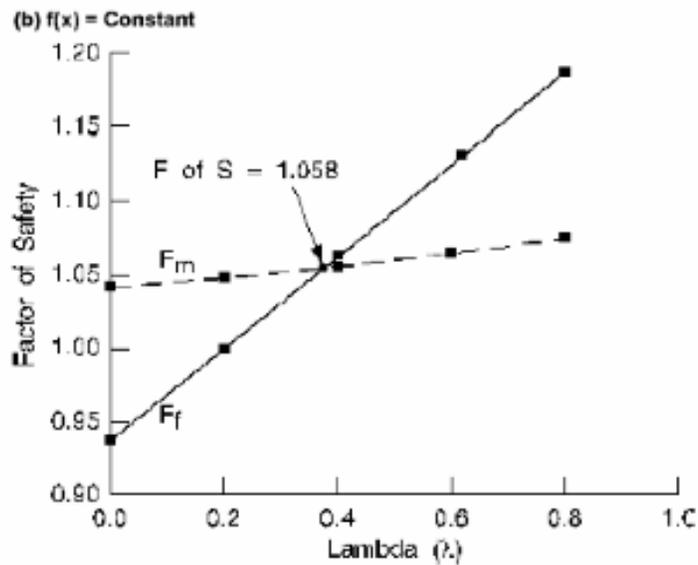


Figura 14 Variación del factor de seguridad respecto a γ cuando la función es constante [GEO-SLOPE,2002]

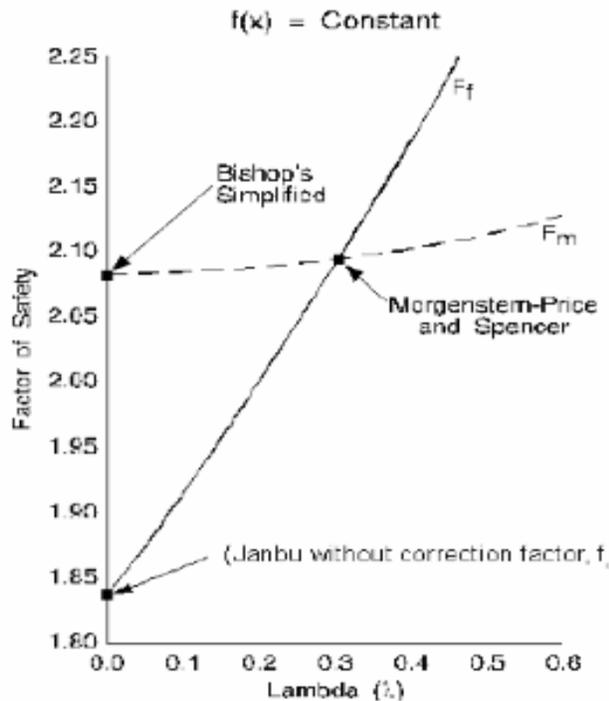


Figura 15 factores de seguridad obtenidos en distintos métodos [GEO-SLOPE,2002]

Comparación de los diversos métodos:

La cantidad de métodos que se utilizan, los cuales dan resultados diferentes y en ocasiones contradictorios son una muestra de la incertidumbre que caracteriza los análisis de estabilidad.

Los métodos más utilizados por los ingenieros geotécnicos en todo el mundo son los simplificados de Bishop y de Janbú, los cuales en su concepción teórica no satisfacen equilibrios de fuerzas o de momentos. Los valores de factores de seguridad que se obtienen por estos dos métodos generalmente, difieren en forma importante de resultados utilizando procedimientos que satisfacen el equilibrio, como son los métodos de Spencer y de Morgenstern-Price.

Aunque una comparación directa entre los diversos métodos no es siempre posible, los factores de seguridad determinados con el método de Bishop difieren por aproximadamente el 5% con respecto a soluciones más precisas, mientras el método simplificado de Janbú generalmente, subestima el factor de seguridad

hasta valores del 30%, aunque en algunos casos los sobrestima hasta valores del 5%. Esta aseveración fue documentada por Fredlund y Krahn (1977). Los métodos que satisfacen en forma más completa el equilibrio son más complejos y requieren de un mejor nivel de comprensión del sistema de análisis.

La Tabla 3 presenta las condiciones de equilibrio estático que se satisfacen en los diversos métodos. La Tabla 4 presenta una comparación de los diversos métodos basados en equilibrio límite.

Métodos de equilibrio límite	Hipótesis
Fellenius (Ordinario) (1927)	Supone que las fuerzas entre rebanadas se anulan entre si. Solo para deslizamiento circular.
Bishop Modificado (1955)	La fuerza resultante entre rebanadas es horizontal (significa que no hay fuerza tangencial entre rebanadas) Solo para deslizamiento circular
Janbu Generalizado (1968)	La posición de la fuerza normal entre rebanadas se define con la línea de empuje y se puede variar, es decir cambiar la posición de la fuerzas resultantes entre rebanadas. Para cualquier superficie de deslizamiento.
Spencer (1967)	Las fuerzas resultantes entre rebanadas son paralelas. Cualquier superficie de deslizamiento.
Morgenstern-Price (1965)	La dirección de las fuerzas resultantes entre rebanadas se define mediante la función predeterminada y se puede variar la orientación, el porcentaje de la función utilizada se resuelva mediante equilibrio de fuerzas y momentos. Cualquier superficie de deslizamiento.
GLE	La dirección de las fuerzas resultantes entre rebanadas se define mediante la función predeterminada, el porcentaje de la función requerido para satisfacer el equilibrio de momentos y fuerzas se define buscando el punto de intersección en el diagrama factor de seguridad vs porcentaje de la función.
Corps of Engineers (1970)	Las direcciones de las fuerzas resultantes entre rebanadas se suponen paralelas al ángulo medio de la superficie del talud o a la línea definida por los puntos de entrada y salida de la línea de deslizamiento en el terreno. Cualquier superficie de deslizamiento.
Lowe-Karafiath (1960)	Las direcciones de las fuerzas resultantes entre rebanadas se suponen iguales al promedio de la superficie del terreno y superficie de deslizamiento en la base de cada rebanada. Cualquier superficie de deslizamiento.
Sarma (1973)	Los valores de las fuerza resultantes entre rebanadas siguen ciertas pautas predeterminadas. Cualquier superficie de deslizamiento.

Tabla 3 Condiciones de equilibrio estático que se satisfacen en los diversos métodos [GEO-SLOPE]

Los métodos de equilibrio límite se fundamentan en comparar las fuerzas motoras, que son las que tienden a provocar el deslizamiento, con las resistentes. El cociente entre estas últimas y las anteriores proporciona el valor del FS.

En la práctica, esto se reduce a dividir una hipotética masa deslizante en rebanadas verticales. Para cada rebanada calculamos su peso, y este peso lo descomponemos vectorialmente en una componente paralela al plano de la base de la rebanada, que será la tensión cortante sobre esa base, y en otra perpendicular a dicha base que representa la presión efectiva sobre la misma (olvidamos las presiones intersticiales para no complicarlo más).

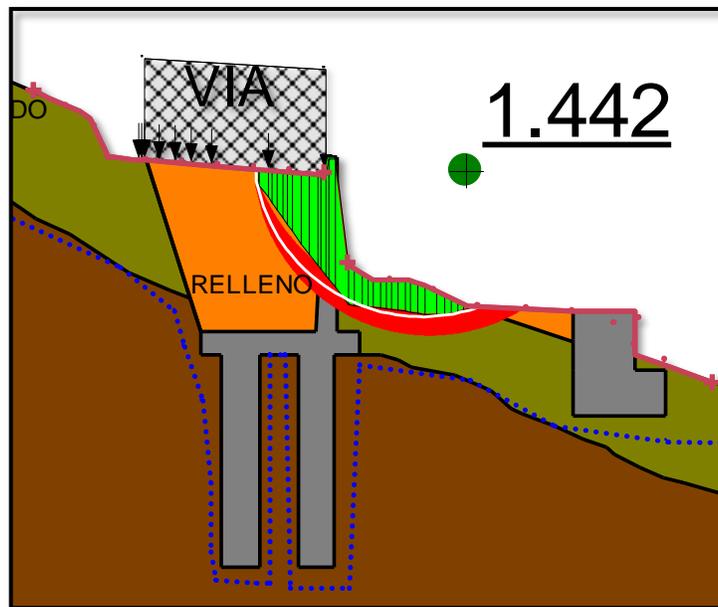
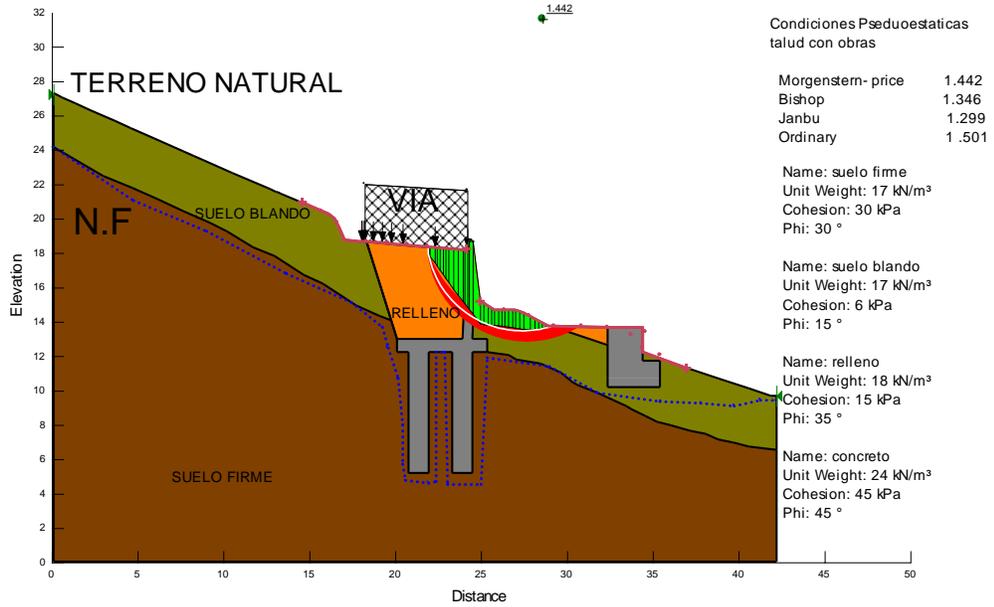
La suma de las fuerzas resistente de todas las rebanadas, dividida por la suma algebraica de las tensiones cortantes, nos da el FS global. Hablo de suma algebraica porque es necesario tener en cuenta la orientación del vector cortante, ya que hay casos en los que pueden aparecer empujes pasivos.

En cuanto al cálculo por elementos finitos, el método más utilizado consiste en modificar los parámetros resistentes (cohesión y rozamiento interno) hasta obtener un par de valores de los mismos que lleva a la rotura. Dividiendo la resistencia al corte generada por los parámetros originales del suelo, por la que dan los parámetros Modificados obtenemos el F.S.

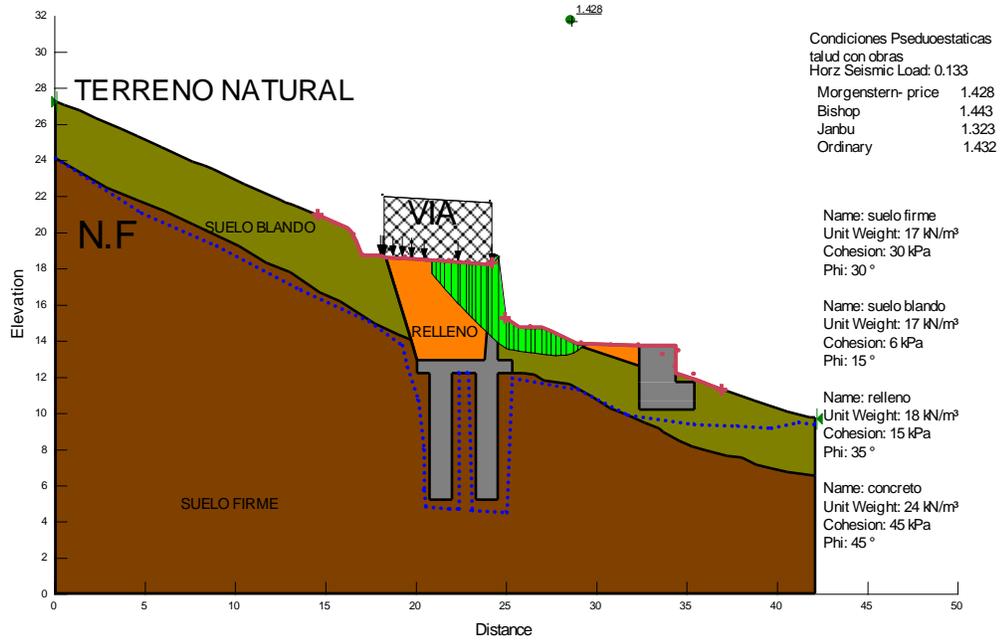
ANEXO D: PERFILES CON OBRAS

MURO DE CONTENCION CON CAISSON

**DISEÑO MURO DE CONTENCION PR 10 + 850
VIA SAN GIL - MOGOTES**



DISEÑO MURO DE CONTENCIÓN PR 10 + 850 VIA SAN GIL - MOGOTES



Modelo geotécnico en slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga sísmica de 0.13g + carga vía de 5KN/m²,

