

**ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR 100 + 200 DE LA VÍA
BUCARAMANGA - PAMPLONA**

NÉSTOR IVAN SANTAMARÍA RODRIGUEZ

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**



CONSULTORÍA, DISEÑO,
INTERVENCIÓN, CONSTRUCCIÓN,
MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN
DE PROYECTOS DE
INFRAESTRUCTURA VIAL,
EDIFICACIONES, OBRAS DE
URBANISMO, PROYECTOS DE
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO,
PROYECTOS DE MONTAJE E
INSTALACIÓN DE ALUMBRADO
PÚBLICO REDES DE MEDIA Y BAJA
TENSIÓN, INSTALACIONES INTERNAS Y
PROYECTOS DE GEOTECNIA,
MONTAJES ELECTROMECÁNICOS Y DE
SUBESTACIONES HASTA 13.2 KV.

*ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR100+0200 DE LA VÍA
BUCARAMANGA - PAMPLONA*

**ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR100 + 200 DE LA VÍA
BUCARAMANGA - PAMPLONA**

Elaborado por:
ING. NÉSTOR IVAN SANTAMARÍA RODRIGUEZ

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



CONSULTORÍA, DISEÑO,
INTERVENCIÓN, CONSTRUCCIÓN,
MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN
DE PROYECTOS DE
INFRAESTRUCTURA VIAL,
EDIFICACIONES, OBRAS DE
URBANISMO, PROYECTOS DE
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO,
PROYECTOS DE MONTAJE E
INSTALACIÓN DE ALUMBRADO
PÚBLICO REDES DE MEDIA Y BAJA
TENSIÓN, INSTALACIONES INTERNAS Y
PROYECTOS DE GEOTECNIA,
MONTAJES ELECTROMECÁNICOS Y DE
SUBESTACIONES HASTA 15.2 KV.

ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR100+0200 DE LA VÍA
BUCARAMANGA - PAMPLONA

DEDICATORIA

*A Leila mi compañera de trasiego, a
mis hijos, hermanos y padres, quienes a
pesar de mi carácter y mis sin sentidos
siempre me han acompañado.*

Gracias siempre.

NESTOR IVAN SANTAMARIA RODRIGUEZ



CONSULTORÍA, DISEÑO,
INTERVENCIÓN, CONSTRUCCIÓN,
MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN
DE PROYECTOS DE
INFRAESTRUCTURA VIAL,
EDIFICACIONES, OBRAS DE
URBANISMO, PROYECTOS DE
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO,
PROYECTOS DE MONTAJE E
INSTALACIÓN DE ALUMBRADO
PÚBLICO REDES DE MEDIA Y BAJA
TENSIÓN, INSTALACIONES INTERNAS Y
PROYECTOS DE GEOTECNIA,
MONTAJES ELECTROMECÁNICOS Y DE
SUBESTACIONES HASTA 15.2 KV.

*ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR100+0200 DE LA VÍA
BUCARAMANGA - PAMPLONA*

AGRADECIMIENTOS

A Dios todopoderoso que nunca me ha desamparado y ha puesto tanta gente valiosa en mi camino, que siempre me da una mano para sortear cualquier dificultad.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	14
2. OBJETIVOS Y ALCANCE	15
2.1 OBJETIVO GENERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2.3 ALCANCES.	16
2.4 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	16
3. METODOLOGIA	17
3.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO.....	17
3.2 RECONOCIMIENTO DE CAMPO.....	17
3.3 ELABORACIÓN INFORME FINAL.....	17
4. LOCALIZACION Y CARACTERISTICAS DEL PROYECTO	18
Ilustración 1: Localización general del proyecto	18
4.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	19
4.2 DESCRIPCIÓN DEL TALUD.	19
4.3 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS.	19
4.4 NIVELES FREÁTICOS.	19
5. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL TALUD EN ESTUDIO	20
6. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS GENERALES	21
6.1 GEOLOGÍA LOCAL	24
7. PRELIMINARES	25
7.1 Sondeos geotécnicos.....	25
7.2 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	27
8. ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES	28
8.1 MODELO Y SOFTWARE UTILIZADO.	28
8.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA.....	29
8.3 EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE ..	30
8.4 ESCENARIO PSEUDOESTÁTICO	31
8.5 ANÁLISIS CON DATOS DEL CONSORCIO NORTE.....	32
8.6 CALIBRACIÓN DEL MODELO, TALUD ANTES DE LA FALLA.	33
8.7 Propiedades utilizadas para el análisis:	34
8.8 PROPIEDADES UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS.....	38



CONSULTORÍA, DISEÑO,
INTERVENCIÓN, CONSTRUCCIÓN,
MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN
DE PROYECTOS DE
INFRAESTRUCTURA VIAL,
EDIFICACIONES, OBRAS DE
URBANISMO, PROYECTOS DE
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO,
PROYECTOS DE MONTAJE E
INSTALACIÓN DE ALUMBRADO
PÚBLICO REDES DE MEDIA Y BAJA
TENSIÓN, INSTALACIONES INTERNAS Y
PROYECTOS DE GEOTECNIA,
MONTAJES ELECTROMECÁNICOS Y DE
SUBESTACIONES HASTA 15.2 KV.

*ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR100+0200 DE LA VÍA
BUCARAMANGA - PAMPLONA*

8.9 MODELO GEOTÉCNICO EN SLOPE W TALUD SATURADO NIVELES DE PRESIÓN DE POROS.....	39
8.10 PROPIEDADES UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS.....	40
8.11 PROPIEDADES UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS.....	43
8.12 GRAFICA DEL FACTOR DE SEGURIDAD.....	45
9. MODELO GEOTÉCNICO EN PLAXIS 8.2.....	46
9.1 ANÁLISIS DE ESFUERZOS	46
9.2 ANÁLISIS CON DATOS DEL CONSORCIO NORTE.....	46
9.3 Propiedades utilizadas para el análisis:	49
10. PROPUESTAS DE LAS POSIBLES OBRAS DE MITIGACIÓN.....	52
10.1 ALTERNATIVA 1: NUEVO MURO DE CONTENCIÓN	52
10.2 ALTERNATIVA 2: PANTALLA ANCLADA.....	56
11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFIA.....	59
ANEXOS	61



CONSULTORÍA, DISEÑO,
INTERVENTORIA, CONSTRUCCIÓN,
MANTENIMIENTO Y REHABILITACION
DE PROYECTOS DE
INFRAESTRUCTURA VIAL,
EDIFICACIONES, OBRAS DE
URBANISMO, PROYECTOS DE
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO,
PROYECTOS DE MONTAJE E
INSTALACION DE ALUMBRADO
PUBLICO REDES DE MEDIA Y BAJA
TENSION, INSTALACIONES INTERIAS Y
PROYECTOS DE GEOTECNIA,
MONTAJES ELECTROMECANICOS Y DE
SUBESTACIONES HASTA 132 KV.

ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR100+0200 DE LA VÍA
BUCARAMANGA - PAMPLONA

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: sondeo geotecnico.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 2: sondeo geotecnico.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 3: caracterización geotécnica.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 4: Criterios de Evaluación de Amenaza</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 5: Características sísmicas.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 6: Propiedades de suelo para modelación en GEO-SLOPE</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 7: Propiedades de suelo para modelación en GEO-SLOPE</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 8: Propiedades de suelo para modelación en GEO-SLOPE</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 9: Propiedades de suelo para modelación en GEO-SLOPE</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 10: Propiedades de suelo para modelación en GEO-SLOPE</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 11: Valores de factor de seguridad, con ϕ (ψ) vs cohesión (c')</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 12: Propiedades de suelo para modelación en GEO-SLOPE</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 13: Propiedades de suelo para modelación en GEO-SLOPE</i>	<i>49</i>

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Localización general del proyecto	18	
Ilustración 2: Localización general del proyecto	20	
Ilustración 3: Mapa geologico de la zona	22	
Ilustración 4: zonificación sísmica.....	31	
Ilustración 5: Análisis de estabilidad estático PR100+200 datos consorcio.....	33	
Ilustración 6: Detalle Muro estructural.....	33	
Ilustración 7: Análisis de estabilidad estático, Talud saturado.....	35	
Ilustración 8: Modelo geotécnico en Slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga vía de 8KN/m2	36	
Ilustración 9: Detalle Muro estructural – Falla critica.....	36	
Ilustración 10: Modelo geotécnico en Slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga sísmica de 0.20g + carga vía de 8KN/m2, talud saturado.....	37	
Ilustración 11: Detalle muro estructural - Falla critica.....	37	
Ilustración 12: Análisis de estabilidad estático sección PR100+200 talud proyectado, Nivel freático a 5.8 m de la superficie.....	38	
Ilustración 13: Análisis de estabilidad Pseudo Estático carga sísmica de 0.20 g + carga vía de 8KN/m2, Nivel freático a 5.8 m de la superficie.....	39	
Ilustración 14: Presión de poros talud saturado.....	39	
Ilustración 15: Análisis de estabilidad estático, Talud saturado.....	40	
Ilustración 16: Modelo geotécnico en slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga vía de 8KN/m2...	41	
Ilustración 17: Detalle Muro estructural – Falla critica.....	42	
Ilustración 18: Modelo geotécnico en slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga sísmica de 0.20g + carga vía de 8KN/m2, talud saturado.....	42	
Ilustración 19: Detalle muro estructural - Falla critica.....	42	
Ilustración 20: Análisis de estabilidad estático, Talud saturado.....	43	
Ilustración 21: Modelo geotécnico en slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga vía de 8KN/m2...	44	
Ilustración 22: Modelo geotécnico en slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga sísmica de 0.20g + carga vía de 8KN/m2, talud saturado.....	44	
Ilustración 23: grafica factor de seguridad.....	45	
Ilustración 24: Análisis deformación, nivel freático a 5.8 m.....	46	
Ilustración 25: Desplazamientos horizontales vectorialmente, nivel freático a 5.8 m.....	47	
Ilustración 26: Detalle muro-Desplazamientos horizontales vectorialmente, nivel freático a 5.8 m.....	47	
Ilustración 27: Grafica desplazamiento horizontal en la cabeza del muro con desplazamiento máximo de 0.22 m.....	48	
Ilustración 28: Diagrama de deformación.....	48	
Ilustración 29: Análisis deformación Talud saturado.....	49	
Ilustración 30: Detalle Deformación muro	Ilustración 31: Detalle deformación Micropilotes.....	49
Ilustración 32: Desplazamientos horizontales vectorialmente carga viva 8KN/m2, Talud saturado.....	50	
Ilustración 33: Diagrama deformación talud saturado.....	50	
Ilustración 34: Curva de desplazamientos horizontales vs el tiempo de la cabeza del muro.....	51	
Ilustración 35: Curva de desplazamientos horizontales vs el tiempo de los Micropilotes.....	51	
Ilustración 36: Comparativo desplazamientos de muro y Micropilotes.....	51	
Ilustración 37: Condiciones de talud inestable.....	52	
Ilustración 38: Escenario estático.....	53	
Ilustración 39: detalle muro de contención, con pilotes de 12 metros.....	53	
Ilustración 40: valor F.S Escenario estático.....	54	
Ilustración 41: Detalle de zanja de coronación para el control de aguas superficiales.....	55	
Ilustración 42: Escenario estático.....	56	
Ilustración 43: valor del F.S para Escenario estático.....	57	



CONSULTORÍA, DISEÑO,
INTERVENTORIA, CONSTRUCCIÓN,
MANTENIMIENTO Y REHABILITACION
DE PROYECTOS DE
INFRAESTRUCTURA VIAL,
EDIFICACIONES, OBRAS DE
URBANISMO, PROYECTOS DE
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO,
PROYECTOS DE MONTAJE E
INSTALACION DE ALUMBRADO
PUBLICO REDES DE MEDIA Y BAJA
TENSION, INSTALACIONES INTERIAS Y
PROYECTOS DE GEOTECNIA,
MONTAJES ELECTROMECANICOS Y DE
SUBESTACIONES HASTA 132 KV.

*ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR100+0200 DE LA VÍA
BUCARAMANGA - PAMPLONA*

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: SEGUIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA.....	62
ANEXO B: DETALLE MOVIMIENTO DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO. ...	71
ANEXO C: MAPA DE EJES VIALES DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER	73
ANEXO D: ESTADO DE LA RED VIAL CRITERIO TECNICO JULIO-DICIEMBRE 2011.....	74
ANEXO E: RETRO CÁLCULO.....	76
ANEXO F: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	77
ANEXO G: PERFILES CON OBRAS.....	99

RESUMEN

TITULO: *ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR100+0200 DE LA VÍA
BUCARAMANGA - PAMPLONA.**

AUTORES: **NESTOR IVAN SANTAMARIA RODRIGUEZ****

PALABRAS CLAVES: Deslizamiento, Talud, Geo - Slope, Plaxis, Factor de Seguridad, Mohr Coulomb, Estabilidad, elementos finitos. Deformaciones

DESCRIPCIÓN

El estudio se realizó con el fin de determinar el nivel de amenaza de un talud ubicado en el PR 100 + 200 de la vía Bucaramanga pAMPLONA

El talud presenta una geología conformada por los distintos miembros de la Formación Bucaramanga: en el sector se encuentra suelos arcillosos producto de procesos de meteorización de rocas arcillosas lutitas y limolitas pertenecientes a la formación colon mito Juan; las rocas se presentan altamente fracturadas.

El estudio se llevó a cabo en varias etapas, la primera, fue la recopilación de información existente en la zona de estudio. En esta etapa se recopilaron y consultaron informes, mapas regionales y locales, bibliografía relacionada con el proyecto; entre los que se pueden mencionar DISEÑO DE MURO DE CONTENCIÓN POR PARTE DEL CONSORCIO VIAL DEL NORTE AÑO 2009; la segunda etapa, consistió en el reconocimiento de campo inspeccionando 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.

Seguidamente se analizó la información con el fin de obtener los parámetros de resistencia del suelo y evaluar el nivel de amenaza por fenómenos de remoción en masa a través del software Slope/W. Se utilizó el software Plaxis para determinar las deformaciones del talud en estudio. Una vez obtenido el grado de amenaza se plantearon y evaluaron diferentes alternativas de obras que mitiguen la inestabilidad y la erosión de la zona en estudio, entre las cuales encontramos: sistema de anclajes, sistemas de contención rígidos, sistemas de bioingeniería para el control de erosión y sistemas para el control de aguas. 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: GEOTECHNICAL STUDY FOR INSTABILITY PROBLEMS PRESENTED AT THE PR100 +0200 OF THE ROAD BUCARAMANGA - PAMPLONA.*

AUTHORS: NESTOR IVAN SANTAMARIA RODRIGUEZ **

KEYWORDS: Slide, Slope, Geo - Slope, Plaxis, Safety Factor, Mohr Coulomb, stability, finite elements. Deformations

DESCRIPTION

The study was conducted to determine the threat level of a slope located in the AB 100 + 200 of the Pamplona Bucaramanga

The slope has a geology consists of various members of the Training Bucaramanga sector product is clay soil weathering processes lalitas argillaceous rocks and siltstones belonging to the formation colon Juan myth, the rocks are highly fractured.

The study was carried out in several stages, the first, was the collection of information in the study area were collected at this stage and looked at reports, regional and local maps, literature related to the project, among which may be mentioned CONTECION WALL DESIGN CONSORTIUM BY YEAR 2009 NORTH ROAD, the second stage consisted of field reconnaissance and surveying existing training major landforms terrain, recent critical events (washouts, mudslides, landslides) and the possible influence in the structural behavior of the track. Became topographic control and color photographs were taken as support material. Observations were also made strategic points.

Information is then analyzed in order to obtain the soil strength parameters and assessing the level of threat by landslides phenomena through software Slope / W. Plaxis software was used to determine the slope deformations under study. Once the threat level is raised and evaluated different alternatives of works to mitigate instability and erosion of the area under study, among which are: anchor system, rigid containment systems, bioengineering systems for erosion control and control systems for water. Ensuring security for users who travel on this road.

* Senior thesis

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

1. INTRODUCCIÓN

El sector ubicado en PR100+200 en la vía Bucaramanga-Pamplona, históricamente viene presentando problemas de inestabilidad en los taludes que conforman la zona. 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.

El presente estudio es el de establecer las condiciones de estabilidad y recomendar obras que garanticen el buen funcionamiento del muro de contención del Talud ubicado en PR100+200 en la vía Cuestaboba-Pamplona.

En el presente informe se consignan los estudios de geología, geomorfología y zona críticas del tramo vial ubicado en PR100+200 en la vía Cuestaboba-Pamplona, carretera que une éstos municipios, en los que se indican las condiciones tanto regionales como locales o a nivel de la vía misma, se dan recomendaciones respecto a las condiciones de la banca.

2. OBJETIVOS Y ALCANCE

2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo del presente estudio es el de establecer las condiciones de estabilidad y recomendar obras que garanticen el buen funcionamiento del muro de contención de la vía Cuestaboba –pamplona Pr 100+200 del Departamento de Santander.

El proyecto incluye un estudio de las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas y la determinación de la afectación que se está presentando sobre el muro de protección.

Estudiar las posibles causas del fallo de la obra de estabilización de la zona de estudio y definir 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.
- Proponer con base en estudios y el seguimiento mediante instrumentación, una solución apropiada y de ser posible definitiva a este punto crítico, aplicando los conocimientos adquiridos en la Maestría y proponiendo soluciones reforzadas con el conocimiento del tratamiento de este tipo de problemas, evaluar los conocimientos previos del problema y construir una alternativa de solución real económica, eficiente y segura.

2.3 ALCANCES.

La realización del presente informe está limitada al conocimiento y descripción de los materiales, suelos y rocas a intervenir con las actividades de estabilización de un talud. Para la realización del estudio se realizó una visita inicial de reconocimiento de la zona de estudio, se ejecutaron sondeos y ensayos de laboratorio, se analizó la geología regional local, así como las características geomorfológicas de la zona.

Siendo una vía de importancia prevalente y dado el caso que este tipo de estudios para atender estas necesidades muchas veces no incluyen el uso de nuevas tecnologías, además de los problemas económicos que representan la inversión de recursos en este tipo de proyectos que a posteriori colapsan o no cumplen con las necesidades en virtud a que no fueron dedicadamente estudiados.

La evaluación de este sitio podría dar un horizonte claro a seguir para el estudio de problemas similares que permitan que el país no mal invierta sus recursos en trabajos por ausencia de análisis, lo que en estos momentos de búsqueda de competitividad a través del mejoramiento de la red vial del país puede ser un aporte muy importante.

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.
- Análisis de los sondeos realizados en el estudio del diseño del muro de contención por parte del consorcio vial del norte 2009.
- Caracterización de los materiales que conforma el talud analizado por medio de sondeos realizados por el consorcio Norte.

3. METODOLOGIA

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; entre los que se pueden mencionar:

- DISEÑO DE MURO DE CONTECION POR PARTE DEL CONSORCIO VIAL DEL NORTE AÑO 2009
- Estudios varios que se han adelantado para la región

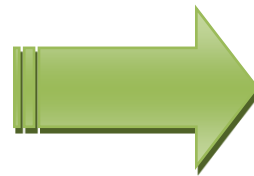
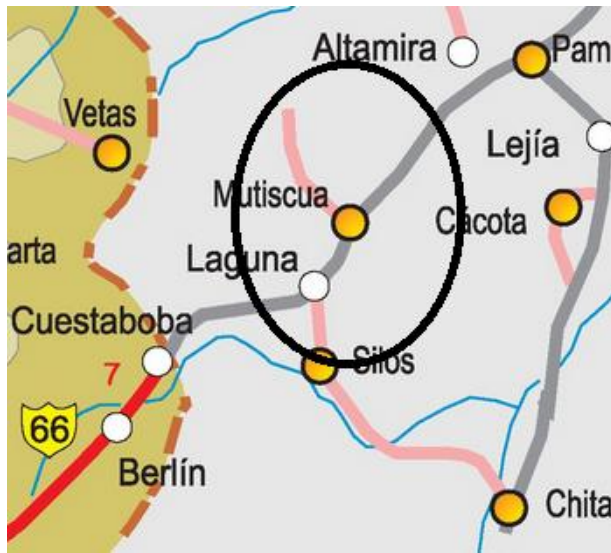
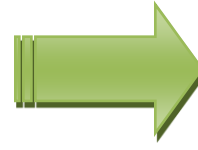
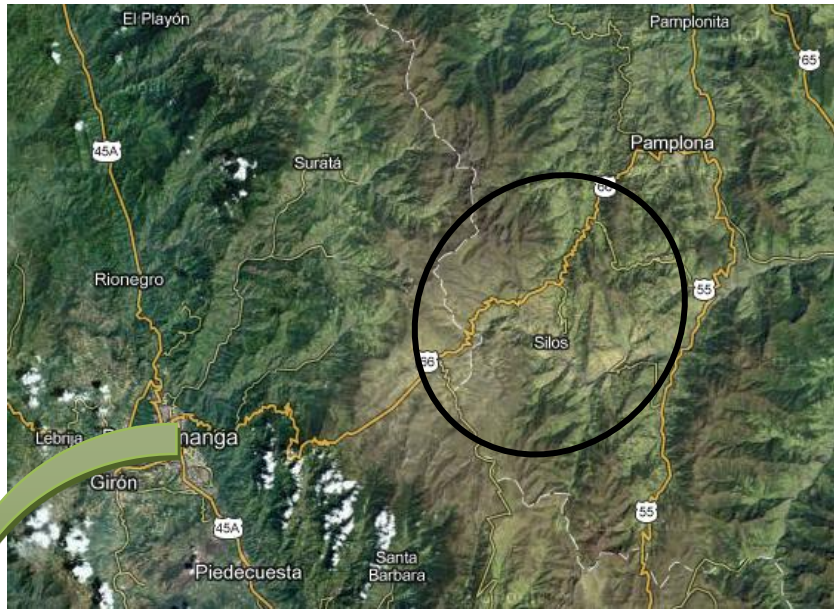
3.2 RECONOCIMIENTO DE CAMPO.

Esta etapa fue llevada a cabo a mediados de Marzo 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 geformas principales del terreno, los eventos críticos recientes (socavamientos, derrumbes, deslizamientos) y la posible influencia estructural en el comportamiento de la vía. Sé 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. LOCALIZACION Y CARACTERISTICAS DEL PROYECTO



Calle 35 No 19-41 oficina 909 edificio la triada telefax (7)6704812 Bucaramanga/Colombia

Ilustración 1: Localización general del proyecto

4.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.

El talud se encuentra localizado en PR100+200 de la vía Bucaramanga-pamplona departamento de Santander-Colombia.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL TALUD.

En general se observó un perfil de suelos conformado por materiales de rellenos de gravas areno arcillosas (de cantera), seguido de una capa de arcilla de consistencia media y niveles de lulitas y limolitas meteorizadas que se extiende hasta la profundidad final de exploración.

El nivel freático se encontró a una profundidad de 5,80 m con respecto al nivel de la vía; este puede variar según presenten lluvias la zona o se incrementen el riego de agua en los cultivos del talud superior.

4.3 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS.

La zona donde se encuentra ubicado el muro PR100+200, corresponde a una ladera de pendiente media, donde existe fuerte intervención antrópica que afecta el comportamiento de los suelos en el sitio. Se observan indicios de reptamiento superficial. Se presentan en la zona afloramientos de rocas lulitas y limolitas.

4.4 NIVELES FREÁTICOS.

El perfil de suelo se considera relativamente bien drenado, generalmente se encuentra en estado, húmedo, el nivel freático se evidencio en el talud de acuerdo con los sondeos del estudio del consorcio vial 2009 a 5.8 m.

6. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS GENERALES

Según los resultados obtenidos de la exploración de campo se encuentra en el sector suelos arcillosos producto de los procesos de meteorización de rocas arcillosas lutitas y limolitas pertenecientes a la formación colon mito Juan; las rocas se presentan altamente fracturadas con buzamientos desfavorable a la estabilidad de la ladera; el alto grado de fracturamiento y estabilidad de la zona está asociada a la falla de morro negro que atraviesa la zona en estudio. Estas condiciones del macizo rocoso y la influencia estructural de falla, incrementa los fenómenos de reptamiento; los cuales se han incrementado debido a factores contribuyentes a la inestabilidad como las descargas de agua al talud la deforestación y en general al mal uso del suelo.

En la exploración de campo se detectaron niveles de roca arcillosa altamente meteorizada y alterada hasta los 9 a 10 m de profundidad; por lo cual fue necesario proyectar una cimentación Semiprofunda que se desplante en los niveles más confinados del macizo rocoso.

El hundimiento PR100+200; el movimiento corresponde a un fenómeno de reptación de suelo residual arcilloso y roca arcillolita meteorizada. Al costado del muro de contención se presenta inestabilidad superficial; al lado derecho se presentan cultivos con riegos de agua continuos que contribuyen al incremento de niveles freáticos en la zona.

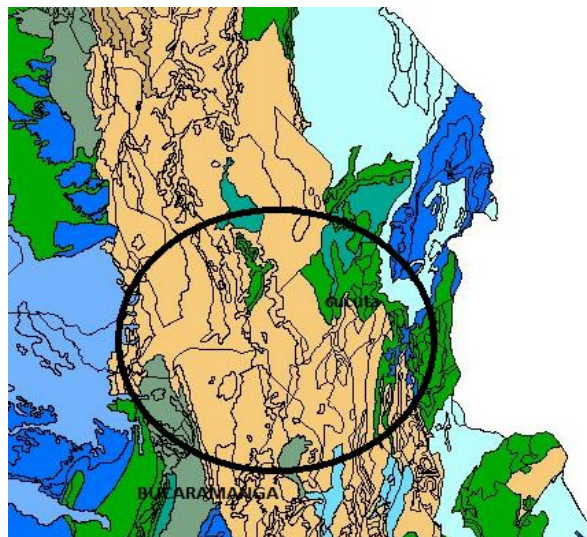


Ilustración 3: Mapa geologico de la zona

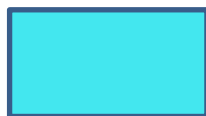
Sedimentos y Rocas con Porosidad Primaria e Interés Hidrogeologico



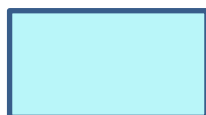
Acuíferos continuos de extensión regional en sedimentos no consolidados y en rocas sedimentarias poco cementadas. Aguas generalmente de buena calidad quimica. Permeabilidad alta Moderada.



Acuíferos locales de extensión variable en depositos de granulometria media a fina, con frecuencia en lentes discontinuos. Generalmente aguas de buena calidad quimica. Salobre en la región costera. Permeabilidad Moderada a Baja.



Acuíferos locales de extensión variable en rocas sedimentarias poco Cementadas. Aguas generalmente de regular calidad quimica. Permeabilidad Moderada a baja.



Acuíferos locales de extensión variable en rocas sedimentarias no cementadas de granulometria generalmente fina. Aguas de buena calidad quimica. Permeabilidad baja.

Sedimentos y Rocas con Porosidad Primaria y Secundaria sin interés Hidrogeológico



Regiones compuestas por depósitos arcillosos o de playa con agua salada.



Regiones compuestas por rocas sedimentarias de tipo arcilloso o arenoso altamente cementada.



Regiones compuestas por rocas volcánicas ígneas y metamórficas.

Rocas con Porosidad Primaria y Secundaria de Interés Hidrogeológico



Acuíferos continuos de extensión regional en rocas sedimentarias cementadas y fracturadas. Aguas Generalmente de buena calidad química.



Acuíferos locales de extensión variable en rocas calcáreas supeditadas a la densidad del fracturamiento o disolución. Aguas de regular calidad química, generalmente duras. Permeabilidad moderada a baja



Acuíferos locales de extensión variable en rocas sedimentarias cementadas, aguas generalmente de regular calidad. En rocas metamórficas con aguas termales de mala calidad química. Permeabilidad Baja.

6.1 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.

Según los resultados obtenidos, el suelo se clasifica como arcillas y arcillas arenosas de plasticidad media a baja, clasificados como CL, CH y SM-SC según sistema de clasificación unificada de los suelos y como A-4, A-6 y A-7-6 según el sistema de clasificación AASTHO. En general los contenidos de humedad se encuentran algo por debajo de los límites plásticos.

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, asociada a la presencia de la falla de morro negro.

7. PRELIMINARES

7.1 Sondeos geotécnicos

FORMATO DE CAMPO											
		PROYECTO: MANTENIMIENTO SITIOS CRITICOS VIA CUESTABOBA PAMPLONA PR100-200									
		SITUACION: SONDEO 2		COORDENADAS: X		FECHA: 16/nov/09					
		LADO IZQUIERDO		Y		OPERADOR: Luis Cobos					
		PROFUNDIDAD: 12.00m		Z		EQUIPO: Acker					
Profundidad	Longitud tramo (m)	Nivel freatico (m)	COLUMNA	(N) S.P.T.	DESCRIPCIÓN	Clasificación U.S.C.S	HUMEDAD NATURAL (%)	Limites de Atterberg		INDICE PLASTICO	MUESTRAS
								LL	LP		
0,00					Capa de Asfáltico						
0,10					Relleno Base de material de cantera gris con residuos e asfalto						
0,30				18-10-17	Relleno base de material de cantera gris con recebo de color marrón amarillento						SPT1
0,80				14-26-18	Relleno material e recebo color marrón amarillento. A 0,95m material de asfalto, relleno de recebo color amarillento con material de cantera		17,40				SPT2
1,30				19-17-19	Relleno de recebo color marrón amarillento con vetas oxidas. A 1,45m relleno de material de canteras y desechos de asfalto						SPT3
1,80				27-18-11	Gravas de arenisca de grano fino, gravas medias a finas gris oscuras, rojas con puntos de micas y trazas de arcillas amarillas						SPT4
2,30				10-10-10	Arcilla limosa algo humeda con fragmentos de arcillolita gris oscura de color amarillo con vetas grises, oxidas, marrones amarillentas		17,36				SPT5
2,80				05-07-06	Arcilla limosa marrón con vetas amarillas, oxias e consistencia media con trazas de arcillolita gris de consistencia blanda						SPT6
3,30				06-06-05	Arcillolita gris con vetas e arcilla marrón e consistencia blanda, raices finas, vetas oxidas y trazas de arena de grano fino. A 3,7m arcilla limosa a marrón amarillenta con vetas oxidas y fragmentos de arcillolita gris blanda						SPT7
3,80				06-06-08	Arcillolita gris con vetas marrón amarillenta y trazas de arcilla arenosa con vetas oxidas de consistencia blanda		14,24				SPT8
4,30				09-09-09	MNR						SPT9
4,80					lavado con tricono						SHELB Y 1
5,00				09-09-13	Formación de arcillolita gris oscura con vetas oxidas de consistencia blanda a media, fisurada						SPT10
5,50				07-07-13	Formación de arcillolita gris oscura con vetas oxidas de consistencia blanda a media, fisurada		14,42				SPT11
6,00				08-09-10	Formación de arcillolita gris oscura con vetas oxidas de consistencia blanda a media, fisurada		14,42				SPT12
6,50					Formación de arcillolita gris oscuras con vetas marrón amarillenta, oxida de consistencia media, fisurada.						
OBSERVACIONES:					Nivel Freatico al terminar la perforación 5.8m						
MI:MUESTRA INALTERADA					SPT: ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR						
MNR:MUESTRA NO RECUPERADA					MA: MUESTRA ALTERADA						

Tabla 1: sondeo geotécnico



CONSULTORÍA, DISEÑO,
 INTERVENTORIA, CONSTRUCCIÓN,
 MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN
 DE PROYECTOS DE
 INFRAESTRUCTURA VIAL,
 EDIFICACIONES, OBRAS DE
 URBANISMO, PROYECTOS DE
 ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO,
 PROYECTOS DE MONTAJE E
 INSTALACIÓN DE ALUMBRADO
 PÚBLICO, REDES DE AGUA Y BAJA
 TENSION, INSTALACIONES INTERNAS Y
 PROYECTOS DE GEOTECNIA,
 MONTAJES ELECTROMECANICOS Y DE
 SUBESTACIONES HASTA 13.2 KV.

**ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
 PRESENTADOS EN EL PR100+0200 DE LA VÍA
 BUCARAMANGA - PAMPLONA**

FORMATO DE CAMPO											
PROYECTO:		MANTENIMIENTO SITIOS CRITICOS VIA CUESTABOBA PAMPLONA PR100-200									
SITUACION:		SONDEO 2		COORDENADAS:		X	FECHA:		16/nov/09		
PROFUNDIDAD:		LADO IZQUIERDO				Y	OPERADOR:		Luis Cobos		
		12.00m				Z	EQUIPO:		Acker		
Profundidad	Longitud tramo (m)	Nivel freatico (m)	COLUMNA	(N) S.P.T.	DESCRIPCIÓN	Clasificación U.S.C.S	HUMEDAD NATURAL (%)	Limites de Atterberg		INDICE PLASTICO	MUESTRAS
								LL	LP		
7,00				07-08-10	Formación arcillolita gris con vetas marrón amarillentas, óxidas con fragmentos de arcilla meteorizada de consistencia media						SPT13
7,50				09-10-18	Formación arcillolita gris con vetas marrón amarillentas, óxidas con fragmentos de arcilla meteorizada de consistencia media		14,75				SPT14
8,00				12-15-19	Formación arcillolita gris, fracturadas con fragmentos de arcilla meteorizada de consistencia blanda						SPT15
8,50				07-08-11	Formación arcillolita gris, fracturadas con fragmentos de arcilla meteorizada de consistencia blanda						SPT16
9,00				08-11-12	Formación arcillolita gris, fracturadas con fragmentos de arcilla meteorizada de consistencia blanda						SPT17
9,50				03-08-10	Formación arcillosa gris fracturada con fragmentos de arcillolita meteorizada de consistencia media						SPT18
10,00				45-80-3	Formación arcillolita gris con vetas marrón amarillentas, óxidas con fragmentos de arcilla meteorizada de consistencia media		13,21				SPT18
10,50				04-07-09	Formación arcillolita gris con vetas marrón amarillentas, óxidas con fragmentos de arcilla meteorizada de consistencia media		10,43				SPT19
11					Formación arcillosa gris fracturada con fragmentos de arcillolita meteorizada de consistencia media						SHELB Y 2
12				18-28-45	Formación arcillosa gris fracturada con fragmentos de arcillolita meteorizada de consistencia media						SPT20
OBSERVACIONES:					Nivel Freatico al terminar la perforación 5.8m						
MI:MUESTRA INALTERADA					SPT: ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR						
MNR:MUESTRA NO RECUPERADA					MA: MUESTRA ALTERADA						

Tabla 2: sondeo geotécnico

7.2 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Localización		ATENCIÓN DE SITIOS CRÍTICOS PR100+200 VIA CUESTABOBA- PAMPLONA													
Sondeo	Profundidad	USC	AASHTO	Wn	LL	LP	IP	%Gravas	%Arenas	%Finos	Qu Kg/cm ²	Densidad gr/cm ³	Angulo de Fricción	Cohesión	%Exp Libre Probeta
SONDEO 1	0,0 - 2,0			17,4											
SONDEO 1	2,30 - 2,80	CH	A-7-6(17)	17,4	54	28,3	25,7	0	24,3	75,7					
SONDEO 1	3,80 - 4,30			14,2							4,8				
SONDEO 1	5,50 - 6,00			14,4							2,5		30,2	0,56	
SONDEO 1	6,00 - 6,50			12,6							5,5				
SONDEO 1	7,00 - 7,50	CL	A-6(8)	14,8	26,4	14,9	11,5	0	26	74	2,1				
SONDEO 1	9,50 - 10,0			13,2							0,3				
SONDEO 1	10,0 - 10,5	CL	A-4(8)	10,4	25,2	17,5	7,7	0	21,8	78,2	2,6		18,6	1,04	
SONDEO 1	14,0 - 14,5			8,8											
SONDEO 1	14,5 - 15,0	SM-SC	A-2-4(0)	11,6	119,6	14,7	104,9	0	67,2	32,8	2,7				
SONDEO 2	2,70 - 3,20			11,9							5,3				
SONDEO 2	3,40 - 3,90			23									33,1	0,57	
SONDEO 2	5,00 - 5,50			27,1							1,5				
SONDEO 2	6,00 - 6,50	CL	A-6(11)	21,7	35,2	17,6	17,6	0	24,7	75,3	1,9				
SONDEO 2	6,50 - 7,00			17,6							2,7				
SONDEO 2	8,00 - 8,50	CL	A-6(9)	12,1	28,4	15,9	12,5	0	8,9	91,1	1,3				
SONDEO 2	8,50 - 9,00			20,3							0,7				
SONDEO 2	9,50 - 10,0			13							1,7				
SONDEO 2	10,5 - 11,0			13,3							2,4				

Tabla 3: caracterización geotécnica

8. 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.

8.1 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 Morgestein –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.

8.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA

8.2.1 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.

8.2.2 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.

8.2.3 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 4: Criterios de Evaluación de Amenaza

CONDICION ESTATICA	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

8.3 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.

8.4 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 0.30g.

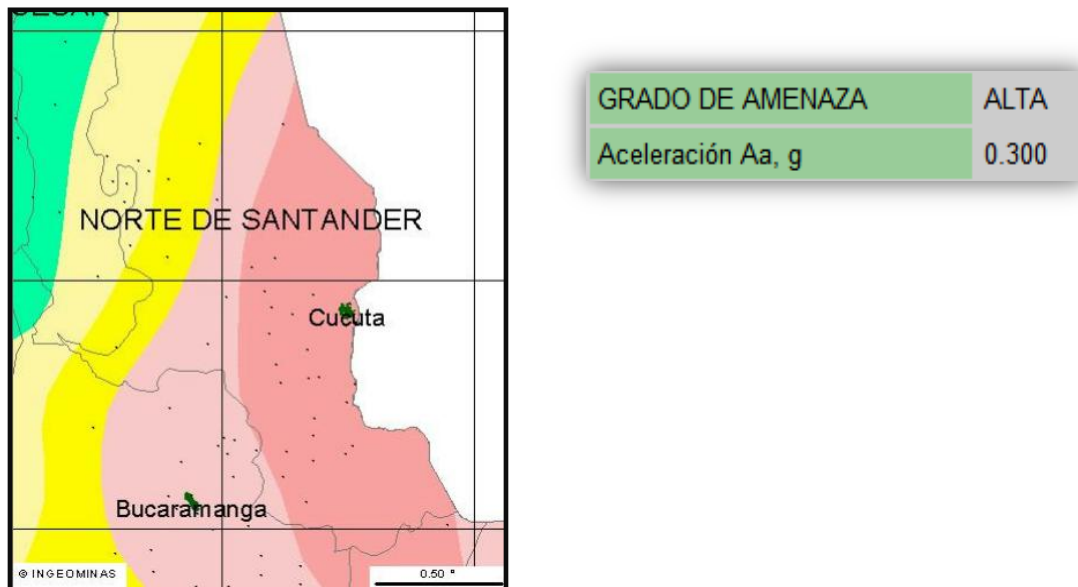


Ilustración 4: zonificación sísmica.

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	0.30
Ad	0.04
Coeficiente de sitio	1.2

Tabla 5: 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.

8.5 ANÁLISIS CON DATOS DEL CONSORCIO NORTE

Con base en la exploración del subsuelo y teniendo en cuenta el levantamiento topográfico, se realizó un análisis de estabilidad de talud utilizando los programas Geoslope y Plaxis los resultados de este análisis se presentan en las ilustraciones adjuntas

Suelo	Peso unitario KN/m3	Angulo de fricción (ϕ)	Cohesión (KN/m2)
Arcilla	20	0	75
Arcillolita	20	35	100
Relleno	20	18	10
Concreto	24	50	50

Tabla 6: Propiedades de suelo para modelación en GEO-SLOPE

A continuación se muestran las modelaciones de los análisis de estabilidad estáticos y dinámicos en condiciones actuales.

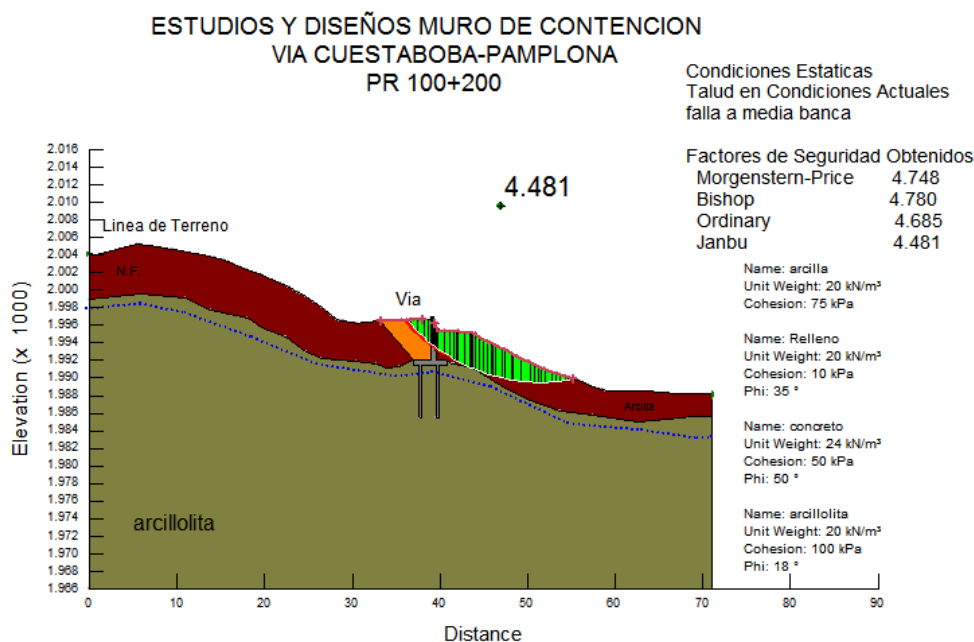


Ilustración 5: Análisis de estabilidad estático PR100+200 datos consorcio.

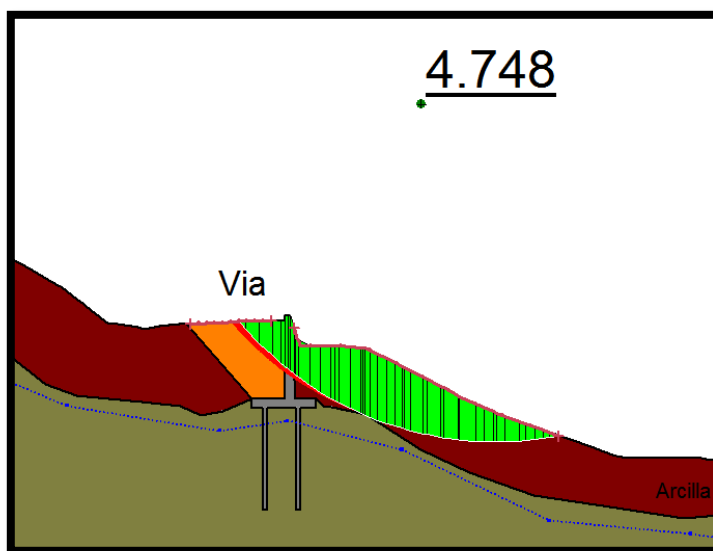


Ilustración 6: Detalle Muro estructural

Las propiedades obtenidas por el consorcio mediante los ensayos Spt fueron modeladas; los resultados obtenidos nos demuestran que con estas propiedades es muy baja la posibilidad de una falla.

Las propiedades fueron variadas, teniendo en cuenta que el nivel freático es muy cambiante y buscando una posible falla.

8.6 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 (Miembro Arcilloso), ya que por medio de visitas de campo se pudo observar e

identificar deslizamientos en la corona del talud con fallas en algunas estructuras cercanas.

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, además se adicionó parte del suelo desplazado producto de la erosión y posibles deslizamientos por las causas anteriormente mencionadas. La calibración mostró los siguientes valores utilizando el modelo de Mohr-Coulomb, para un factor de seguridad de 0.999, (**Ilustración 7**).

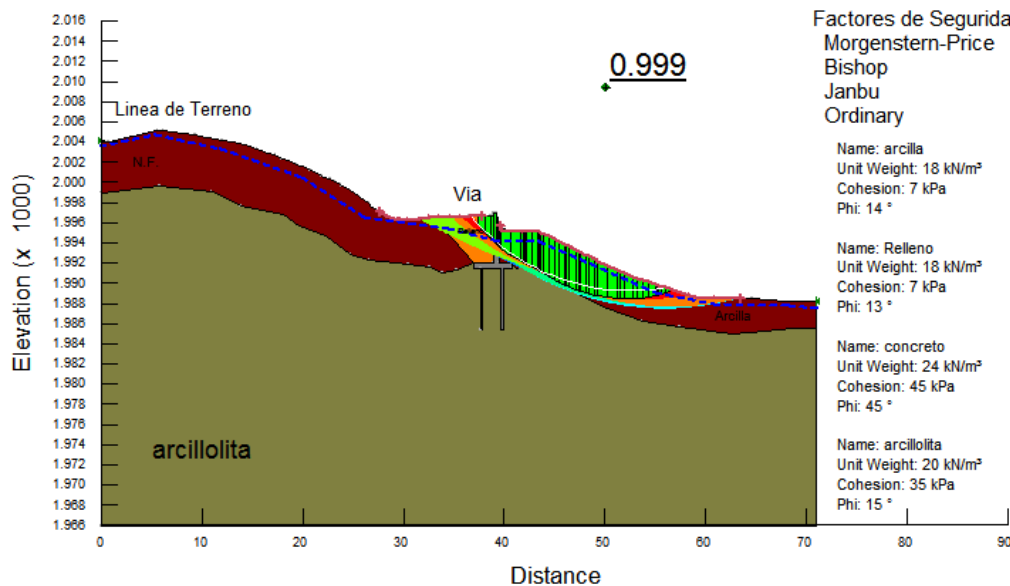
8.7 Propiedades utilizadas para el análisis:

Suelo	Peso unitario KN/m3	Angulo de fricción (ϕ)	Cohesión (KN/m2)
Arcilla	18	14	7
Relleno	18	13	7
Arcillolita	20	15	35
Concreto	24	45	45

Tabla 7: Propiedades de suelo para modelación en GEO-SLOPE

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN VIA CUESTABOBA-PAMPLONA PR 100+200

Condiciones Estaticas falla a media banca



Factores de Seguridad Obtenidos

Morgenstern-Price	0.999
Bishop	1.063
Janbu	0.947
Ordinary	1.013

Name: arcilla
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion: 7 kPa
Phi: 14 °

Name: Relleno
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion: 7 kPa
Phi: 13 °

Name: concreto
Unit Weight: 24 kN/m³
Cohesion: 45 kPa
Phi: 45 °

Name: arcillolita
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 35 kPa
Phi: 15 °

Ilustración 7: Análisis de estabilidad estático, Talud saturado.

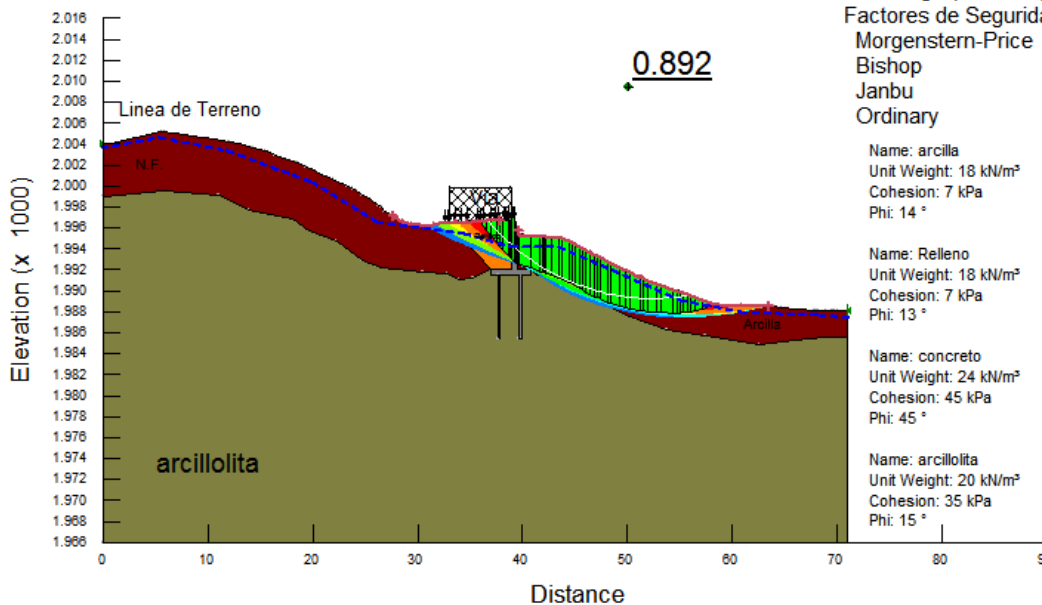
ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN VIA CUESTABOBA-PAMPLONA PR 100+200

Condiciones Estaticas falla a media banca

Surcharge (Unit Weight): 8 kN/m³

Factores de Seguridad Obtenidos

Morgenstern-Price	0.898
Bishop	0.981
Janbu	0.840
Ordinary	0.892



Name: arcilla
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion: 7 kPa
Phi: 14 °

Name: Relleno
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion: 7 kPa
Phi: 13 °

Name: concreto
Unit Weight: 24 kN/m³
Cohesion: 45 kPa
Phi: 45 °

Name: arcillolita
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 35 kPa
Phi: 15 °

Ilustración 8: Modelo geotécnico en Slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga vía de 8KN/m2

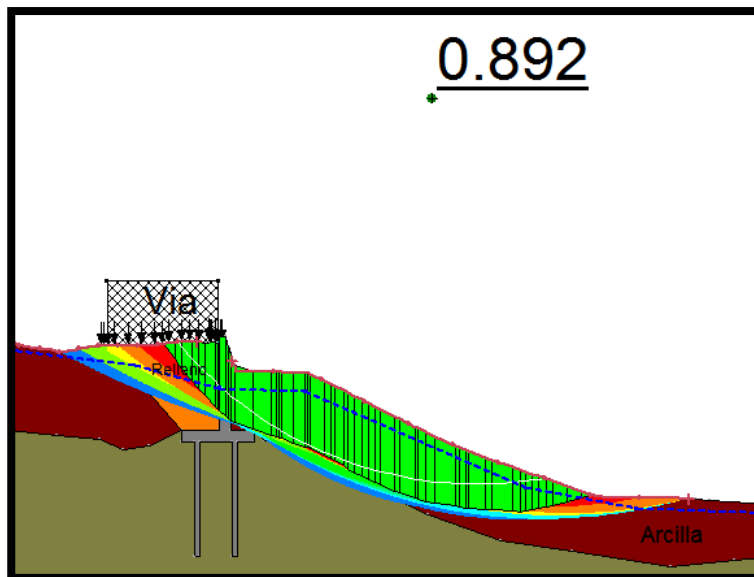


Ilustración 9: Detalle Muro estructural – Falla crítica.

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN
VIA CUESTABOBA-PAMPLONA
PR 100+200

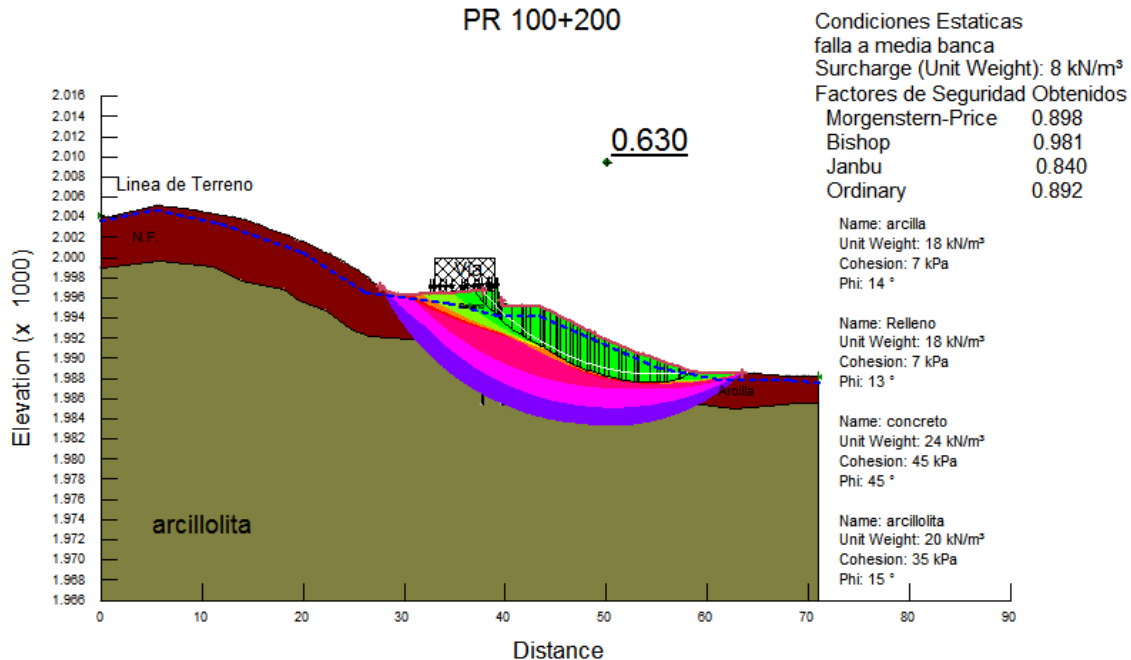


Ilustración 10: Modelo geotécnico en Slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga sísmica de 0.20g + carga vía de 8KN/m2, talud saturado.

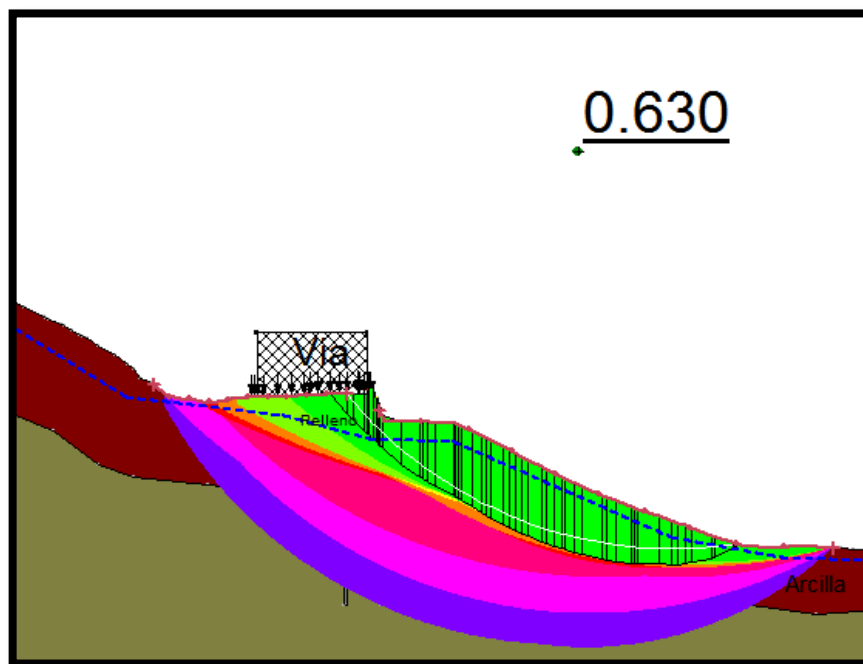


Ilustración 11: Detalle muro estructural - Falla crítica.

Una vez obtenidos los parámetros de resistencia del miembro gravoso por medio del “Retro Calculo”, se realizó la modelación de cada uno de los perfiles del talud (Véase Anexo E), y a partir de esto, se zonificaron y generaron los mapas de amenaza para los escenarios estático y pseudoestático. Véase Anexo F.

De acuerdo a los análisis realizados para condiciones estáticas y pseudoestáticas, los factores de seguridad obtenidos en el 5% de la zona, muestran valores inferiores a los admisibles, lo que indica que parte del área del talud se encuentre en amenaza alta a deslizamientos. Más del 40% de la zona se encuentra en amenaza media y con el fin de evitar que con el tiempo avance la problemática, tanto en zonas con amenaza alta y como en zonas con amenaza media, se plantearan obras que ayuden a mitigar la erosión e inestabilidad actual.

8.8 PROPIEDADES UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS

Suelo	Peso unitario KN/m ³	Angulo de fricción (φ)	Cohesión (KN/m ²)
Arcilla	18	15	10
Relleno	18	13	7
Arcillolita	20	15	35
Concreto	24	45	45

Tabla 8: Propiedades de suelo para modelación en GEO-SLOPE

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN VIA CUESTABOBA-PAMPLONA PR 100+200

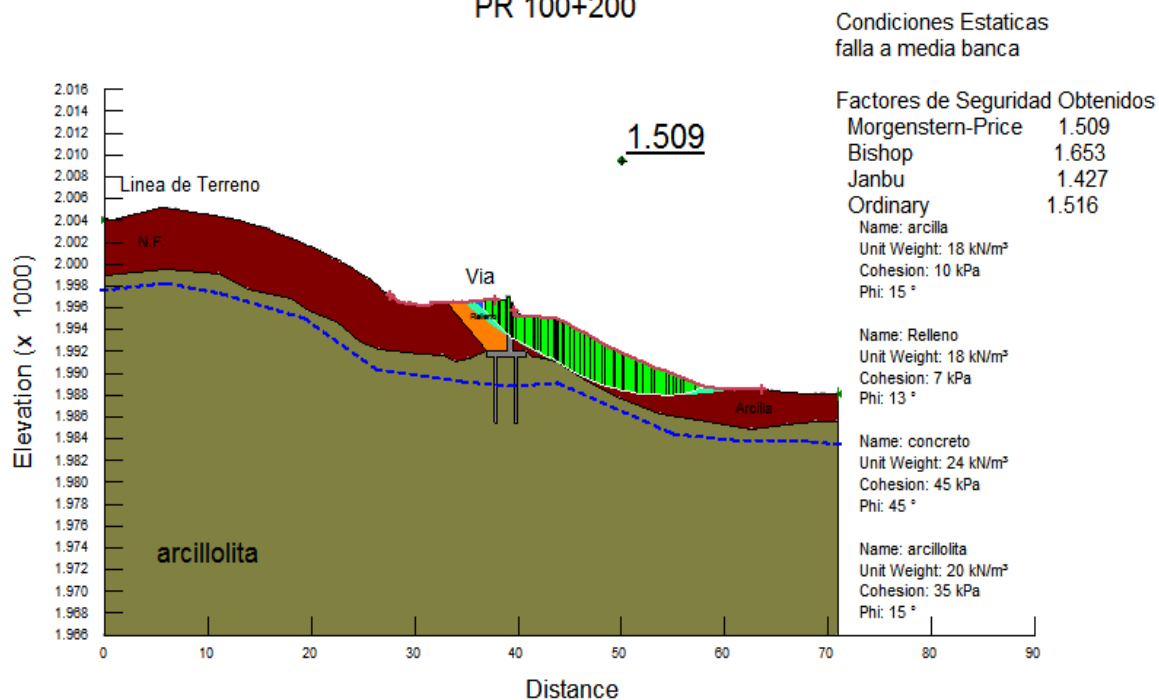


Ilustración 12: Análisis de estabilidad estático sección PR100+200 talud proyectado, Nivel freático a 5.8 m de la superficie.

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN VIA CUESTABOBA-PAMPLONA PR 100+200

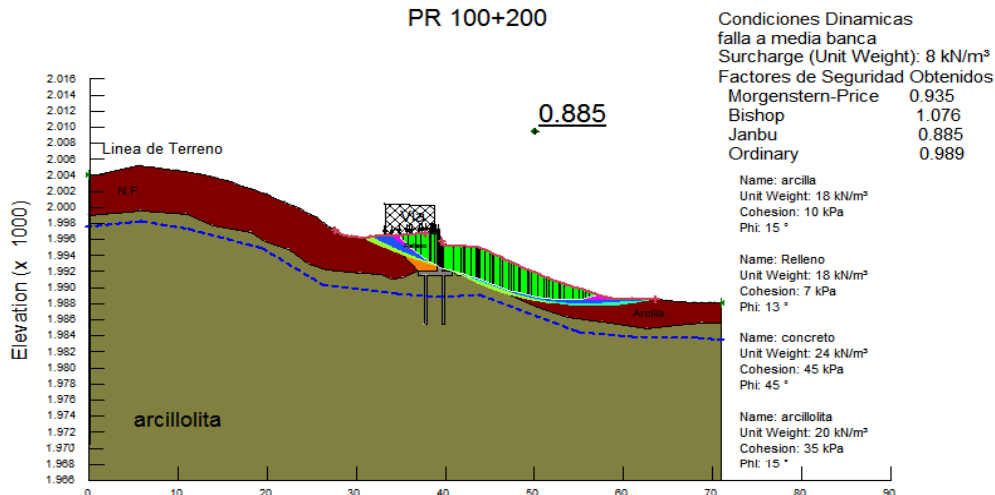


Ilustración 13: Análisis de estabilidad Pseudo Estático carga sísmica de 0.20 g + carga vía de 8KN/m², Nivel freático a 5.8 m de la superficie.

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

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.

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN VIA CUESTABOBA-PAMPLONA PR 100+200

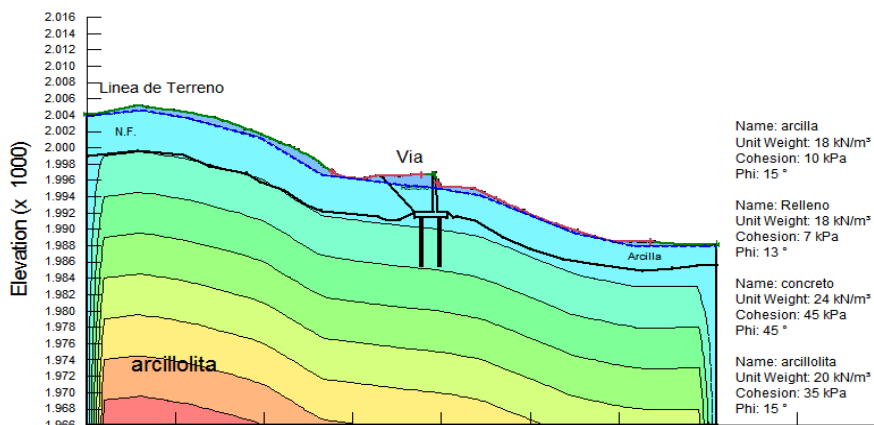


Ilustración 14: Presión de poros talud saturado

8.10 PROPIEDADES UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS

Estas propiedades son las actuales del talud, el cual en su estado estático se encuentra estable; pero al incluir la carga de 8 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)
Arcilla	18	15	10
Relleno	18	13	7
Arcillolita	20	15	35
Concreto	24	45	45

Tabla 9: Propiedades de suelo para modelación en GEO-SLOPE

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN VIA CUESTABOBA-PAMPLONA PR 100+200

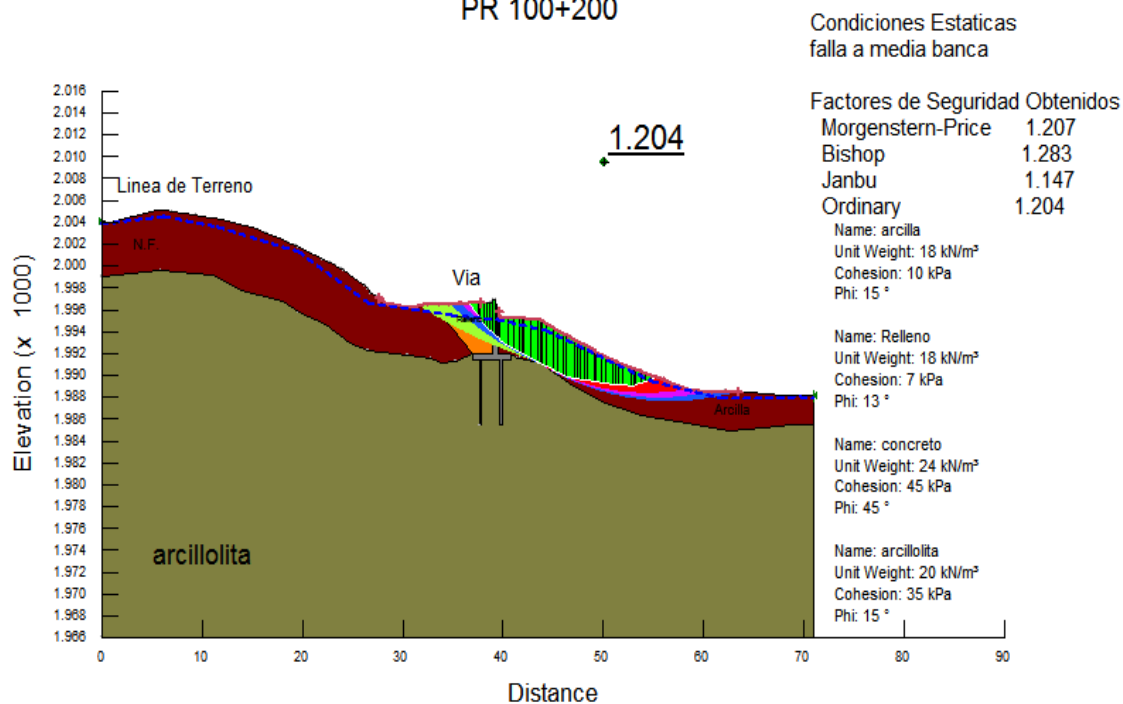


Ilustración 15: Análisis de estabilidad estático, Talud saturado.

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN
VIA CUESTABOBA-PAMPLONA
PR 100+200

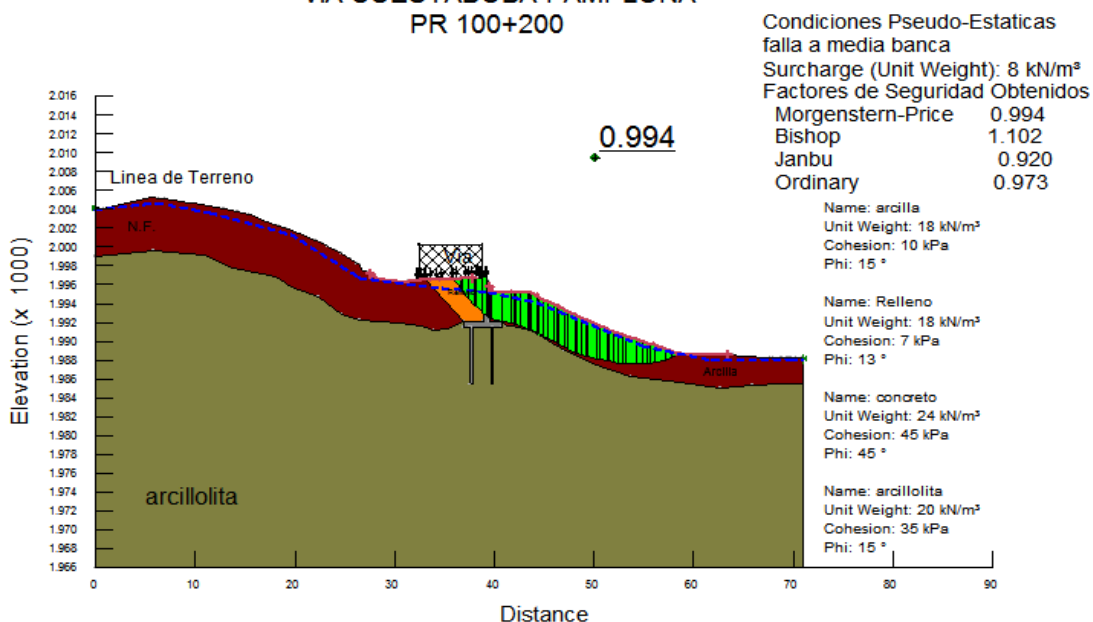


Ilustración 16: Modelo geotécnico en slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga vía de 8KN/m2

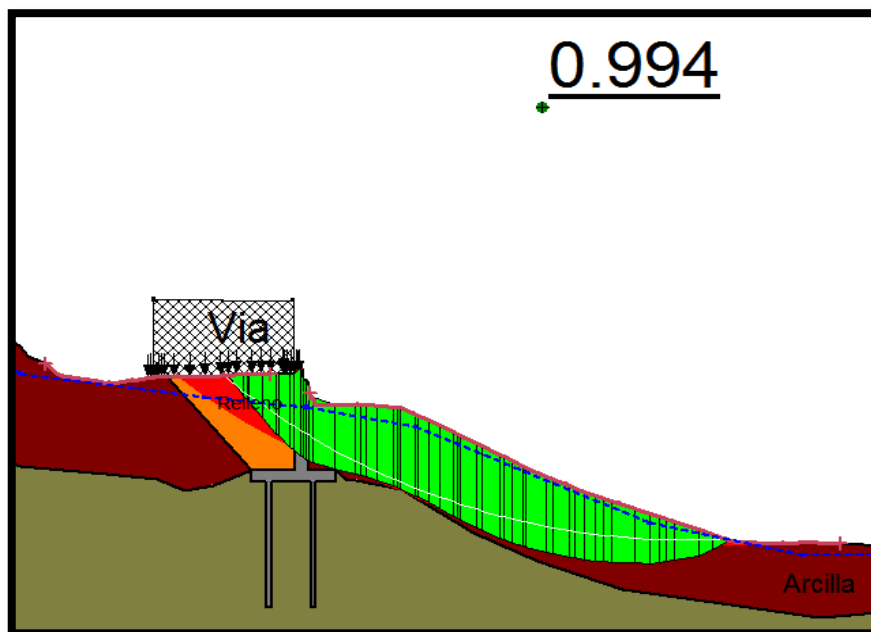


Ilustración 17: Detalle Muro estructural – Falla crítica.

**ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN
VIA CUESTABOBA-PAMPLONA
PR 100+200**

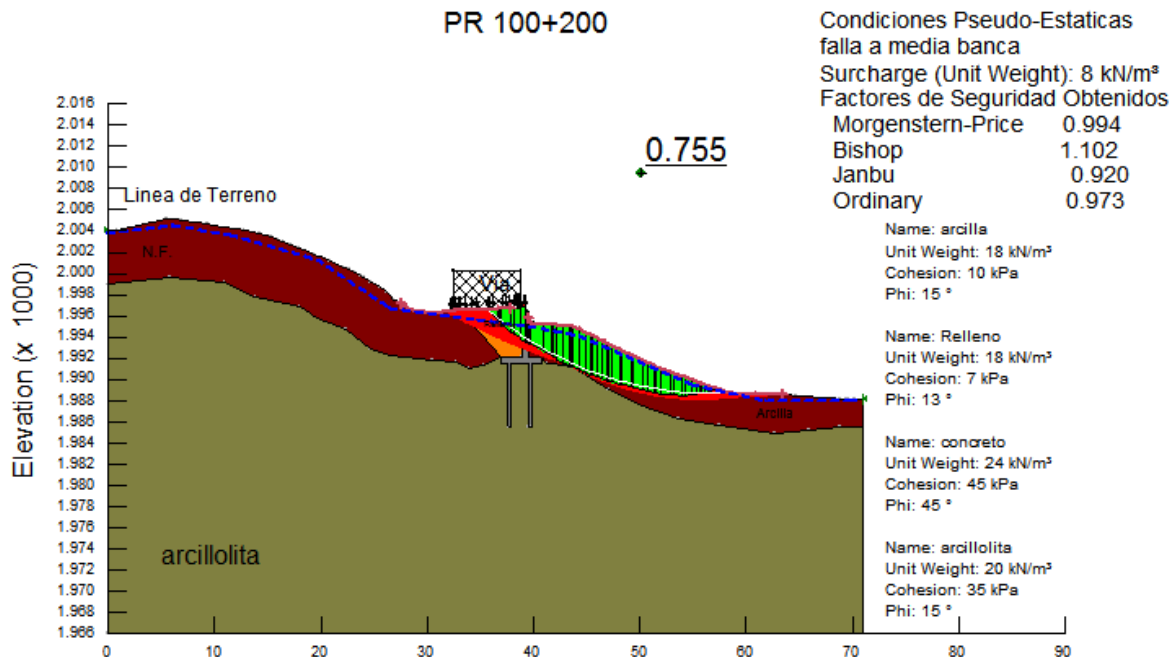


Ilustración 18: Modelo geotécnico en slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga sísmica de 0.20g + carga vía de 8KN/m2, talud saturado.

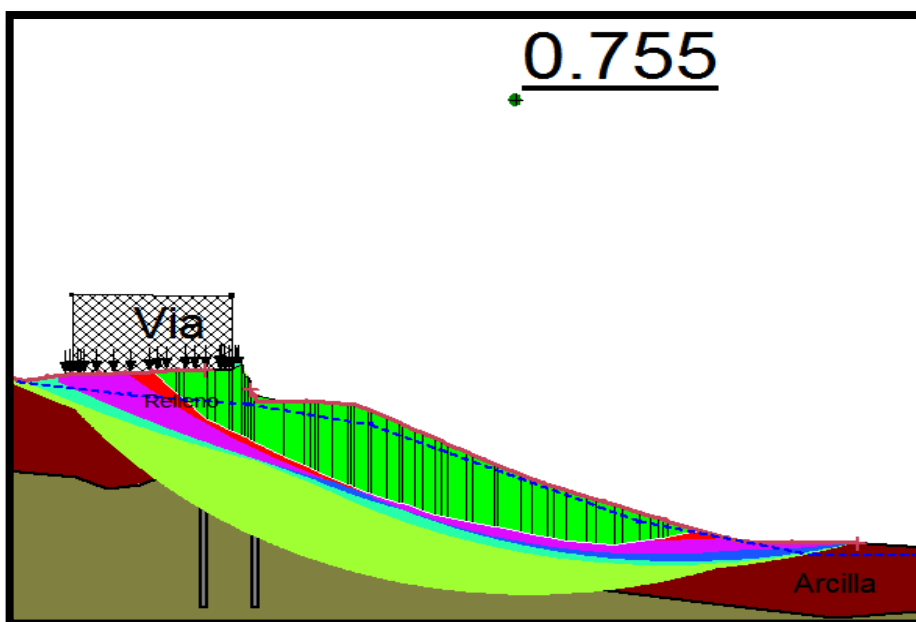


Ilustración 19: Detalle muro estructural - Falla crítica.

8.11 PROPIEDADES UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS

Estas propiedades son las actuales del talud, En este estado se observa como el talud ah mostrado erosión en la parte del muro modelamos este nuevo caso para el cual en su estado estático se encuentra estable; pero al incluir la carga de 8 KN/m2 por el tráfico de vehículos pesados este nos muestra un estado de inestabilidad por parte del talud.

Suelo	Peso unitario KN/m3	Angulo de fricción (ϕ)	Cohesión (KN/m2)
Arcilla	18	15	10
Relleno	18	13	7
Arcillolita	20	15	35
Concreto	24	45	45

Tabla 10: Propiedades de suelo para modelación en GEO-SLOPE

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN VIA CUESTABOBA-PAMPLONA PR 100+200

Condiciones Estaticas falla a media banca

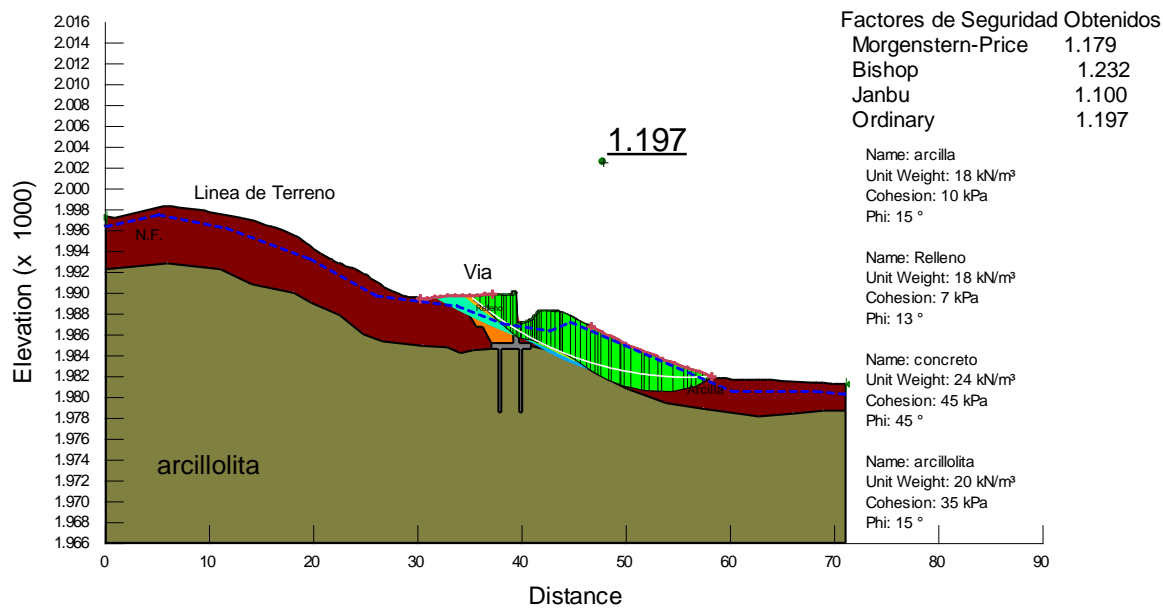


Ilustración 20: Análisis de estabilidad estático, Talud saturado.

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN
VIA CUESTABOBA-PAMPLONA
PR 100+200

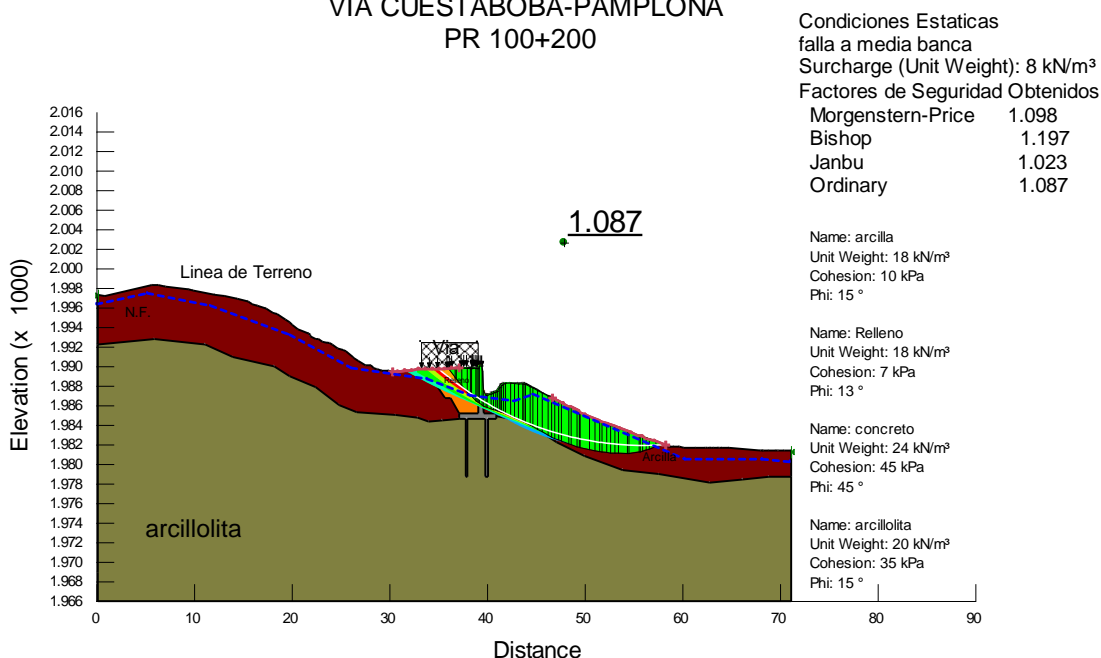


Ilustración 21: Modelo geotécnico en slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga vía de 8KN/m²

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN
VIA CUESTABOBA-PAMPLONA
PR 100+200

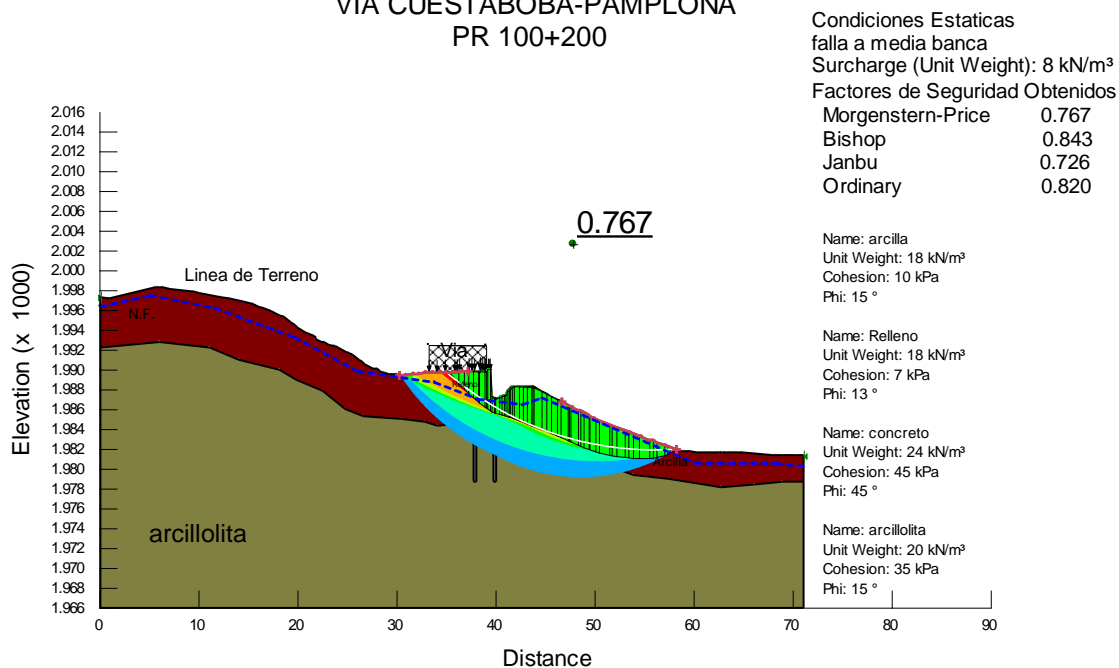


Ilustración 22: Modelo geotécnico en slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga sísmica de 0.20g + carga vía de 8KN/m², talud saturado.

8.12 GRAFICA DEL FACTOR DE SEGURIDAD.

TALUD SATURADO		
ψ	C'	F.S
10	5	0,713
	7	0,833
	8	0,902
	10	1,028
	12	1,188
12	5	0,762
	7	0,910
	8	0,983
	10	1,099
	12	1,235
15	5	0,866
	7	1,011
	8	1,174
	10	1,204
	12	1,311
17	5	0,931
	7	1,073
	8	1,117
	10	1,275
	12	1,399

Tabla 11: Valores de factor de seguridad, con ψ vs cohesión (c')

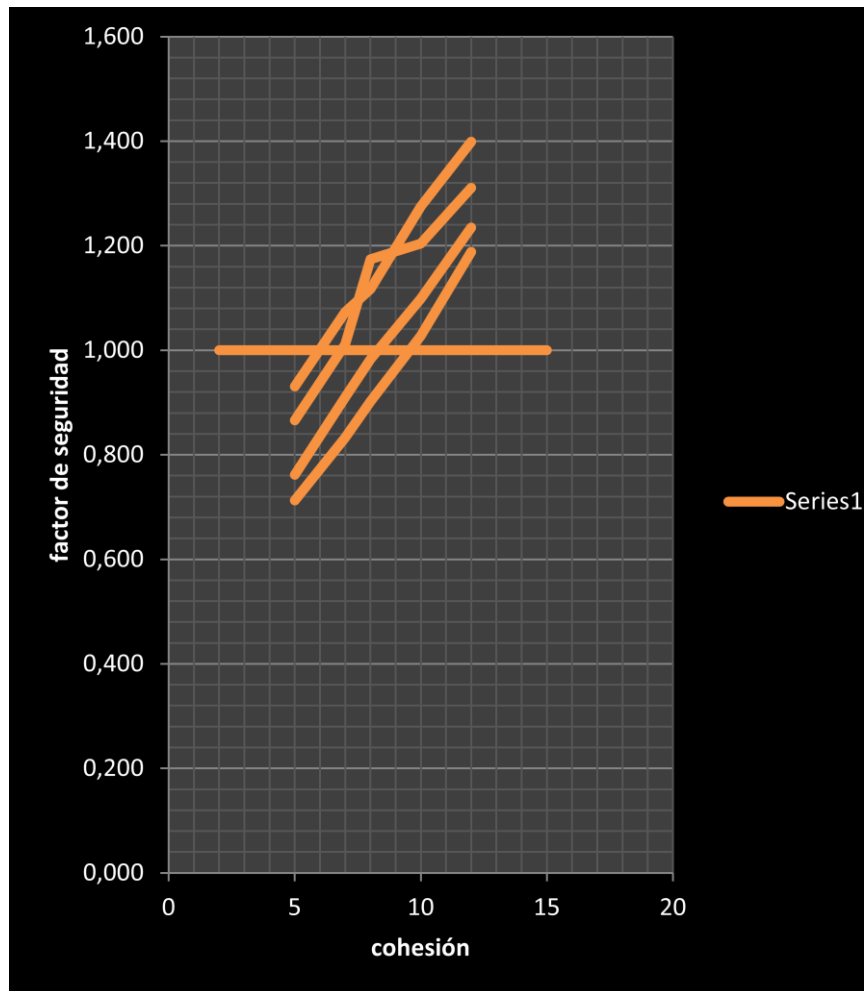


Ilustración 23: grafica factor de seguridad

Se grafico el factor de seguridad únicamente variando las propiedades de la arcilla con los demás parámetros, dejándolos estables.

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

9. MODELO GEOTÉCNICO EN PLAXIS 8.2

9.1 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.

9.2 ANÁLISIS CON DATOS DEL CONSORCIO NORTE

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)
Arcilla	20	1	75
Relleno	20	10	35
Arcillo-lita	20	18	100

Tabla 12: Propiedades de suelo para modelación en GEO-SLOPE

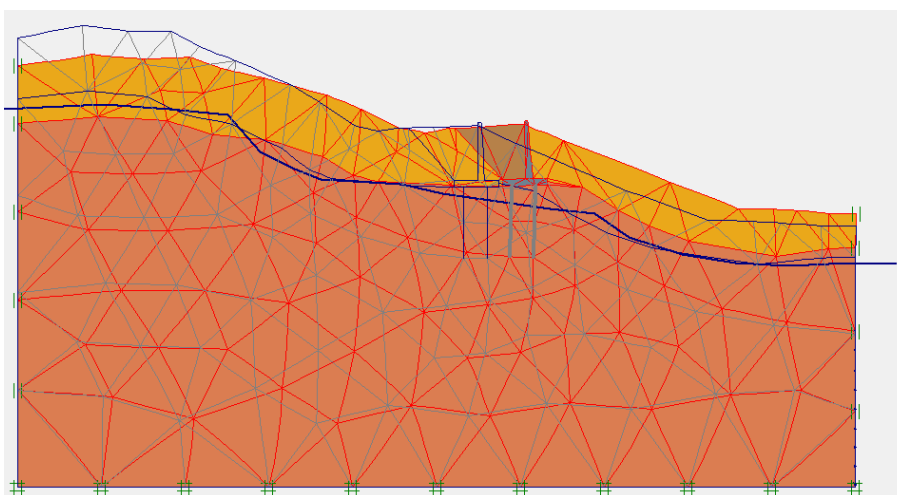


Ilustración 24: Análisis deformación, nivel freático a 5.8 m.

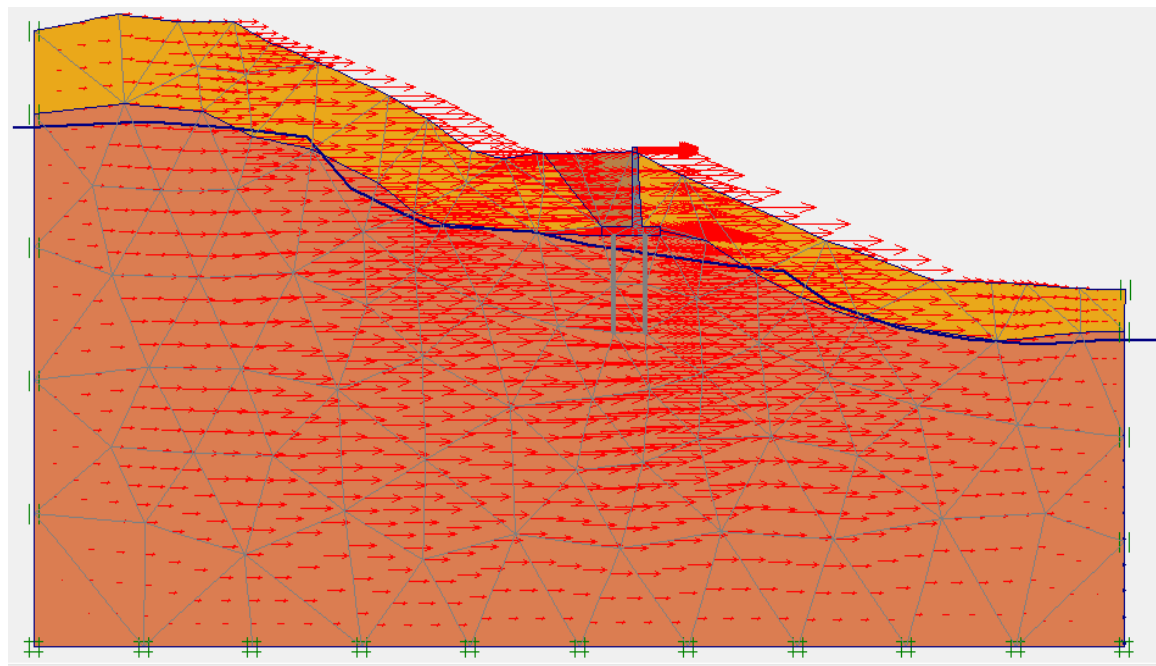


Ilustración 25: Desplazamientos horizontales vectorialmente, nivel freático a 5.8 m.

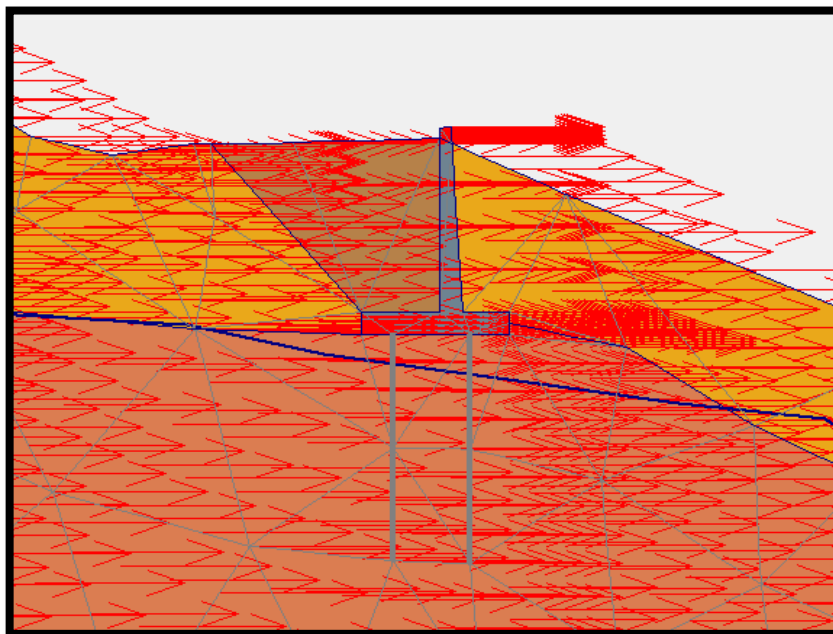


Ilustración 26: Detalle muro-Desplazamientos horizontales vectorialmente, nivel freático a 5.8 m.

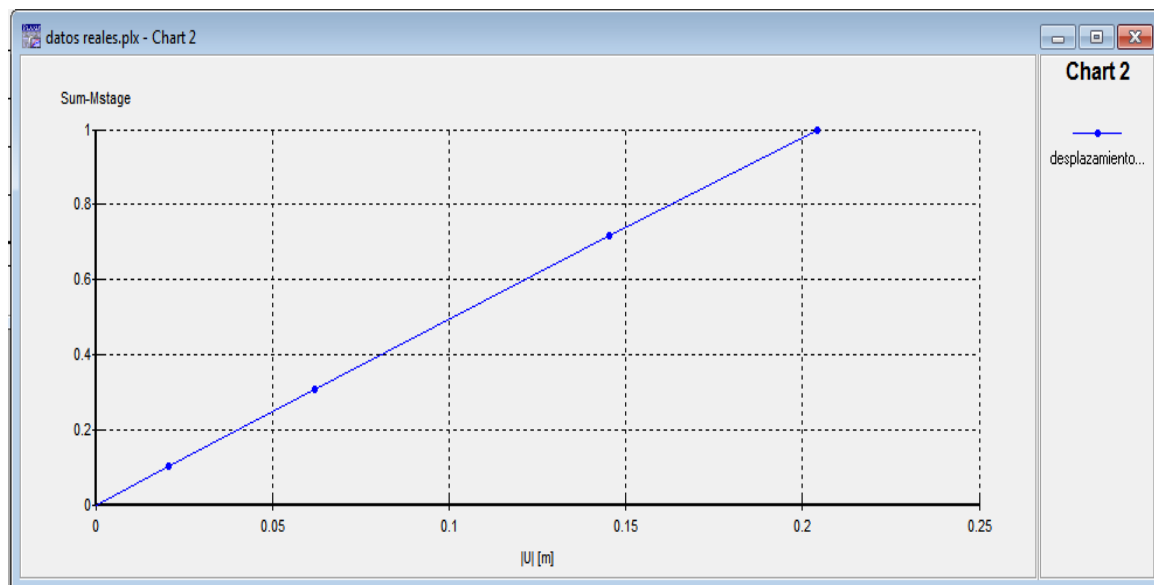


Ilustración 27: Grafica desplazamiento horizontal en la cabeza del muro con desplazamiento máximo de 0.22 m.

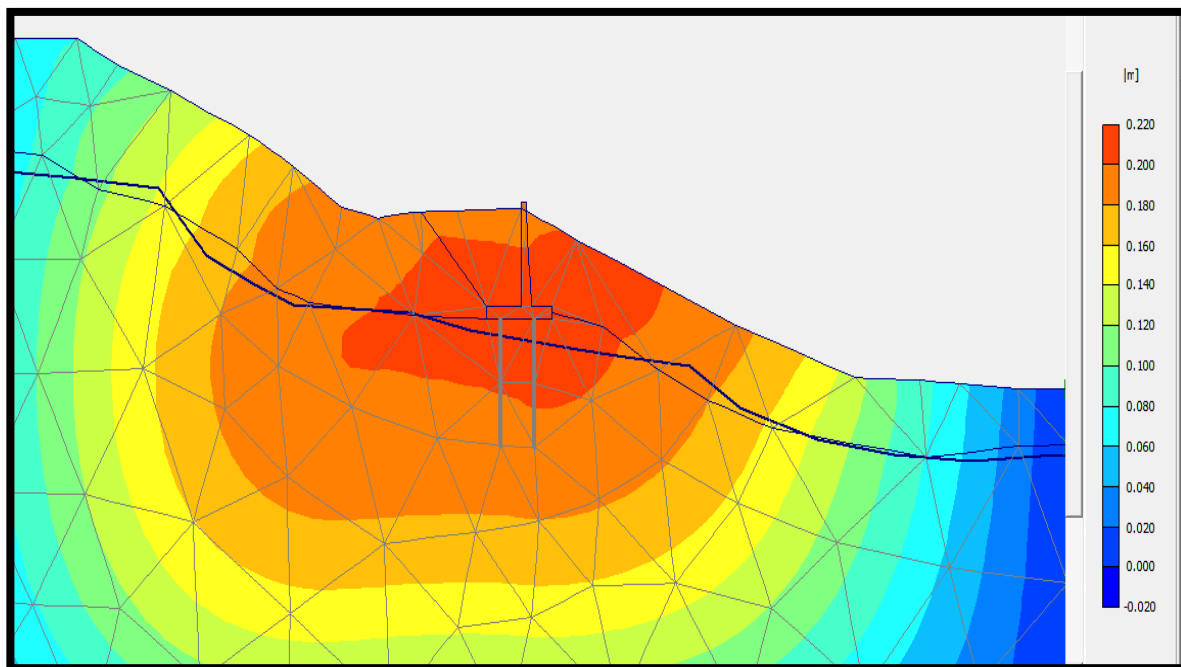


Ilustración 28: Diagrama de deformación.

9.3 Propiedades utilizadas para el análisis:

Suelo	Peso unitario KN/m ³	Angulo de fricción (ϕ)	Cohesión (KN/m ²)
Arcilla	18	15	10
Relleno	18	13	7
Arcillo-lita	20	15	35

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

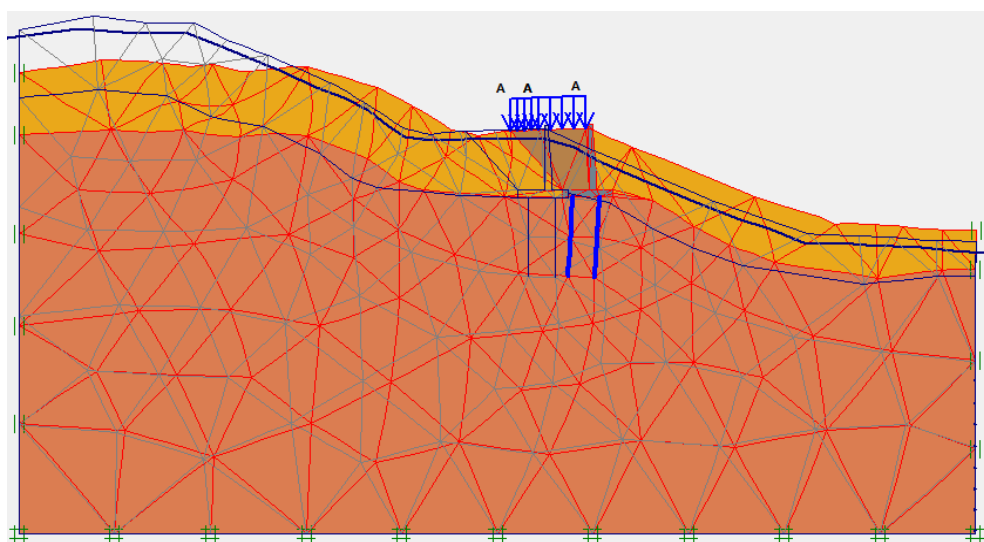


Ilustración 29: Análisis deformación Talud saturado.

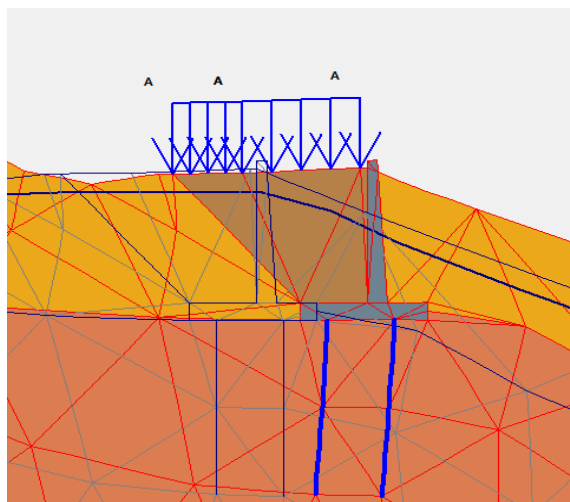


Ilustración 30: Detalle Deformación muro



Ilustración 31: Detalle deformación Micropilotes.

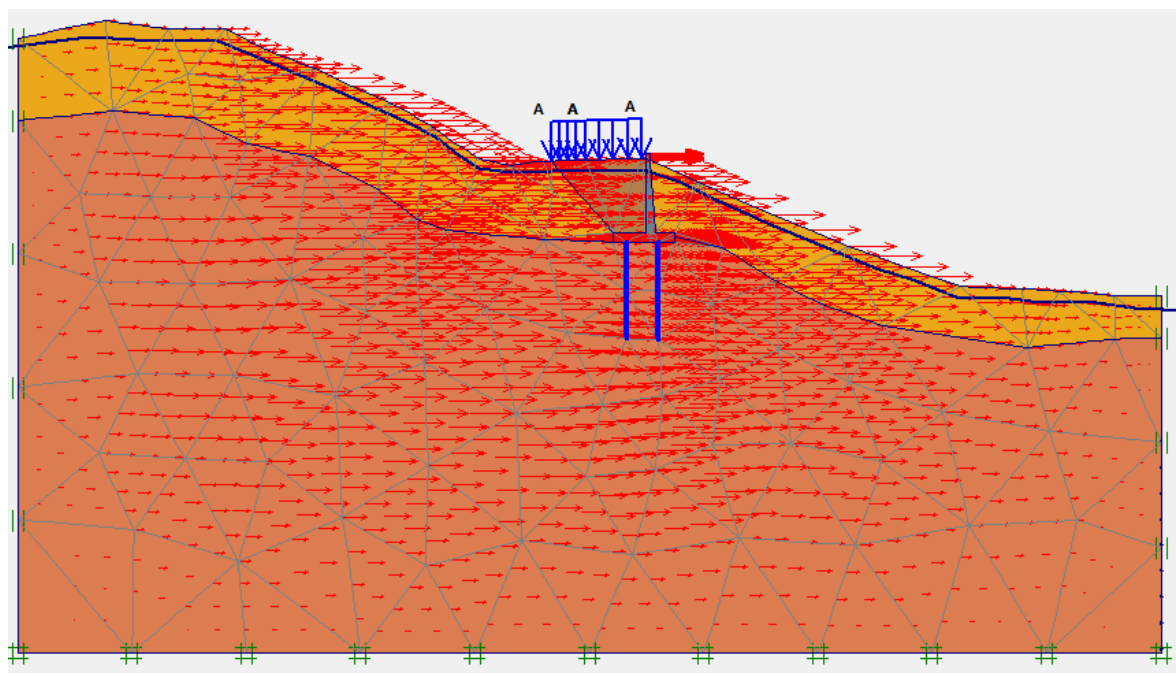


Ilustración 32: Desplazamientos horizontales vectorialmente carga viva 8KN/m2, Talud saturado.

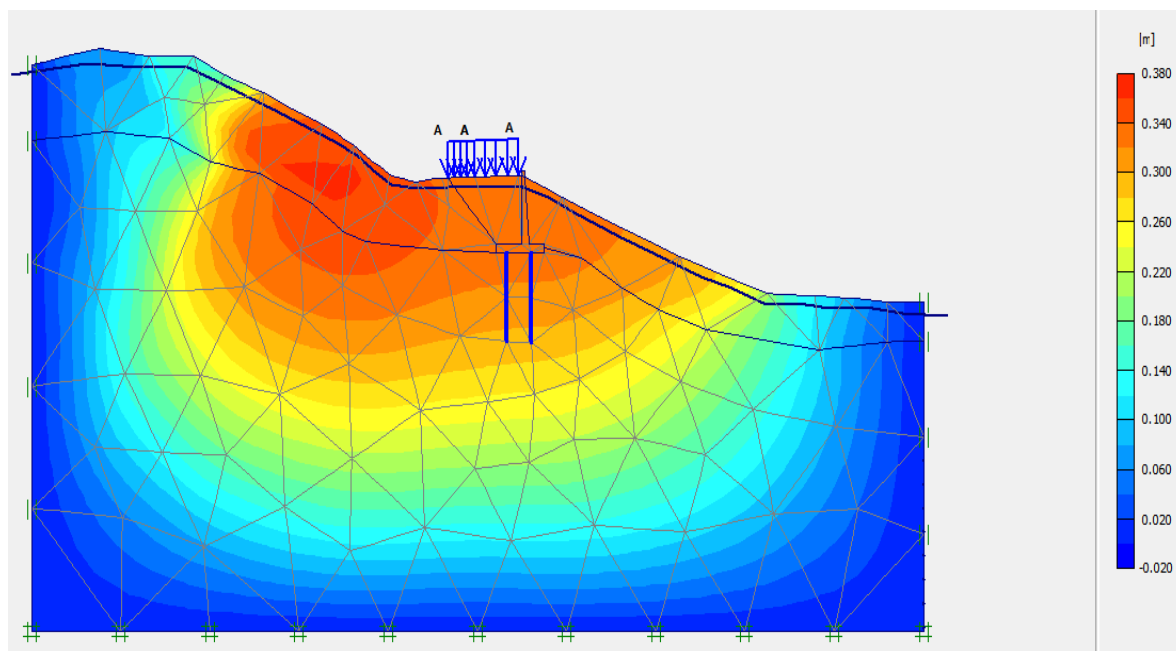


Ilustración 33: Diagrama deformación talud saturado.

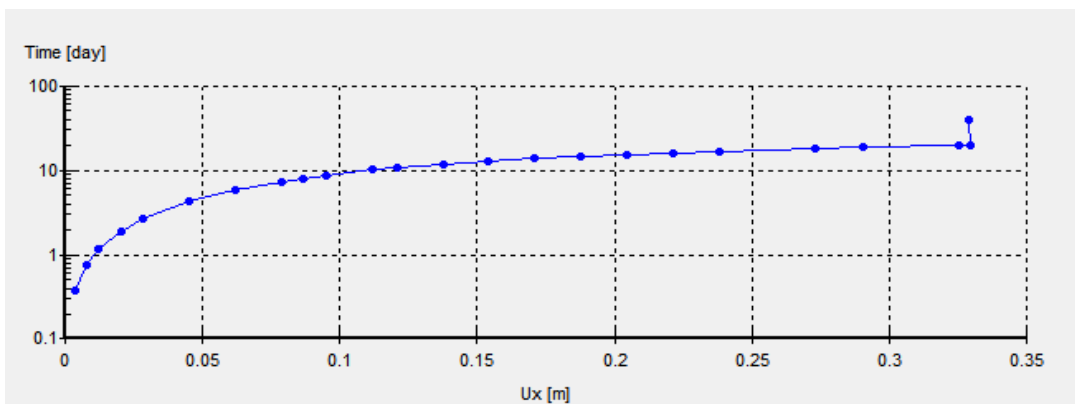


Ilustración 34: Curva de desplazamientos horizontales vs el tiempo de la cabeza del muro.

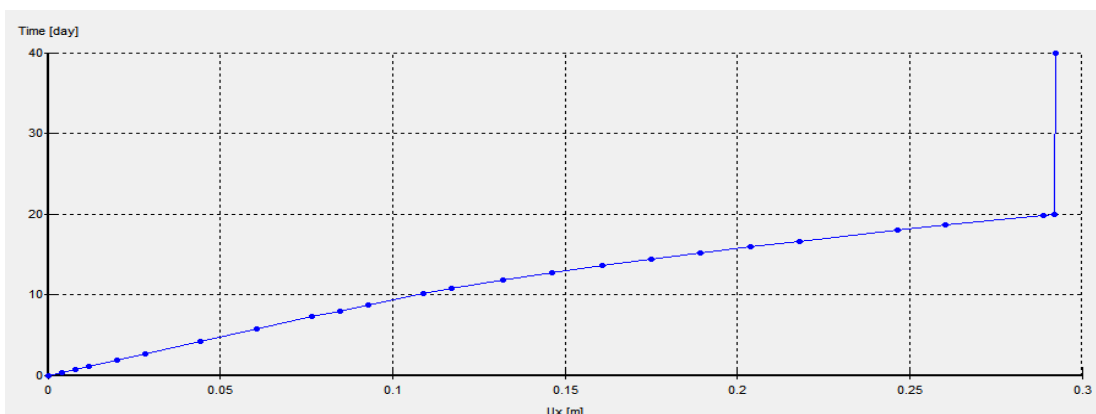


Ilustración 35: Curva de desplazamientos horizontales vs el tiempo de los Micropilotes.

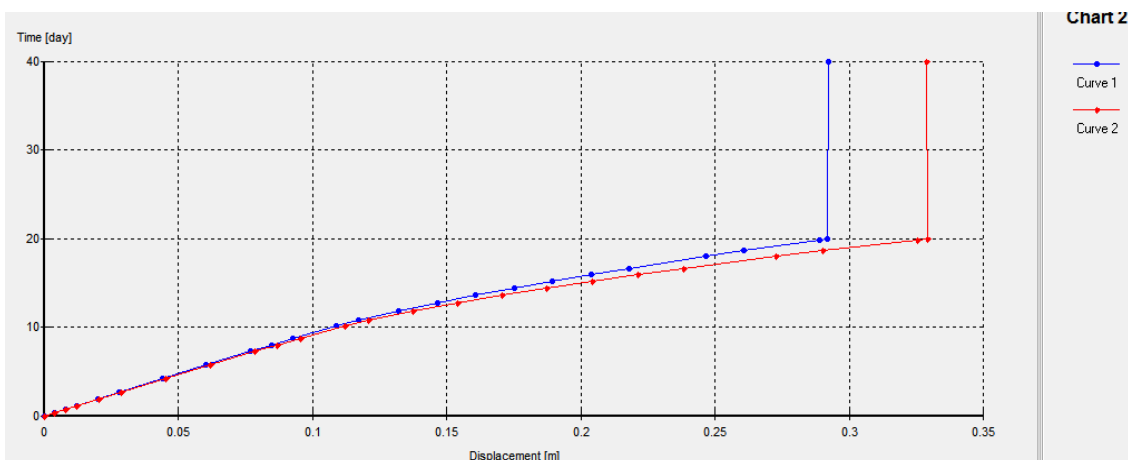


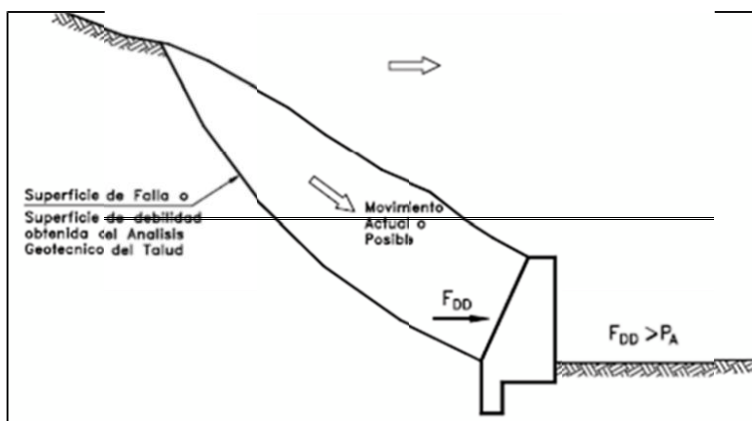
Ilustración 36: Comparativo desplazamientos de muro y Micropilotes.

10. PROPUESTAS DE LAS POSIBLES OBRAS DE MITIGACIÓN

10.1 ALTERNATIVA 1: NUEVO MURO DE CONTENCIÓN

El objetivo de una estructura de contención es el resistir las fuerzas ejercidas por la tierra contenida, y transmitir esas fuerzas en forma segura a la fundación o a un sitio por fuera de la masa analizada de movimiento, su estabilidad la deben fundamentalmente al peso propio y al peso del material que está sobre su fundación. En el caso de un deslizamiento de tierra el muro ejerce una fuerza para contener la masa inestable y transmite esa fuerza hacia una cimentación o zona por fuera de la masa susceptible de moverse. Las deformaciones excesivas o movimientos de la estructura de contención o del evitarse para garantizar su estabilidad.

Ilustración 37: Condiciones de talud inestable.



Fuente: Suárez Díaz Jaime, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales.

El análisis de la estructura contempla la determinación de las fuerzas que actúan por encima de la base de fundación, tales como empuje de tierra, peso propio, peso de la tierra de relleno, cargas y sobrecargas con la finalidad de estudiar la estabilidad a volcamientos y deslizamiento, así como el valor de las presiones de contacto.

Para este caso la implementación de muro de contención es recomendable con el aumento de los pilotes a unos 10 a 12 metros, con un buen seguimiento en la obra de construcción.

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCION
VIA CUESTABOBA-PAMPLONA
PR 100+200

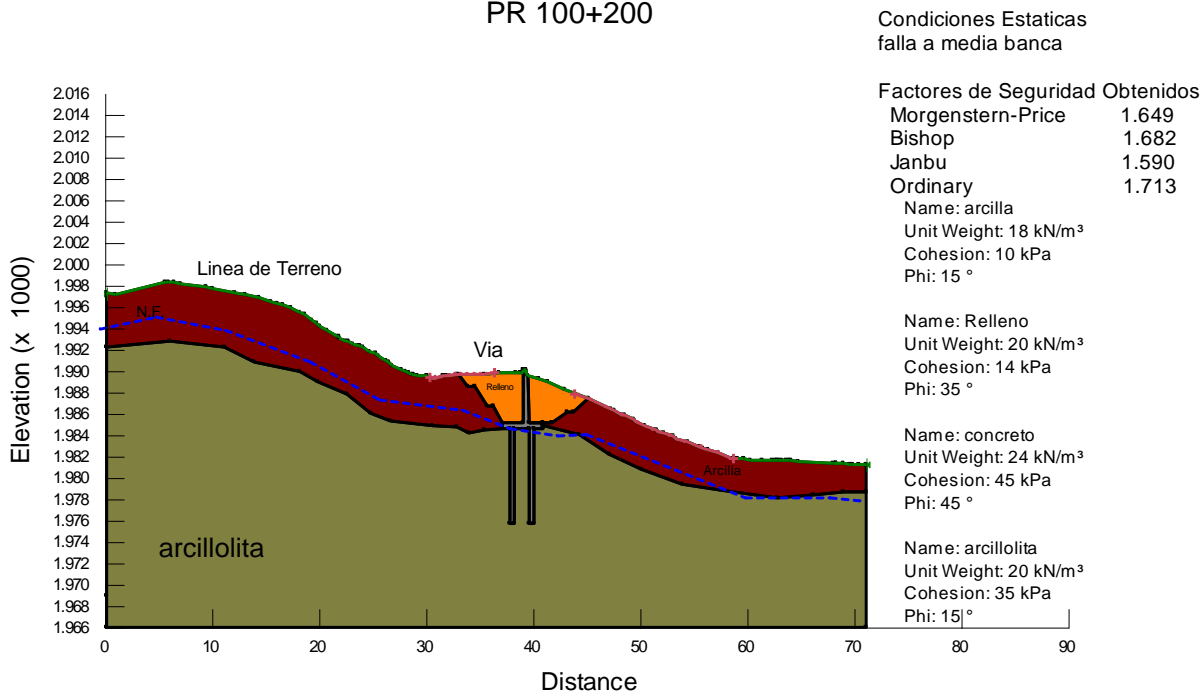


Ilustración 38: Escenario estático.

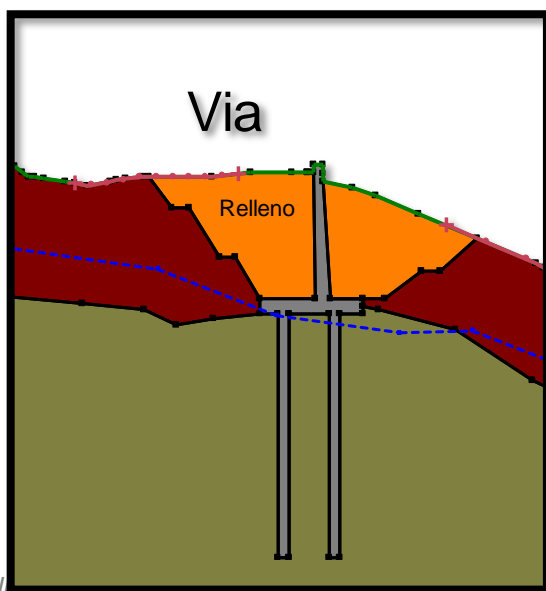
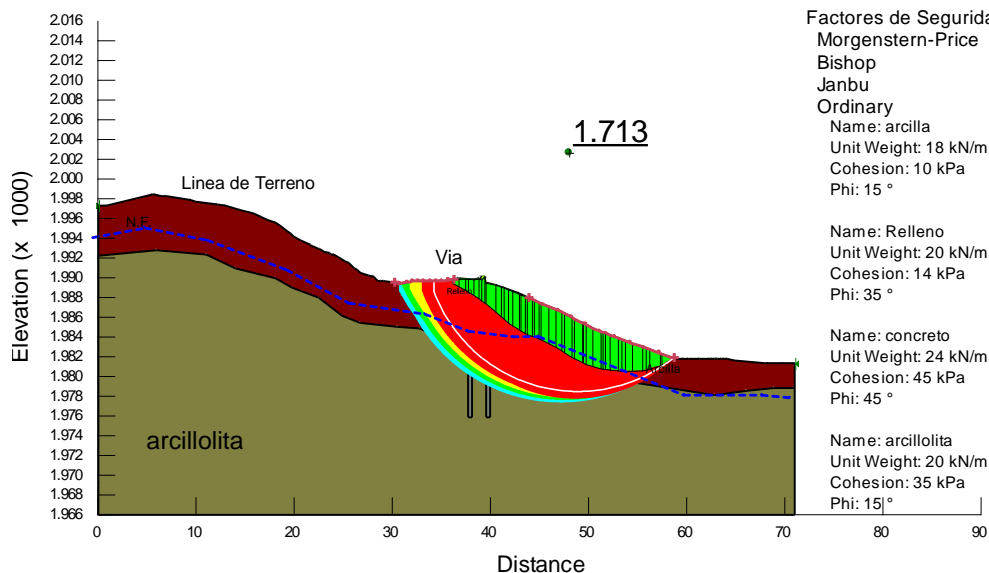


Ilustración 39: detalle muro de contención, con pilotes de 12 metros.

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN VIA CUESTABOBA-PAMPLONA PR 100+200

Condiciones Estáticas falla a media banca



Factores de Seguridad Obtenidos

Morgenstern-Price	1.649
Bishop	1.682
Janbu	1.590
Ordinary	1.713

- Name: arcilla
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion: 10 kPa
Phi: 15 °
- Name: Relleno
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 14 kPa
Phi: 35 °
- Name: concreto
Unit Weight: 24 kN/m³
Cohesion: 45 kPa
Phi: 45 °
- Name: arcillolita
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 35 kPa
Phi: 15 °

Ilustración 40: valor F.S Escenario estático

Control de aguas superficiales

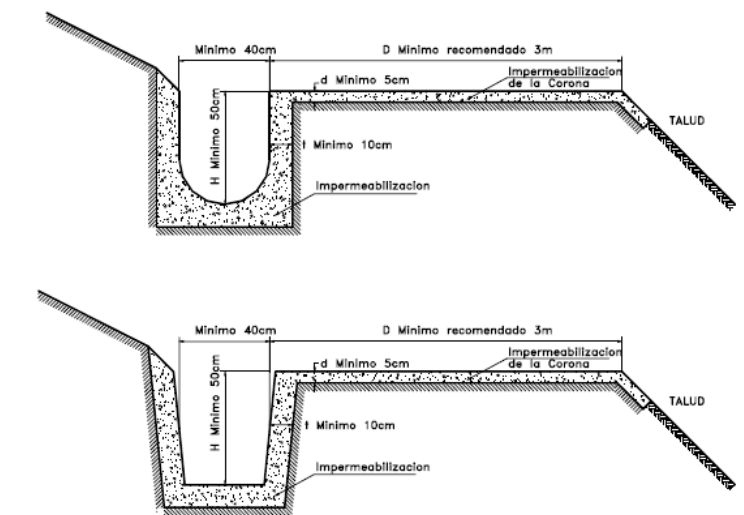
Actualmente existen diversos tipos de obras para la estabilización de taludes, que contemplan el control de aguas, tanto superficial como subterránea, son muy viables y más económicas comparadas con grandes obras de contención.

Estos métodos hacen que el factor de seguridad de cualquier superficie de falla que pasa por debajo del nivel de agua, puede ser mejorado de tal forma que generen estabilidad en el talud.

En nuestro caso, donde el nivel freático se encuentra cerca de la superficie de falla, genera un cambio en el factor de seguridad ayudaría a mitigar los problemas de erosión, disminuyendo la saturación superficial de los primeros estratos de suelo.

Por esto, para controlar las aguas superficiales y evitar la falla de la parte alta se recomienda el diseño de zanjas de corona en toda la longitud del talud con el fin de interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias. No debe construirse muy cerca al borde superior del talud, esto con el objetivo de impedir que se conviertan en el inicio y guía de un deslizamiento en cortes recientes o en una nueva superficie de falla. Deben ser totalmente impermeabilizadas, así como debe proporcionar una suficiente pendiente para asegurar un rápido drenaje del agua captada. Se sugiere que al menos cada dos años se deben reparar las zanjas de coronación para impermeabilizar las fisuras y grietas que aparezcan.

Ilustración 41: Detalle de zanja de coronación para el control de aguas superficiales.



Fuente: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Jaime Suarez.

10.2 ALTERNATIVA 2: PANTALLA ANCLADA

Los muros anclados constituyen en la actualidad un medio esencial para garantizar la estabilidad de diversas estructuras, son soportados por el propio suelo que trata de empujarlos, a través de la incorporación de anclajes apropiados. Los anclajes deben llegar hasta una distancia tal que queden por detrás del posible plano de falla del suelo, y a esa distancia inicial se le añade una longitud adicional necesaria para resistir el empuje del suelo por fricción.

La pantalla impide las grietas de tensión mejorando las zonas en amenaza media y alta, evitando de esta manera problemas futuros que afecten de forma negativa a la comunidad. Se plantea la construcción de una pantalla anclada la pantalla va estar soportada por anclajes tres toroides de 1/2 pulgadas La pantalla anclada propuesta con altura variable de 5.35 a 6.25 metros.

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN VIA CUESTABOBA-PAMPLONA PR 100+200

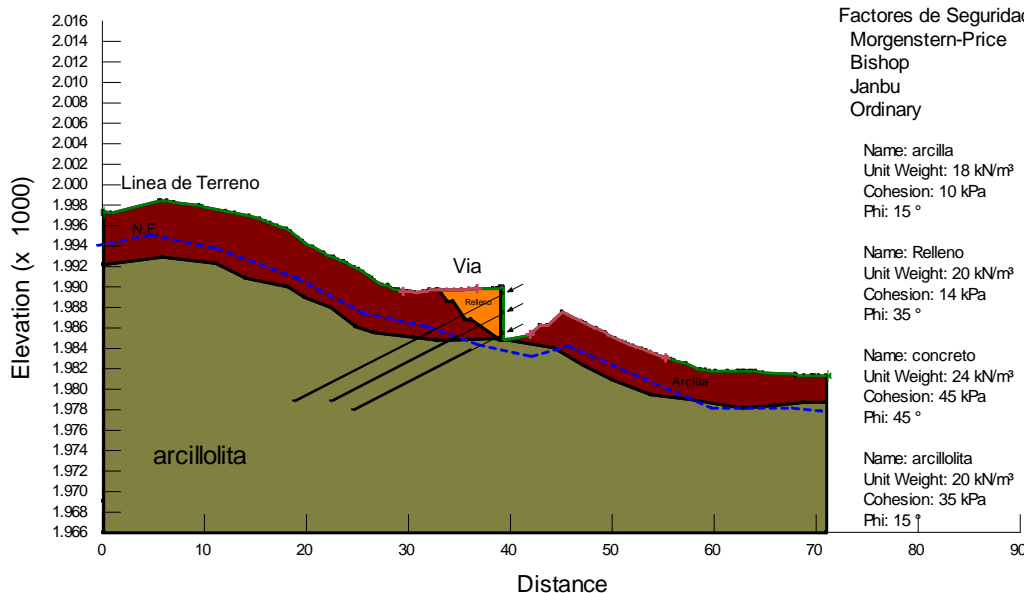


Ilustración 42: Escenario estático

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN
VIA CUESTABOBA-PAMPLONA
PR 100+200

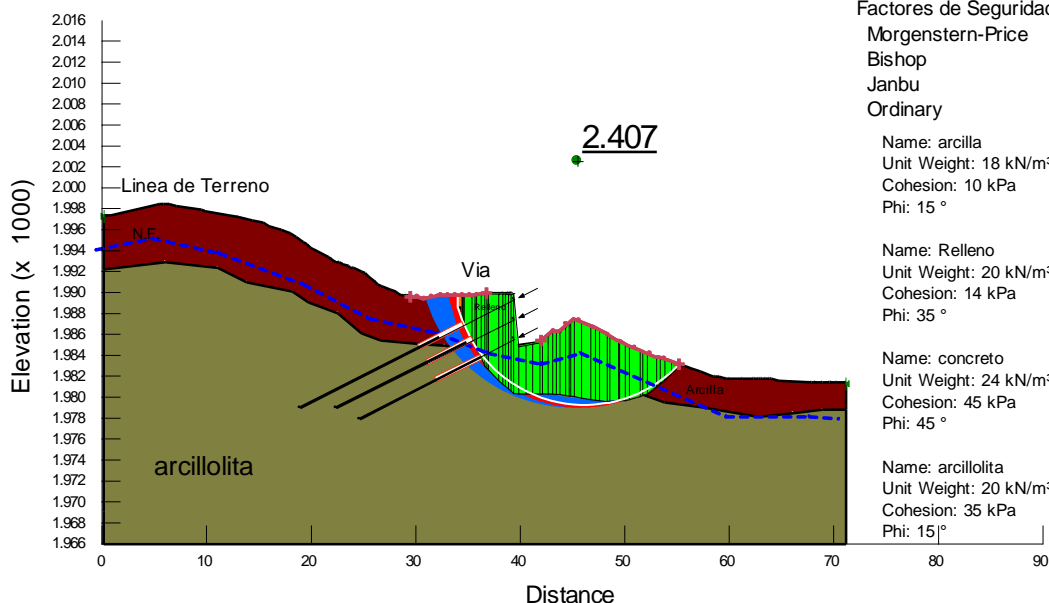


Ilustración 43: valor del F.S para Escenario estático

La longitud de los anclajes para algunas zonas donde no existían obras de mitigación fue modificada con el fin de optimizar la función de los anclajes y de esta manera mitigar las áreas del talud que se encuentran en amenaza media y alta. Al modelar los perfiles con pantallas ancladas (Véase Anexo G), se obtiene un incremento notable en el factor de seguridad, lo que nos garantiza estabilidad y control de erosión a lo largo del talud.

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los factores que causan la inestabilidad de ladera son en su orden los siguientes:

- Aumento de niveles del nivel freático
- Presencia de materiales sueltos soportados por roca firme, los cuales en temporada de lluvias son propensos al arrastre de materiales.
- 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 en la parte alta del talud y la creación de la pantalla sería 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.

BIBLIOGRAFIA

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.



CONSULTORÍA, DISEÑO,
INTERVENTORIA, CONSTRUCCIÓN,
MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN
DE PROYECTOS DE
INFRAESTRUCTURA VIAL,
EDIFICACIONES, OBRAS DE
URBANISMO, PROYECTOS DE
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO,
PROYECTOS DE MONTAJE E
INSTALACIÓN DE ALUMBRADO
PÚBLICO REDES DE MEDIA Y BAJA
TENSION, INSTALACIONES INTERNAS Y
PROYECTOS DE GEOTECNIA,
MONTAJES ELECTROMECÁNICOS Y DE
SUBESTACIONES HASTA 13.2 KV.

*ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR100+0200 DE LA VÍA
BUCARAMANGA - PAMPLONA*

ANEXOS

ANEXO A: SEGUIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA

Año 2009



Foto 1: Detalle PR 100+200; el movimiento corresponde a un fenómeno de reptación del suelo arcilloso y roca Arcillolita meteorizada. Al costado izquierdo en el talud inferior se presenta inestabilidad superficial de los taludes con reptamiento superficial; al lado derecho se presentan cultivos con riegos de agua continuos que contribuyen al incremento de los niveles freáticos en la zona.

ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR:100+0200 DE LA VÍA
BUCARAMANGA - PAMPLONA



Foto 2:



Foto 3: Detalle alcantarilla colapsada por el movimiento del talud. Esta obra debe clausurarse llevando las aguas lluvias de la vía a la siguiente.

Año 2011:



Foto 4:



Foto 5: Detalle hundimiento

ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD PRESENTADOS EN EL PR:100+0200 DE LA VÍA BUCARAMANGA - PAMPLONA



Foto 6:



Foto 7:



Foto8:



Foto 9:

Año 2012:



Foto 10



Foto 11



Foto 12



Foto 13



Foto 14



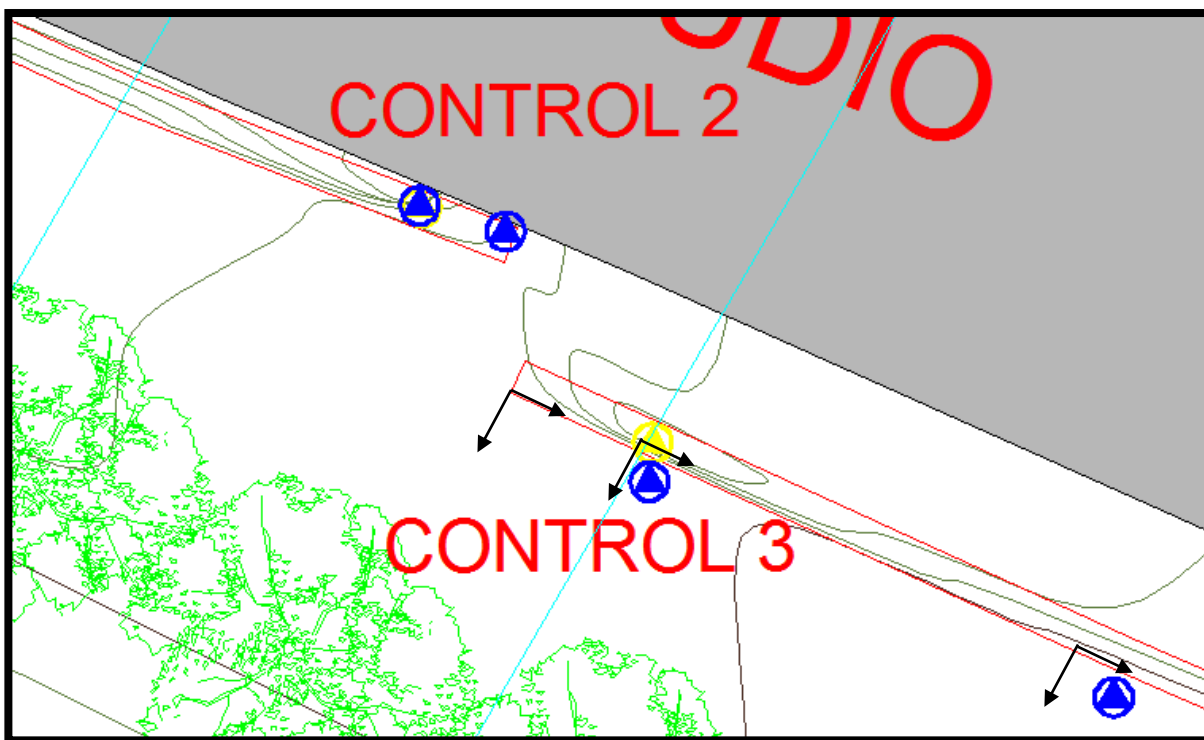
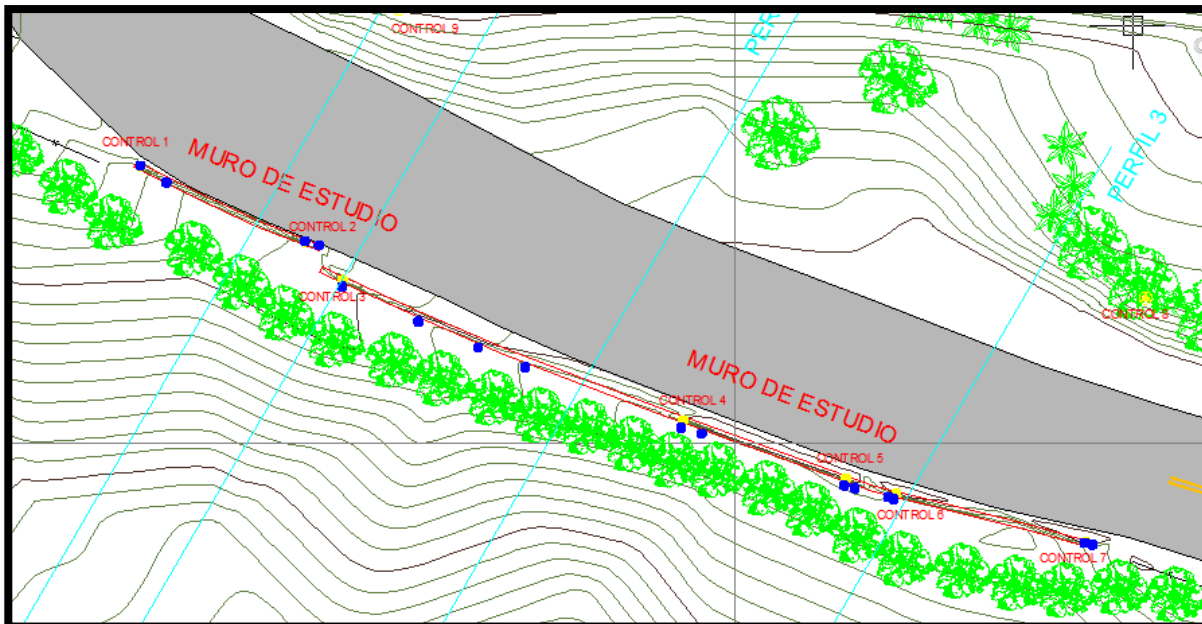
Foto 15



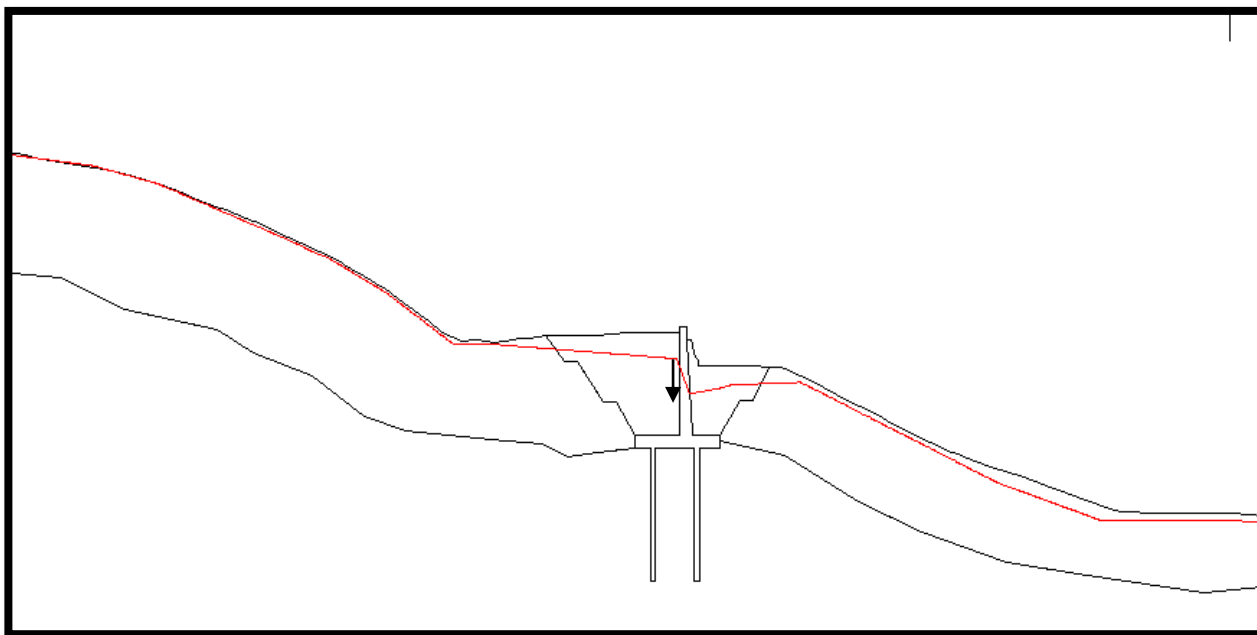
Foto 16



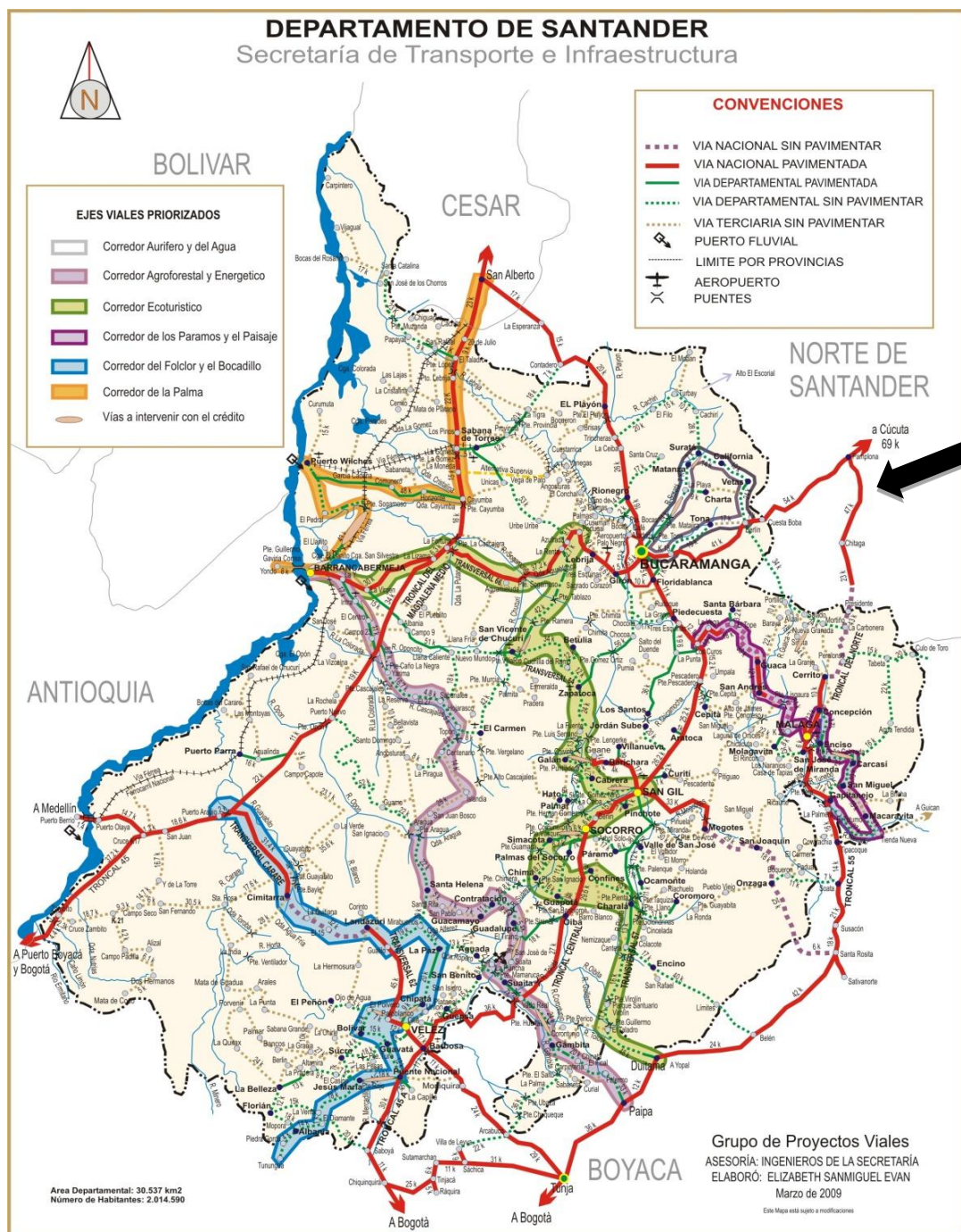
ANEXO B: DETALLE MOVIMIENTO DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.



Se ha desplazado 45 cm en el control 3.
Detalle hundimiento perfil crítico mediante estudio topográfico.



ANEXO C: MAPA DE EJES VIALES DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER



Fuente: Secretaria de transporte e infraestructura

**ANEXO D: ESTADO DE LA RED VIAL CRITERIO TECNICO JULIO-DICIEMBRE 2011
DISTRIBUCCION POR TERRITORIALES, VIAS Y TIPOS DE SUPERFICIE**

RUTA	CÓDIGO DE VIA	CARRETERA	PR Inicial	PR Final
------	---------------	-----------	------------	----------

NORTE DE SANTANDER

7	5505	Presidente - Pamplona - Cúcuta	0+0000	71+0000
7	5507	Cúcuta - Puerto Santander - Puente Internacional Pedro de Hevia (La Unión)	2+0900	53+0758
47	55NS08	Cúcuta - San Cayetano - Cornejo	25+0000	33+0000
56	55NS09	Cúcuta - Dos Ríos - San Faustino - La China	0+0000	29+0660
8	55NSA	Anillo Vial Oriental De Cúcuta	0+0000	18+0260
18	6603	Bucaramanga - Cuestaboba - Pamplona	70+0000	123+0909
18	6604	La Lejía - Saravena	0+0000	150+0000
45	7008	Ocaña - Sardinata	69+0000	128+0000
45	7009	Sardinata - Cúcuta	0+0000	57+0600
47	7009A	Cornejo - Zulia	70+0000	75+0000
TOTAL NORTE DE SANTANDER				

FUENTE: INVIAS

RUTA	CÓDIGO DE VIA	SECTORES
------	---------------	----------

NORTE DE SANTANDER

7	5505	Presidente - Pamplona
7	5507	PR 2+0900 (Nueva Terminal de Cúcuta) - Puente Internacional Pedro de Hevia
47	55NS08	San Cayetano - Cornejo
56	55NS09	Cúcuta (Redoma el Salado) - La China
8	55NSA	Glorieta K8 - Redoma el Salado
18	6603	Cuestaboba - Pamplona
18	6604	La Lejía - Saravena
45	7008	Alto El Pozo - Sardinata
45	7009	Sardinata - El Zulia
47	7009A	Cornejo - Zulia
		Longitud
		Porcentaje

FUENTE: INVIAS



CONSULTORIA, DISEÑO,
INTERVENCIÓN, CONSTRUCCIÓN,
MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN
DE PROYECTOS DE
INFRAESTRUCTURA VIAL
EDIFICACIONES, OBRAS DE
URBANSIMO, PROYECTOS DE
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO,
PROYECTOS DE MONTAJE E
INSTALACIÓN DE ALUMBRADO
PÚBLICO REDES DE MEDIA Y BAJA
TENSIÓN, INSTALACIONES INTERNAS Y
PROYECTOS DE GEOTECNIA,
MONTAJES ELECTROMECÁNICOS Y DE
SUSTITUCIONES HASTA 13.2 KV.

ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD
PRESENTADOS EN EL PR100+0200 DE LA VÍA
BUCARAMANGA - PAMPLONA

RUTA	CÓDIGO DE VIA	RED NO PAVIMENTADA (KMS)					TOTAL PAVIMENTO	TOTAL AFIRMADO	LONGITUD TOTAL CALIFICADA
		MUY BUENO	BUENO	REGULAR	MALO	MUY MALO			
NORTE DE SANTANDE									
7	5505					3,36	66,90	3,36	70,25
7	5507						50,87	0,00	50,87
47	55NS08						8,05	0,00	8,05
56	55NS09					0,66	28,34	0,66	29,00
8	55NSA						18,37	0,00	18,37
18	6603						54,01	0,00	54,01
18	6604			25,81	107,48		17,11	133,28	150,40
45	7008						58,41	0,00	58,41
45	7009						57,73	0,00	57,73
47	7009A						4,89	0,00	4,89
		0,00	0,00	25,81	107,48	4,02	364,68	137,30	501,98
		0,0%	0,0%	5,1%	21,4%	0,8%	72,6%	27,4%	

RUTA	CÓDIGO DE VIA	RED PAVIMENTADA (KMS)				
		MUY BUENO	BUENO	REGULAR	MALO	MUY MALO
NORTE DE SANTANDE						
7	5505	23,78	27,66	4,10	10,36	1,01
7	5507	1,99	7,01	3,00	38,88	
47	55NS08		8,05			
56	55NS09			10,66	10,75	6,93
8	55NSA		2,00	10,35	6,03	
18	6603	23,93	15,90	11,14	3,04	
18	6604	4,77	5,34	1,00	6,00	
45	7008		37,66	13,90	6,85	
45	7009		8,00	1,00	47,73	1,00
47	7009A		4,89			
		54,46	116,51	55,15	129,63	8,94
		10,8%	23,2%	11,0%	25,8%	1,8%

FUENTE: INVIAS

ANEXO E: 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) comparo 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 valido para fallas con comportamiento drenado.

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

ANEXO F: 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:

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

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

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

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 angulo 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.
- **Ff** = Factor de seguridad del equilibrio de fuerzas.
- **Fm** : 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.

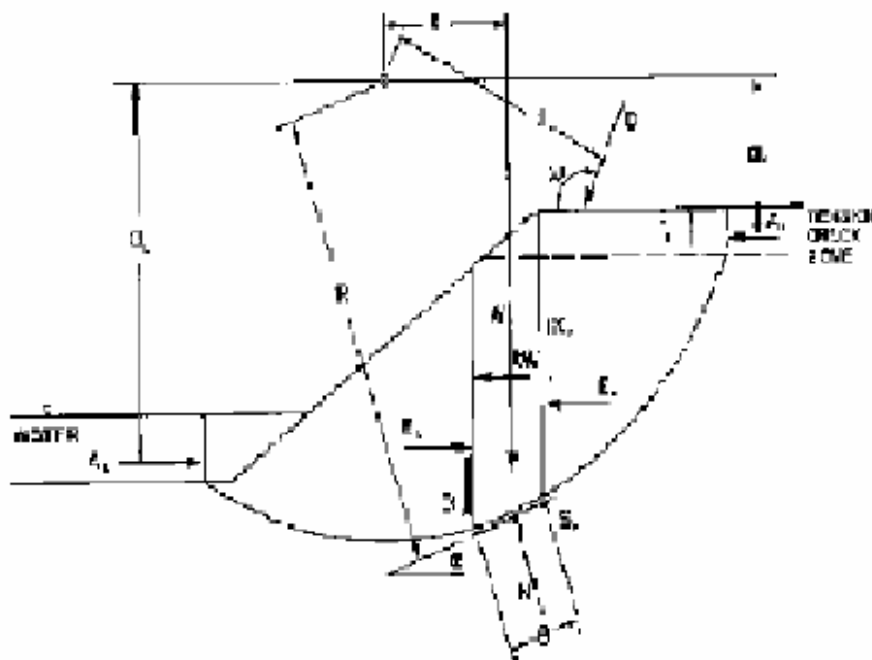


Figura 1. Fuerza actuando en una dovela cuando la superficie de falla es circular. [GEO-SLOPE, 2002]

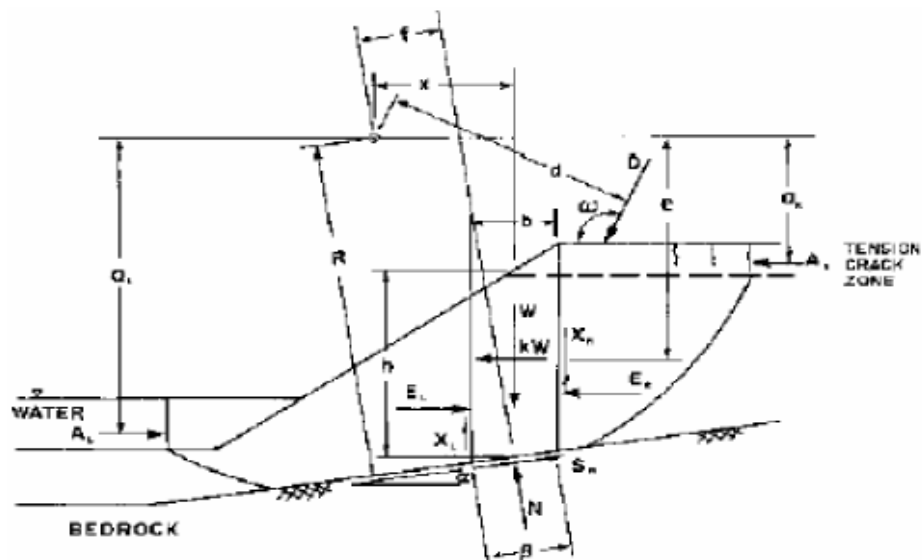


Figura 2. Fuerzas actuando en una dovela cuando la superficie de falla es compuesta. [GEO-SLOPE, 2002]

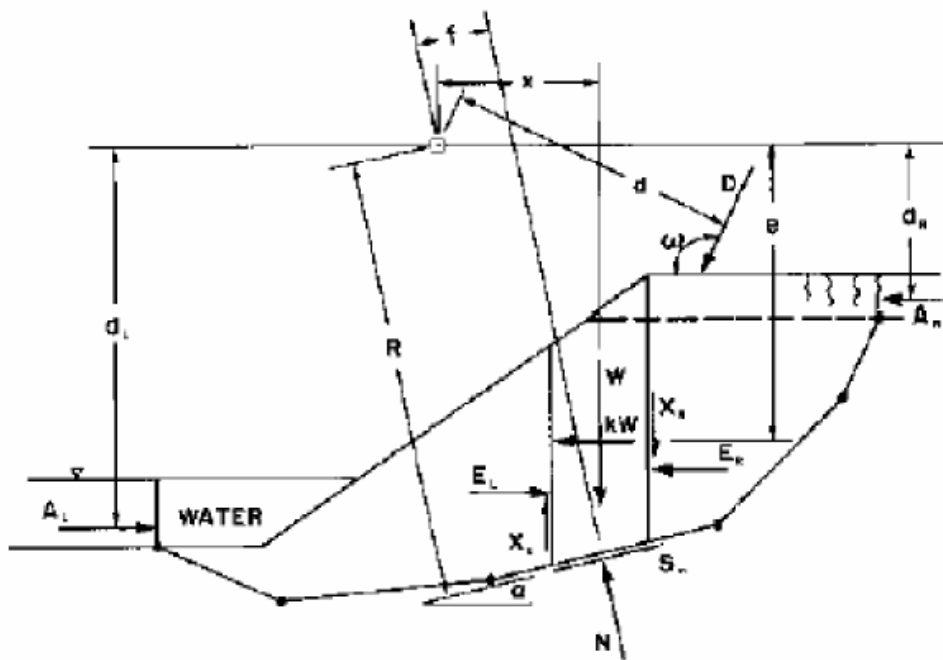


Figura 3. Fuerzas actuando en una dovela cuando la superficie de falla está definida por segmentos de líneas recta.[GEO-SLOPE, 2002]

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:

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

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:

$$\sum Wx - \sum S_n R - \sum Nf + \sum kWe \pm [Dd \pm Aa = 0$$

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:

$$F_m = \frac{\sum (c' \beta R + (N - u \beta R \tan \phi'))}{\sum W_x - \sum N_f + \sum k W_e \pm [D_d] \pm A_a}$$

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:

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

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:

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

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:

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

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 norma 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:

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

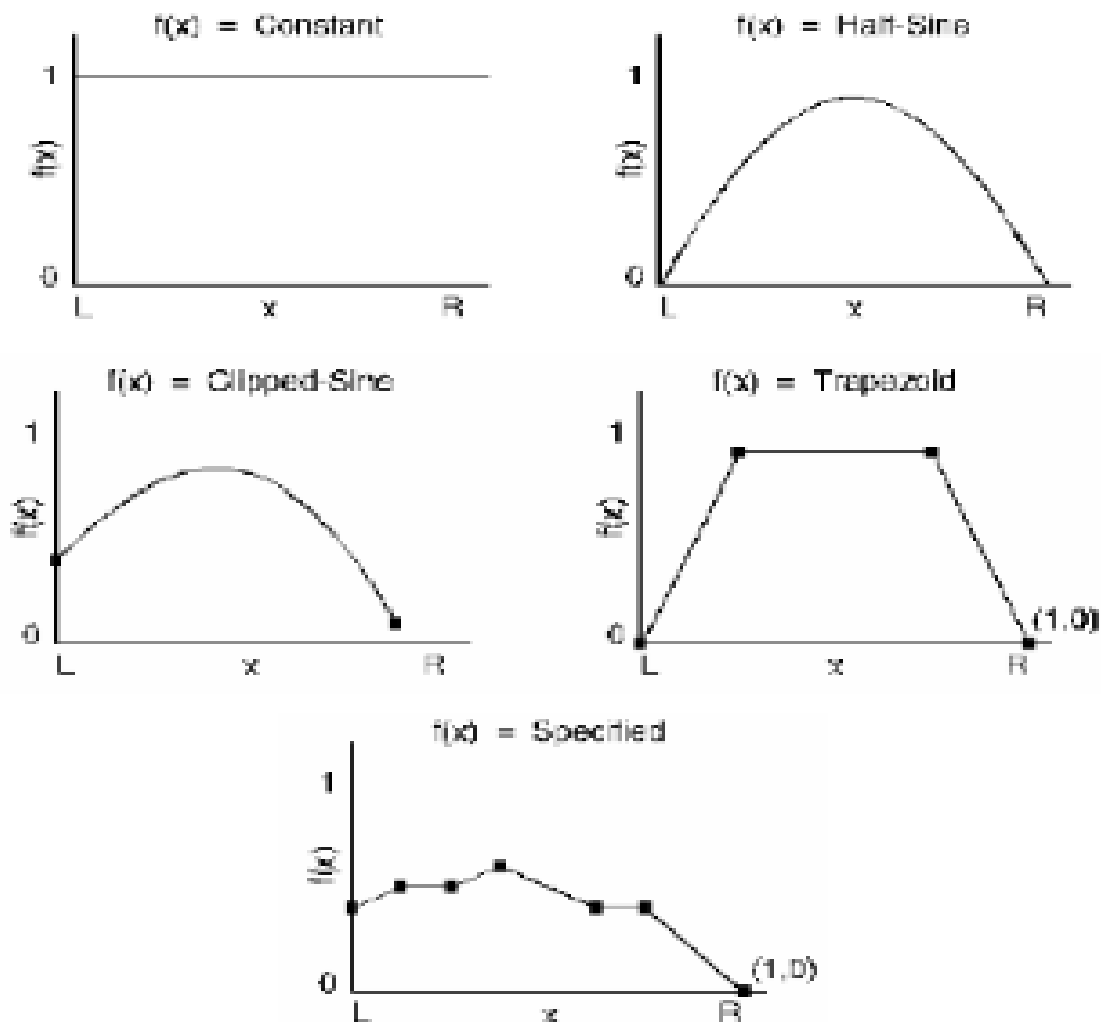


Figura 6 Variación de la dirección de las fuerzas de interfase con respecto al eje X [GEO-SLOPE,2002]

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.

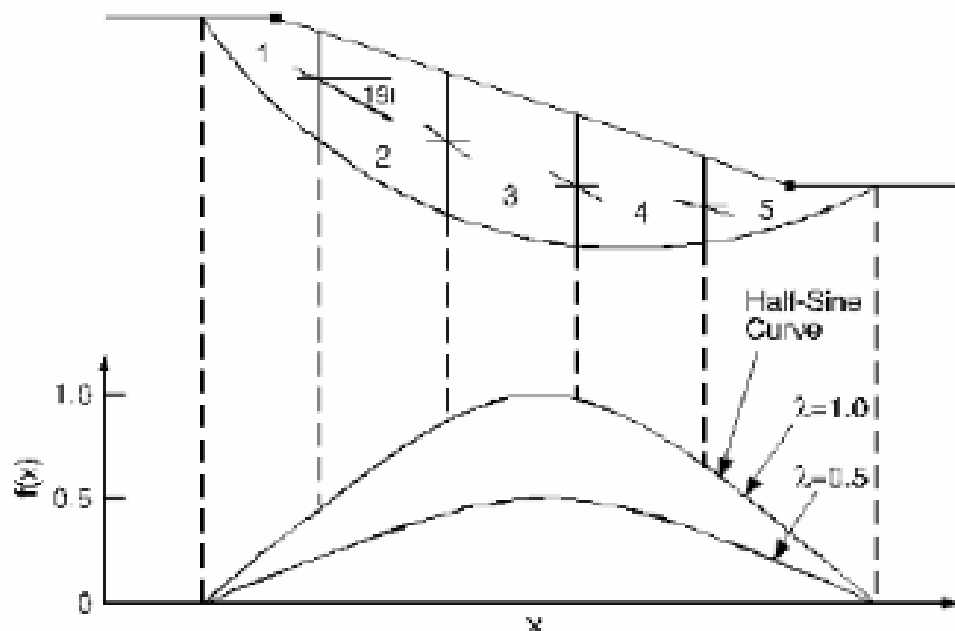


Figura 7 Variación de la dirección de las fuerzas de interfase a lo largo de la superficie de falla[GEO-SLOPE,2002]

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

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

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.

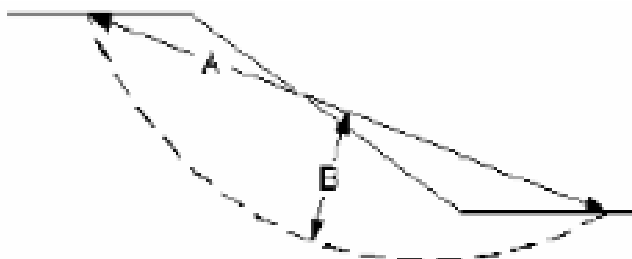


Figura 8 Distancia B definida por Janbu, Bjerrum and Kjaemslil[GEO-SLOPE,2002]

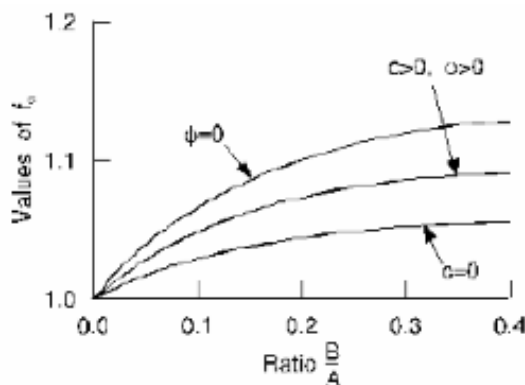


Figura 9 Factor de corrección de f_0 del Método simplificado de Janbu[GEO-SLOPE,2002]

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 lambda. Estos factores de seguridad junto a los obtenidos con el valor de lambda 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 6.9 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.

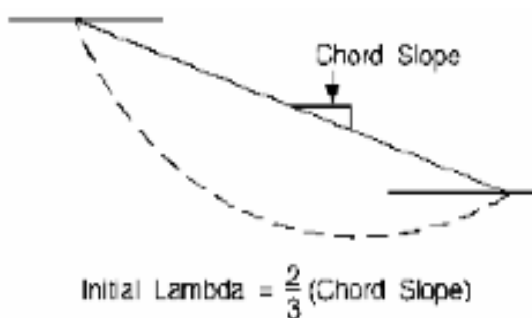


Figura 10 Primera estimación de γ utilizada en la Solución Rápida [GEO-SLOPE,2002]

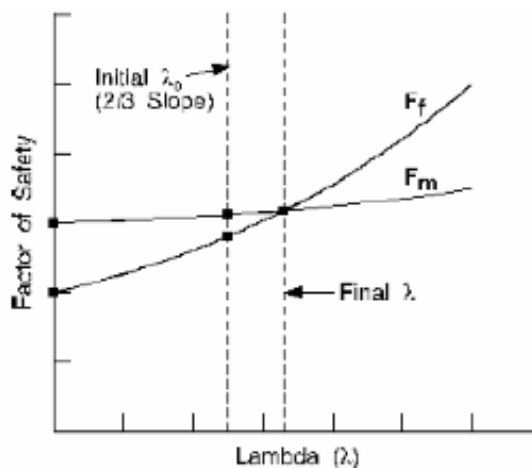


Figura 11 procedimiento utilizado cuando $F_m > F_f$ para la estimación de γ_0 [GEO-SLOPE,2002]

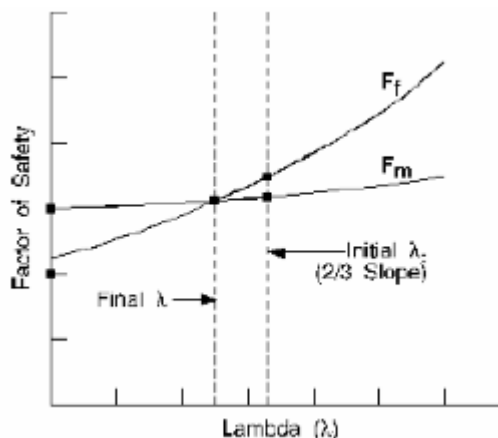


Figura 12 Procedimiento utilizado cuando $F_m < F_f$ para la estimación γ_o [GEO-SLOPE,2002]

Cuarta Etapa:

La cuarta etapa es realizada cuando se definen valores de l para el cálculo de factores de seguridad de equilibrio de fuerzas y momentos. Los factores de seguridad pueden ser graficados para varios valores de l 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.

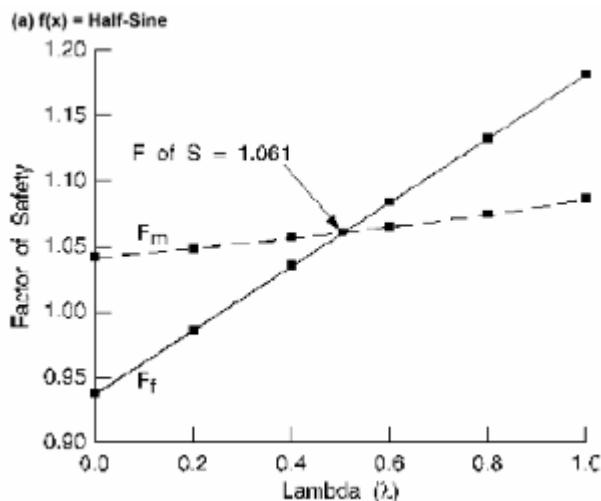


Figura 13 Variación del factor de seguridad respecto a γ cuando la función es senoidal [GEO-SLOPE,2002]

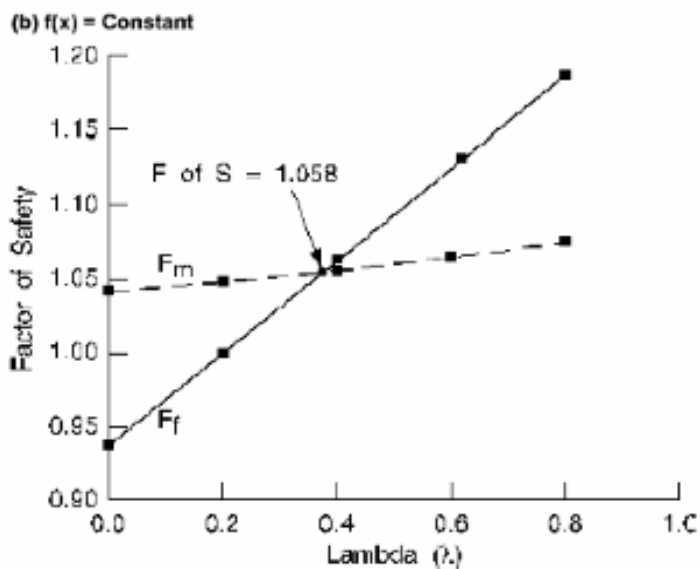


Figura 14 Variación del factor de seguridad respecto a γ cuando la función es constante [GEO-SLOPE,2002]

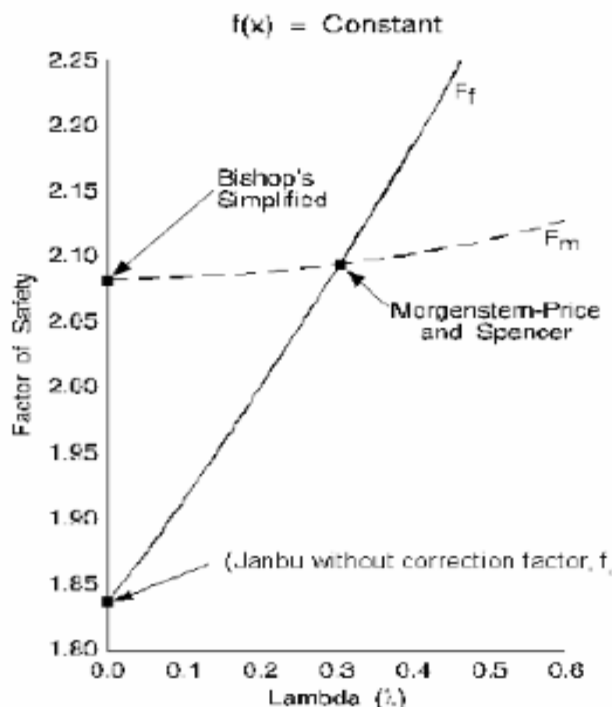


Figura 15 factores de seguridad obtenidos en distintos métodos [GEO-SLOPE,2002]

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).

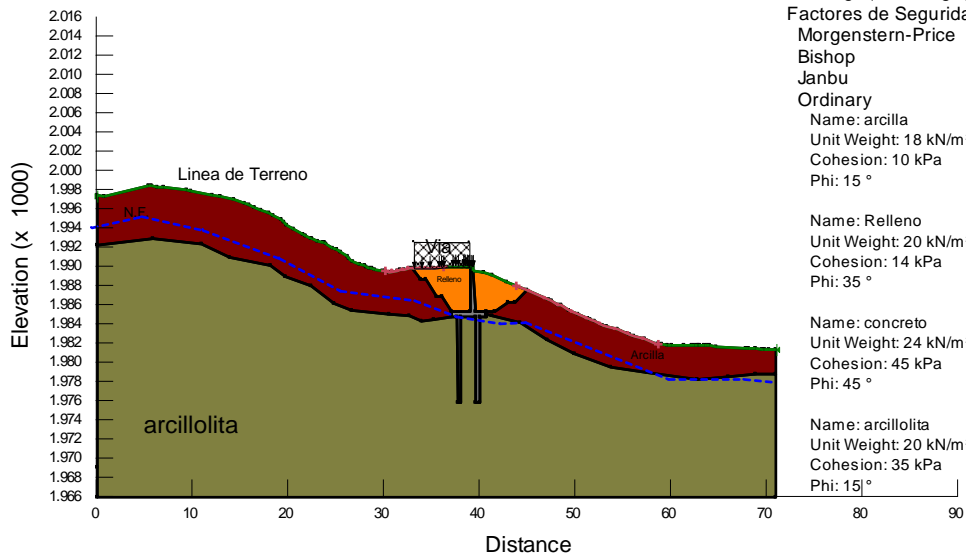
La suma de las fuerzas resistente de todas las rebanadas, dividida por la suma algebraica de las tensiones cortantes, nos da el FS global. Hablo de suma algebraica porque es necesario tener en cuenta la orientación del vector cortante, ya que hay casos en los que pueden aparecer empujes pasivos.

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 generado por los parámetros originales del suelo, por la que dan los parámetros Modificados obtenemos el F.S.

ANEXO G: PERFILES CON OBRAS

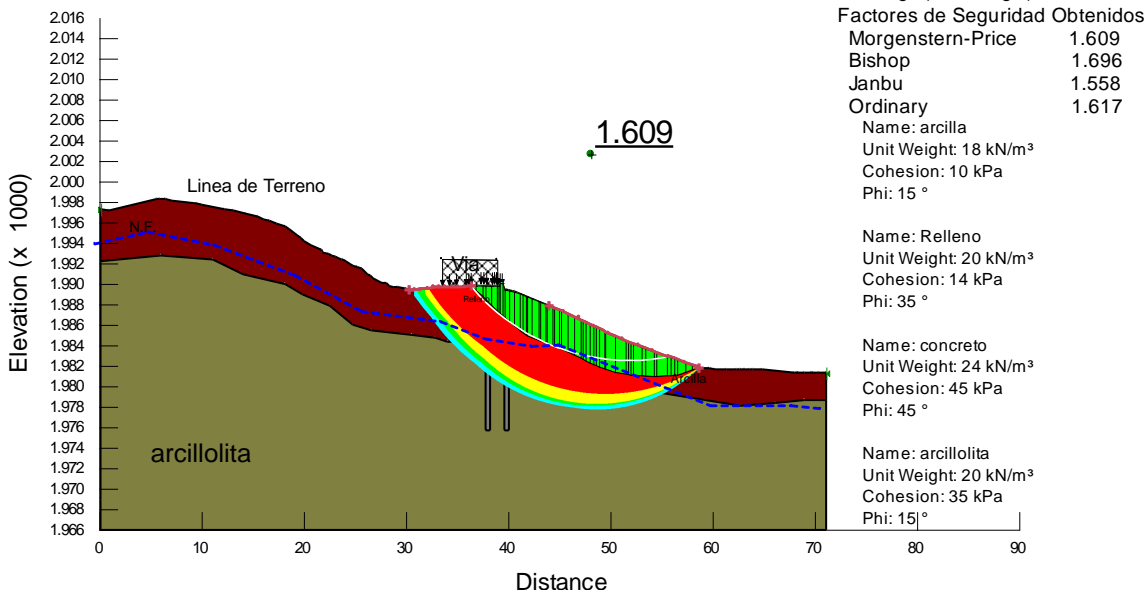
MURO DE CONTENCION CON PILOTES DE 12 METROS

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCION VIA CUESTABOBA-PAMPLONA PR 100+200

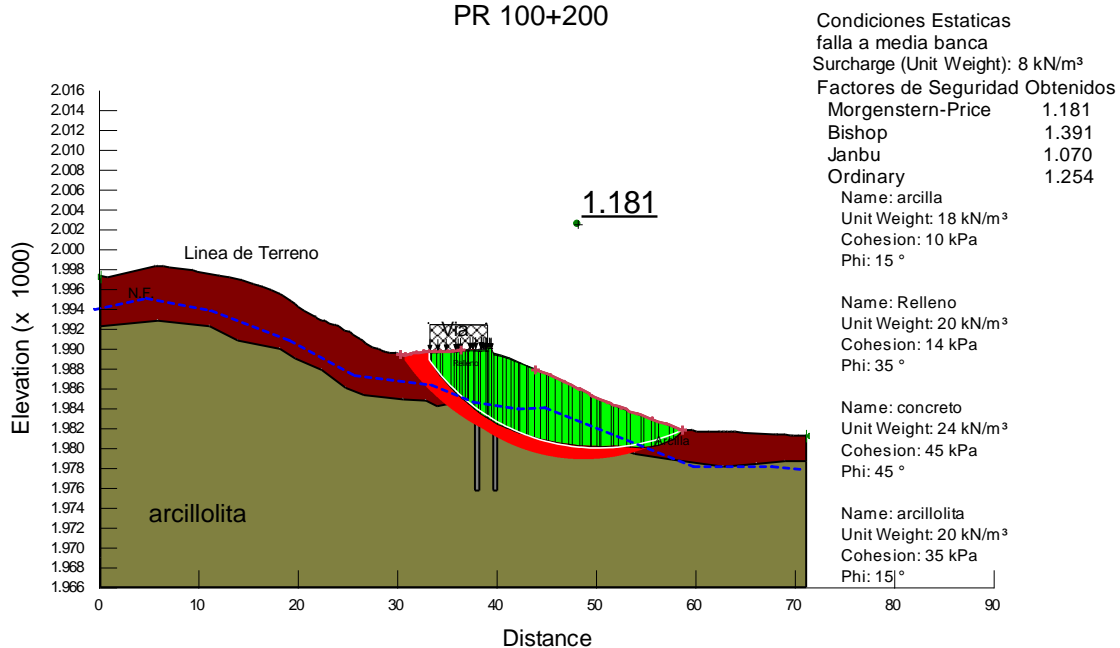


Escenario Pseudoestático carga vial 8 KN/m2

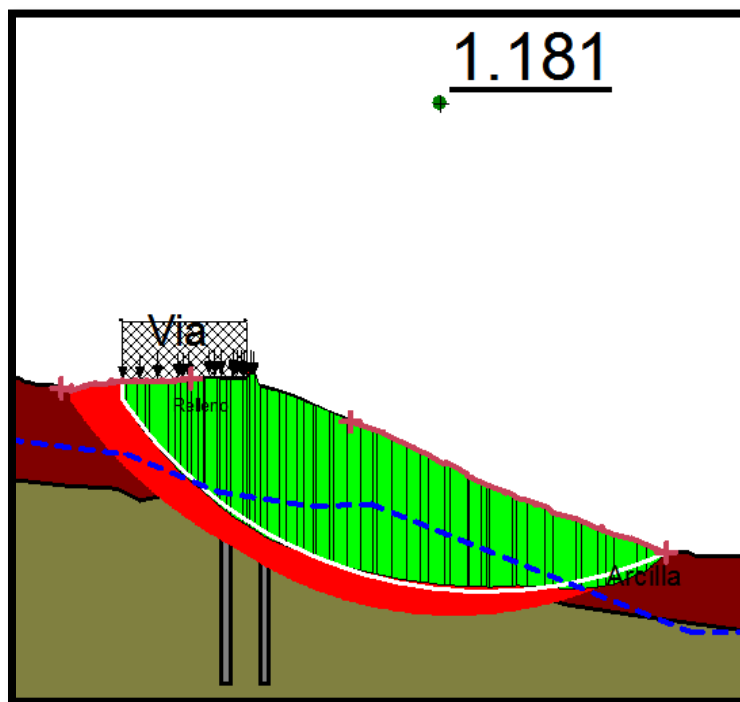
ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCION VIA CUESTABOBA-PAMPLONA PR 100+200



ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN VIA CUESTABOBA-PAMPLONA PR 100+200



Modelo geotécnico en slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga sísmica de 0.20g + carga vía de 8KN/m², talud saturado.



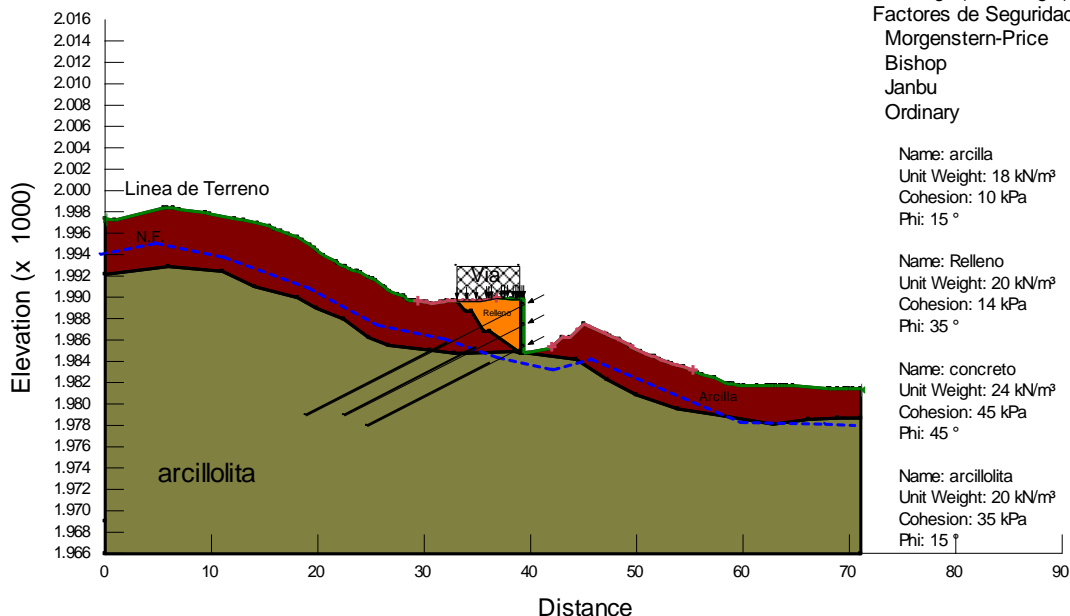


CONSEJERIA, DISEÑO, INTERVENCIÓN, CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL, EDIFICACIONES, OBRAS DE URBANISMO, PROYECTOS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO, PROYECTOS DE MONTAJE E INSTALACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO REDES DE MEDIA Y BAJA TENSION, INSTALACIONES INTERNAS Y PROYECTOS DE GEOTECNIA, MONTAJES ELECTROMECANICOS Y DE SUBSTACIONES HASTA 13.2 KV.

ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LOS PROBLEMAS DE INESTABILIDAD PRESENTADOS EN EL PR100+0200 DE LA VÍA BUCARAMANGA - PAMPLONA

PANTALLA ANCLADA

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN VIA CUESTABOBA-PAMPLONA PR 100+200



Condiciones Estaticas
falla a media banca
Surcharge (Unit Weight): 8 kN/m³
Factores de Seguridad Obtenidos
Morgenstern-Price 1.646
Bishop 1.754
Janbu 1.428
Ordinary 1.726

Name: arcilla
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion: 10 kPa
Phi: 15 °

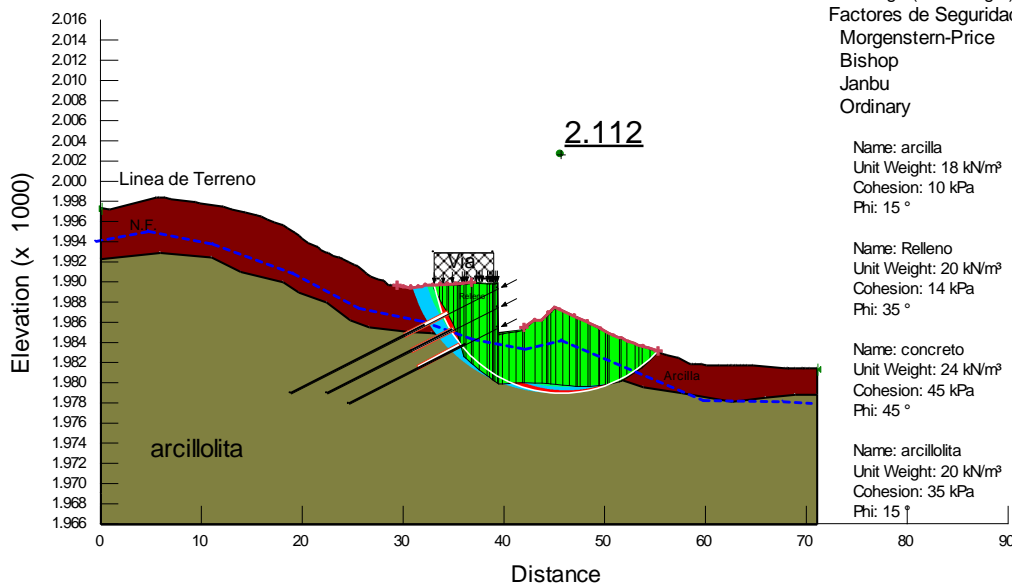
Name: Relleno
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 14 kPa
Phi: 35 °

Name: concreto
Unit Weight: 24 kN/m³
Cohesion: 45 kPa
Phi: 45 °

Name: arcillolita
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 35 kPa
Phi: 15 °

Escenario Pseudoestático carga vial 8 KN/m²

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN VIA CUESTABOBA-PAMPLONA PR 100+200



Condiciones Estaticas
falla a media banca
Surcharge (Unit Weight): 8 kN/m³
Factores de Seguridad Obtenidos
Morgenstern-Price 2.112
Bishop 2.147
Janbu 1.820
Ordinary 2.047

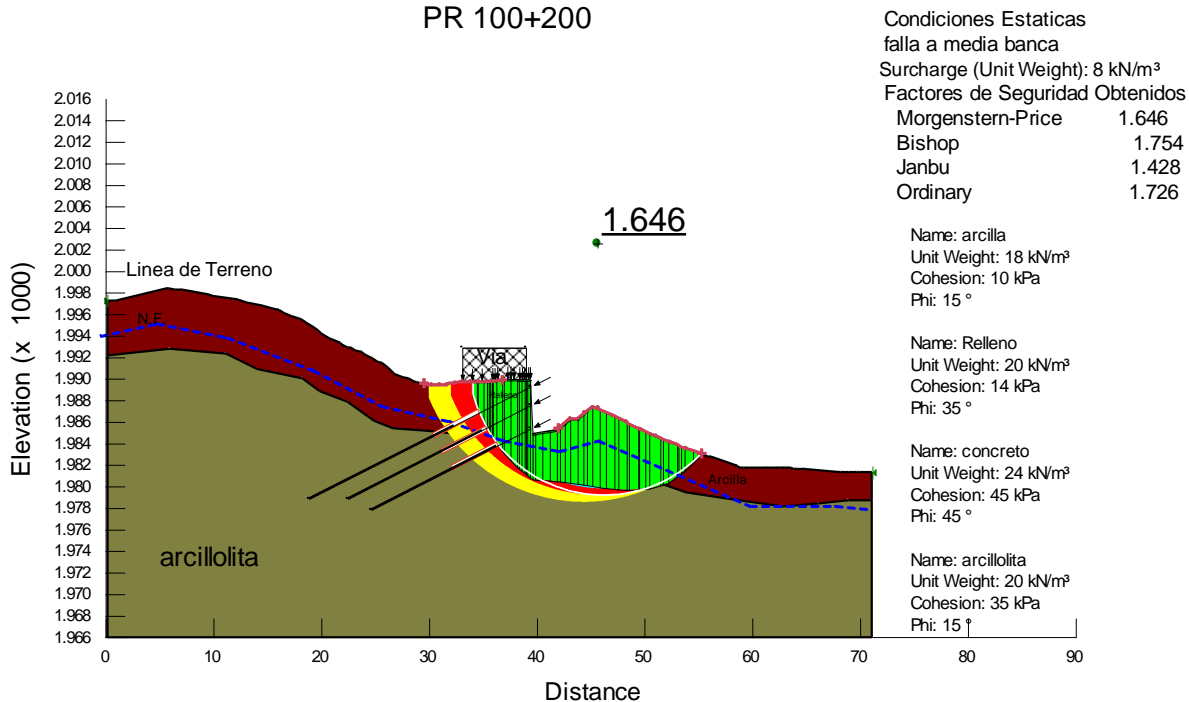
Name: arcilla
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion: 10 kPa
Phi: 15 °

Name: Relleno
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 14 kPa
Phi: 35 °

Name: concreto
Unit Weight: 24 kN/m³
Cohesion: 45 kPa
Phi: 45 °

Name: arcillolita
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 35 kPa
Phi: 15 °

ESTUDIOS Y DISEÑOS MURO DE CONTENCIÓN
 VIA CUESTABOBA-PAMPLONA
 PR 100+200



Modelo geotécnico en slope w análisis de estabilidad Pseudo Estático carga sísmica de
 0.20g + carga vía de 8KN/m2.

