



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

Facultad de Ingeniería
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE DIPLOMA

**REVISIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA SUELOS
NO SATURADOS EN LA CARRETERA RAMÓN DE ANTILLA,
UTILIZANDO EL SOFTWARE PROFESIONAL GEOESTUDIO
2007**

Lilianni Hernández Samón

HOLGUÍN

2015



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

Facultad de Ingeniería
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE DIPLOMA

**REVISIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA SUELOS
NO SATURADOS EN LA CARRETERA RAMÓN DE ANTILLA,
UTILIZANDO EL SOFTWARE PROFESIONAL GEOESTUDIO
2007**

Autor: Lilianni Hernández Samón

Tutor: MSc. Ing. Raymundo Rodríguez Tejeda

Ing. Eunices Soler Sánchez

HOLGUÍN

2015

PENSAMIENTO



“Tenemos que darle a nuestro trabajo el sello de responsabilidad y seriedad que entraña el ser espejo, donde se miran todos los pueblos de América.”

Ernesto Che Guevara.

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco primeramente a Dios porque permitió que obtuviera la carrera de Ingeniería Civil, y durante toda esta etapa fue mi ayuda y sustento en los momentos difíciles y situaciones que se enfrentaron en el camino, él estuvo todo el tiempo a mi lado brindándome su apoyo y protección, Gracias Señor porque todo lo que soy te lo debo a ti.
- Quiero además agradecer a mi madre, mi padrastro, mi padre y mi hermano por su ayuda incondicional y apoyarme en cada una de las decisiones que tomé durante todo este tiempo.
- A mis tutores por brindarme su ayuda y atención en todo el transcurso de la elaboración de la tesis
- A mis pastores por cada oración que elevaron a Dios para que todo saliera bien
- A todos mis amigos por su compañía en los buenos y malos momentos
- A todos los profesores y demás personas que de una forma u otra hicieron posible que esta tesis se desarrollara con la calidad requerida

A todos muchas gracias.

DEDICATORIA

- Dedico el fruto de este trabajo de diploma a Dios principalmente, porque sin él no hubiera logrado llegar hasta el último año de mi carrera
- A mis padres, hermano y amigos que con su ejemplo y constancia me han apoyado en todo el transcurso de estos 5 años

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal realizar una revisión de la estabilidad de taludes, bajo condiciones de no saturación en la carretera Ramón de Antilla, específicamente en el tramo del kilómetro 5-10. En esta se presenta una generalización del tema, brindándose también los principales métodos de cálculo y factores que pueden desencadenar inestabilidades, así como las características del lugar donde se realizó la revisión. El análisis se efectúa mediante la utilización del software profesional GeoSlope Geoestudio 2007, para su uso como herramienta en los análisis de estabilidad que permiten analizar los taludes, para esta se creó un modelo que contiene las secciones transversales que pueden llegar a ser las más desfavorables, teniendo en cuenta la altura de sus taludes, obteniéndose como resultado un factor de seguridad adecuado, que garantiza la seguridad y óptimo funcionamiento del vial. La solución del problema de la investigación y el cumplimiento del objetivo, fue posible con la aplicación de un sistema de métodos de la investigación científica de naturaleza teórica y empírica.

ABSTRACT

The present investigation has as main objective to carry out a revision of the stability of slopes, under non saturation conditions in the highway Ramón of Antilla, specifically in the tract of the kilometer 5-10. En this a generalization of the topic is presented, being also offered the main calculation methods and factors can unchain uncertainties, as well as the characteristics of the place where he/she will be carried out the revision. The analysis is made by means of the use of the professional software GeoSlope Geoestudio 2007, for its use as tool in the analyses of stability that allow to analyze the slopes, for this a model is believed that contains the traverse sections that can end up being the most unfavorable, keeping in mind the height of her slopes, being obtained an appropriate factor of security that guarantees the security, and good operation of the vial as a result. The solution of the problem of the investigation and the execution of the objective, were possible with the application of a system of methods of the scientific theoretical and empiric nature.

INDÍCE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: PROCESO DE ESTABILIDAD DE TALUDES, SU CARACTERIZACIÓN.....	9
<i>Introducción al capítulo</i>	<i>9</i>
<i>1.1 Análisis histórico de la estabilidad de taludes</i>	<i>9</i>
<i>1.2 Conceptos y definiciones.....</i>	<i>12</i>
<i>1.3 Terminología</i>	<i>13</i>
<i>1.3.1 Elementos constitutivos de un talud o ladera</i>	<i>14</i>
<i>1.3.2 Etapas para cuantificar las causas y mecanismos de fallas que determinan la estabilidad de un talud.....</i>	<i>14</i>
<i>1.4 Principales métodos de cálculo para analizar la estabilidad de taludes</i>	<i>14</i>
<i>1.5 Factores básicos que afectan la estabilidad de taludes</i>	<i>21</i>
<i>1.6 Modelos matemáticos existentes para el análisis de la estabilidad de los taludes</i>	<i>26</i>
<i>1.6.1 Software profesional Geoestudio GeoSlope 2007.....</i>	<i>28</i>
<i>Conclusiones del capítulo</i>	<i>33</i>
CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL TRAMO DE KILÓMETRO 5-10 DE LA CARRETERA RAMÓN DE ANTILLA	34
<i>Introducción al capítulo</i>	<i>34</i>
<i>2.1 Evolución y desarrollo del vial Ramón de Antilla</i>	<i>34</i>
<i>2.2 Características generales de la zona de emplazamiento del subtramo</i>	<i>35</i>
<i>2.2.1 Ubicación geográfica</i>	<i>36</i>
<i>2.2.2 Características climatológicas</i>	<i>36</i>
<i>2.2.3 Vegetación</i>	<i>37</i>

2.2.4 Relieve	37
2.2.5 Características de los suelos.....	38
2.2.6 Hidrografía.....	39
2.3 Geología general del trazado	39
2.3.1 Geología y Geotecnia.....	39
2.3.2 Geomorfología.....	40
2.4 Clasificación de la vía.....	40
2.4.1 Sección típica de la carretera	41
2.5 Revisión de los taludes mayores en el subtramo analizado	42
2.5.1 Aplicación del software profesional GeoSlope Geoestudio 2007	44
2.5.2 Resultados y análisis.....	50
2.6 Propuesta de actividades para el mantenimiento y conservación de los taludes	51
Conclusiones del capítulo	53
CONCLUSIONES GENERALES.....	54
RECOMENDACIONES.....	55
BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos de tierra son movimientos hacia afuera o cuesta abajo de materiales que forman laderas (rocas y tierra). Son desencadenados por lluvias torrenciales, problemas de estabilidad natural que puede presentar el suelo dependiendo de sus características físicas, la erosión de los mismos y temblores de tierra, pudiendo producirse también en zonas cubiertas por grandes cantidades de nieve. Estos constituyen uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos; sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia.

En el mundo son muchos los desastres ocurridos debido a este fenómeno, un ejemplo de esto lo constituye el deslizamiento en masa que se produjo en la Presa de Vajont, en el noreste de Italia en 1963 y ocasionó la muerte de unas 2000 personas, al caer en la presa centenares de millones de m³ de tierra, árboles y rocas causando una ola gigantesca que arrasó varias poblaciones de la cuenca.

En septiembre de 1987, ocurrió un desprendimiento de 20.000 metros cúbicos de tierra, generado por la ladera nororiental del Cerro Pan de Azúcar en Medellín (Colombia), el cual se precipitó a gran velocidad sobre la parte alta del barrio Villatina y ocasionó la muerte de aproximadamente 500 personas, destruyendo unas 70 viviendas en un terreno de 1.2 hectáreas y generando unos 1700 damnificados.

En Tegucigalpa, (Honduras) se produjo un deslizamiento como consecuencia del huracán Mitch el 30 de octubre de 1998, el mismo ocasionó la muerte de 25 000 personas. Las consecuencias fueron debido a la intensa deforestación y ocupación urbana de laderas inestables.

Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra, debido a que generalmente se reúnen elementos muy importantes para su ocurrencia, tales como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas.

El 90% de los fallos por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control.

Los taludes son superficies de terreno expuestas, situadas a un ángulo determinado con respecto a la horizontal y pueden ser naturales o contruidos por el hombre¹. Su diseño y construcción constituye hoy una de las estructuras ingenieriles que exigen un mayor cuidado por el proyectista debido a las consecuencias que estos pueden traer consigo.

En nuestro país es muy importante la realización de estudios de estabilidad de taludes, puesto que nuestro relieve es montañoso y abundan los suelos arcillosos que contienen alta plasticidad y elevado grado de humedad, por lo que son susceptibles a los fenómenos de expansividad y retracción, pudiendo ocasionar grandes fallas en los taludes.

Actualmente en la carretera Ramón de Antilla no existe ningún estudio que contenga un análisis de estabilidad, lo que sería de gran importancia pues la futura ejecución de esta obra proporcionará la solución de acceso por una vía rápida a todas las instalaciones del futuro polo turístico de la península El Ramón; proporcionando un incremento en la adquisición de divisas. Además se justifica por las potencialidades paisajísticas que brinda al turista y posee condiciones excepcionales para el descanso y la recreación.

De este modo se puede identificar una contradicción fundamental: el vial Ramón de Antilla es una carretera que aún no se ha ejecutado, luego de realizar una búsqueda de las informaciones necesarias para el cálculo de estabilidad de taludes en las instituciones que desarrollaron este proyecto, no se encontraban los datos suficientes para realizar la revisión pues no se tuvo en cuenta el análisis de este factor, es por esto la pertinencia de la realización de una revisión que

¹ Braja M Das. Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica, Capítulo 10, Estabilidad de taludes, 1985, p 339.

muestre el estado de los mismos, por las características geotécnicas que presenta este tramo de carretera, y así garantizar el total funcionamiento de la vía.

A partir de este análisis se identificó como problema de investigación: la necesidad de conocer el factor de seguridad de estabilidad de taludes bajo condiciones no saturadas en la carretera Ramón de Antilla, para garantizar el óptimo funcionamiento del vial de acceso al polo turístico.

Este problema se manifiesta en el siguiente objeto de investigación: los taludes de la carretera Ramón de Antilla.

Y se concreta en el siguiente campo de acción: la estabilidad de los taludes en la carretera Ramón de Antilla.

Por lo que la presente investigación prosigue como objetivo general: realizar la revisión de la estabilidad de taludes bajo condiciones de no saturación en la carretera Ramón de Antilla, con el empleo del software profesional Geoestudio 2007 para determinar el grado de seguridad que posee este vial.

Para lograr el objetivo planteado se propone la siguiente hipótesis: si se realiza la revisión del estado actual de los taludes en la carretera Ramón de Antilla, con la utilización de software Geoestudio 2007 se podrá determinar el grado de seguridad que posee este vial.

Objetivos específicos:

1. Analizar los antecedentes históricos que sustentan los estudios de estabilidad de taludes.
2. Conceptualizar los fundamentos teóricos – metodológicos de la estabilidad de taludes y de los modelos matemáticos existentes para el cálculo de los mismos.
3. Desarrollar una revisión de la estabilidad de taludes en la carretera Ramón de Antilla, aplicando el software profesional Geoestudio 2007.

4. Analizar los resultados obtenidos.

Par dar cumplimiento a los objetivos específicos propuestos se elaboraron las siguientes preguntas científicas y las tareas de investigación a realizar:

Preguntas Científicas:

1. ¿Cuáles han sido los antecedentes históricos en el análisis de estabilidad de taludes?
2. ¿Qué fundamentos teóricos y metodológicos sustentan los estudios de estabilidad de taludes y los modelos matemáticos para el cálculo de los mismos?
3. ¿Qué elementos se deben tener en cuenta para la revisión de la estabilidad de taludes en la carretera Ramón de Antilla, con la aplicación del software Geoestudio 2007?
4. ¿A qué conclusiones se puede llegar teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la revisión?

Tareas de investigación:

1. Realización de una búsqueda bibliográfica que contenga los antecedentes históricos del análisis de estabilidad de taludes.
2. Sistematización de los fundamentos teóricos -metodológicos de la estabilidad de taludes y aplicación de modelos matemáticos para el cálculo de los mismos.
3. Determinación del factor de seguridad de los taludes en el tramo del kilómetro 5-10, mediante la utilización del software profesional Geoestudio 2007.
4. Revisión de los resultados obtenidos en el software GeoSlope.

Para el desarrollo de este informe se plantearon los siguientes métodos de investigación:

1. Métodos teóricos

- Análisis histórico – lógico: este método resultó de utilidad para determinar los métodos de cálculo y modelos matemáticos existentes para el análisis de la estabilidad de taludes así como la caracterización de los principales factores que influyen en esta.
- Hipotético – deductivo: mediante este método se concibió la hipótesis de trabajo y las preguntas científicas, las cuáles guían la lógica de la investigación.
- Sistémico-estructural-funcional: permitió organizar la estructura de la metodología y a la vez, relacionar entre si algunos de sus componentes.
- Análisis y síntesis: resultó de utilidad para dar cumplimiento a todos los objetivos propuestos mediante la realización de las tareas del proceso investigativo.
- Modelación: permitió modelar la propuesta que se revela como aporte de la investigación mediante la utilización del software profesional GeoSlope Geoestudio 2007.

2. Métodos empíricos:

- Análisis documental: resultó de gran importancia para buscar toda la información contenida en los documentos de las empresas de diseño y construcción de la provincia, en cuanto a los trabajos realizados en la carretera Ramón de Antilla.

El aporte de la investigación radica en la determinación del factor de seguridad de los taludes de la carretera Ramón de Antilla, y sirve como material de consulta para la carrera de Ingeniería Civil específicamente en la asignatura de geotecnia,

como un ejemplo demostrativo de un proyecto real de análisis de estabilidad de taludes.

Novedad científica: la revisión que se llevó a cabo es un estudio experimental de análisis de taludes en un tramo específico de un vial que aún no se encuentra en ejecución, bajo condiciones no saturadas y con presencia de terrenos arcillosos, aplicando el software profesional GeoSlope Geoestudio 2007 para el cálculo de los mismos, lo cual no se ha desarrollado anteriormente y su análisis brinda seguridad a esta carretera.

La actualidad de la investigación: está dada a partir del hecho de que en la carretera Ramón de Antilla no se han realizado estudios de estabilidad de taludes lo cual constituye uno de los factores más importantes para el óptimo funcionamiento de la vía, pues ignorar este factor podría ocasionar consecuencias desastrosas, por lo que se hace necesario realizar una revisión de estabilidad de taludes del vial antes mencionado, para conocer su comportamiento y brindar posibles soluciones a los problemas que puedan ser identificados.

El trabajo está estructurado en dos capítulos:

Capítulo 1: El proceso de estabilidad de taludes. Su caracterización: se presenta una breve reseña histórica de la estabilidad de taludes, definiendo los conceptos fundamentales que la constituyen, factores influyentes, así como los métodos de cálculo reconocidos para el análisis de la estabilidad de los taludes, además se plasma una breve caracterización del programa a utilizar para la revisión de los mismos.

Capítulo 2: Revisión de la estabilidad de taludes en el tramo del kilómetro 5-10 de la carretera Ramón de Antilla: se realizará una caracterización de la zona donde se efectuará la revisión y luego se utilizará el software Geoestudio GeoSlope 2007 para determinar el factor de seguridad de los taludes del subtramo analizado, aportando también en la investigación una serie de técnicas y actividades para su conservación.

CAPÍTULO 1: PROCESO DE ESTABILIDAD DE TALUDES, SU CARACTERIZACIÓN.

Introducción al capítulo

En el presente capítulo se plasma todo lo referente a la recopilación de información actualizada, de varios aspectos relacionados con el proceso de estabilidad de taludes, así como la caracterización del software profesional Geoestudio GeoSlope 2007 el cuál será utilizado para la revisión de los taludes de la carretera a analizar.

1.1 Análisis histórico de la estabilidad de taludes

Los inicios en el cálculo analítico de la estabilidad de taludes fueron proporcionados por Coulomb, en el siglo XVIII, al desarrollar un método de cuñas enfocado al estudio de la estabilidad de muros, pero también utilizable en taludes desnudos.

En el siglo XIX, la construcción de líneas férreas forzó a grandes movimientos de tierras, lo que originó como consecuencia la aparición de importantes deslizamientos y, por tanto, la necesidad de un método de cálculo para prevenirlos.

Pero no es hasta la primera mitad del siglo XX cuando puede hablarse de métodos analíticos que sirvieron de base a los actuales.

En 1910, Fellenius desarrolla un método de cuñas, y en 1916 se utiliza por primera vez el de rebanadas, pero solo para suelos no cohesivos, y no es hasta las dos décadas siguientes que se logra unificar la metodología para suelos cohesivos y con rozamiento interno, a la vez que se introduce en el cálculo el principio de las presiones efectivas, definido por Terzaghi en 1926.

Los métodos que pueden considerarse modernos inician en 1954 con el de Bishop, para roturas circulares, y en 1956 el de Janbu, para superficies no circulares. La complejidad del cálculo ya era alarmante, y las sofisticaciones

posteriores llegaron a hacer casi utópica la aplicación práctica, hasta que la aparición del ordenador transformó en rutina metodologías consideradas casi imposibles, como la basada en elementos finitos. Hoy existen en el mercado una gran cantidad de programas informáticos que cubren suficientemente las necesidades de un profesional.

Antes de la expansión del ordenador se desplegaron varios métodos simplificados, algunos de ellos basados en ábacos y en soluciones gráficas, que si en su momento fueron de gran ayuda, ya no está justificado su empleo salvo como herramienta de estimación rápida y preliminar.

Los programas de uso habitual en la actualidad suelen implementar los métodos de Bishop y Janbu, así como algunos de los conocidos como rigurosos o exactos, principalmente los de Spencer, Morgenstern y Price, y el de Sarma, que probablemente son los más experimentados.

Un desarrollo histórico del estudio del tema de la estabilidad de taludes puede resumirse cronológicamente por medio de los nombres de los principales investigadores y sus aportes:

En (1776) Coulomb, Ch.A preconizó la superficie de deslizamiento plana, hipótesis que perduró hasta principios de nuestro siglo por el prestigio y autoridad del autor.

Collins, A. en (1845) habló por vez primera de superficie de deslizamiento curvas, e imaginó mecanismos de falla similares a los que se consideran en muchos métodos prácticos actuales.

Petterson, en (1916) resucitó las ideas de superficie de deslizamiento no plano (Suecia); al analizar una falta ocurrida en el puerto de Gotemburgo dedujo que la ruptura había ocurrido en una superficie curva.

Fellenius, W es uno de los investigadores más importantes en el campo de los taludes, en (1927) propuso asimilar la superficie de falla real en una cilíndrica cuya

traza con el plano del papel sea un arco de circunferencia, a fin de facilitar los cálculos, aunque se sabe que esta falla circular no representa exactamente el mecanismo real. Actualmente reciben el nombre genérico de métodos suecos, aquellos procedimientos de cálculo de estabilidad de taludes en que se utiliza la hipótesis de falla circular. Para el caso de suelos cohesivos y friccionantes ideó el procedimiento de las dovelas.

Rendulic, L. en (1935) propuso la espiral logarítmica como traza de una superficie de deslizamiento más real.

Taylor, T.W (1937) ideó ábacos para el cálculo del factor de seguridad (FS) en taludes homogéneos a partir de la aplicación del método del círculo de fricción.

Bishop, A.W en (1955) hizo un análisis del método de las dovelas presentado en 1936 por Fellenius, planteando una hipótesis más real en relación con las fuerzas laterales que actúan en ella. Tanto este método de Fellenius como el de Bishop, constituyen los de mayor utilización mundial.

Janbu, N. (1954) obtuvo ábacos, para la determinación del factor de seguridad, asociados a círculos críticos por el pie del talud, en taludes simples y homogéneos.

Bishop y Morgenstern en (1960) idearon ábacos de estabilidad que indican las combinaciones de parámetros necesarios para casos determinados, lo cual resulta muy útil para los cálculos preliminares.²

² Armas Novoa, Rolando; Horta Mestas, Evelio .Presas de tierra,IPSJAE,1983

1.2 Conceptos y definiciones

Uno de los elementos esenciales y determinantes en el desarrollo de un país lo constituyen los sistemas de transporte; entre los cuales se pueden mencionar **las** carreteras, pues son una de las obras de ingeniería de mayor importancia ya que permiten la entrada y salida de productos a una región determinada, y; a la vez constituyen una fuente para el progreso de la cultura y el turismo. (Ver anexo 1)

En nuestra investigación solo nos centraremos en el análisis de uno de los factores fundamentales de la vía: los taludes.

Los taludes son obras normalmente de tierras, que se construyen a ambos lados de la vía (tanto en excavaciones como en terraplén) con una inclinación tal que garantice la estabilidad de la obra, se pueden agrupar en tres categorías generales: los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención³.

Cuando el talud se produce en forma natural, sin intervención humana, se denomina ladera natural o simplemente ladera. Cuando son construidos por el hombre se denominan cortes o taludes artificiales, según sea el inicio de su formación.

No hay duda de que el talud constituye la estructura más compleja de las vías terrestres; por eso es preciso analizar la necesidad de definir su estabilidad.

Entendiéndose como la estabilidad de taludes: la teoría que estudia la estabilidad o posible inestabilidad de un talud a la hora de realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción de Ingeniería Civil, siendo un aspecto directamente relacionado con la Geotecnia⁴.

³ Benítez Olmedo Raúl. Diseño Geométrico de Vías, 1997, p11.

⁴ González de Vallejo, Luis I. *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación, Madrid, 2002. p 432.

Los análisis de estabilidad permiten diseñar taludes mediante el cálculo de su factor de seguridad (FS) siendo necesario el conocimiento geológico y geomecánico de los materiales que forman el talud, de los posibles modelos o mecanismos de rotura que pueden tener lugar y de los factores que influyen, condicionan y desencadenan las inestabilidades.

1.3 Terminología

Talud de tierra: se considera un talud cuando el ángulo que forma la superficie del mismo con respecto a la horizontal es mayor de 10° , línea BC en la figura 1.1.

Corona de talud: es la parte superior del mismo, definido por la línea AB en la figura 1.1 y que forma un ángulo menor de 10° con respecto a la horizontal.

Base de talud: es la parte inferior del mismo, definido por la línea CD en la figura 1.1 y que forma un ángulo menor de 10° con respecto a la horizontal.

Pie de talud: está definido por el punto C en la figura 1.1

Arista de la corona: está definido por el punto B en la figura 1.1

Cimentación de talud: está definido por la línea ECD en la figura 1.1

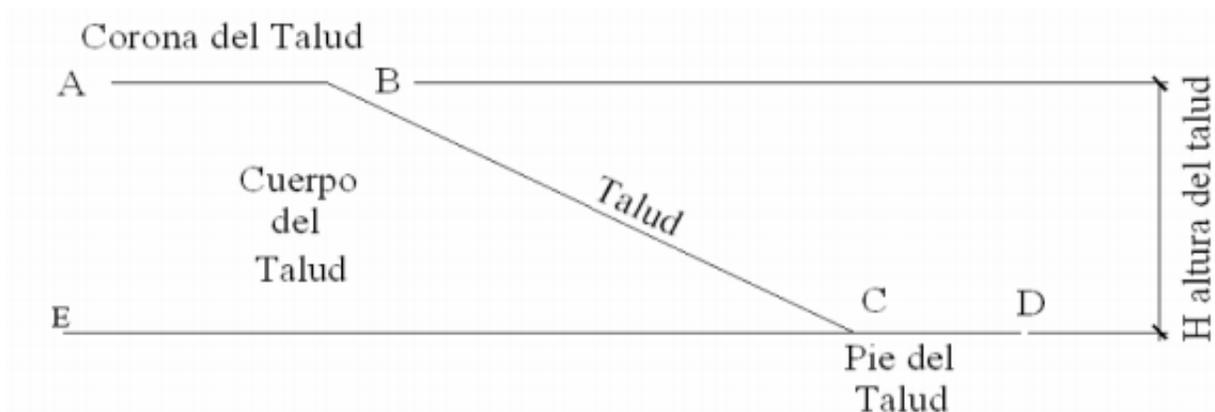


Figura 1.1. Elementos que constituyen un talud. Tomado del Trabajo de diploma. José. A Hernández Pérez p-8.

1.3.1. Elementos constitutivos de un talud o ladera

Entre los elementos que constituyen un talud se encuentran: la altura, el pie, la cabeza o escarpe, altura del nivel freático y la pendiente.

En la figura 1.2 se muestran cada una de estos elementos, para taludes artificiales y naturales.

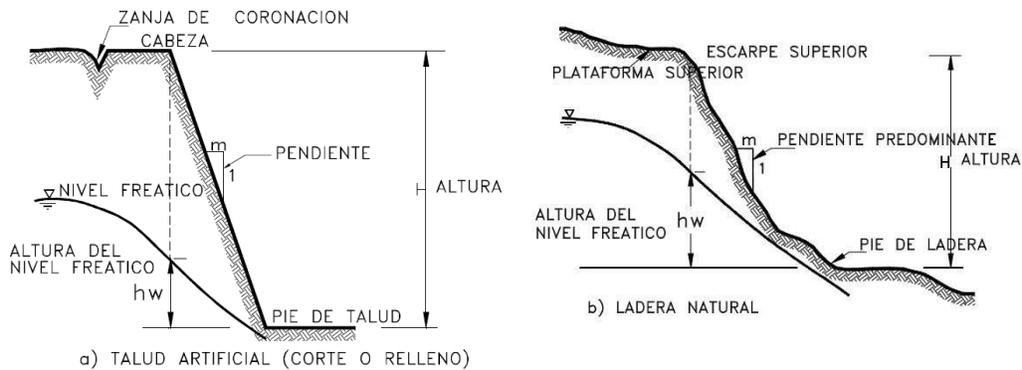


Figura 1.2. Nomenclatura de taludes y laderas a) artificial b) natural. Tomado de Jaime Suarez Díaz p-15

1.3.2. Etapas para cuantificar las causas y mecanismos de fallas que determinan la estabilidad de un talud

1. Reconocimiento e identificación del sitio.
2. Análisis de la información existente.
3. Estudio de las características superficiales del sitio que permitan la caracterización topográfica y geotécnica.
4. Investigación de campo que incluye sondeos, toma de muestras, y ensayos “in situ” para cuantificar los parámetros del suelo.
5. Investigación de laboratorio.
6. Análisis de la información obtenida, modelación matemática y diseño.

1.4 Principales métodos de cálculo para analizar la estabilidad de taludes

Los métodos de cálculo para analizar la estabilidad de taludes se pueden clasificar en dos grupos:

Métodos de cálculos en deformaciones: consideran en el cálculo las deformaciones del terreno además de las leyes de la estática. Su aplicación práctica es de gran complejidad y el problema debe estudiarse aplicando el método de los elementos finitos u otros métodos numéricos.

Métodos de equilibrio límite: se basan exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No tienen en cuenta las deformaciones del terreno. Suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte.

El método de equilibrio límite se divide a la vez en otros dos grupos:

Métodos exactos: la aplicación de las leyes de la estática proporciona una solución exacta del problema, con la única salvedad de las simplificaciones propias de todos los métodos de equilibrio límite, factor de seguridad constante en toda la superficie de rotura. Esto es posible en caso de geometría sencilla como por ejemplo la rotura plana y roturas por cuñas analizadas.

Métodos no exactos: en la mayor parte de los casos la geometría de la superficie de rotura no permite obtener una solución exacta del problema mediante la única aplicación de las ecuaciones de la estática. El problema es hiperestático y deben hacerse algunas simplificaciones o hipótesis previas que permitan su solución.

En el primer caso la hipótesis previa suele hacerse respecto a la distribución de tensiones normales en la superficie de deslizamiento, tal es el caso del método de círculo de fricción.

En los métodos donde se emplean las dovelas, la distribución de tensiones normales en la superficie de deslizamiento no es un dato del problema sino un resultado de su resolución, las hipótesis previas se definen generalmente a las fuerzas laterales entre las dovelas y existe una gran variedad de métodos que consideran diferentes hipótesis.

- Métodos aproximados: no cumplen todas las ecuaciones de la estática

(Fellenius, Janbu y Bishop)

- Métodos precisos o completos: cumplen todas las ecuaciones de la estática (Morgenstern y Price, Spencer y Bishop riguroso)

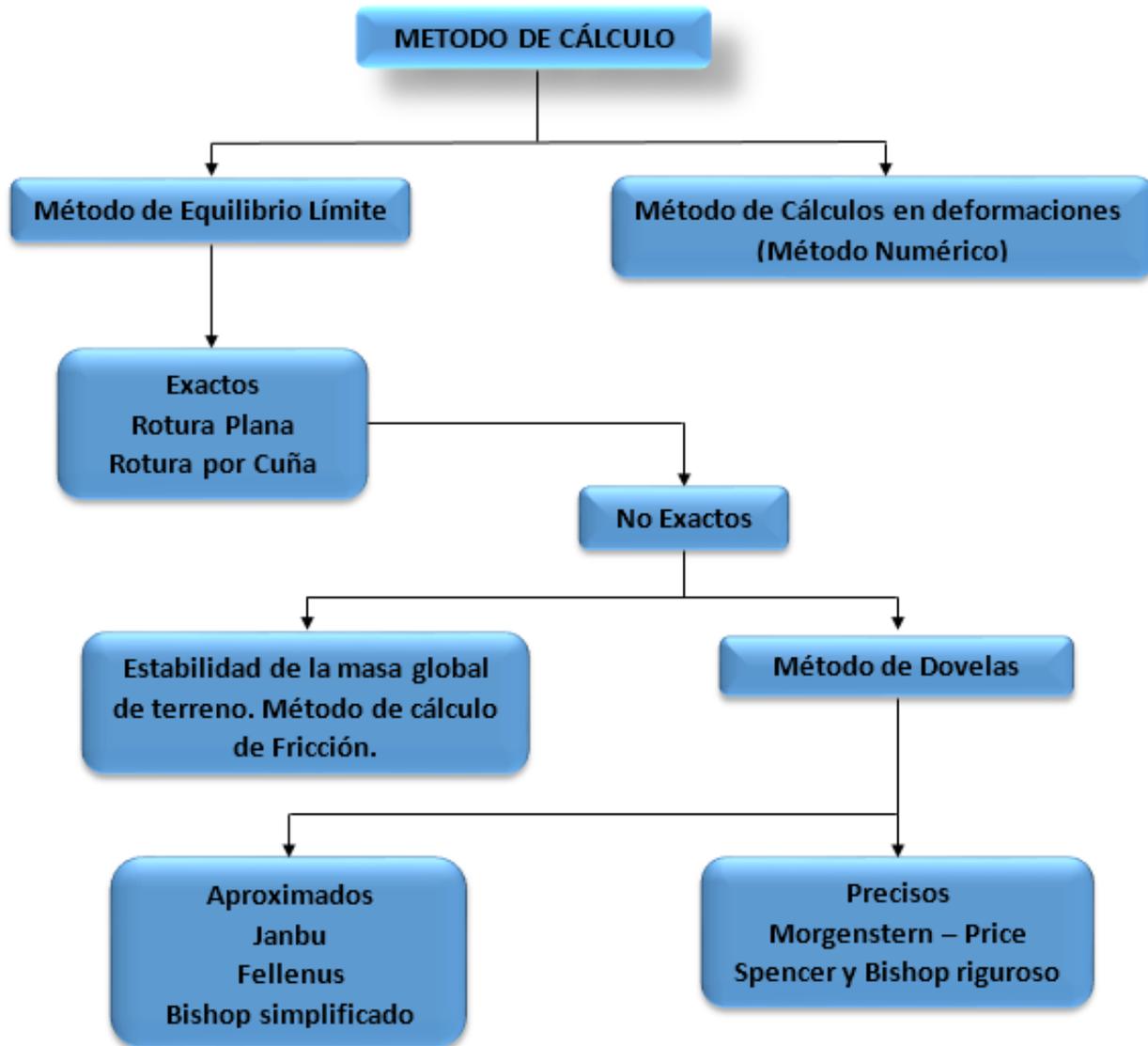


Figura 1.3. Métodos de cálculo para el análisis de Estabilidad de Taludes (Herrera, 2000)

En los métodos de equilibrio límite la seguridad se mide mediante un coeficiente o factor de seguridad (FS), que es el cociente entre la resistencia al corte en la superficie de deslizamiento y la necesaria para mantener el equilibrio. Excepto en los casos en los que la geometría de las posibles superficies de deslizamiento permita el uso de métodos exactos, los métodos empleados son los de las

dovelas. Cuando no se conoce la superficie de rotura (caso más frecuente), se calculan los factores de seguridad correspondientes a un cierto número de superficies y se define como factor de seguridad de talud el mínimo obtenido. Esto significa suponer una diferencia mínima entre el real y el mínimo calculado.

En general, el factor de seguridad se define como se muestra en la siguiente ecuación, y debe ser mayor que 1,5 para garantizar la estabilidad del talud.

$$FSs = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

FSs = Factor de seguridad con respecto a la resistencia

τ_f = Resistencia cortante promedio del suelo

τ_d = Esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla

A continuación se realiza una caracterización de los principales métodos utilizados en el cálculo de la estabilidad de taludes:

Método de las dovelas:

Este método consiste en dividir la zona de falla en rebanadas verticales, como se muestra en la figura 1.4, no es necesario que todas tengan el mismo ancho, y para facilitar los cálculos se hace que sus límites coincidan con las intersecciones de la circunferencia, con los estratos de suelo por abajo y con el paramento del talud por arriba. Al hacer el análisis se considera que cada rebanada actúa independientemente de las colindantes, no se desarrolla esfuerzo cortante entre ellas y las presiones normales en cada lado de la dovela producidas por las colindantes son iguales, una vez realizado el análisis a cada tajada, se analiza también las condiciones de equilibrio de la sumatoria de fuerzas o de momentos.

$$FS = \frac{\sum \text{Resistencia al corte}}{\sum \text{Esfuerzos al cortante}}$$

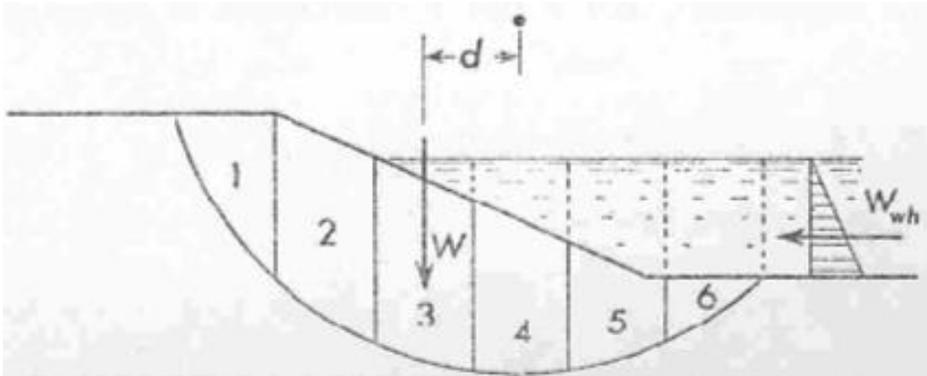


Figura 1.4. Método de las dovelas.

Método de Taylor:

El análisis de estabilidad de taludes mediante el método de Taylor (1917) se basa en el método del círculo de rozamiento, lo que supone considerar que las tensiones normales en la superficie de deslizamiento se concentran en un único punto. El análisis se hace en presiones totales, por lo que la cohesión (c) y el ángulo de rozamiento interno (ϕ) han de calcularse en presiones totales adoptando sus valores efectivos solo cuando el terreno está seco, en estos casos los ábacos de Taylor tiene más utilidad en terrenos con cohesión y ángulos de rozamiento interno. Son también útiles para cálculos de estabilidad a corto plazo en suelos cohesivos (condición $\phi = 0$)

Método Sueco o de Fellenius:

Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface el equilibrio de las fuerzas, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros y se obtienen factores de seguridad bajos.

El método de Fellenius calcula el factor de seguridad de esta forma:

$$FS = \frac{\sum [C' b \operatorname{sen} \alpha + (W \operatorname{cos} \alpha - u b \operatorname{sen} \alpha) \operatorname{Tan} \emptyset]}{\sum W \operatorname{sen} \alpha}$$

α = Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada.

W = Peso total de cada tajada

U = Presión de poros

b = Ancho de la tajada

C, \emptyset = Parámetros de resistencia del suelo

Método de Bishop:

Originalmente desarrollado para roturas circulares, considera que las interacciones entre rebanadas son nulas. El cálculo se lleva a cabo buscando el equilibrio de momentos respecto al centro del arco circular, aunque en la versión posterior se puede aplicar a superficies no curvas definiendo centros ficticios. Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobredeterminada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.

La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón se utiliza una versión simplificada de su método, de acuerdo a la expresión:⁵

$$FS = \frac{\sum [C' b + (W - ub) \operatorname{Tan} \emptyset / m_a]}{\sum W \operatorname{sen} \alpha}$$

Donde:

$$m_a = \operatorname{cos} \alpha \left(1 + \frac{\operatorname{Tan} \alpha \operatorname{Tan} \emptyset}{FS} \right)$$

⁵ Jaime Suarez, Díaz. Estabilidad de taludes. Capítulo 4. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998, p 131-132

b =Ancho de cada dovela

W =Peso de cada dovela

C, ϕ = Parámetros de resistencia del suelo

U =Presión de poros en la vades de cada dovela

α = Ángulo del radio y la vertical de cada dovela

Método de Janbu:

Diseñado para superficies no necesariamente circulares, también supone que la interacción entre rebanadas es nula, pero a diferencia de Bishop busca el equilibrio de fuerzas y no de momentos. Experiencias posteriores hicieron ver que la interacción nula en el caso de equilibrio de fuerzas era demasiado restrictiva, lo que obligó a introducir un factor de corrección empírico aplicable al factor de seguridad (FS). En versión posterior, en el denominado método riguroso, se define una línea de empuje entre las rebanadas y se buscan los equilibrios en fuerzas y momentos respecto al centro de la base de cada una. En este método se obtienen factores de seguridad son bajos.

Método de Spencer:

Este método como los que se citan a continuación, también pertenece a la categoría de los denominados rigurosos. Supone que de la interacción entre rebanadas aparece una componente de empuje con ángulo de inclinación constante, por lo que, mediante iteraciones, analiza tanto el equilibrio en momentos como en fuerzas en función de ese ángulo, hasta hacerlo converger hacia un mismo valor, calculando entonces el factor de seguridad (FS) correspondiente. Es aplicable tanto a roturas circulares como generales. Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada.

Método de Morgenstern y Price:

Este método al igual que el anterior, también es de aplicación general, y trata de alcanzar tanto el equilibrio de momentos como de fuerzas. La diferencia fundamental se encuentra en que, la interacción entre rebanadas viene dada por una función que evalúa esa interacción a lo largo de la superficie de deslizamiento. Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado.

Método de Sarma:

Significó un cambio radical respecto a la filosofía de los anteriores, ya que se busca la aceleración horizontal necesaria para que la masa de suelo alcance el equilibrio límite. El factor de seguridad (FS) es calculado reduciendo progresivamente la resistencia a cortante del suelo hasta que la aceleración se anula. Por sus características es aplicable a rebanadas no verticales, y suele ser muy utilizado en el cálculo por elementos finitos. Asume que las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad. El FS estático corresponde al caso de cero coeficientes sísmicos. Satisface todas las condiciones de equilibrio; sin embargo, la superficie de falla correspondiente es muy diferente a la determinada utilizando otros procedimientos más convencionales⁶.

1.5 Factores básicos que afectan la estabilidad de taludes

La estabilidad de un talud esta determinada por factores geométricos (altura e inclinación), factores geológicos, factores hidrogeológicos (presencia de agua), factores geotécnicos o relacionados con el comportamiento geomecánico del terreno (resistencia y deformabilidad) y factores ambientales.

⁶ Cuenca Payá Artemio. Laboratorio de carreteras. Alicante. Comentarios sobre el cálculo de taludes, p 6-7.

La investigación de una ladera, talud o deslizamiento consiste en obtener toda la información posible sobre estas características, que permitan desarrollar un diagnóstico de los problemas lo más preciso posible y un diseño efectivo de solución.

La combinación de los factores citados puede determinar la condición de rotura a lo largo de una o varias superficies, siempre que sea cinemáticamente posible al movimiento de un cierto volumen de masa o roca. La posibilidad de rotura, los mecanismos y modelos de inestabilidad de los taludes están controlados principalmente por factores geológicos y geométricos.

Los factores geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos se consideran factores condicionantes, y son intrínsecos a los materiales naturales. En los suelos, la litología, estratigrafía y las condiciones hidrogeológicas determinan las propiedades resistentes y el comportamiento del talud.

El conocimiento de todos ellos permitirá un correcto análisis del talud, la evaluación del estado de estabilidad del mismo y el diseño de las medidas que deberán ser adoptadas para evitar o estabilizar los movimientos.

Estratigrafía y litología:

La estratigrafía es la rama de la Geología que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias estratificadas, y de la identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal; cartografía y correlación de las unidades estratificadas de rocas.

La litología es la parte de la geología que trata de las rocas, especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas. Incluye también su composición, su textura, tipo de transporte así como su composición mineralógica, distribución espacial y material cementante.

La naturaleza del material que forma un talud está estrechamente relacionada con el tipo de inestabilidad que éste puede sufrir, presentando las diferentes litologías,

distintos grados de susceptibilidad ante la aparición de deslizamientos o roturas. Las propiedades físicas y resistentes de cada tipo de material, junto con la presencia de agua, rigen su comportamiento tenso deformacional y, por tanto, su estabilidad.

Aspectos como la variación de materiales de diferentes litologías, competencia, grado de alteración, la presencia de capas de material blando o de estratos duros, controlan los tipos y la disposición de las superficies de rotura. En los suelos, que generalmente se pueden considerar homogéneos en comparación con los materiales rocosos, las diferencias en el grado de compactación, cementación o granulometría predisponen zonas de debilidad y de circulación de agua, que puede generar inestabilidades.

Estructura geológica:

La estructura geológica juega un papel definitivo en las condiciones de estabilidad de los taludes en macizos rocosos. La combinación de los elementos estructurales con los parámetros geométricos del talud y su orientación, precisa los problemas de estabilidad que puedan presentarse.

La estructura del macizo queda definida por la distribución espacial de los sistemas de discontinuidades, que individualizan bloques más o menos competentes de la matriz rocosa, que se mantienen unidos entre sí por las características y las propiedades resistentes de las discontinuidades. La aparición de estos planos de debilidad (como superficies de estratificación, fallas, etc.) descendiendo hacia el frente del talud supone la existencia de planos de rotura y deslizamientos potenciales, su dirección y disposición condiciona los tipos, modelos y mecanismos de inestabilidad.

La presencia de discontinuidades implica un comportamiento anisotrópico del macizo y unos planos preferenciales de rotura, por ejemplo, un determinado

sistema de fracturas condicionará tanto la dirección de movimiento como el tamaño de los bloques a deslizar, o la presencia de una falla descendiendo hacia el talud limitará la zona inestable y condicionará el mecanismo de rotura.

Propiedades geomecánicas de los suelos:

La posible rotura de un talud a favor de una determinada superficie depende de la resistencia al corte de la misma. En primera instancia, esta resistencia depende de los parámetros resistentes del material: cohesión y rozamiento interno.

La influencia de la naturaleza de los suelos en sus propiedades mecánicas, implica que la selección de los parámetros resistentes representativos de la resistencia al corte, debe ser realizada teniendo en cuenta la historia geológica del material.

La resistencia al corte de estos planos de debilidad depende de su naturaleza y origen, continuidad, espacio, rugosidad, tipo y espesor de relleno, presencia de agua, etc.; y es el aspecto más importante para determinar la estabilidad.

Tensiones naturales:

Las tensiones naturales pueden jugar un papel importante en la estabilidad de los taludes rocosos. La liberación de tensiones que puede suponer la excavación de un talud puede originar tal descompresión, que el material se transforma y fragmenta por las zonas más débiles y pasa a comportarse como un suelo.

Este efecto se ha comprobado en explotaciones mineras en taludes sometidos a elevadas tensiones internas, fragmentándose la formación rocosa hasta quedar convertida en un material granular con fragmentos centimétricos, dando lugar al desmoronamiento de taludes.

El estado tensional de un talud depende de su configuración geométrica y del estado de tensiones del macizo rocoso previo a la excavación. En la figura 1.5 se presenta un ejemplo de la distribución de los esfuerzos litostáticos después de

realizar una excavación. Cuando se realizan excavaciones profundas, las elevadas tensiones que se generan en zonas singulares como el pie del talud puede dar lugar a condiciones de desequilibrio, llegando incluso a producirse deformaciones plásticas. También en la cabecera del talud se generan estados tensionales anisótropos, con componentes traccionales que provocan la apertura de grietas verticales.

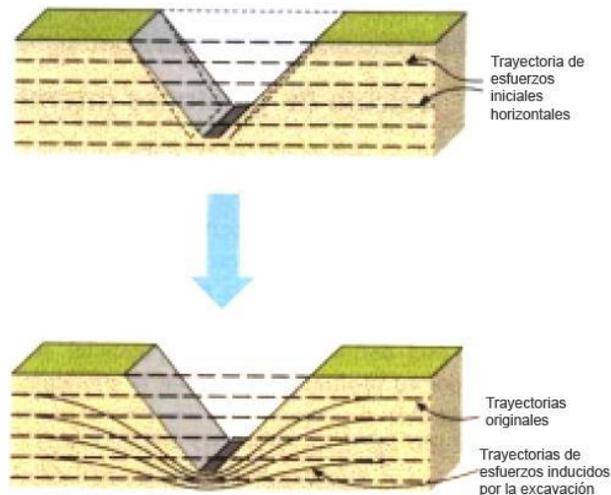


Figura 1.5. Modificación de la trayectoria de los esfuerzos horizontales como consecuencia de una excavación. Tomado de Gonzales de Vallejo. P-438.

Otros factores:

Las sobrecargas estáticas y las cargas dinámicas que se ejercen sobre los taludes modifican la distribución de las fuerzas y pueden generar condiciones de inestabilidad. Entre las primeras están el peso de estructuras o edificios, u otros tipos de cargas o rellenos, escombreras, paso de los vehículos pesados, etc., que cuando se ejercen sobre la cabecera de los taludes, proporcionan a estos una carga adicional que puede contribuir al aumento de las fuerzas desestabilizadoras

Las cargas dinámicas se deben, principalmente, a los movimientos sísmicos, naturales o inducidos, y a las vibraciones producidas por voladuras cercanas al talud.

En caso de fuertes movimientos sísmicos, las fuerzas aplicadas de forma instantánea pueden producir la rotura general del talud si existen condiciones previas favorables a la inestabilidad.

En los análisis de estabilidad de taludes en zonas sísmicas o sometidas a otro tipo de fuerzas dinámicas, deben incluirse estas fuerzas. De una forma aproximada, en los cálculos se puede considerar la acción dinámica como una fuerza pseudoestática, dada en función de la aceleración máxima horizontal debida al sismo.

Las precipitaciones y el régimen dinámico influyen en la estabilidad de los taludes al modificar el contenido de agua del terreno. La alternancia de períodos de sequía y lluvia produce cambios en la estructura de los suelos que da lugar a pérdida de resistencia. Se pueden establecer criterios de riesgos de inestabilidad de taludes en función de la pluviometría.

En determinados tipos de suelos o macizos rocosos blandos, los procesos de meteorización juegan un papel importante en la reducción de sus propiedades resistentes, dando lugar a alteraciones y degradaciones intensas al ser expuestos los materiales a condiciones ambientales como consecuencia de una excavación. Esta pérdida de resistencia puede dar lugar a la caída del material superficial y, si se afectan zonas críticas del talud, como su pie, puede generar roturas generales, sobre todo en condiciones de presencia de agua⁷.

⁷ González de Vallejo, Luis I. *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación, Madrid, 2002. p 434.

1.6 Modelos matemáticos existentes para el análisis de la estabilidad de los taludes

A partir de la década del 60, la aparición de herramientas computacionales ha permitido manejar los cálculos iterativos de los distintos métodos de análisis de estabilidad de taludes.

Inicialmente, el método de equilibrio límite fue bien aceptado, dado que podía otorgar soluciones por medio de cálculos hechos en forma manual. Sin embargo, las nuevas tecnologías permitieron facilitar los análisis, pudiendo incluso llegar a resultados más precisos al realizar un mayor número de iteraciones o al dividir la masa deslizante en dovelas más pequeñas. Esto conllevó a la aparición de formulaciones matemáticas más rigurosas como las desarrolladas por Morgenstern -Price (1965) y por Spencer (1967).

El auge que ha tomado en los últimos años el uso del ordenador prácticamente, ha obligado a su empleo para el análisis de estabilidad de taludes, en la mayoría de los casos. Este sistema ha permitido incorporar más información en los modelos de análisis y permite analizar situaciones que no eran posibles con los sistemas manuales. Actualmente se conocen programas comerciales de software para computador, tales como SLOPE/W, STABLE y TALREN, los cuales permiten de una forma rápida y sencilla obtener los factores de seguridad de taludes o laderas con cierto grado de complejidad y por cualquiera de los métodos de análisis. Algunos métodos emplean los elementos finitos, con muy poco éxito en la estabilidad de taludes específicos, y otros emplean análisis de equilibrio por interacción, siendo este último sistema muy empleado universalmente.

El software TALREN 97 es un programa de análisis de estabilidad para estructuras geotécnicas con o sin refuerzo a lo largo de las superficies de fracaso potenciales. El programa considera los datos hidráulicos y sísmicos, además de los varios tipos de inclusiones de la tierra (la uña, el ancla, la abrazadera, reforzando la tira, el geotextil, el montón, el micropile, el sheetpile, etc.). La validez

de estos métodos ha sido probada durante casi 40 años por más de mil estructuras reales.

1.6.1 Software profesional GeoSlope Geoestudio 2007

El paquete de programas Geoestudio está compuesto de varias herramientas con distintos usos y funcionalidades:

- **Slope/W** para cálculo de estabilidad de taludes
- **Seep/W** para cálculo de redes de flujo y filtración.
- **Sigma/W** orientado al cálculo de tensiones y deformaciones de suelos o rocas sometidos a carga.
- **Quake/W** para cálculo de los efectos de sismos en suelos y estructuras de suelos (presas, terraplenes, etc.)
- **Temp/W** aplicación de la ecuación del calor sobre estructuras de suelos.
- **Ctran/W** aplicado a fenómenos de difusión de contaminantes en suelos
- **Vadose** usado en la modelización de acuíferos.⁸

⁸ Germán López, Pineda. Introducción a la modelización de tensiones y deformaciones en el terreno mediante el uso del programa **Sigma/W** 2007, p 6.

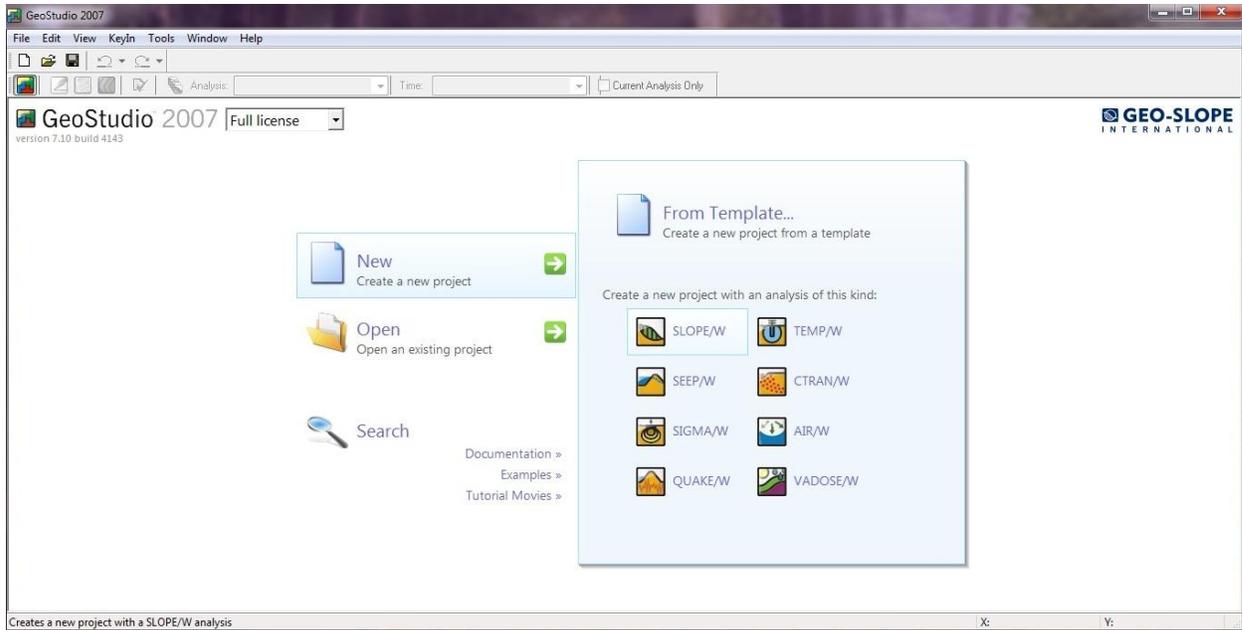


Figura 1.6. Software profesional Geoestudio 2007. Fuente: elaboración propia.

De todos los programas antes expuestos nos introduciremos en la caracterización del programa **Slope/W**

El GeoSlope forma parte de un paquete de productos geotécnicos llamado Geoestudio. Una de las características poderosas de este software es que abre la puerta a tipos de análisis de un espectro más amplio y complejo de problemas, incluye el cómputo de presiones de poro mediante el uso de elemento finito en los análisis de estabilidad incluyendo la resistencia al corte no lineal, cargas concentradas y refuerzo estructural.

Slope/W realiza un análisis de equilibrio límite ofreciendo varios posibles métodos de análisis de los cuales el Bishop, Ordinary y Janbu siempre se añaden al método que se elija. Básicamente todos los métodos son similares, las diferencias entre ellos son las ecuaciones estáticas que se incluyen con las fuerzas entre particiones, que se asumen como las fuerzas cortantes y las fuerzas normales.

Brinda al usuario los diferentes tipos de análisis que están disponibles, contando con doce métodos:

1. Método Ordinario o de Fellenius
2. Método de Bishop
3. Método de Janbu
4. Método de Morgenstern-Price

Este método satisface fuerzas y momentos de equilibrio entre particiones. **Slope/W** usa una solución rápida, para calcular un valor de rebanada y el resultado es el mismo factor de seguridad para momentos y fuerzas de equilibrio.

Se escogió este método para el análisis de los taludes del tramo del vial analizado mediante el software GeoSlope, pues además de analizar el equilibrio de las fuerzas en cada partición, también tiene en cuenta los estados tensionales de las dovelas, este se considera como uno de los métodos de análisis de equilibrio límite más completo.

5. Método Spencer
6. Método General de Equilibrio Límite (GLE)
7. Método Corps of Engineers # 1
8. Método Corps of Engineers # 2
9. Método Lowe-Karafiath
10. Método de Janbu Generalized
11. Método de Sarma (Vertical Slices only)
12. Método de Finite Element Stress

En el anexo 2 se enlistan en una tabla los métodos disponibles por **Slope/W** y se indica las ecuaciones de estáticas que se satisfacen por cada uno de los métodos.

En el análisis de la herramienta además de escoger el método de análisis, también se consta con la opción de dar un nombre al proyecto y agregar comentarios. La dirección del movimiento se da dependiendo de la ubicación del talud, ya sea de izquierda a derecha o viceversa

Conclusiones del capítulo

1. El análisis de los antecedentes históricos permitió precisar y caracterizar cuáles son los principales métodos de análisis de estabilidad de taludes utilizados a través de la historia, los cuales se basan en un planteamiento físico-mecánico donde intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que actúan sobre los taludes y determinan su comportamiento.
2. La consulta al marco-teórico, permitió identificar cuáles son los conceptos fundamentales que se deben tener en cuenta a la hora de realizar un análisis de estabilidad, los factores básicos que pueden afectar y destruir los taludes, así como los modelos matemáticos o programas existentes para efectuar el cálculo de su factor de seguridad.

CAPITULO 2: REVISIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL TRAMO DE KILÓMETRO 5-10 DE LA CARRETERA RAMÓN DE ANTILLA

Introducción al capítulo

En este capítulo se hace una caracterización de la zona donde se encuentra emplazada la carretera que será utilizada en la investigación, determinando así los datos necesarios para efectuar la revisión de los taludes de este vial mediante el software profesional GeoSlope Geoestudio 2007, y además se plantean una serie de actividades para el mantenimiento y conservación de los mismos, que permitan mantenerlos a lo largo del tiempo con las características funcionales y estructurales con las que fueron proyectados y construidos.

2.1 Evolución y desarrollo del vial Ramón de Antilla

El poblado de Antilla se conformó cuando se establecieron los primeros pobladores franceses provenientes de Punta Dominicana entre los años 1898 y 1899.

En el año 1901 comenzó la construcción de la línea férrea desde Alto Cedro, lo que contribuyó enormemente al auge económico de esta zona y aparejadamente entre los años 1905 y 1912 se iniciaron las construcciones de edificios, centros comerciales y además el puerto.

Antilla surge como municipio en el año 1925 y abarcaba una extensión considerable, donde se incluían los territorios de Bijarú, Cortaderas, parte del actual San Germán, Tacajó Viejo, Sao de los Hidalgos, Los Novillos y Deleite.

El poblado El Ramón fue construido en el año 1961 por iniciativa del comandante Camilo Cienfuegos.

En el año 2012 fue realizado un proyecto de reparación para el camino que existía en ese entonces, con la intención de mejorar su transitabilidad y facilitar el

acceso a la comunidad del Ramón, el que se incomunica ante la presencia de las lluvias.

Un poco más adelante, en el 2013, se re proyecta esta reparación para racionalizar sus volúmenes de ejecución ante la inminencia del proyecto de la carretera, como eje vial del desarrollo turístico, y de esta forma se pone en marcha la construcción del vial, que propiamente tiene una longitud aproximada de 18.7 km teniendo su inicio en la Rotonda No 1 ubicada en la carretera Cortadera-Antilla, mientras que el punto final será la Rotonda No 2 a partir de la cual se desarrolla el polo turístico.

Este proyecto beneficia en gran manera a las poblaciones cercanas, pues genera empleos fundamentalmente durante la etapa de construcción de la obra. Además posibilita un acceso seguro y de garantía para el traslado de los pobladores de El Ramón hacia diferentes destinos, cuestión que ha sido un preciado anhelo de los mismos.

2.2 Características generales de la zona de emplazamiento del subtramo

El trazado se desplaza en su primer 1.2 km por un terreno llano y atraviesa afectando una vaquería, el resto del vial se desarrolla por un camino existente en mal estado , que en ambos casos por sus niveles clasifica como un terreno llano con pendientes muy pequeñas.

El material existente en la explanación en los primeros 10 km, es arcilla (aún en el camino) con una profundidad de cientos de metros, lo cual hace que el trazado esté emplazado en una zona geológicamente peligrosa, a tal punto que se pensó en la utilización del polietileno expandido para ser usado como levante en ese tramo; esta variante no fue aprobada por el inversionista por no contar con los aseguramientos necesarios.

Otra de las particularidades que presenta el trazado que pueden ser consideradas factores de riesgo son:

- La vía se desarrolla a través de una península con el mar bastante cerca de ella, abundando las cañadas y arroyos, lo cual obligará a una alta densidad de obras de fábrica.
- La erosión es frecuente en los primeros 1200 m propiciada por el suelo arcilloso que lo forma y el relieve elevado.
- El carso se observa fundamentalmente en la capa de caliza propiciado por la solubilidad de esta roca, en la mayoría del área aparece con un desarrollo horizontal amplio el diente de perro.

2.2.1 Ubicación geográfica

La zona de estudio comprende una desviación realizada en el antiguo vial, comenzando con un giro a la izquierda en el barrio de La Cuchilla, subiendo por el Campamento de Pioneros Exploradores, en el tramo comprendido entre Antilla y Canalito y saliendo por la llamada loma Pijindi, donde se inserta de nuevo al vial existente.

Está enmarcada entre las coordenadas siguientes: (Ver anexo 3)

X= 618 000m Y= 245 500m

X= 625 000m Y= 246 500

2.2.2 Características climatológicas

Esta zona presenta un clima tropical con veranos relativamente fuertes.

- La temperatura media máxima del aire en los meses de verano (julio - agosto) es de 33.0 - 33.4°C.
- En los meses de invierno la temperatura media mínima del aire fue registrada en enero - febrero con 19.3 - 20.1°C y la mínima absoluta del año fue en enero con 14.9° C.

Las precipitaciones en la zona ocurren en verano debido a la convección, provocando lluvias significativas de corta duración y acompañadas por descargas eléctricas; en el invierno estas son originadas por la llegada de los frentes fríos a nuestra provincia que dan lugar a lluvias ligeras y de larga duración. En esta época principalmente en los meses de mayo y junio la media acumulada de las precipitaciones atmosféricas es de 700 mm y para la época de seca (noviembre - abril) es de 500 mm.

Las condiciones climáticas anuales para la vida de la población son favorables con pocas limitaciones a la actividad del hombre al aire libre.

Esta breve caracterización de los recursos climáticos de la zona está basada en los datos del archivo climático de la dirección provincial de meteorología y el atlas nacional segunda versión.

2.2.3 Vegetación

En sentido general se puede observar una gran variedad de elementos dentro de la vegetación pudiendo establecerse los siguientes rasgos generales:

La parte norte y occidental del Ramón es de bosques diseminados, con árboles de hasta 6-7 m altura y arbustos de 2-3 m aproximadamente en todo lo largo del camino. Intercalados dentro de estos bosques aparecen arbustos espinosos (marabú) y charrascales abundantes. Hacia el noreste y este del Ramón se observan extensos cocales y pastizales.

La vegetación al sur de la península es más escasa y aparecen de forma muy dispersa pequeños cultivos agrícolas. Toda la zona costera septentrional posee una vegetación abundante a base de uvas caletas y guao de costa. (Ver anexo 4)

2.2.4 Relieve

A pesar de la poca extensión superficial de la península del Ramón, en la misma se observa un relieve variado, destacándose en primer lugar una llanura costera inclinada en dirección al mar en toda la parte norte que alcanza una cota máxima de 10 m.

La región central de la península forma un arco suave con dirección del oeste al este y que posteriormente se inclina hacia el sureste, es aquí donde se encuentran las mayores elevaciones; teniendo los máximos valores de altura entre Punta Piedra y Playa Caimana y entre Punta Verracos y Punta Salinas alcanzando algo más de 70 m. Esta zona se encuentra muy diseccionada y afectada por los eventos tectónicos. (Ver anexo 5)

2.2.5 Características de los suelos

El territorio está dividido en tres sectores de trabajo diferenciados para el estudio del área:

- Sector No.1 (los saladares y pastizales hasta la pendiente de la primera elevación) predominan los suelos de ciénaga costera, oscuros plásticos gleyzados y pardos con carbonatos.
- Sector No.2 (elevaciones antes del canal) está dominado por suelos rendzinas rojas.
- Sector No.3 (desde el canal hasta la unión con el antiguo camino.) predominan las rendzinas rojas y en parte suelos fersialíticos pardo rojizo.

Los principales suelos son:

Las ciénagas costeras que tienen como característica esencial el hidromorfismo permanente, lo que se produce por el alto aporte de materia orgánica de las formaciones vegetales típicas de estas áreas, como es el manglar.

Los suelos oscuros plásticos gleyzados que se caracterizan por la enérgica acumulación de arcilla.

Las rendzinas rojas que son suelos de textura arcillosa color pardo rojizo y rojo, estos tienen poca profundidad y están asociados al afloramiento de las calizas en forma de diente de perro.

Los suelos pardos con carbonatos, son formados en un medio rico en carbonato de calcio, son pocos profundos y sobre ellos se desarrolla extensivamente el cultivo de la caña de azúcar.

Los suelos del agrupamiento fersialíticos tienen un alto contenido de magnesio (Mg) e Hierro (Fe).

2.2.6 Hidrografía

La red de drenaje tiene un desarrollo limitado en la península debido a sus características geográficas y geológicas. Los ríos tienen muy poca extensión al correr como regla en dirección meridional o submeridional, y excepcionalmente en dirección latitudinal.

La alta carsificación de la península y sus características geológicas determina en buena medida, el carácter de la red hidrográfica en aquellos lugares donde este se manifiesta. Su variedad indica la complejidad litológica y estructural de la zona de estudio.

2.3 Geología general del trazado

La geología del vial investigado está representada por 2 formaciones geológicas fundamentales las cuales se describen a continuación:

Formación Jagüeyes: Compuesta por margas y calcarenitas con intercalaciones de calizas, aleurolitas, gravas y arcillas.

Formación Júcaro: Compuesta por calizas margosas que alternan con margas.

2.3.1 Geología y Geotecnia

Desde el punto de vista geotécnico las litologías de mayor interés son:

Arcilla amarillo castaño a gris verdoso: son arcillas de alta plasticidad (CH), por lo que son susceptibles a los fenómenos de expansividad y retracción, de media compacidad, consistencia dura y en general muy húmeda.

Eluvio de caliza de composición areno arcillosa con gravas: suelo compacto y húmedo y de consistencia muy dura.

Caliza microcristalina, fosilífera, color blanco-crema a rosáceo: de baja a media resistencia, ablandable, de alta porosidad y ligeramente húmedas.

Los fenómenos geodinámicos más significativos por su desarrollo son los relacionados con el carso, el empantanamiento y el intemperismo.

Para la sismicidad de acuerdo a la nueva zonificación sísmica de Cuba, el área se encuentra ubicada en la Zona 1A, considerada como de riesgo sísmico bajo que puede ocasionar daños en las construcciones debiéndose tomar medidas sismo-resistentes en todas las estructuras y obras en función de la importancia de las mismas.

2.3.2 Geomorfología

El relieve de esta área está caracterizado por una zona elevada (ondulada) con una serie de cimas cuya cota máxima es de 77.0 m, donde las pendientes llegan a ser mayores de 12% y otra zona débilmente ondulada a llana que geomorfológicamente ocupa las partes más bajas con pendientes suaves generalmente menores del 6%. (Ver anexo 6)

En el tramo inicial el vial corta un área de pantanos salitrosos, a los que drenan corrientes de aguas temporales.

El sistema de elevaciones por las que atraviesa el vial está interrumpido por un estero estrecho de aguas someras, y donde se encuentra una amplia faja de manglares en sus orillas, la que se desarrolla considerablemente hacia el sur.

2.4 Clasificación de la vía

El trazado se desplaza por un vial existente que por sus niveles clasifica como un terreno llano con pendientes que no sobrepasan el 5% por el eje de la vía.

El material existente en la explanación es arcilla y no cumple con las especificaciones para utilizarse como base, por lo que se plantea una base de material seleccionado usando cantera.

La carretera será categoría I que cumple con todas las expectativas requeridas por la inversión.

La ejecución de este proyecto está fundamentada por la necesidad de solucionar las deformaciones, tanto longitudinal como transversal, que existen debido a la mala calidad del material empleado como base en todo el tramo.

En la totalidad del tramo no está conformada la calzada ni tampoco los paseos, además, las cunetas, en la mayoría de los casos no existen, lo que impide la conducción de las aguas hacia los puntos de evacuación.

2.4.1 Sección típica de la carretera

La sección típica mantendrá las características para la cual se concibió esta vía, por lo tanto los parámetros técnicos serán los siguientes:

Para categoría de vía I de terreno llano y una velocidad de diseño de 100 km/h, los carriles tendrán un ancho de 3.75 m, paseos de 3.00 m, el bombeo será del 2%, taludes de 4:1 y 2:1 en el caso de que la altura de terraplén exceda los 3.0 m, cunetas al pie de talud de sección en “V” con talud y contra talud de 2:1, ubicada luego de una berma de 1.0m de ancho y 1% de pendiente.

No obstante, en los tramos donde abundan las viviendas paralelas al vial, se colocó talud 2:1 para evitar algunas afectación que se producirían con el talud 4:1, pero además en estos tramos de viviendas se debe bajar la velocidad de circulación a no más de 60 km/h.

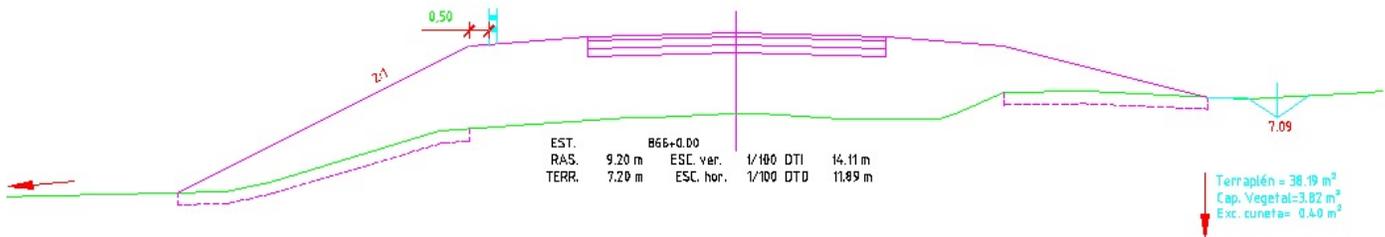


Figura 2.1. Sección transversal 866+0.0 del vial

2.5 Revisión de los taludes mayores en el subtramo analizado

Para efectuar la revisión de los taludes en el subtramo del kilómetro 5-10 de la carretera Ramón de Antilla, se escogieron de las secciones transversales obtenidas en el proyecto de construcción del vial, realizado por la empresa de Vértice las más desfavorables, teniendo en cuenta cuáles eran las que poseían una mayor altura en los taludes tanto en excavación como en terraplén.

De este análisis se obtuvo que las secciones que pudieran ocasionar fallas en los taludes sean:

En terraplén: Est 536 +0.0 con una altura en el talud derecho de $h= 3.7\text{m}$ y Est 866 +0.0 talud izquierdo con $h= 3.7\text{m}$ (Ver anexo 7)

En excavación: Est 966 +0.0 talud izquierdo con $h=5.1\text{m}$ y Est 1000 +0.0 en ambos taludes con $h=5.0\text{m}$. (Ver anexo 8)

En el informe "Búsqueda y evaluación de canteras para el vial Ramón de Antilla" que se elaboró en el proyecto se manifiestan los resultados de la investigación geotécnica realizada a 8 canteras de suelo y 2 áreas perspectivas de rocas para áridos, las cuáles fueron utilizadas en la construcción de viales y plataformas en la península El Ramón:

1. Cantera Cortadera
2. Cantera Loma de Pilón
3. Cantera Jamaica
- 3.1 Cantera Jamaica (Roca)
4. Cantera Los Pozos
5. Cantera El Júcaro (área perspectiva de roca para áridos)
6. Cantera Loma de Pijindí
7. Cantera Bella Vista II

8. Cantera Casquete Bella Vista(área perspectiva de roca para áridos)

9. Cantera Juan George Soto

10. Cantera La Mina

Se escogió para el análisis de los taludes la Cantera Bella Vista II pues es la más cercana al vial, se encuentra a 0.35 Km de este, posee un material carbonatado de color blanco amarillento y de composición areno - gravo – limosa con algunos contenidos de finos plásticos.

El suelo presente en la base del vial y que será utilizado para el cálculo de la estabilidad de los taludes, es una arcilla con una altura de 3m.

A continuación se presentan las características de ambos suelos que se introducirán en el software Slope/W.

Suelos	Peso Específico (kN/m ³)	Granulometría	%
Areno-gravo-limosa	17,4	grava	23
		arena	36
		limo	26
		arcilla	15
Arcilla	15,09	grava	1
		arena	9
		finos	90

Tabla 1. Características de los suelos. Fuente: elaboración propia

En la elaboración del modelo se escogieron los pesos específicos secos pues para la investigación se utilizó un suelo no saturado, es decir sin presencia de nivel freático y sin el efecto de las aguas de lluvia.

Según datos de archivo y tablas de correlación de documentos bibliográficos de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), y partiendo de las propiedades físicas de los suelos presentes en el modelo a utilizar, se proponen los siguientes parámetros de resistencia:

Composición	ángulo de reposo(°)	Cohesión(KPa)
Areno-gravo-limosa	25	20
Arcilla	12	50

Tabla 2. Propiedades físicas de los suelos. Fuente: elaboración propia

2.5.1 Aplicación del software profesional GeoSlope Geoestudio 2007

Para realizar una correcta revisión de los taludes de la carretera Ramón de Antilla, se deben tener presente tres elementos fundamentales a definir:

1. Tipo de análisis y sus parámetros
2. La geometría del problema cuestión de análisis
3. Los modelos constitutivos de los materiales

Se tomó como ejemplo la estación 866 + 0.0 que se encuentra en terraplén para efectuar la demostración del procedimiento a seguir y obtener el factor de seguridad de los taludes.

Paso 1. Tipo de análisis y definición de sus parámetros

Se crea un nuevo modelo especificando el tipo de análisis, que para estos casos sería el de equilibrio límite.

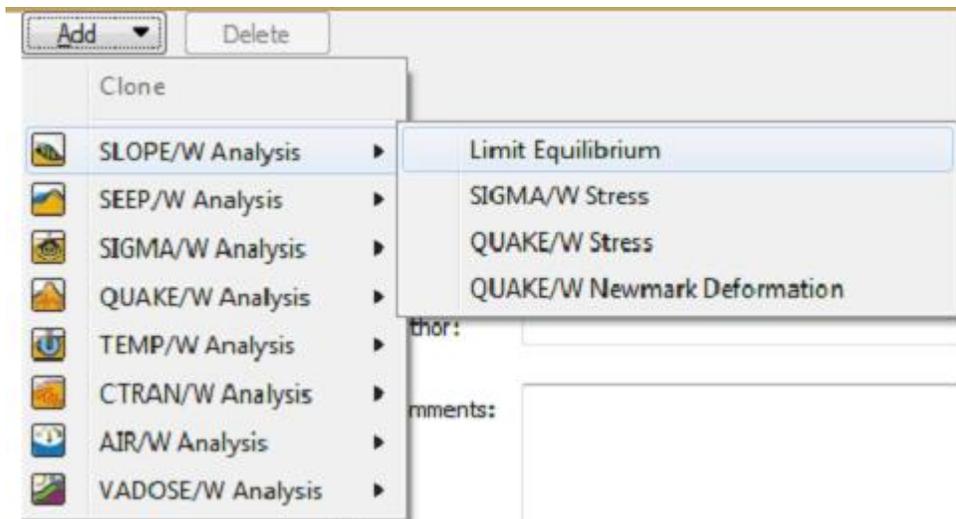


Figura 2.2 Creación de un nuevo modelo de análisis de estabilidad de talud

Luego se especifica el método por el cual el software realizará el cálculo del factor de seguridad. En este caso fue analizado por el método Morgenstern-Price.

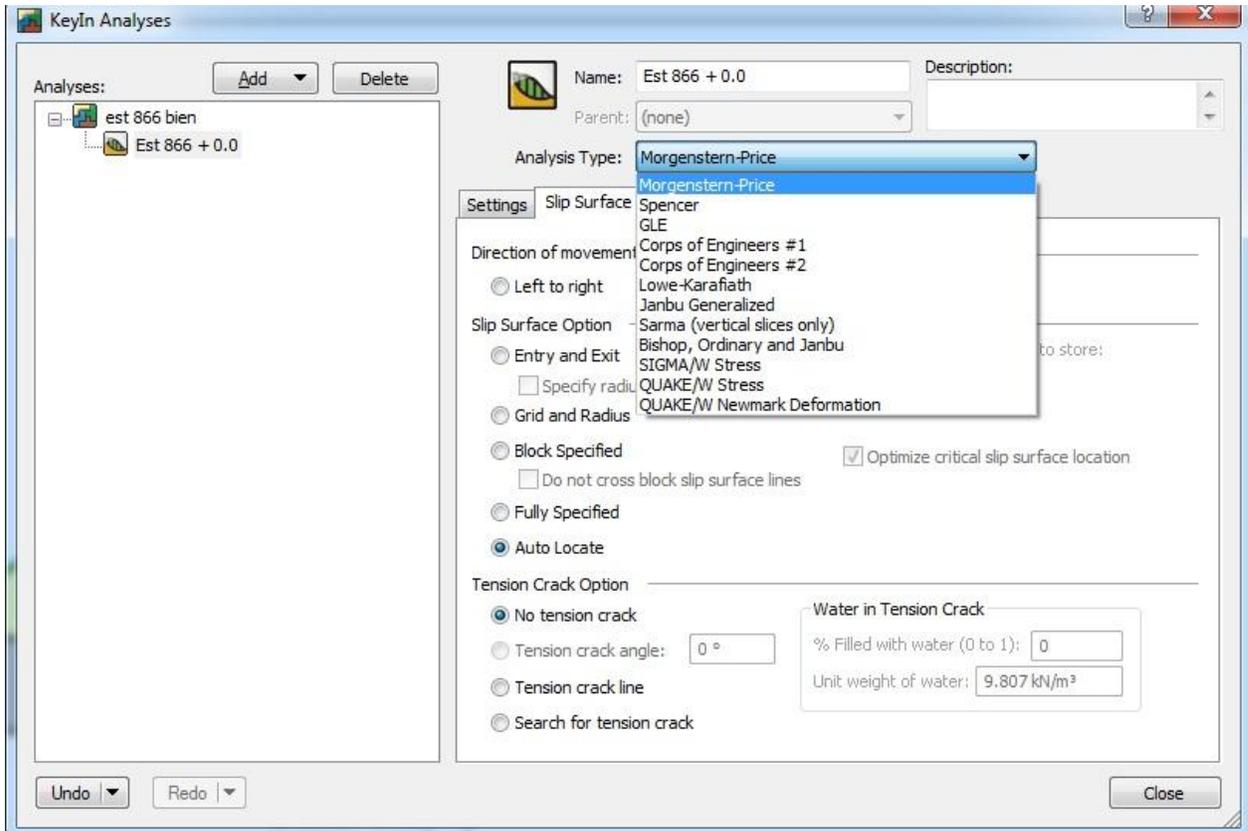


Figura 2.3 Se especifica el método por el que se hará el análisis

Paso 2. Definición de la geometría del problema cuestión de análisis

Se configura el área de trabajo, es decir se establece tamaño de la página, unidades de medidas y escalas a emplear, se define la malla y los ejes de coordenadas.

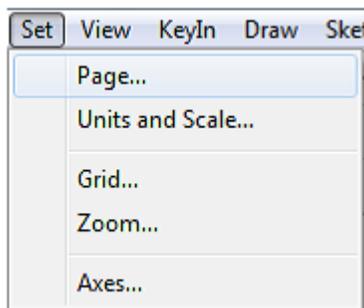


Figura 2.4 Configuración del área de trabajo

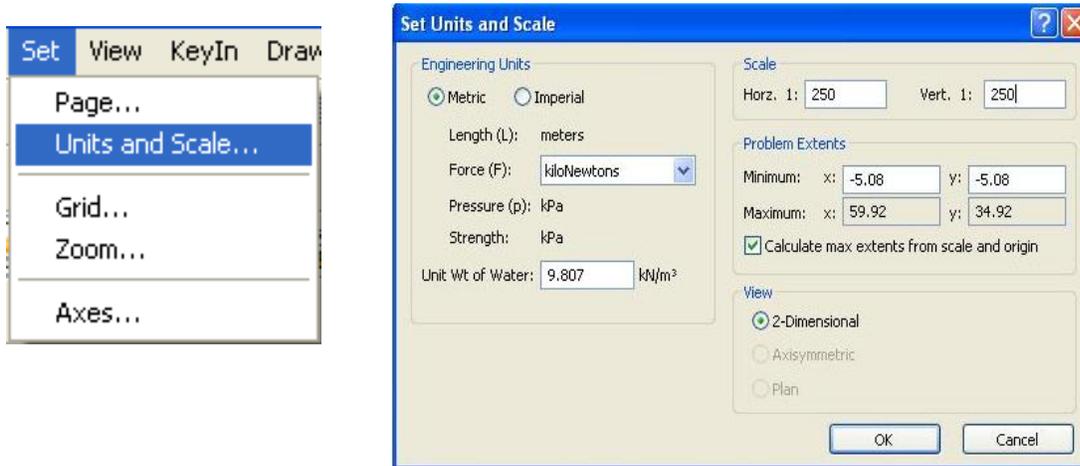


Figura 2.5 Configuración del área de trabajo

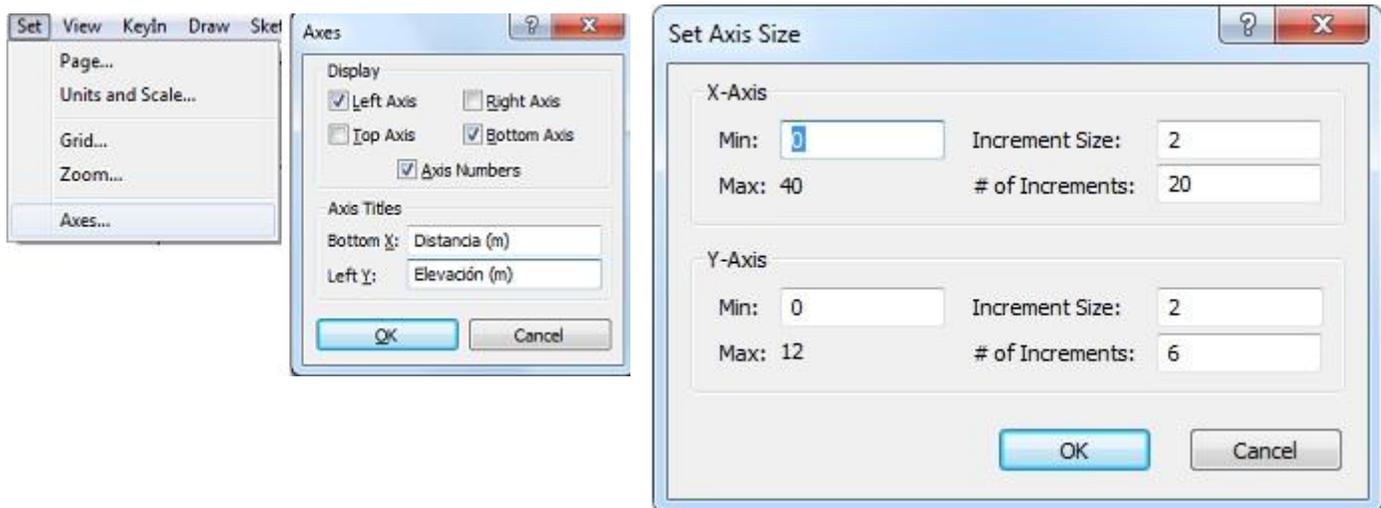


Figura 2.6 Configuración de los ejes de coordenadas

Luego se introducen los puntos para realizar el dibujo de la sección a analizar

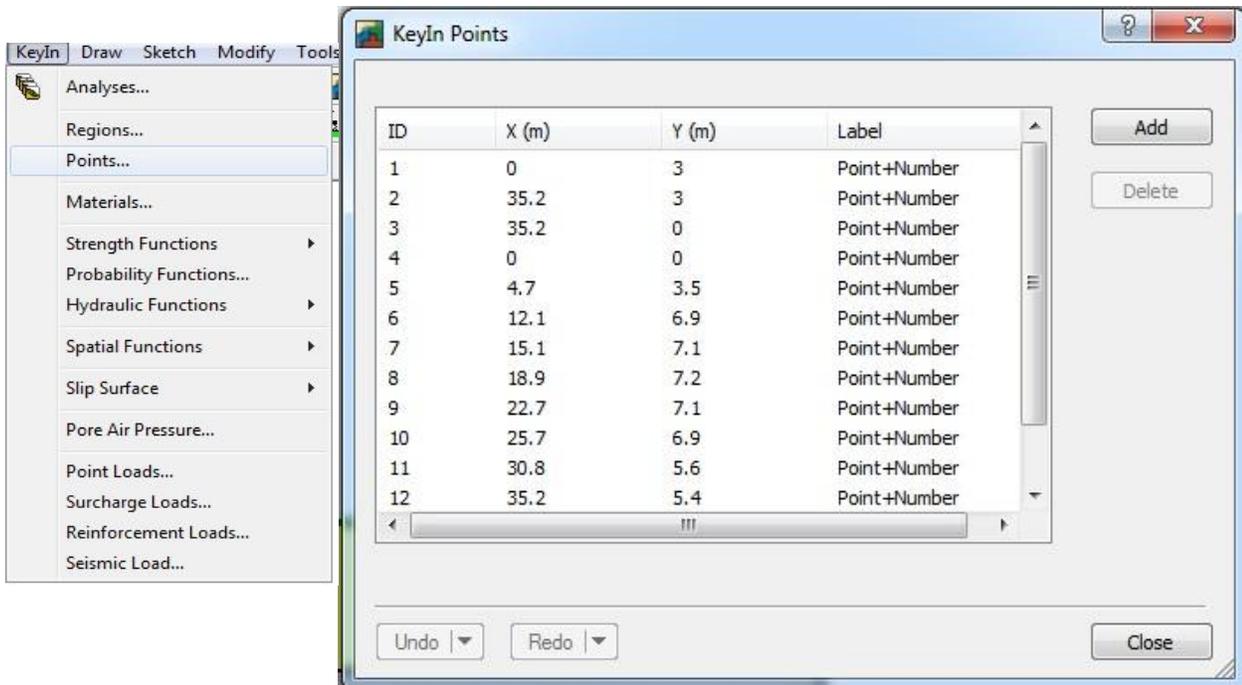
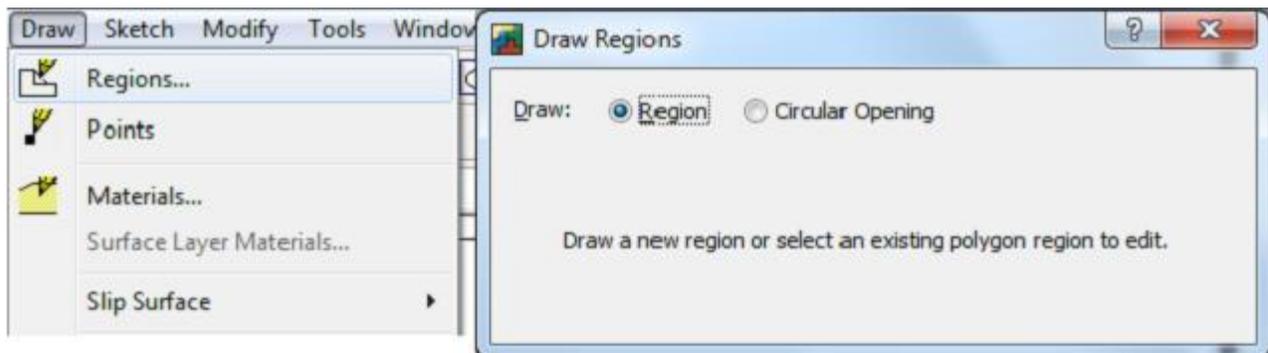


Figura 2.7 Introducción de los puntos que conforman la sección transversal

Se dibuja la geometría del talud haciendo uso del comando Draw/Region



El modelo de la región sería el que se muestra a continuación

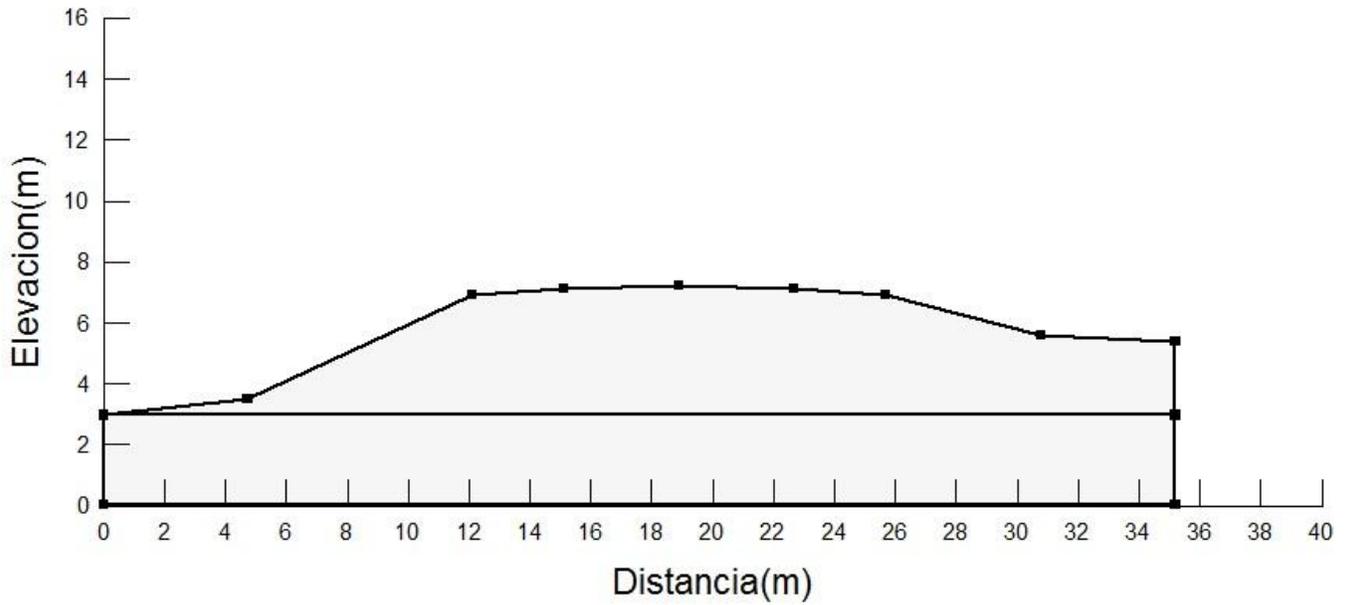


Figura 2.8 Geometría del talud

Paso3. Definir los modelos constitutivos de los materiales

En este paso se introducen los materiales que se van a utilizar, como base de la sección transversal se emplearán 3m de arcilla y en los taludes un suelo areno-gravo -limosa.

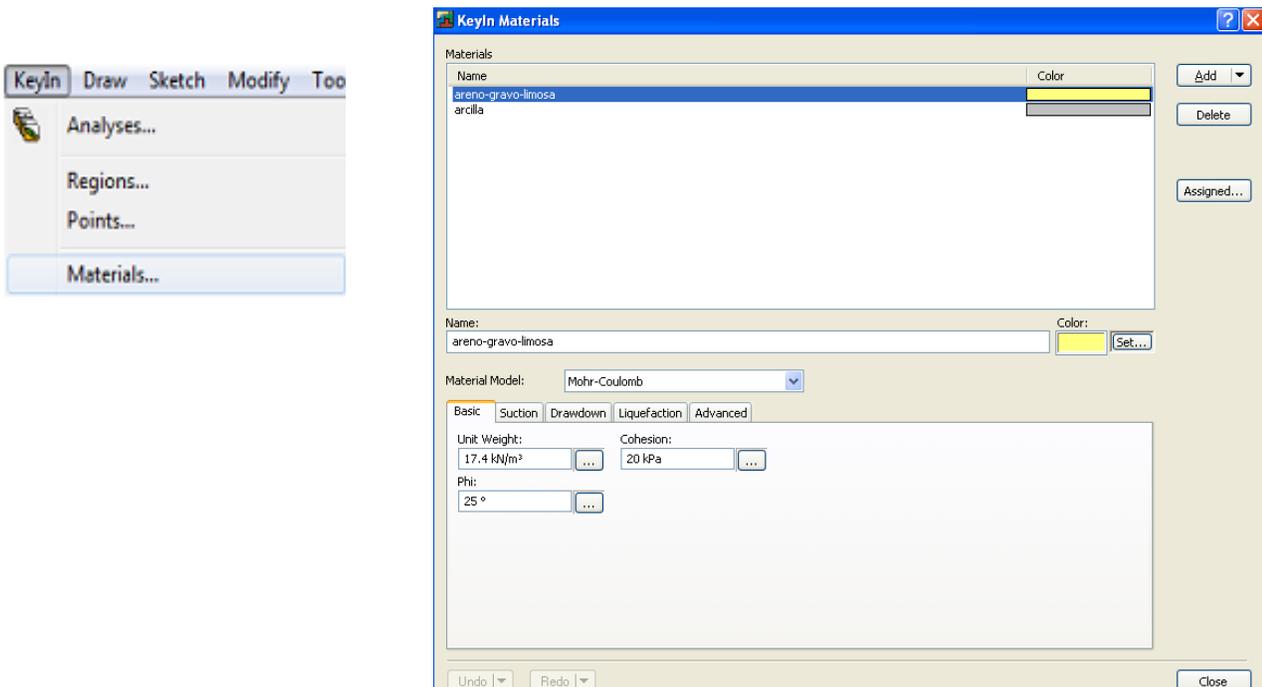


Figura 2.9 Propiedades de los suelos

Los materiales empleados se le asignan posteriormente a la región mediante el comando **Draw/Material**.

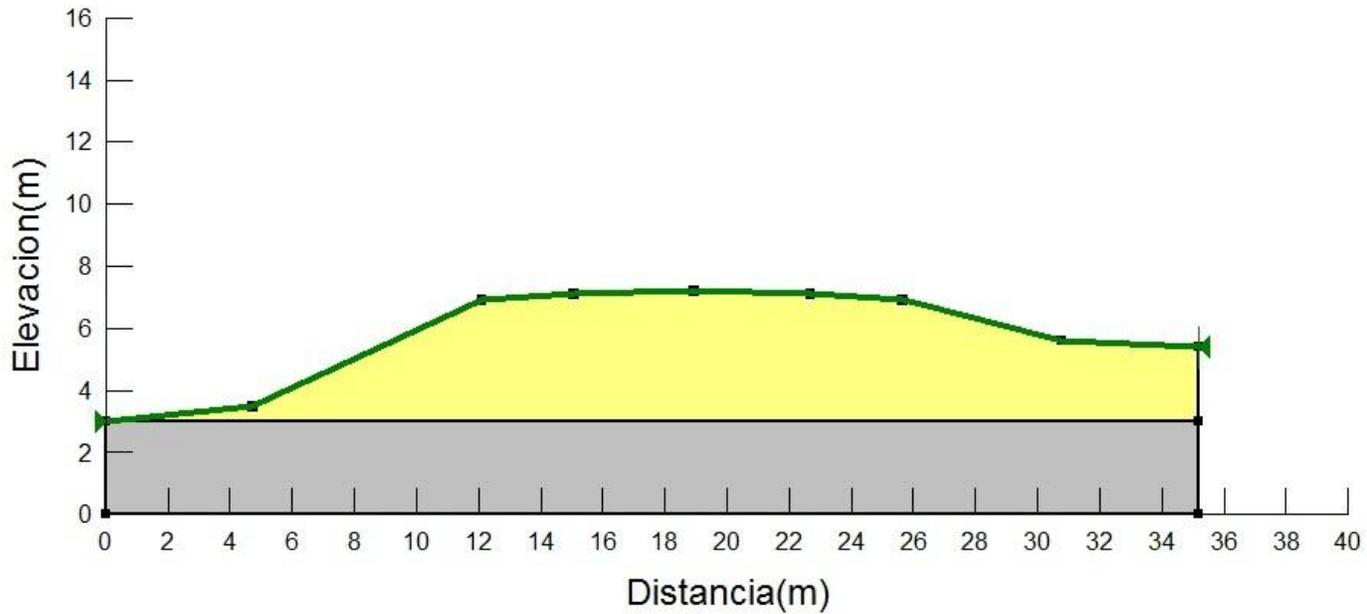
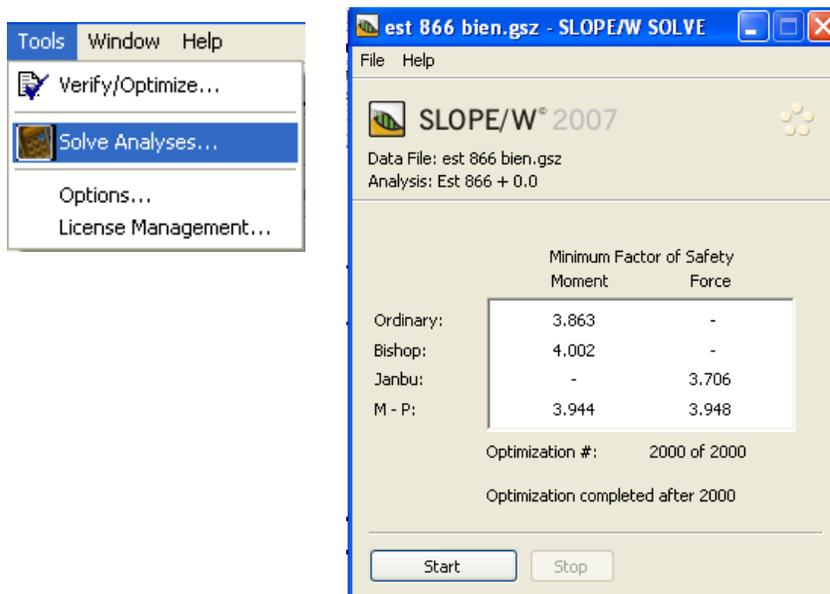


Figura 2.10. Materiales asignados a las regiones

Una vez construido el modelo, solo resta ejecutar el análisis y obtener el factor de seguridad. Para esto, accedemos al comando **Tools\ Solve Analises** y luego se hace clic en el botón *Start* del cuadro de diálogo que aparece.



En este caso el resultado del análisis sería el que se muestra en la figura 2.11:

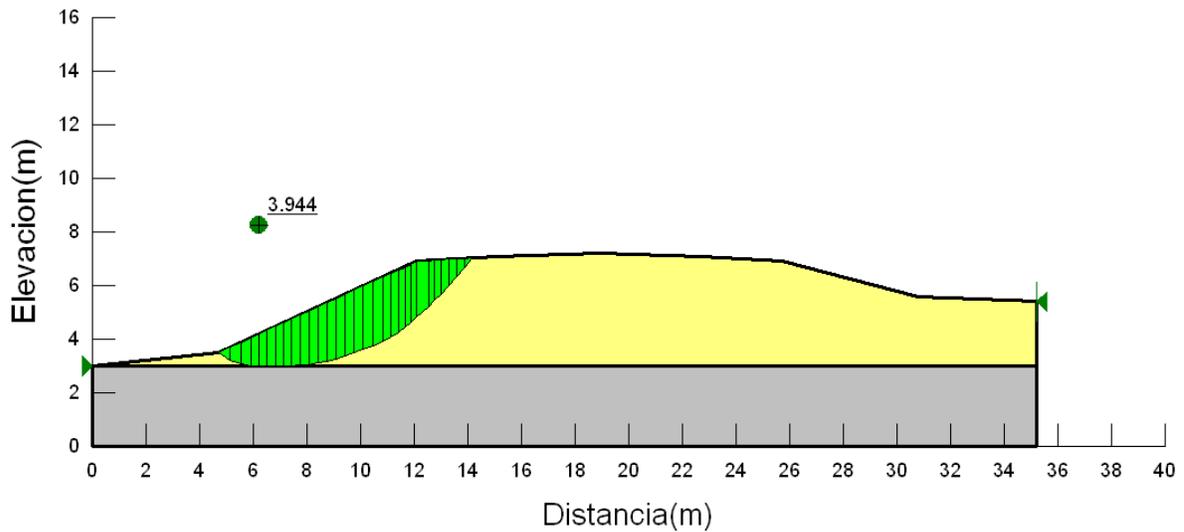


Figura 2.11. Resultados del análisis

2.5.2 Resultados y análisis

Teniendo en cuenta que el Factor de Seguridad obtenido es $FS = 3.944$, se puede clasificar el talud analizado como un talud estable, para las características de los suelos utilizados en el análisis, pues su $FS > 1.5$. Este procedimiento también se llevó a cabo para cada una de las estaciones mencionadas anteriormente, y se pudo determinar que cada una de ellas presentan taludes estables (Ver anexo 9), por lo que queda demostrado que en este tramo del vial no existen problemas de inestabilidad.

Mediante el software también se pueden obtener los diagramas de fuerzas de cada dovela seleccionando el comando **View\Slice Information** y posteriormente se selecciona la dovela cuyo diagrama de fuerzas se desea ver.

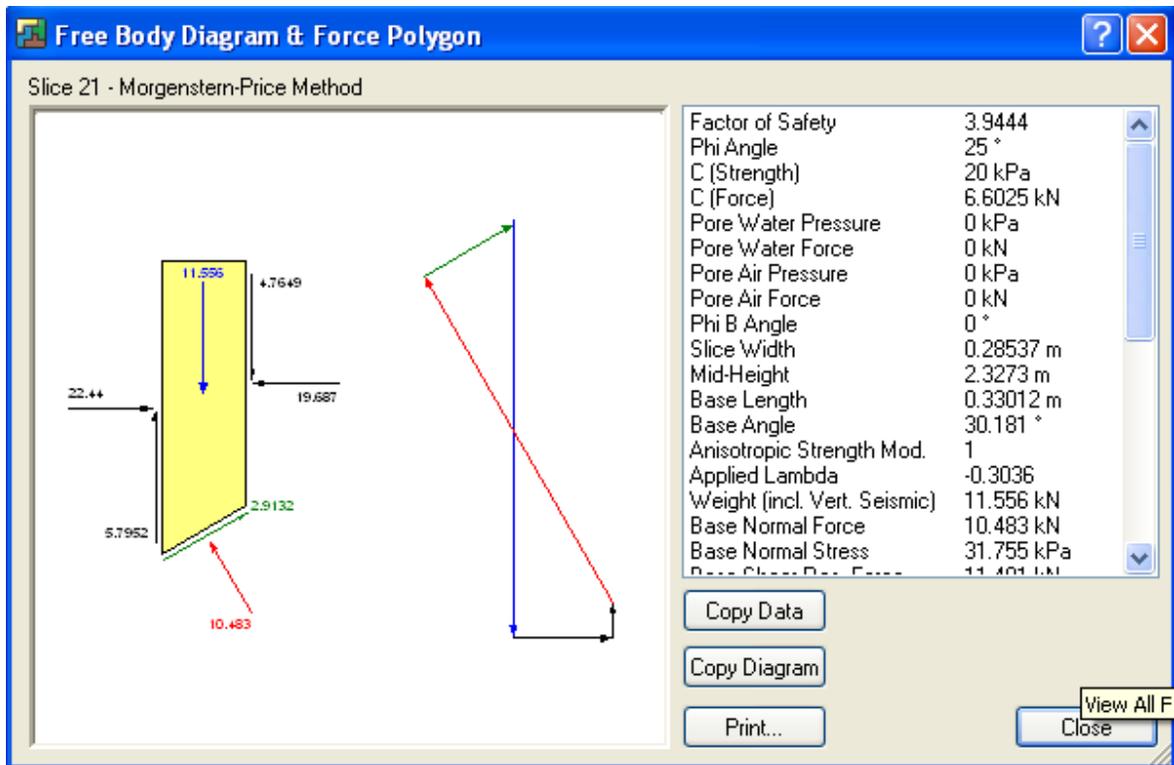


Figura 2.12. Diagramas de fuerzas de cada dovela

2.6 Propuesta de actividades para el mantenimiento y conservación de los taludes

Luego de haber realizado el cálculo de la estabilidad de los taludes y determinar que estos son estables, se proponen una serie de actividades para el mantenimiento y conservación de los mismos, que permitan mantenerlos a lo largo del tiempo con las características funcionales y estructurales con las que fueron proyectados y construidos.

Las actividades de conservación que pueden ser aplicadas para extender la vida útil de los taludes son:

Limpieza de calzada y bermas: esta actividad consiste en la eliminación de todo el material extraño de la calzada y de las bermas en caso de que estas existan, se realiza mediante herramientas manuales de manera tal que tanto la carretera

como el talud permanezca libre de obstáculos, basuras y demás objetos que sean arrojados en ella.

Desquinche manual de taludes: este trabajo consiste en ejecutar diversas actividades para eliminar los materiales sueltos del talud y regularizar su alineamiento.

El objetivo es evitar manualmente la caída de piedras y de material suelto que afecten la normal circulación del tránsito, y que pongan en riesgo de accidentes a los usuarios de la vía. (Ver anexo 10)

El perfilado de taludes consiste en uniformizar los taludes que presentan irregularidades superficiales empleando equipo y herramientas manuales, de tal manera que permanezcan, en lo posible, estables y sin procesos erosivos severos. (Ver anexo 11)

El objetivo es mantener el talud con una inclinación estable, sin que se produzcan caídas de material o de piedras constantemente o evitar que se puedan generar deslizamientos que puedan afectar la seguridad de los usuarios. Además, se pretende lograr una buena apariencia visual y mejorar el aspecto ambiental.

Estabilización de taludes: este trabajo consiste en realizar obras puntuales de estabilización tales como tendido o escalonamiento de taludes, encauzamiento de aguas mediante drenaje superficial y subterráneo y/o construcción de obras de contención, entre otras, de acuerdo al estudio geotécnico de estabilización previamente realizado. (Ver anexo 12)

Protección de taludes contra la erosión: consiste en proporcionarle protección a los taludes, tanto en corte como en terraplén contra la erosión utilizando algún tipo de vegetación nativa, semilla de pasto y otros tipos de plantas.

Esta actividad debe efectuarse previo a la temporada de lluvias, con el fin de prevenir situaciones de inestabilidad, controlando la velocidad del agua que fluye por la superficie de los taludes y de la velocidad de infiltración al cuerpo del talud. (Ver anexo 13)

Conclusiones del capítulo

1. La revisión de los taludes realizada mediante el software GeoSlope se caracteriza por estar estructurada en tres elementos fundamentales, los cuales contienen una serie de pasos que posibilitan desarrollar de una forma más organizada y completa el análisis de los taludes
2. La utilización del software GeoSlope permitió realizar una correcta revisión de los taludes, obteniéndose un factor de seguridad propicio para garantizar la estabilidad de los mismos y la seguridad vial

CONCLUSIONES GENERALES

1. El proceso de análisis histórico, permitió conocer todos los aspectos que se deben tener en cuenta para realizar una revisión de taludes, ya sea manualmente o mediante la utilización de programas profesionales
2. La sistematización de los fundamentos teóricos – metodológicos, permitieron realizar un correcto análisis en los taludes del kilómetro 5-10 del vial Ramón de Antilla
3. La utilización del software profesional GeoSlope Geoestudio 2007, constituye una herramienta efectiva para el cálculo y análisis computacional de estabilidad de taludes
4. La revisión realizada permitió conocer el estado actual de los taludes del vial Ramón de Antilla, comprobando que estos no constituyen un peligro para el tráfico vehicular en la vía

RECOMENDACIONES

1. Dar continuidad a la investigación a partir de nuevos análisis en los demás tramos del vial y en otras carreteras de la provincia, que puedan encontrarse afectadas por deslizamientos de tierra
2. Desarrollar los análisis de taludes aplicando también el programa Sigma del paquete Geoestudio 2007, que está orientado al cálculo de tensiones y deformaciones de suelos o rocas sometidos a cargas
3. Realizar el cálculo de taludes mediante el software GeoSlope aumentando en él, el efecto de los sismos que pueden ser uno de los factores que afecten en gran medida la estabilidad de los mismos.
4. Insertar la presente investigación como material de consulta en la carrera de Ingeniería Civil, brindando la posibilidad del uso de nuevas tecnologías informáticas como herramientas fundamentales en la formación de los estudiantes

BIBLIOGRAFIA

1. Alva, H, Jorge. E (2009). Soluciones Geotécnicas en estabilidad de taludes. Universidad Nacional de Ingeniería.
2. Arcos, A, José L. (Marzo 2005). XII Curso de Geotecnia Aplicada. Escuela Universitaria Politécnica de Linares (Jaén).
3. Armas N, Rolando; Horta M, Evelio. (1983). Presas de tierra. ISPJAE.
4. Benítez, R (1997). Diseño Geométrico de carreteras. Capítulo 1. Estudios del trazado.
5. Bishop, A, W (1995). The use of slip circle in the stability analysis of slopes, Geotechnique, vol 5 (1), pp 7-17 London.
6. Braja, M, Das. (1985) Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. California State University, Sacramento.
7. Braja, M, Das. (1997) Advanced Soil Mechanics. Second Edition. California State University, Sacramento.
8. Cepeda, M, José. A (diciembre 2009). Conservación y explotación de carreteras. Segunda edición.
9. Control de la erosión de los taludes (Marzo 2011). Disponible en: <http://www.restauracionpaisajistica.com/blog/control-de-la-erosion-en-taludes/>. Consultado [12/05/2015].
10. Cruz, C, Miguel. A (2014). Monografía. ¿Cómo se estructura y construye un trabajo de diploma? Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya".
11. Cuenca, P, A. Comentarios sobre el cálculo de taludes. Laboratorio de carreteras. Alicante.
12. González de Vallejo, Luis I. (2002). Ingeniería Geológica. Pearson Educación. Madrid. ISBN: 84-205-3104-9.
13. Gómez, I, Rolando (abril 2001). Estudio de impacto ambiental vial "El Ramón". ENIA-MICONS.
14. Grupos de estudios regionales (CITEC). (Diciembre 1999). Estudio ingeniero-geológico regional de la península del Ramón.

15. Hernández, P, José. A. (2012). Trabajo de diploma. Análisis de factores que influyen en la estabilidad de los taludes.
16. INTRODUCING REINFORCEMENT IN TALREN. Disponible en: <http://www.emse.fr/~bouchardon/enseignement/processusnaturels/up3/web/manual/partie3.htm>. Consultado [20/04/2015]
17. Jiménez, S, José. A. (1925). Geotecnia y cimientos II. Mecánica del suelo y de las rocas.
18. Juárez, B, Eulalio. (2005). Mecánica de suelos. Tomo 1. Fundamentos de la mecánica de suelos.
19. Leyva, A, Yonell. (2014). Trabajo de diploma. Propuesta para la inclusión del análisis computacional de la estabilidad de taludes empleando el software profesional Geostudio Geoslope 2007 en la asignatura Geotecnia. Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya".
20. López, P, Germán ICCP EPS Belmez Mecánica de Suelos y Rocas.
21. Merchán, P, Juan Bernardo (2013). Evaluación de la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera de materiales pétreos "Las Victorias". Universidad de Cuenca. Facultad de ingeniería. Ecuador.
22. Ministerio de transporte y comunicaciones (2013). Manual de carreteras. Mantenimiento o conservación vial. Perú
23. Morales, A, Orlando (1999). Búsqueda y evaluación de canteras para el vial del Ramón de Antilla. Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA).
24. Orta, A, Pedro. A. (1996). Maquinaria de movimiento de tierras. Facultad de Construcciones, Universidad Central de Las Villas.
25. Riaño, R, Noel (2010). Estabilidad de taludes en carreteras. Ingeniería para el manejo, restauración y conservación de ecosistemas.
26. Suarez, D, Jaime. (1998). Estabilidad de taludes.
27. Suarez, D, Jaime. Sistema de estabilización de taludes. Universidad de Cartagena. Bucaramanga-Colombia.
28. Tecnología de hidrosiembra para asegurar la estabilidad de los taludes de carreteras. Disponible en: <http://civilgeeks.com/2014/02/03/tecnologia-de->

[hidrosiembra-para-asegurar-la-estabilidad-de-los-taludes-de-carreteras/](#).

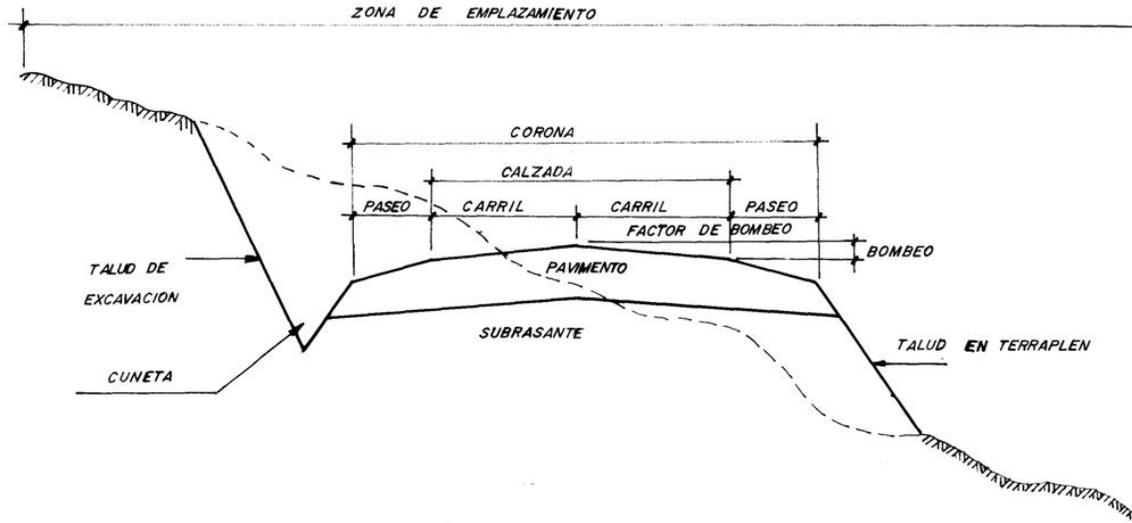
Consulta:[12/05/2015]

29. TALREN 4. Disponible en: <http://www.geoengineer.org/software/323-TALREN-4>. Consulta:[20/04/2015].

30. Vázquez de Diego, Javier y Pita Olalla, Eloy (enero 2007). Análisis de estructuras bidimensionales mediante programas de estabilidad de taludes.

ANEXOS

Anexo 1. Sección transversal de una vía

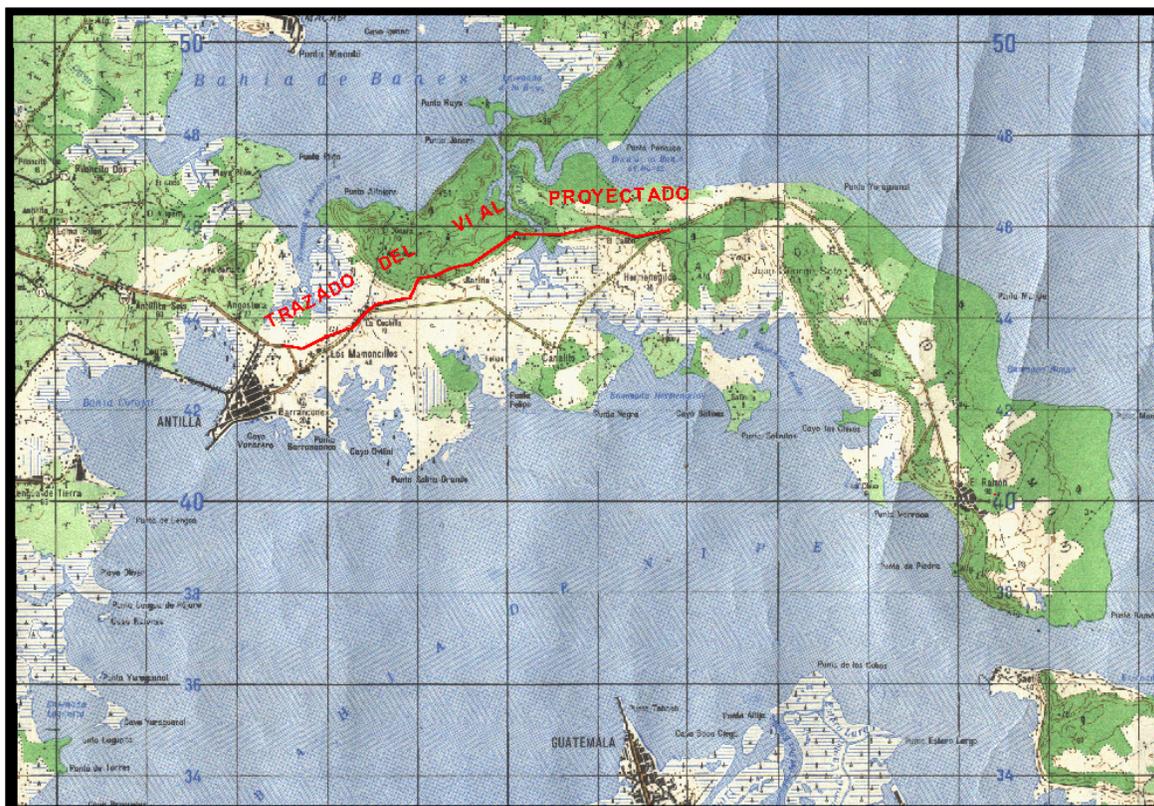


Anexo 2. Ecuaciones de la estática que se satisfacen.

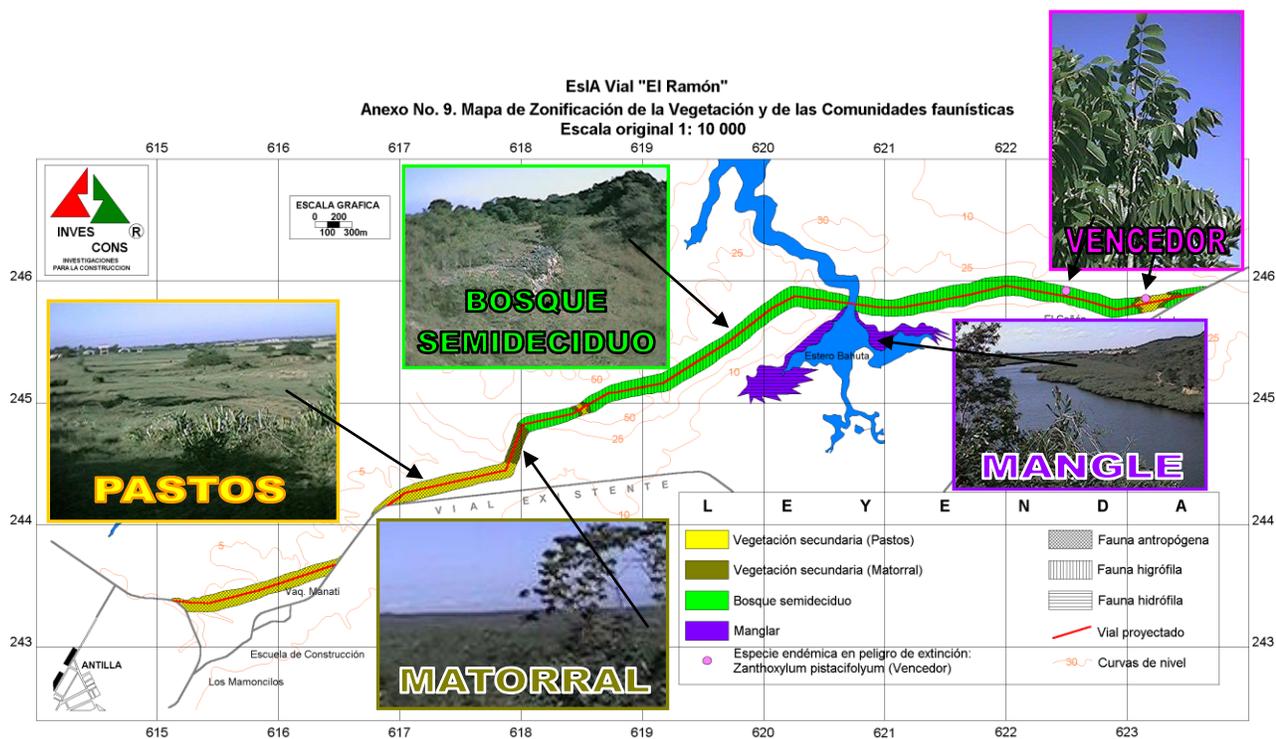
Método	Momento de equilibrio	Fuerzas de equilibrio
Ordinary o Fellenius	SI	NO
Bishop simplificado	SI	NO
Janbu simplificado	NO	SI
Spencer	SI	SI
Morgenstern-Price	SI	SI
Corps de Engineers - 1	NO	SI
Corps de Engineers - 2	NO	SI
Lowe-Karafiath	NO	SI
Janbu Generalizado	SI (para partición)	SI
Sarma - partición vertical	SI	SI

Anexo 3. Plano de microlocalización del vial

EslA Vial “El Ramón” Escala original 1: 100 000

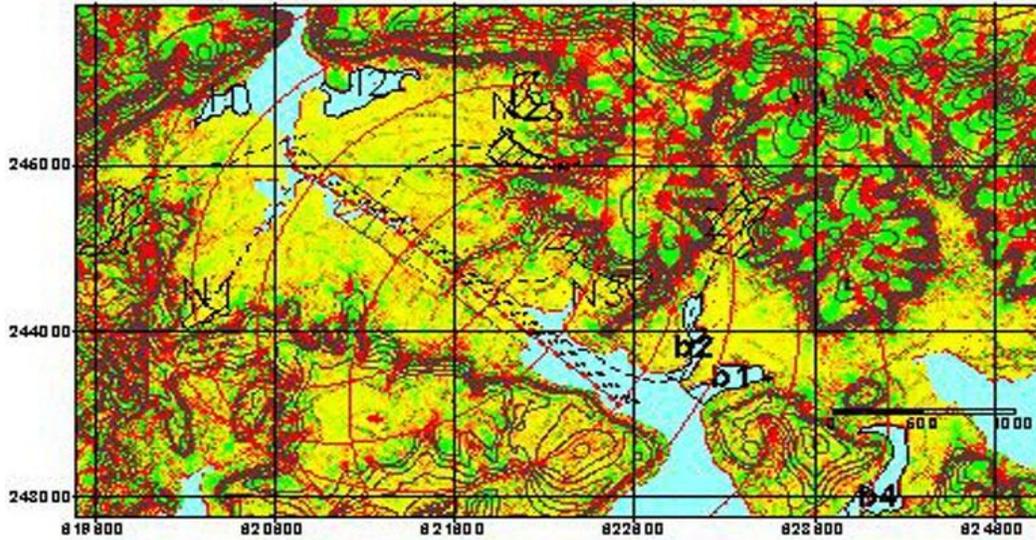


Anexo 4. Vegetación de la zona de estudio

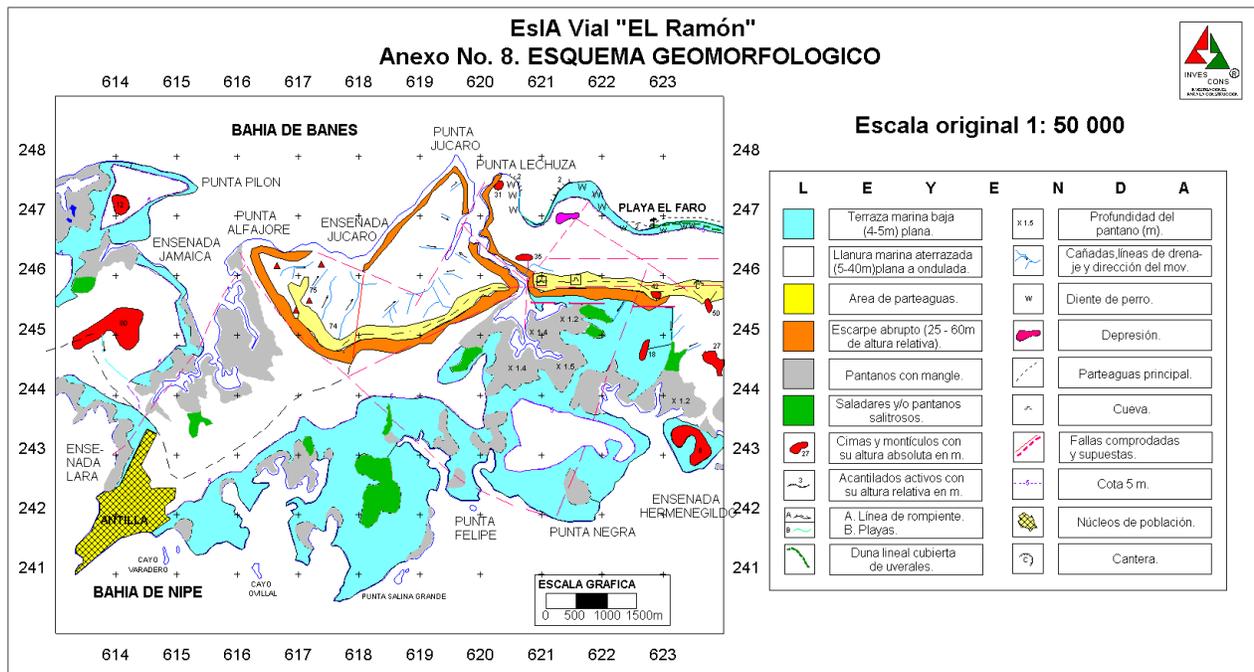


Anexo 5. Relieve

FIGURA 257: MAPA DE CURVATURA DEL RELIEVE.

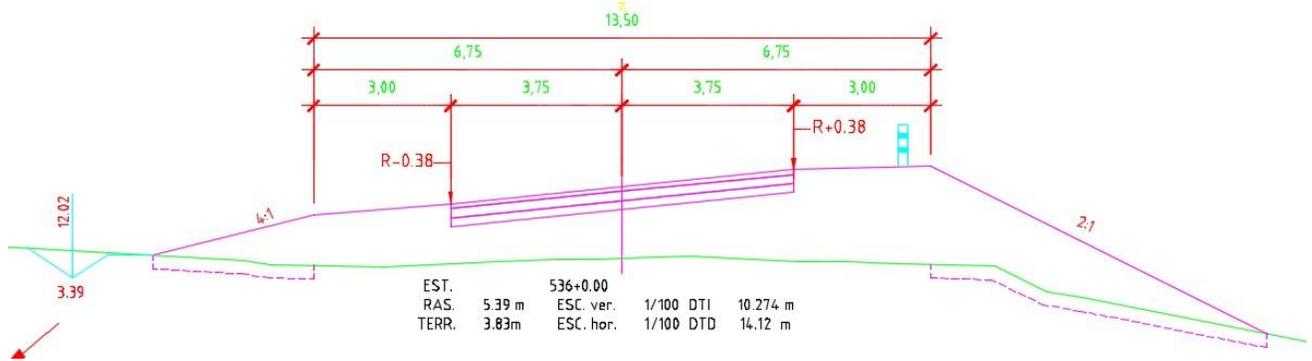


Anexo 6. Geomorfología de la zona

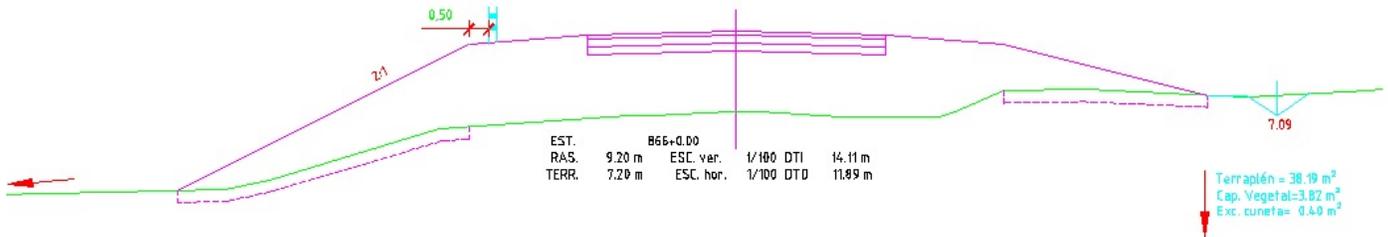


Anexo 7. Secciones transversales en terraplén

Est 536 +0.0

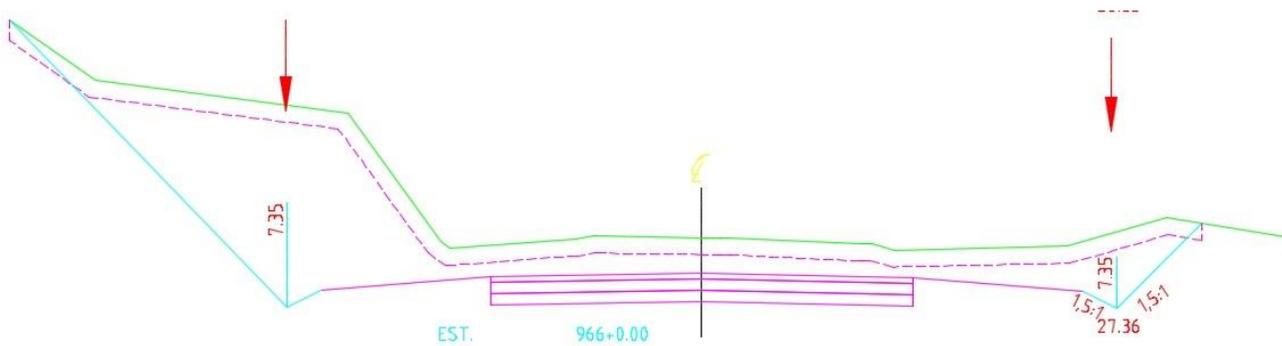


Est 866 +0.0

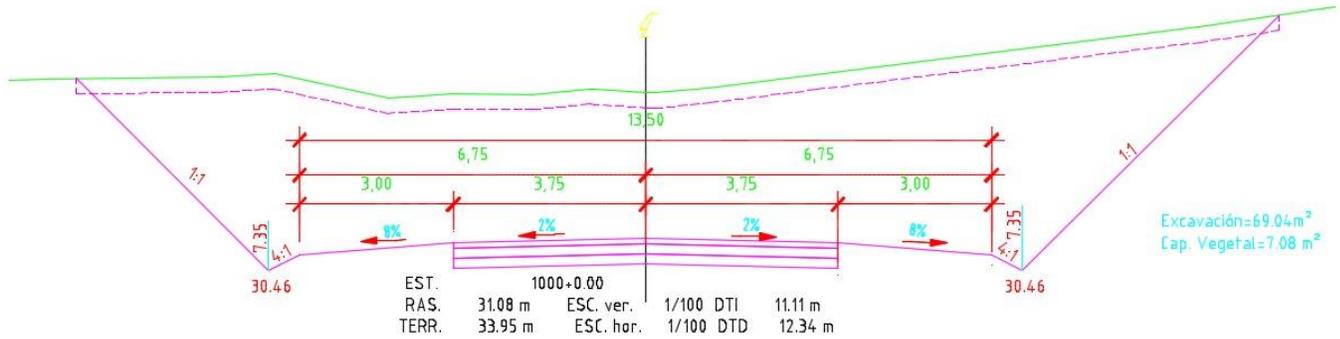


Anexo 8. Secciones transversales en excavación

Est 966 +0.0

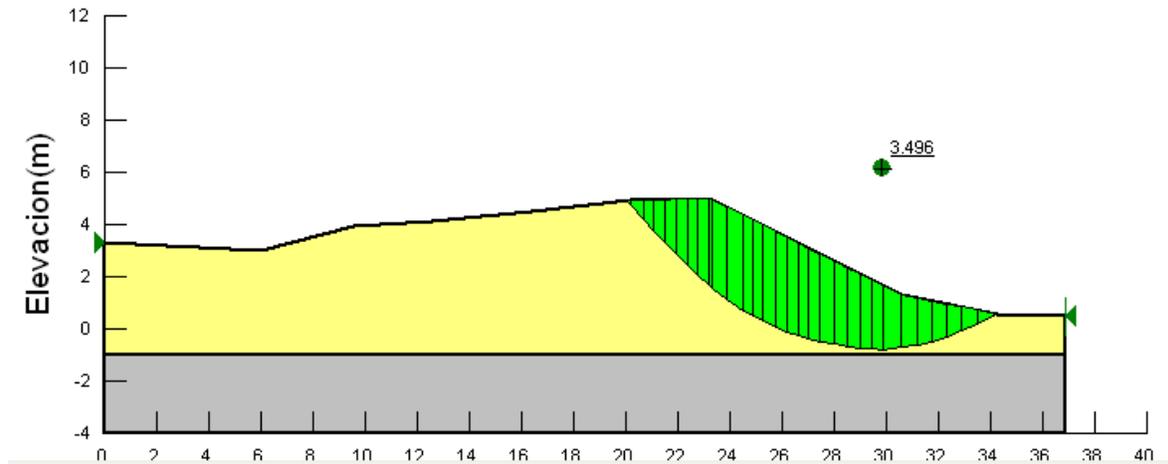


Est 1000 +0.0

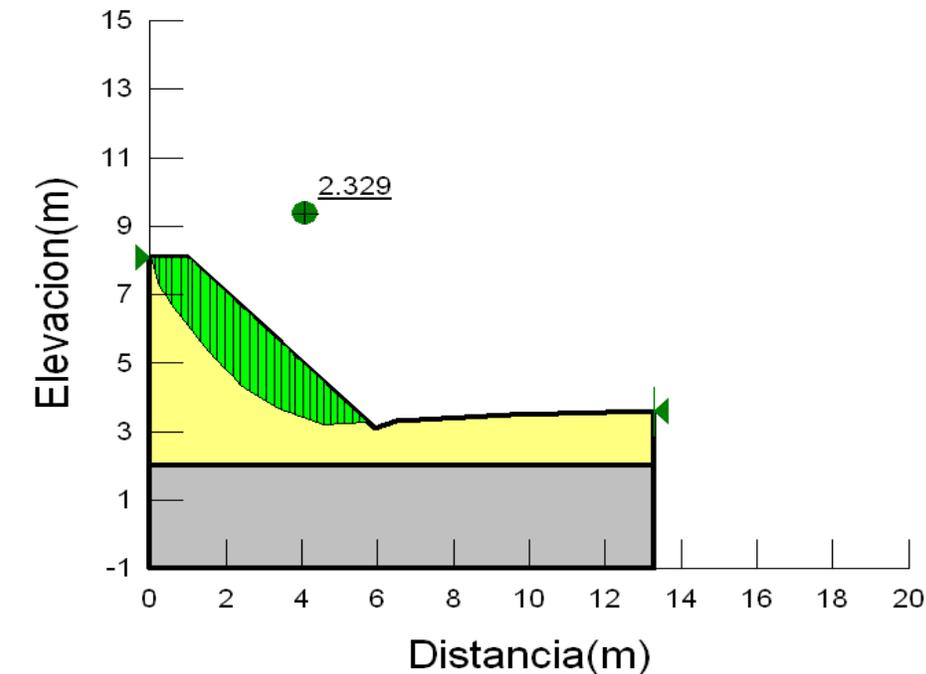


Anexo 9. Factores de seguridad

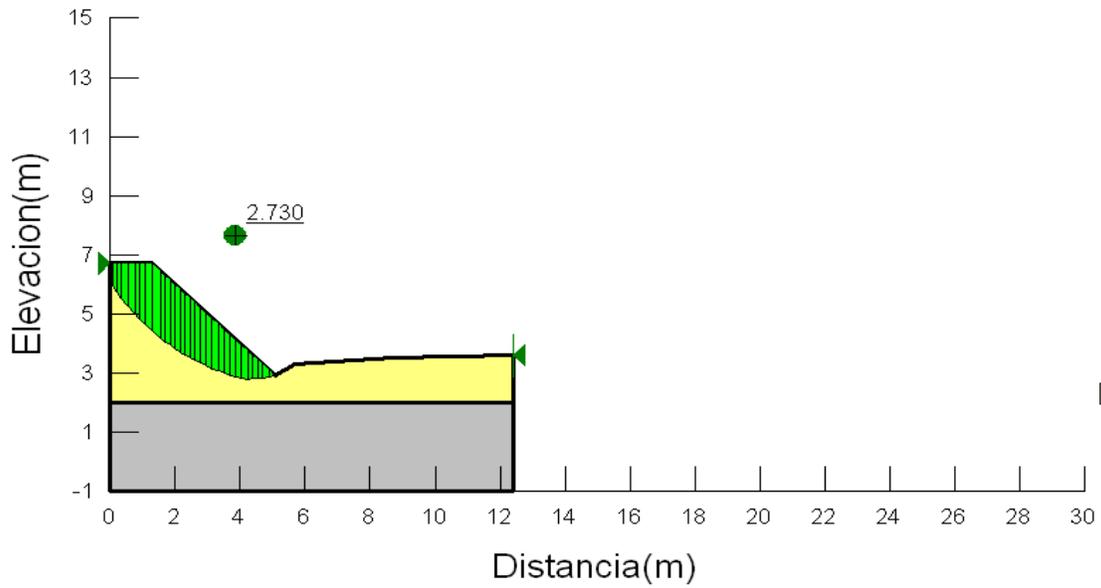
Est 536 +0.0



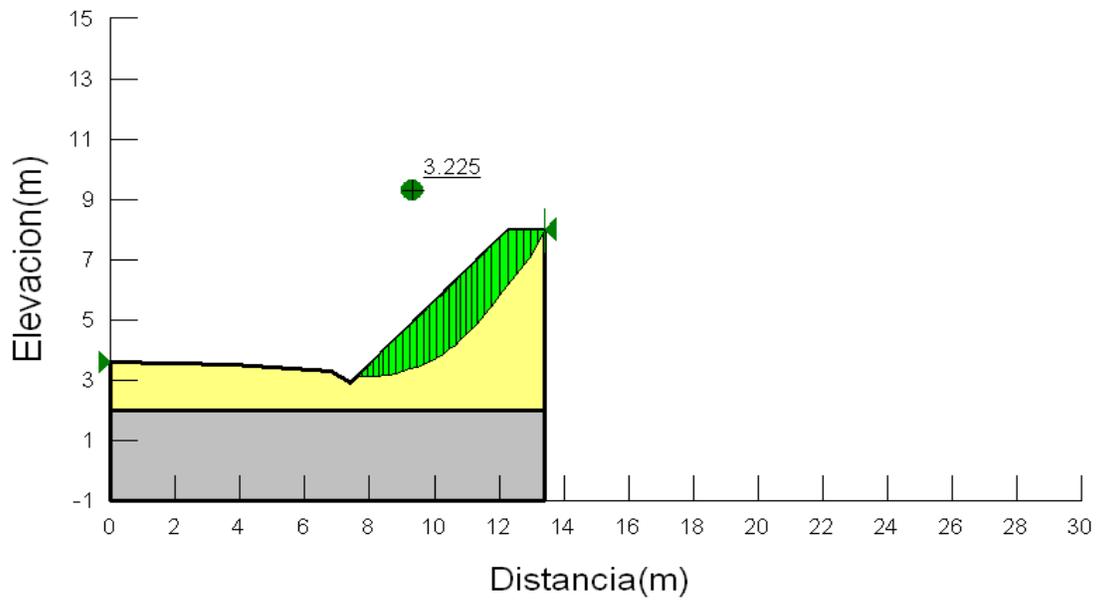
Est 966 +0.0 talud izquierdo



Est 1000 +0.0 talud izquierdo



Est 1000 +0.0 talud derecho



Anexo 10. Desquinche manual de taludes



Anexo 11. Perfilado de taludes



Anexo 12. Estabilización de taludes



Anexo 13. Protección contra la erosión

