

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE  
MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INFORME DE TESIS**

**ESTUDIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DEL TRAMO  
KM-318+000 HASTA KM-318+300 DE LA CARRETERA  
CAJAMARCA - CHACHAPOYAS**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR**

**Bach. Carlos Fernando Tafur Tuesta**

**ASESOR : Ing. Jorge Chávez Guivin**

**CO-ASESOR: Ing. Jhon Ángel Aguilar Castillo**

**CHACHAPOYAS - PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE  
MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INFORME DE TESIS**

**ESTUDIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DEL TRAMO  
KM-318+000 HASTA KM-318+300 DE LA CARRETERA  
CAJAMARCA - CHACHAPOYAS**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR**

**Bach. Carlos Fernando Tafur Tuesta**

**ASESOR : Ing. Jorge Chávez Guivin**

**CO-ASESOR: Ing. Jhon Ángel Aguilar Castillo**

**CHACHAPOYAS - PERÚ**

**2017**

## **DEDICATORIA**

A Dios, a mis padres Fernando y Lusmila, y a mis hermanos Luis Enrique y Rosa María, por su amor y apoyo decidido en mi formación profesional, siendo pieza fundamental para la realización de este trabajo.

## **AGRADECIMIENTO**

Al alcanzar una meta más quiero agradecer:

A Dios, por el apoyo espiritual y recordarme que mi lugar está donde me necesitan.

A mis padres Fernando Tafur García y Lusmila Tuesta López, mis hermanos Luis Enrique Tafur Tuesta y Rosa María Tafur Tuesta y amigos por ser mi apoyo incondicional a lo largo de mi vida, por creer y confiar siempre en mí.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas y a la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, por la formación académica para ser un profesional de bien.

Al Laboratorio de Mecánica de Suelos y Concreto de la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones de Amazonas, por facilitarme los ensayos de mecánica de suelos.

A mi Asesor Ing. Jorge Chávez Guivin y Co-asesor Ing. Jhon Ángel Aguilar Castillo, por guiarme técnicamente para concluir con este trabajo de investigación.

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA  
DE AMAZONAS**

Ph. D. Jorge Luis Maicelo Quintana

**RECTOR**

Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres

**VICE RECTOR ACADÉMICO**

Dra. María Nelly Luján Espinoza

**VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN**

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

**DECANO**

## **VISTO BUENO DEL ASESOR**

Yo, Jorge Chávez Guivin, Ingeniero Civil y Docente de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de esta Casa Superior de Estudios; como asesor de la tesis **“ESTUDIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DEL TRAMO KM-318+000 HASTA KM-318+300 DE LA CARRETERA CAJAMARCA – CHACHAPOYAS”** elaborado por el Bachiller Carlos Fernando Tafur Tuesta, considero que cumple con los requisitos de fondo y de forma, por lo que **DOY EL VISTO BUENO** respectivo para su evaluación y sustentación correspondiente.

Por lo tanto:

Firmo la presente para mayor constancia.

Chachapoyas, Diciembre del 2017.

---

**Ing. Jorge Chávez Guivin**

Asesor

## **JURADO EVALUADOR**

---

Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres

**Presidente**

---

Ing. Jhon Hilmer Saldaña Nuñez

**Secretario**

---

Ing. Kirk Robert Reina Chang

**Vocal**

## DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, CARLOS FERNANDO TAFUR TUESTA, Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, identificado con DNI N° 73665364.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada:  
“ESTUDIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DEL TRAMO KM-318+000 HASTA KM-318+300 DE LA CARRETERA CAJAMARCA – CHACHAPOYAS”.  
La misma que presento para optar el título profesional de Ingeniero Civil.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda la responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Chachapoyas, Diciembre del 2017.

---

Carlos Fernando Tafur Tuesta

DNI N° 73665364

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS.....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	vi
JURADO EVALUADOR.....	vii
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO.....	viii
TABLA DE CONTENIDO.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	15
II. OBJETIVOS.....	16
Objetivo general.....	16
Objetivos específicos.....	16
III. MARCO TEÓRICO.....	17
3.1. Antecedentes de la investigación.....	17
3.2. Bases teóricas.....	20
A. Caracterización de los movimientos.....	20
B. Deslizamientos.....	22
C. Causas de las fallas o deslizamientos.....	26
D. Modelos de análisis de estabilidad.....	28
E. Análisis de estabilidad de taludes.....	45
F. Sistemas de protección y refuerzo frente a inestabilidades superficiales de taludes en suelos.....	47
G. Geosintéticos.....	48

H. Programa de computación Slope/w .....	59
3.3. Definición de términos básicos .....	62
IV. MATERIAL Y MÉTODOS .....	65
4.1. Materiales, herramientas y/o equipos .....	65
4.1.1. En campo .....	65
4.1.2. En laboratorio .....	65
4.1.3. En Gabinete .....	67
4.2. Variable de estudio: Estabilización del talud.....	67
4.3. Diseño de investigación .....	69
4.3.1. Diseño.....	69
4.3.2. Población .....	69
4.3.3. Muestra .....	69
4.3.4. Muestreo .....	69
4.3.5. Métodos .....	69
4.3.6. Técnicas e instrumentos.....	70
4.3.7. Procedimiento.....	70
4.3.8. Análisis de datos.....	71
V. RESULTADOS .....	73
5.1. Estudio topográfico.....	73
5.2. Estudio de suelos .....	77
5.3. Análisis de estabilidad en software especializado de estabilización .....	79
5.4. Prueba de hipótesis .....	82
VI. DISCUSIÓN.....	84
VII. CONCLUSIONES.....	86
VIII. RECOMENDACIONES .....	87
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	88
ANEXOS.....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 01.</b> Métodos de análisis de estabilidad de taludes .....	29
<b>Tabla 02.</b> Resumen comparativo de los métodos de equilibrio límite.....	43
<b>Tabla 03.</b> Valores referenciales para taludes en corte (relación H:V).....	45
<b>Tabla 04.</b> Sistemas de protección y refuerzo de taludes.....	48
<b>Tabla 05.</b> Especificaciones técnicas del biomanto de fibra de coco.....	52
<b>Tabla 06.</b> Especificaciones técnicas del geomanto TRM 15 .....	54
<b>Tabla 07.</b> Operacionalización de variable. ....	68
<b>Tabla 08.</b> Resultado de las propiedades físico-mecánicas del suelo. ....	77
<b>Tabla 09.</b> Análisis de varianza según los métodos utilizados.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
<b>Figura 01.</b> Nomenclatura de taludes y laderas.....	21
<b>Figura 02.</b> Falla de cuña .....	23
<b>Figura 03.</b> Caída de lienzos rocosos .....	24
<b>Figura 04.</b> Deslizamiento de compartimientos.....	25
<b>Figura 05.</b> Deslizamiento rotacional .....	25
<b>Figura 06.</b> Deslizamiento de derrubios.....	26
<b>Figura 07:</b> Paralelismo de las fuerzas entre dovelas en el método de Spencer.....	32
<b>Figura 08:</b> Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer.....	33
<b>Figura 09:</b> Diagrama para determinar el factor $f_o$ para el método de Janbú.....	34
<b>Figura 10:</b> Esquema de un sistema típico de análisis con tajadas o dovelas.....	36
<b>Figura 11.</b> Fuerzas que actúan sobre una dovela en un análisis de estabilidad del arco circular con dovelas.....	36
<b>Figura 12:</b> Fuerzas que actúan sobre una dovela en el método ordinario o de Fellenius...	37
<b>Figura 13.</b> Fuerzas que actúan sobre una dovela en los métodos de dovelas.....	38
<b>Figura 14.</b> Esquema de fuerzas sobre una dovela en el método de Bishop simplificado..	39
<b>Figura 15.</b> Sección transversal típica en tangente.....	44
<b>Figura 16.</b> Instalación del geomanto de control de erosión.....	55
<b>Figura 17.</b> Densidades de grapas .....	56
<b>Figura 18.</b> Sección típica de anclaje.....	58
<b>Figura 19.</b> Ubicación del tramo en estudio.....	72
<b>Figura 20.</b> Resultados del levantamiento topográfico.....	74
<b>Figura 21.</b> Sección transversal crítica: Talud inicial.....	75
<b>Figura 22.</b> Sección transversal crítica: Talud final.....	76
<b>Figura 23.</b> Clasificación SUCS “GC” de la muestra de suelo de la C-01/E-02.....	78
<b>Figura 24.</b> Clasificación SUCS “SP-SM” de la muestra de suelo de la C-02/E-03.....	79
<b>Figura 25.</b> Resultados de factor seguridad del talud inicial.....	80
<b>Figura 26.</b> Resultados de factor seguridad de talud con banquetas.....	81
<b>Figura 27.</b> Factores de seguridad según métodos analíticos de estabilización en la fase inicial y final.....	82
<b>Figura 28.</b> Probabilidad de aceptación o rechazo de la diferencia entre promedios de los valores de factor seguridad.....	83

## RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo determinar una alternativa de solución para la estabilización del talud en el tramo Km 318+000 hasta Km 318+300 de la carretera Cajamarca - Chachapoyas, con el fin de lograr un tránsito seguro y permanente para el bienestar de la población. La investigación, es descriptiva con enfoque cuantitativo, la técnica de muestreo fue no probabilística, siendo la muestra el punto más perjudicado por el deslizamiento del talud del tramo en estudio. Los resultados obtenidos para el talud inicial y final en condiciones estáticas, se evaluaron con la sección topográfica del Km-318+103, las propiedades geomecánicas de los suelos pertenecientes a esta sección y con un modelamiento en el software especializado de estabilización con los métodos analíticos de Morgenstern-Price, Spencer, Janbú y Ordinario o de Fellenius para el equilibrio límite; teniendo como indicador los valores de Factor Seguridad. Se concluye, que la alternativa de solución, corresponde al movimiento masivo de tierras, a través de cortes del talud según el tipo de suelo, ya que los factores de seguridad obtenidos mayores o igual uno están en la evaluación al talud final; además, se considera una protección superficial contra erosiones, en el suelo “GC” con geomantos tipo *TMR 15* y en el suelo “SP-SM” con fibra de coco.

**PALABRAS CLAVE:** Estabilización del talud, protección superficial, geomanto, fibra de coco.

## **ABSTRACT**

The objective of the present investigation was to determine a solution alternative for the stabilization of the slope in the section Km 318 + 000 up to Km 318 + 300 of the Cajamarca-Chachapoyas highway, in order to achieve a safe and permanent transit for the welfare of the population. The research is descriptive with a quantitative approach, the sampling technique was non-probabilistic, with the sample being the most affected by the slip of the slope of the section under study. The results obtained for the initial and final slope under static conditions were evaluated with the topographic section of Km-318 + 103, the geomechanical properties of the soils belonging to this section and with a modeling in the specialized stabilization software with the analytical methods of Morgenstern-Price, Spencer, Janbú and Ordinary or of Fellenius for the limit equilibrium; having as indicator the Security Factor values. It is concluded that the alternative solution corresponds to the massive movement of land, through slope cuts according to the type of soil, since the safety factors obtained greater than or equal to one are in the evaluation to the final slope; In addition, it is considered a superficial protection against erosions, in the soil "GC" with geomants type TMR 15 and in the soil "SP-SM" with coconut fiber.

**KEY WORDS:** Slope Stabilization, surface protection, geomancy, coconut fiber.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Se comprende bajo el nombre genérico de talud cualesquier superficie inclinada respecto a la horizontal que haya de adoptar permanentemente las estructuras de tierra, bien sea en forma natural o como consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería (Pacheco, 2006).

El tramo Km 318+000 hasta Km 318+300 de la carretera Cajamarca-Chachapoyas es una vía de dos carriles que está al servicio de la población y en esta longitud de 300 metros lineales se detectó un área crítica, con una inestabilidad permanente provocando un tránsito inseguro.

En tal contexto, se formuló el problema en la interrogante siguiente: ¿Cómo evitar el deslizamiento del talud debido a la inestabilidad del suelo en el tramo Km 318+000 hasta Km 318+300 de la carretera Cajamarca-Chachapoyas?.

Así mismo, la investigación se justifica en la importancia que tiene el tramo en estudio; siendo este el ingreso principal a la ciudad de Chachapoyas y que durante las épocas de lluvias intensas la inestabilidad en el talud es permanente; con esta investigación se buscó mejorar el bienestar en la población.

Para lograr hacer una correcta evaluación de esta problemática se hizo un reconocimiento inicial del tramo, en el pie y en la cresta del talud, definiendo a criterio del investigador el área crítica. Luego, en campo se procedió a la recopilación de información topográfica y a las muestras de suelo a través de calicatas, y, en laboratorio y gabinete se procedió a determinar las propiedades geomecánicas del suelo y la pendiente del talud respectivamente.

Para concluir con la investigación se hizo un modelamiento y análisis estático utilizando los métodos de Equilibrio Límite en software especializado de estabilización para determinar un factor de seguridad en el talud, mayor o igual a uno, además se consideró una protección superficial de acuerdo a las propiedades geomecánicas del suelo y recomendaciones de especialistas.

## **II. OBJETIVOS**

Los objetivos fueron:

### **Objetivo general**

- ❖ Determinar una alternativa de solución para la estabilización del talud en el tramo Km 318+000 hasta Km 318+300 de la carretera Cajamarca - Chachapoyas, con el fin de lograr un tránsito seguro y permanente para el bienestar de la población.

### **Objetivos específicos**

- ❖ Realizar un estudio topográfico del tramo de carretera en estudio.
- ❖ Determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo del talud en estudio.
- ❖ Definir el método apropiado para la estabilización de talud de acuerdo con sus características.
- ❖ Identificar una metodología para la protección superficial del talud contra las erosiones pluviales.

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Antecedentes de la investigación

A continuación se menciona los estudios realizados según el contexto internacional, nacional y local respectivamente:

##### *Contexto internacional:*

Guillén (2004) en su investigación titulada *Estabilidad de taludes en los departamentos de Guatemala y Alta Verapaz, casos reales*, realizada en la Universidad de San Carlos de Guatemala, plantea como objetivo general el estudio preliminar para la estabilización de taludes para evitar las fallas estructurales que podrían crearse por deslizamientos y hundimientos, utilizando como indicador de estabilidad el factor seguridad, llegó a las siguientes conclusiones:

- ❖ Las características de una ladera o talud son las que determinan las condiciones geológicas propicias para la generación de deslizamiento, los mismos que pueden ocurrir por otros factores como la lluvia, sismos, etc.
- ❖ Los taludes fueron cortados y ya no existe la masa de los suelos deslizante. Queda solamente el macizo sujeto a las cargas verticales que actúan sobre él, y que pueden ocasionar fallas por desprendimiento de la cresta del talud.
- ❖ Para poder estabilizar un talud que tenga mucha altura, pendiente muy pronunciada y aparte de esto, está expuesto a las condiciones ambientales y geológicas, se hace imperativa la necesidad de hacer un diseño de plataformas, utilizando para ello datos topográficos, los cuales permitirán dejar taludes en mejores condiciones.

Revelo (2008) en su investigación titulada *Modelo para la estabilización de taludes en las carreteras del subtrópico del nor occidente del Ecuador a fin de evitar accidentes de tránsito y disminuir los costos de operación vehicular*, realizada en la Universidad Técnica de Ambato en Ecuador, plantea como objetivo general desarrollar un modelo de estabilización de taludes que permita mejorar las condiciones existentes de las carreteras del sub trópico

del nor occidente del país y aplicable a regiones de similares características geológicas y climatológicas, utilizando para su análisis de estabilidad el software GeoSlope, llegó a las siguientes conclusiones:

- ❖ Las inclinaciones de los cortes utilizados en el modelo son 1H: 2V y la 3H: 4V, las superficies probables de falla son de pie y de cuerpo de talud, el programa busca la superficie crítica, la que proporciona el menor factor de seguridad.
- ❖ Se observa la influencia de la altura de corte en los factores de seguridad, conforme crece la altura, el factor de seguridad disminuye.
- ❖ Los deslizamientos provocan accidentes, el tráfico se suspende y aumenta el costo de operación vehicular y desequilibra las actividades de la población.

***Contexto nacional:***

Pacheco (2006) en su investigación titulada *Estabilización del talud de la costa verde en la zona del distrito de San Isidro*, realizada en la Pontificia Universidad Católica del Perú, plantea como objetivo general analizar el problema y presentar alternativas de solución y el diseño de ingeniería para un tramo de 500 m de los taludes de la Costa Verde en la zona del distrito de San Isidro, utilizando el análisis estático de equilibrio limite en el software GeoSlope y como indicador de estabilidad el factor seguridad, llegó a las siguientes conclusiones:

- ❖ Luego de haber hecho el análisis comparativo económico y de haber analizado las ventajas y desventajas de los 03 tipos de muro de contención analizados, la decisión de utilizar los muros ASTM C915 es clara y contundente.
- ❖ Por lo tanto, por razones económicas, de facilidad de proceso constructivo y de impacto ambiental se recomienda como solución para el problema de estabilidad del talud de la Costa Verde en el Distrito de San Isidro el uso de los muros ASTM C915 (Crib Walls).

Alvarado & Cornejo (2014) en su investigación titulada *Estabilización de taludes en la costa verde – callao tramo. av. Santa Rosa – jr. Virú. (1.3 km)* realizada en la Universidad de San Martín de Porres del Perú, plantea como objetivo general elaborar el estudio para la estabilización de talud entre la Av. Santa Rosa – Jr. Virú. (1.3 Km); que permitirá evitar el riesgo de vidas e incrementar la calidad de vida de la población asimismo la obstrucción del tránsito de acuerdo a las normas vigentes del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) y otras normas relacionadas; utilizando el análisis estático de equilibrio limite en el software GeoSlope y como indicador de estabilidad el factor seguridad, llegó a las siguientes conclusiones:

- ❖ En el caso de secciones, deberá lograr un ángulo de  $47^\circ$  para poder asegurar que no habrá algún desprendimiento de materiales, será necesario la colocación de tierra vegetal para favorecer el crecimiento de césped que controle la estabilidad local (caída eventual de piedras). Según el análisis realizado, una solución para estabilizar la capa de 0.15m de terreno vegetal será la aplicación de geomallas y geomantas para la mejor adaptación del césped.
- ❖ La solución adoptada en este proyecto propone una solución integral al problema de estabilidad global y vegetalización de la Costa Verde; sin embargo, soluciones de este tipo representan montos elevados, por lo que se estimó necesario realizar el presupuesto del proyecto para poder tener un orden de magnitud del costo en caso se realicen obras de este tipo.

***Contexto local:***

En la región Amazonas aún no se tiene estudios para la estabilización de taludes, por lo que es un problema latente en distintos tramos de las vías de tránsito existentes.

### **3.2. Bases teóricas**

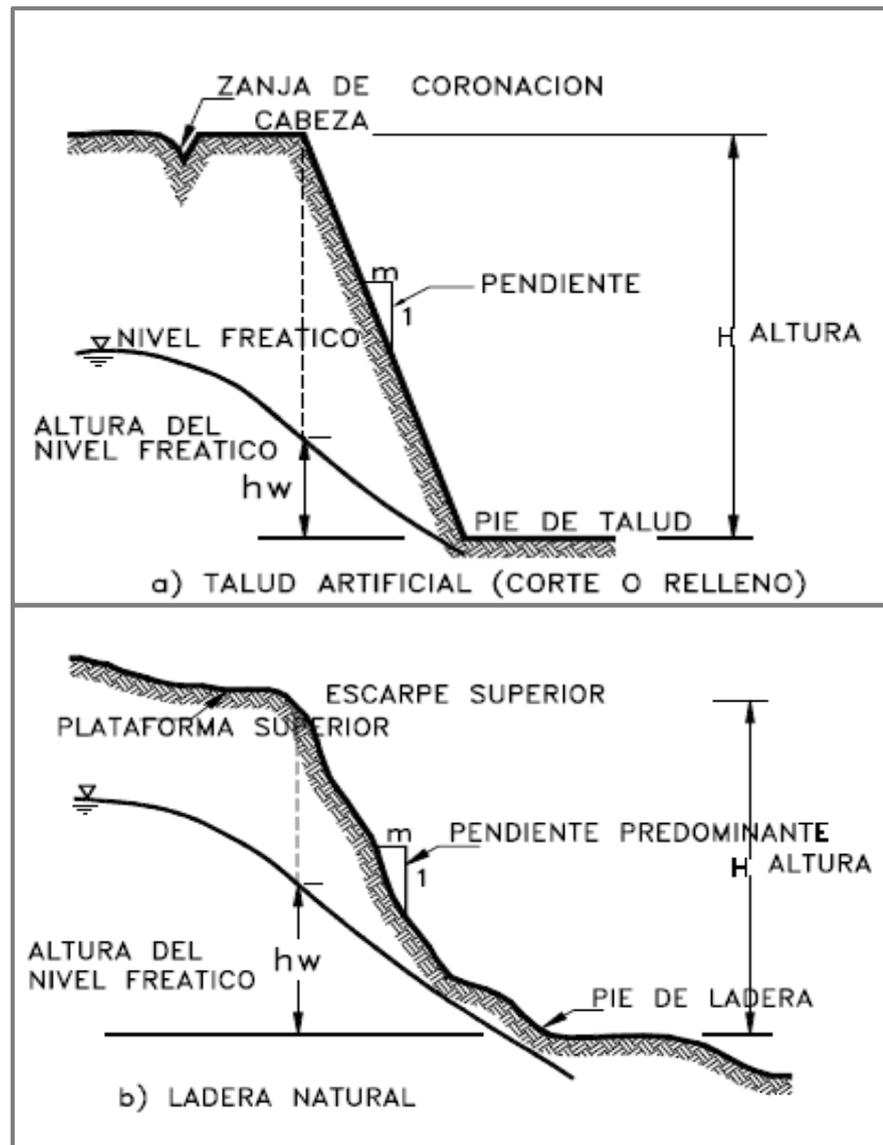
#### **A. Caracterización de los movimientos**

##### **A.1. Nomenclatura de un talud o ladera**

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente (Figura 01) (Suarez, 1998).

Las laderas que han permanecido estables por muchos años pueden fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad (Suarez, 1998).

Así mismo, Suarez (1998) expresa que los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: Los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Además, se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas.



**Figura 01.** Nomenclatura de taludes y laderas.

Fuente: Suarez, 1998 - *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*.

En el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

### 1. Altura

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada de

cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

## **2. Pie**

Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

## **3. Cabeza o escarpe**

Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

## **4. Altura de nivel freático**

Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.

## **5. Pendiente**

Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación  $m/1$ , en la cual  $m$  es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

Ejemplo: Pendiente:  $45^\circ$  ó 100%, ó 1H:1V.

## **B. Deslizamientos**

### **B.1. Deslizamiento de la cobertura superficial**

Pérdida de la cobertura de suelos en vertientes donde la pendiente es ligeramente superior al ángulo de fricción del material sobre la roca (Guillén, 2004).

La fase principal de los deslizamientos se expresan en lo siguiente:

- ✓ La superficie de falla sigue una dirección preferencial.
- ✓ Movimiento de masas de suelo, roca y fragmentos.
- ✓ El movimiento puede ser lento o catastrófico.
- ✓ Se forman grietas de tracción en la cresta.

Las causas de los deslizamientos pueden ser:

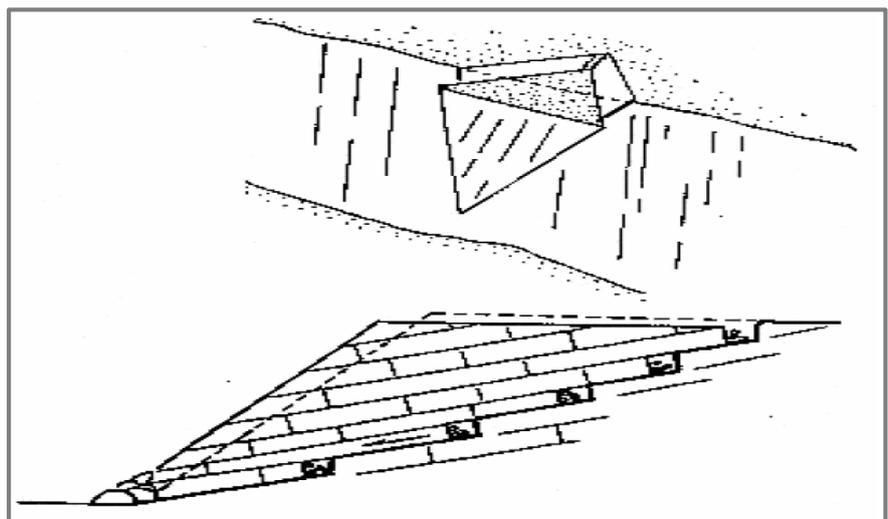
- ✓ Absorción de agua proveniente de lluvias.
- ✓ Rotura de tuberías.
- ✓ Disminución de la fricción.
- ✓ Aumento de sobrecarga en la cresta de los taludes.
- ✓ Vibración por sismos, voladuras, etc.
- ✓ Cortes al pie de los taludes y laderas.

Existen varios tipos de deslizamientos:

- ✓ Planar.
- ✓ Hundimiento.
- ✓ Caída de lienzos rocosos.
- ✓ De compartimentos.
- ✓ Rotacional.
- ✓ De derrubios.

## B.2. Planar

Las discontinuidades se interceptan según una línea la cual se inclina en la misma dirección que la pendiente del talud. El ángulo de inclinación de esta línea es menor que la pendiente del talud en esa dirección, y la fricción en las discontinuidades es menor que la inclinación de la línea de intercepción (Guillén, 2004).

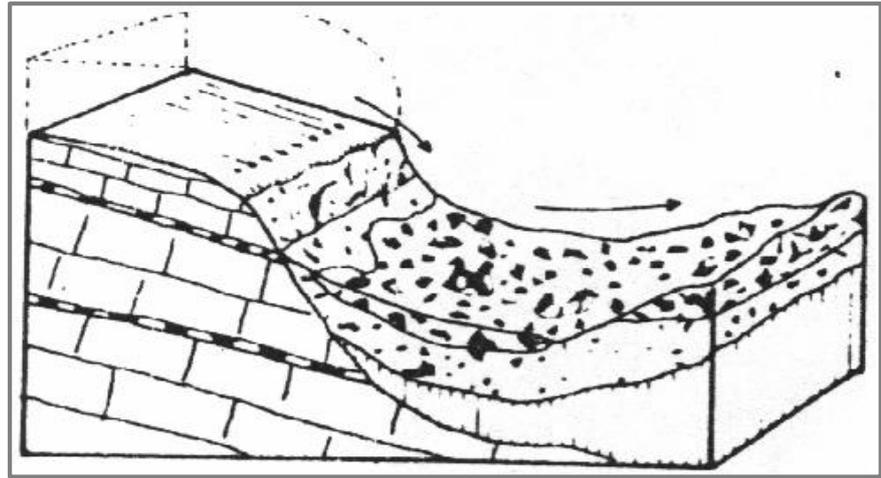


**Figura 02.** Falla de cuña

Fuente: Guillén, 2004 - *Estabilidad de Taludes en los Departamentos de Guatemala y Alta Verapaz, Casos Reales.*

### B.3. Caída de lienzos rocosos

Los planos de deslizamientos están constituidos por uno o varios estratos cuyos buzamientos son ligeramente menor a la pendiente del talud. El agua de lluvia lubrica el contacto. La masa desarrolla grandes niveles de energía y velocidad, fluye como un torrente de derrubios (Guillén, 2004).

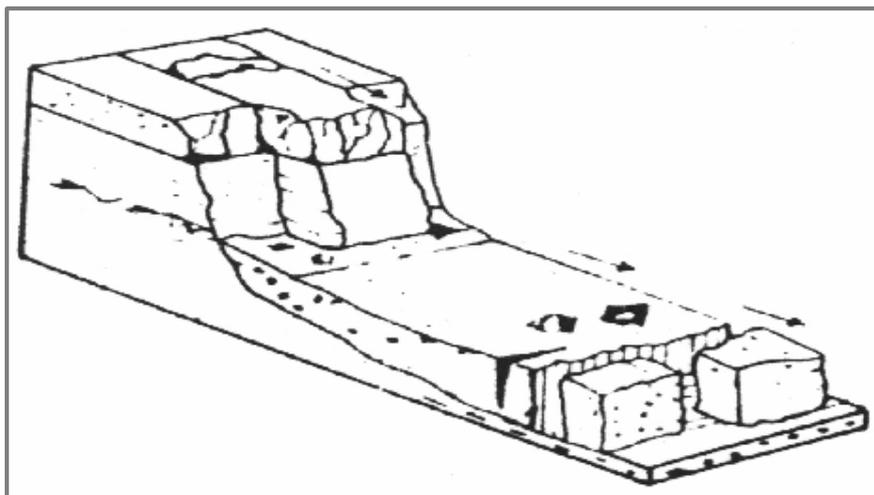


**Figura 03.** Caída de lienzos rocosos

Fuente: Guillén, 2004 - *Estabilidad de Taludes en los Departamentos de Guatemala y Alta Verapaz, Casos Reales.*

### B.4. Deslizamiento de compartimentos

Deslizamiento lento de grandes bloques compactos sin perturbación de la pendiente original sobre planos poco inclinados. Es posible una fragmentación en elementos más pequeños según planos de deslizamientos secundarios. Entre las causas principales esta la absorción de agua proveniente de lluvia, deshielo, derretimiento de nieve, rotura de tuberías, etc. (Guillén, 2004).

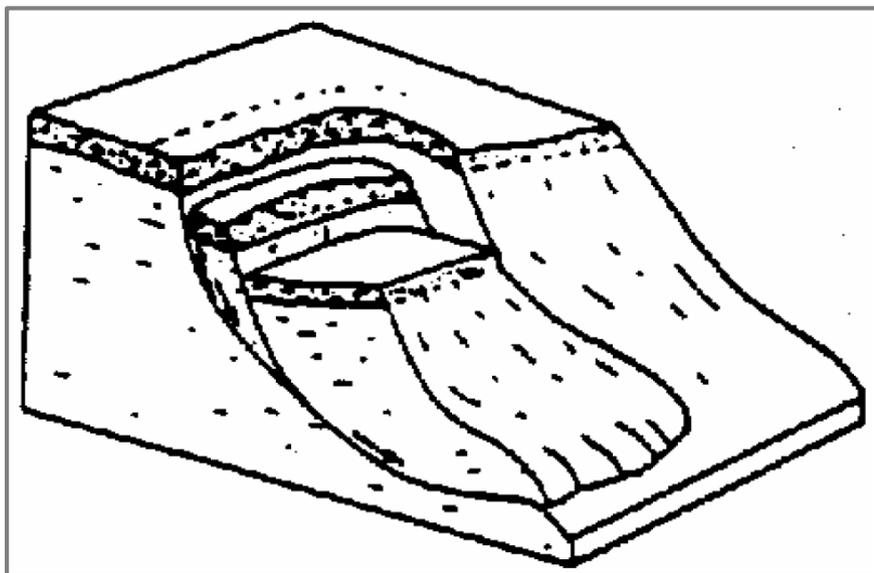


**Figura 04.** Deslizamiento de compartimientos

Fuente: Guillén, 2004 - *Estabilidad de Taludes en los Departamentos de Guatemala y Alta Verapaz, Casos Reales.*

#### **B.5. Deslizamiento rotacional**

La parte superior de la ladera colapsa según una superficie curva con la convexidad hacia adentro. El desequilibrio provocado por el primer deslizamiento origina otros movimientos sucesivos hacia arriba (Guillén, 2004).

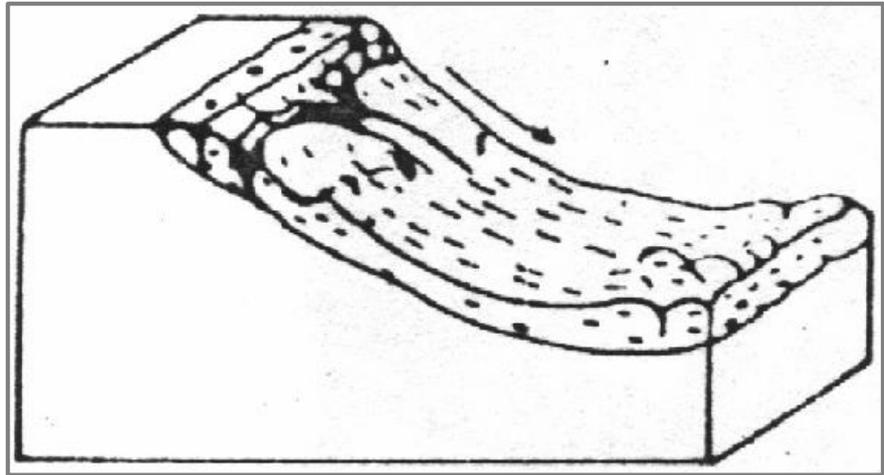


**Figura 05.** Deslizamiento rotacional

Fuente: Guillén, 2004 - *Estabilidad de Taludes en los Departamentos de Guatemala y Alta Verapaz, Casos Reales.*

## B.6. Deslizamiento de derrubio

La masa en movimiento forma un bloque uniforme de grandes dimensiones. El conjunto presenta una superficie de rotura única. Cada roca se desplaza individualmente pero sujetas al movimiento de la masa (Guillén, 2004).



**Figura 06.** Deslizamiento de derrubios

Fuente: *Guillén, 2004 - Estabilidad de Taludes en los Departamentos de Guatemala y Alta Verapaz, Casos Reales.*

## C. Causas de las fallas o deslizamientos

En cualquier terreno que no sea horizontal, existen una serie de fuerzas que tienden a nivelarlo: fuerzas de gravedad, filtración, presión del agua en las diaclasas, etc. Se oponen a ello la resistencia del terreno, raíces y otras. Cuando el primer grupo de fuerzas predomina sobre el segundo, el talud se hace inestable (Guillén, 2004).

### C.1. Desprendimientos

Se producen desprendimientos en los farallones rocosos, en cuya parte superior suelen aparecer diaclasas verticales de tracción producidas por la erosión. La presión del agua en las diaclasas y el efecto de cuña producido por la helada, son causa importante de desprendimientos, como lo demuestra el aumento de estos fenómenos durante los meses de lluvia o deshielo o de helada (Guillén, 2004).

## **C.2. Corrimientos**

Dentro de los corrimientos se distinguen cuatro grupos: deslizamientos, flujos de arcilla, corrimientos provocados por la licuefacción y análogos, y reptación. En zonas donde hay superficies de deslizamiento preexistentes, pequeñas operaciones de construcción pueden desencadenar nuevos movimientos.

## **C.3. Deslizamientos**

En este caso, una masa de suelo desliza con relación a otra, al excederse la resistencia al corte a lo largo de la zona de separación. En ellos la masa inestable se mueve con cierta rapidez, manteniéndose prácticamente como uno o varios bloques, al menos durante la fase inicial del movimiento. Se pueden distinguir tres tipos de deslizamientos según que la forma de dicha superficie sea plana, curva o quebrada, o se trate de cuñas que deslizan (Guillén, 2004).

## **C.4. Deslizamiento plano**

Este tipo de deslizamiento se produce a través de superficies de discontinuidad que salen hacia el exterior del macizo o son paralelas al talud. Las alternativas de arenas y arcillas, frecuentemente en formaciones de los taludes, son con frecuencia inestables; las capas permeables actúan como canales para el agua y las presiones intersticiales dan lugar a deslizamientos a lo largo del lubricado contacto con la arcilla, por tener éstas menor resistencia al corte (Guillén, 2004).

En la parte superior de la superficie de deslizamiento, suelen aparecer grietas de tracción en terrenos cohesivos, tanto más profundas cuanto más rígida sea la parte superior en relación con el terreno inferior. Típicamente pueden oscilar entre 0.5 y 3.5 m. En arcilla, pero en rocas, su profundidad puede ser enorme. La aparición de grietas de tracción es, con frecuencia, un aviso de que va a ocurrir un deslizamiento (Guillén, 2004).

### **C.5. Corrimientos provocados por licuefacción**

Las arenas finas y limos, aluviales o procedentes de cenizas o residuos de mineral, pueden formar depósitos, francamente flojos e inestables, especialmente si están formados por granos redondeados y son uniformes. Si están saturados, cualquier perturbación puede provocar unas presiones intersticiales muy elevadas, ya que por ser poco permeables, puede no dar tiempo a que haya drenaje, y conducir a la licuefacción o anulación de las presiones efectivas (Guillén, 2004).

### **C.6. Reptación**

Se trata de movimientos lentos a veces tanto como 8 mm/año, que no suponen en muchas ocasiones, rotura del terreno. Algunos de estos movimientos son estacionales. Los deslizamientos suelen venir precedidos de movimientos de reptación, tanto más rápidos cuanto más cerca se está de la rotura. Estos movimientos han oscilado entre 2 cm/año y 46 cm/día (Guillén, 2004).

## **D. Modelos de análisis de estabilidad**

### **D.1. 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 sistema 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 (Suarez, 1998).

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 los métodos posee un cierto grado de precisión (Suarez, 1998).

**Tabla 01.** Métodos de análisis de estabilidad de taludes

<b>Método</b>	<b>Superficies de falla</b>	<b>Equilibrio</b>	<b>Características</b>
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	De fuerzas	Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de 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. Factores de seguridad bajos.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momentos	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.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma de superficie de falla.	De fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobredeterminada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección $F_0$ para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.
Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma de superficie de falla.	De fuerzas	Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma de superficie de falla.	De fuerzas	Asume que las fuerzas entre partículas están inclinadas a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.
Spencer (1967)	Cualquier forma de superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.

Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma de superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma de superficie de falla.	Momentos y fuerzas	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 factor de seguridad estático corresponde al caso de cero coeficiente sísmico. Satisface todas las condiciones de equilibrio; sin embargo, la superficie de falla correspondiente es muy diferente a la determinada utilizando otros procedimientos más convencionales.
Elementos finitos	Cualquier forma de superficie de falla.	Analiza esfuerzos y deformaciones.	Satisface todas las condiciones de esfuerzo. Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos, pero no se obtiene un factor de seguridad.
Espiral logarítmica	Espiral logarítmica	Momentos y fuerzas	Existen diferentes métodos con diversas condiciones de equilibrio.

Fuente: Suarez, 1998 - *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*.

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.

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

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

$$F.S. = \frac{\text{Momento resistente}}{\text{Momento actuante}}$$

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 (Tabla 01).

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 (Suarez, 1998).

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 (Suarez, 1998).

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

## D.2. Métodos de análisis

### D.2.1. Método de Morgenstern-Price

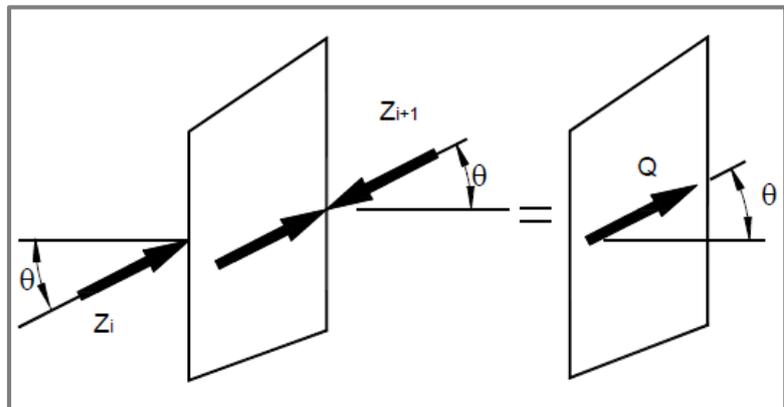
El método de Morgenstern-Price (1965) asume que existe una función que relaciona las fuerzas de cortante y las fuerzas normales entre dovelas (Suarez, 2009).

Esta función puede considerarse constante, como en el caso del método de Spencer, o puede considerarse otro tipo de función. La posibilidad de suponer una determinada función para determinar los valores de las fuerzas entre dovelas, lo hace un método más riguroso que el de Spencer. Sin embargo, esta suposición de funciones diferentes tiene muy poco efecto sobre el cálculo de factor de seguridad cuando se satisface el equilibrio estático y hay muy poca diferencia entre los resultados del método de Spencer y el de Morgenstern-Price. El método de Morgenstern-Price, al igual que el de Spencer, es un método muy preciso,

prácticamente aplicable a todas las geometrías y perfiles de suelo (Suarez, 2009).

### D.2.2. Método de Spencer

El método de Spencer es un método que satisface totalmente el equilibrio tanto de momentos como de esfuerzos. El procedimiento de Spencer (1967) se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son paralelas las unas con las otras, o sea, que tienen el mismo ángulo de inclinación (Figura 08) (Suarez, 2009).



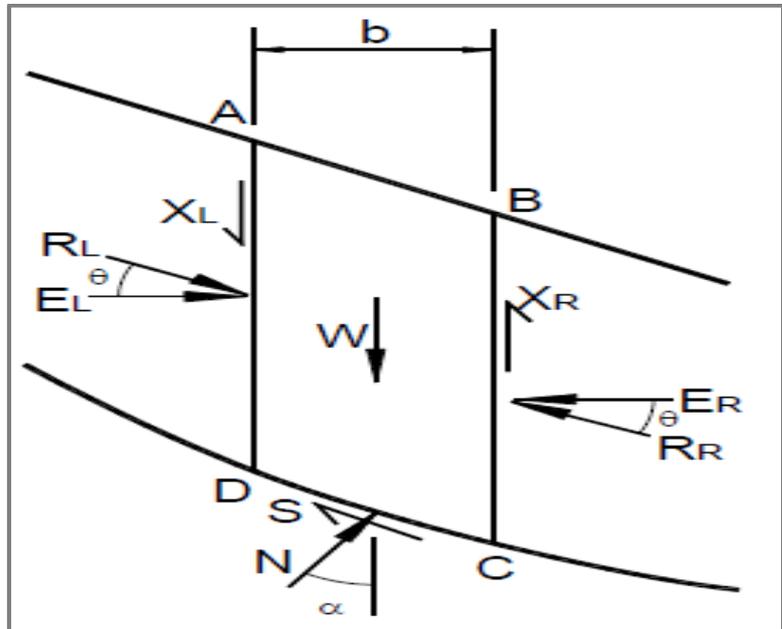
**Figura 07:** Paralelismo de las fuerzas entre dovelas en el método de Spencer.

Fuente: Suarez, 2009 - *Deslizamientos: Análisis geotécnico*.

La inclinación específica de estas fuerzas entre partículas, es desconocida y se calcula como una de las incógnitas en la solución de las ecuaciones de equilibrio. Spencer inicialmente propuso su método para superficies circulares pero este procedimiento se puede extender fácilmente a superficies no circulares (Suarez, 2009).

Así mismo, Suarez (1998) expresa que Spencer plantea dos ecuaciones una de equilibrio de fuerzas y otra de equilibrio de momentos, las cuales se resuelven para calcular los factores de seguridad  $F$  y los ángulos de inclinación de las

fuerzas entre dovelas  $\theta$  (Figura 09). Para resolver las ecuaciones  $F$  y  $\theta$ , se utiliza un sistema de ensayo y error donde se asumen los valores de estos factores (en forma repetitiva) hasta que se alcanza un nivel aceptable de error.



**Figura 08:** Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer.

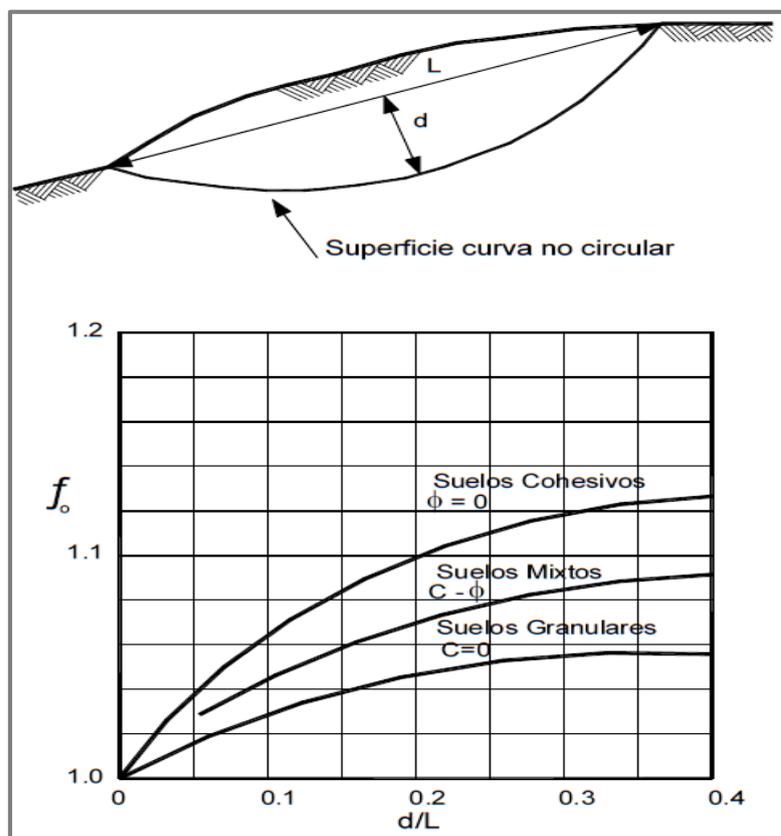
Fuente: Suarez, 2009 - *Deslizamientos: Análisis geotécnico*.

Según (Duncan y Wright, 2005): Una vez se obtienen los valores de  $F$  y  $\theta$  se calculan las demás fuerzas sobre las dovelas individuales. El método de Spencer se considera muy preciso y aplicable para casi todo tipo de geometría de talud y perfiles de suelo y es tal vez, el procedimiento de equilibrio más completo y más sencillo para el cálculo del factor de seguridad (Suarez, 2009).

### D.2.3. Método de Janbú

El método simplificado de Janbú se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son horizontales y no tienen en cuenta las fuerzas de cortante (Suarez, 2009).

Janbú considera que las superficies de falla no necesariamente son circulares y establece un factor de corrección  $f_o$ . El factor  $f_o$  depende de la curvatura de la superficie de falla (Figura 09). Estos factores de corrección son solamente aproximados y se basan en análisis de 30 a 40 casos. En algunos casos, la suposición de  $f_o$  puede ser una fuente de inexactitud en el cálculo del factor de seguridad (Suarez, 2009).



**Figura 09:** Diagrama para determinar el factor  $f_o$  para el método de Janbú.

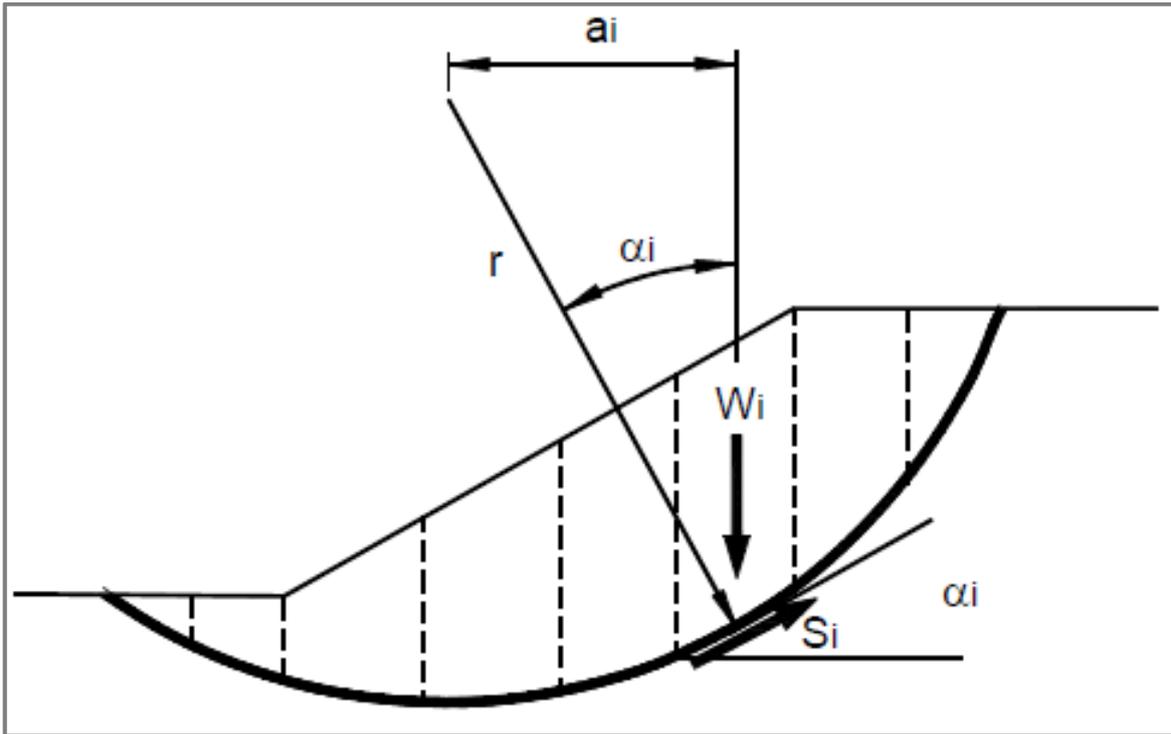
Fuente: Suarez, 2009 - *Deslizamientos: Análisis geotécnico*.

El método de Janbú solamente satisface el equilibrio de esfuerzos y no satisface el equilibrio de momentos. De acuerdo con Janbú (ecuación modificada):

$$F.S. = \frac{f_0 \sum \left\{ [c'b + (W - ub) \cdot \tan \phi] \frac{1}{\cos \alpha \cdot ma} \right\}}{\sum (W \cdot \tan \alpha)}$$

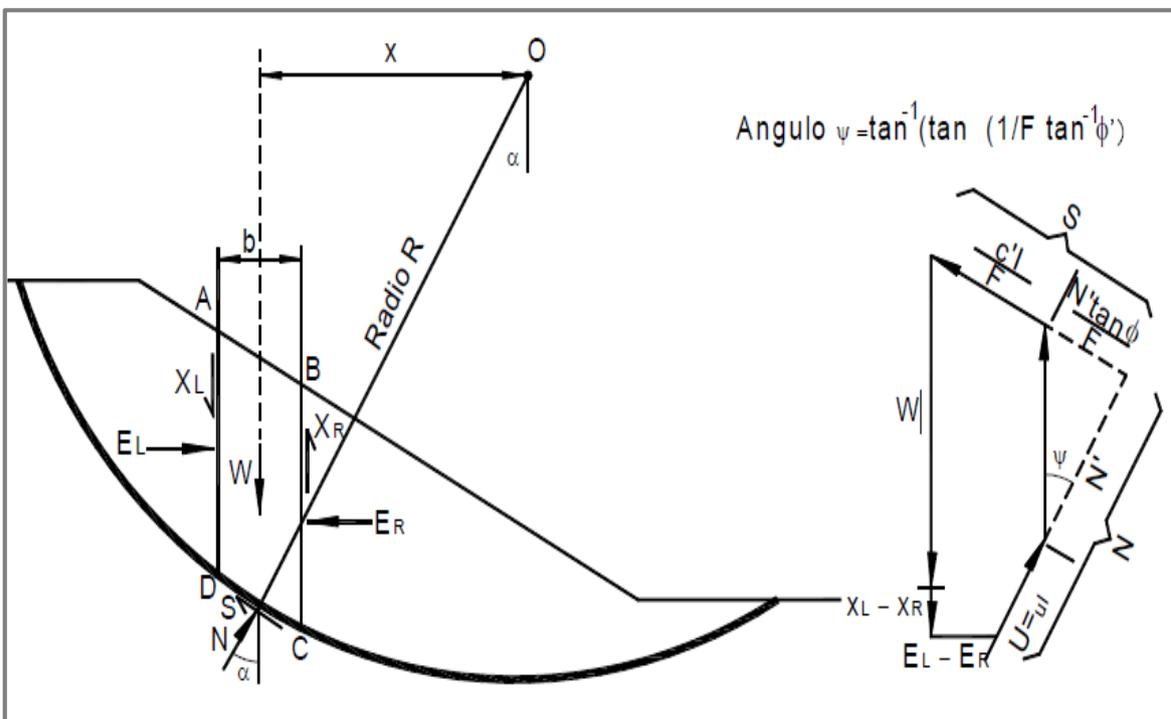
#### **D.2.4. Método Ordinario o de Fellenius**

El método de Fellenius es conocido también como método Ordinario, método sueco, método de las Dovelas o método U.S.B.R. Este método asume superficies de falla circulares, divide el área de falla en tajadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de los momentos con respecto al centro del círculo (producidos por estas fuerzas) se obtiene el Factor de Seguridad (Suarez, 2009).



**Figura 10:** Esquema de un sistema típico de análisis con tajadas o dovelas

Fuente: Suarez, 2009 - *Deslizamientos: Análisis geotécnico*.

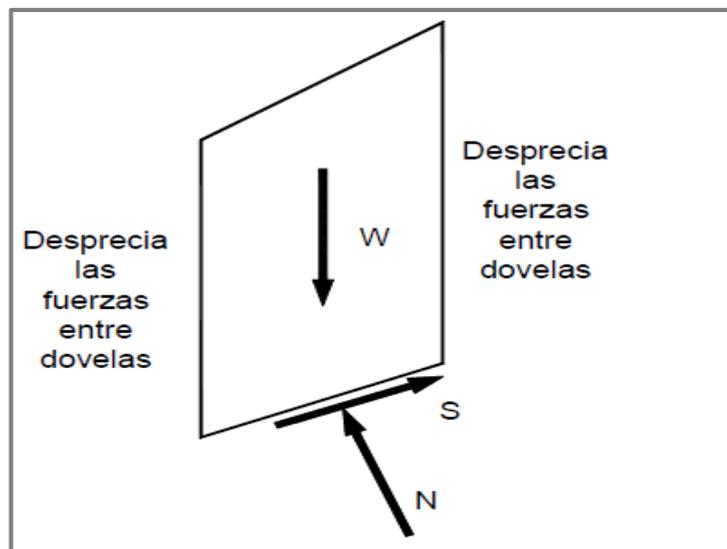


**Figura 11.** Fuerzas que actúan sobre una dovela en un análisis de estabilidad del arco circular con dovelas.

Fuente: Suarez, 2009 - *Deslizamientos: Análisis geotécnico*.

Las fuerzas que actúan sobre una dovela son (Figura 11):

- El peso o fuerza de gravedad, la cual se puede descomponer en una tangente y una normal a la superficie de falla.
- Las fuerzas resistentes de cohesión y fricción que actúan en forma tangente a la superficie de falla.
- Las fuerzas de presión de tierra y cortante en las paredes entre dovelas, no son consideradas por Fellenius.



**Figura 12:** Fuerzas que actúan sobre una dovela en el método ordinario o de Fellenius

Fuente: *Suarez, 2009 - Deslizamientos: Análisis geotécnico.*

Al realizar la sumatoria de momentos con respecto al centro del círculo, se obtiene la siguiente expresión:

$$FS = \frac{\sum [C' \Delta l + (W \cdot \cos \alpha - u \cdot \Delta l \cdot \cos^2 \alpha) \cdot \text{Tan} \phi']}{\sum W \cdot \text{sen} \alpha}$$

Dónde:

$\alpha$  = Angulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada.

W = Peso total de cada tajada.

$$u = \text{Presión de poros} = \gamma_w \cdot h_w$$

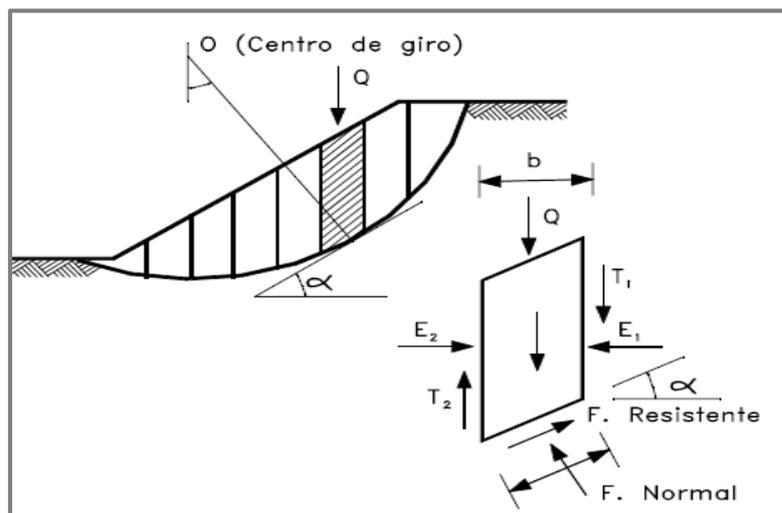
$\Delta l$  = Longitud del arco de círculo en la base de la tajada.

$C'$ ,  $\phi'$  = Parámetros de resistencia del suelo.

La ecuación anterior se conoce como ecuación de Fellenius.

El método ordinario o de Fellenius solamente satisface los equilibrios de momentos y no satisface el equilibrio de fuerzas. Para el caso de  $\phi = 0$ , el método ordinario da el mismo valor del factor de seguridad que el método del arco circular (Suarez, 2009).

Así mismo, Suarez (2009) dice que los análisis del método de Fellenius son muy sencillos y se pueden realizar con métodos manuales o en el computador. Debe tenerse en cuenta que el método ordinario es menos preciso que otros procedimientos y la precisión disminuye a medida que la presión de poros se hace mayor, por tal motivo algunos autores recomiendan que este método no se utilice para diseño, sino solamente como una base de referencia.

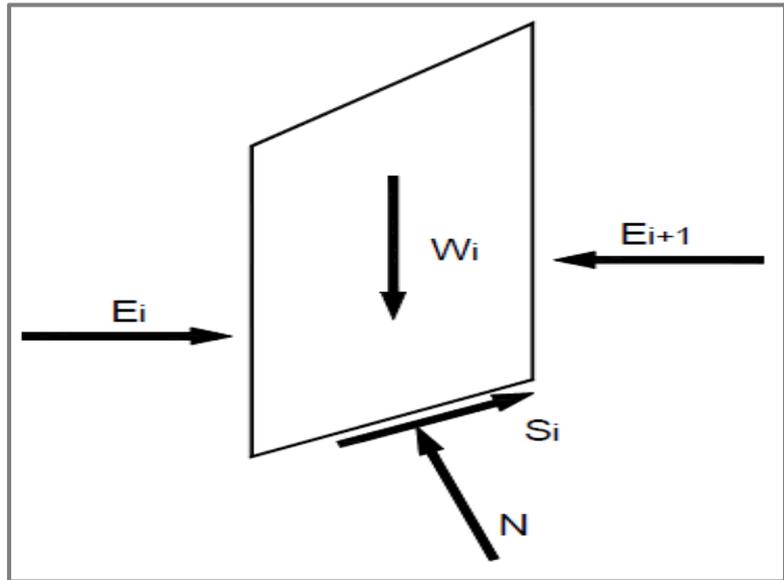


**Figura 13.** Fuerzas que actúan sobre una dovela en los métodos de dovelas.

Fuente: Suarez, 2009 - *Deslizamientos: Análisis geotécnico*.

### D.2.5. Método de Bishop

Bishop (1955) presentó un método utilizando dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las dovelas. Bishop asume que las fuerzas entre dovelas son horizontales (Figura 14); es decir, que no tiene en cuenta las fuerzas de cortante (Suarez, 2009).



**Figura 14.** Esquema de fuerzas sobre una dovela en el método de Bishop simplificado.

Fuente: Suarez, 2009 - *Deslizamientos: Análisis geotécnico*.

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

$$F.S. = \frac{\sum \left[ \frac{C' \Delta l \cos \alpha + (W' u \Delta l \cdot \cos \alpha) \cdot \tan \phi'}{\cos \alpha + (\sin \alpha \cdot \tan \phi') / FS} \right]}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

Dónde:

$$ma = \cos \alpha \left( 1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \phi'}{FS} \right)$$

$\Delta l$  = Longitud de arco de la base de la dovela.

$W$  = Peso de cada dovela.

$C, \phi$  = Parámetros de resistencia del suelo.

$u$  = Presión de poros en la base de cada dovela =  $\gamma_w \times h_w$

$\alpha$  = Angulo del radio y la vertical en cada dovela.

Como se puede observar en la ecuación, el término factor de seguridad FS se encuentra tanto en la izquierda como en la derecha de la ecuación; se requiere un proceso de interacción para calcular el factor de seguridad.

El método simplificado de Bishop es uno de los métodos más utilizados actualmente para el cálculo de factores de seguridad de los taludes. Aunque el método sólo satisface el equilibrio de momentos, se considera que los resultados son muy precisos en comparación con el método ordinario (Suarez, 2009).

Aunque existen métodos de mayor precisión que el método de Bishop, las diferencias de los factores de seguridad calculados, no son grandes. La principal restricción del método de Bishop simplificado, es que solamente considera las superficies circulares (Suarez, 2009).

#### **D.2.6. Método del Cuerpo de Ingenieros (Sueco Modificado)**

En el método del Cuerpo de Ingenieros (1970) la inclinación de las fuerzas entre dovelas, es seleccionada por el analista y tiene el mismo valor para todas las dovelas. El Cuerpo de Ingenieros recomienda que la inclinación debe ser igual al promedio de la pendiente del talud. Este método satisface equilibrio de fuerzas pero no satisface el equilibrio de momentos (Suarez, 2009).

### **D.2.7. Método de Lowe y Karafiath**

El método de Lowe y Karafiath (1960) es prácticamente idéntico al del Cuerpo de Ingenieros, con la excepción que que la dirección de las fuerzas entre partículas, varía de borde a borde en cada dovela. Su resultado es menos preciso que los que satisfacen el equilibrio completo y al igual que el método del Cuerpo de Ingenieros, es muy sensitivo a la inclinación supuesta de las fuerzas entre partículas. Si se varía el ángulo de estas fuerzas, se varía substancialmente el factor de seguridad (Suarez, 2009).

### **D.2.8. Método de Sarma**

El método de Sarma (1973) es muy diferente a todos los métodos descritos anteriormente porque éste considera que el coeficiente sísmico y el factor de seguridad son desconocidos. Se asume entonces, un factor de seguridad y se encuentra cuál es el coeficiente sísmico requerido para producir éste. Generalmente, se asume que el factor de seguridad es 1.0 y se calcula el coeficiente sísmico requerido para que se obtenga este factor de seguridad. En el método de Sarma, la fuerza cortante entre tajadas es una relación con la resistencia al cortante. El procedimiento de Sarma fue desarrollado para análisis sísmicos de estabilidad y tiene algunas ventajas sobre otros métodos para este caso (Suarez, 2009).

### **D.2.9. Comparación de los métodos de equilibrio analizados**

Los métodos más utilizados por los ingenieros civiles de todo el mundo, son: el simplificado de Bishop, Spencer y Morgenstern-Price, siendo éste último el más preciso. Cada método da valores diferentes en el factor de seguridad (Salamanca, 2016).

Aunque una comparación directa entre los diversos métodos no es siempre posible, los factores de seguridad determinados por el método de Bishop difieren aproximadamente un 5% con respecto a soluciones más precisas. El método simplificado de Janbú generalmente subestima el factor de seguridad hasta valores del 30% y en algunos casos los sobreestima hasta valores del 5%. Esto se debe a que es muy sensible a la proporción entre las fuerzas en las caras laterales. El método de Fellenius, aunque es más sencillo que otros, proporciona errores de hasta el 40% por lo que está en desuso actualmente (Salamanca, 2016).

Los métodos que satisfacen el equilibrio en forma más completa son más complejos y requieren de un mejor nivel de comprensión del sistema de análisis.

Por las razones anteriormente expuestas, se prefieren los métodos más sencillos y fáciles de manejar como es el método simplificado de Bishop. Todos los métodos que satisfacen el equilibrio completo, dan valores similares del factor de seguridad. El método de Spencer es más simple que el de Morgenstern-Price. El método de Morgenstern-Price tienen en cuenta todas las ecuaciones de equilibrio estático como suma de momentos y suma de fuerzas horizontal y vertical (Salamanca, 2016).

**Tabla 02.** Resumen comparativo de los métodos de equilibrio límite.

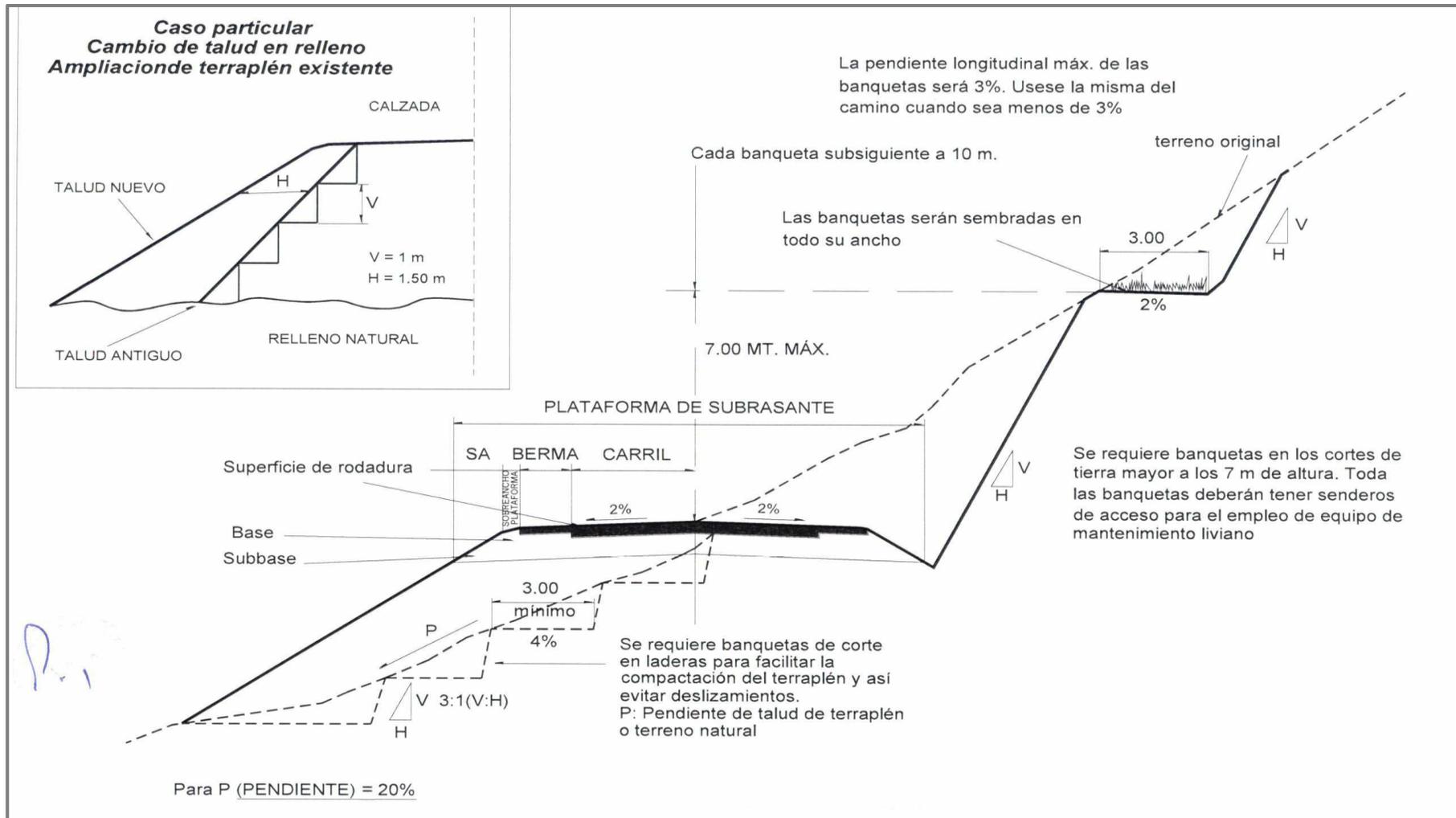
MÉTODOS	DIFICULTAD	PRECISIÓN	USO
Fellenius	Normal	Baja	En desuso
Janbú	Normal	Baja	En desuso
Bishop	Normal	Aceptable	Extendido
Spencer	Alta	Buena	Extendido
Morgenstern-Price	Alta	Muy buena	Extendido

Fuente: *Salamanca, 2016 - Estudio de la estabilidad de muros ecológicos con geotextiles mediante métodos tenso-deformacionales. Técnica de diseño y predicción de fallos.*

### **D.3. CORTES EN TALUD SEGÚN TIPO DE SUELO**

Los taludes para las secciones en corte, variarán de acuerdo a las características geomecánicas del terreno; su altura, inclinación y otros detalles de diseño o tratamiento, se determinarán en función al estudio de mecánica de suelos o geológicos correspondientes, condiciones de drenaje superficial y subterráneo, según sea el caso, con la finalidad de determinar las condiciones de su estabilidad, aspecto que debe contemplarse en forma prioritaria durante el diseño del proyecto, especialmente en las zonas que presentan fallas geológicas o materiales inestables, para optar por la solución más conveniente, entre diversas alternativas (MTC, 2013).

La Figura 15 ilustra una sección transversal típica en tangente a media ladera, que permite observar hacia el lado derecho, el talud de corte y hacia el lado izquierdo, el talud del terraplén.



**Figura 15.** Sección transversal típica en tangente.

Fuente: *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (DG-2014).*

La Tabla 03, muestra valores referenciales de taludes en zonas de corte.

**Tabla 03.** Valores referenciales para taludes en corte (relación H:V)

Clasificación de materiales de corte		Roca fija	Roca suelta	Material		
				Grava	Limo arcillosos o arcilla	Arenas
Altura de corte	<5 m	1:10	1:6-1:4	1:1 - 1:3	1:1	2:1
	5-10 m	1:10	1:4-1:2	1:1	1:1	*
	>10 m	1:8	1:2	*	*	*
(*) Requerimiento de banquetas y/o estudio de estabilidad.						

Fuente: *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (DG-2014)*.

## E. Análisis de estabilidad de taludes

### E.1. Tipos de fallas de taludes

#### E.1.1. Deslizamientos

Los deslizamientos se definen como el movimiento lento o rápido del material superficial de la corteza terrestre (suelo, arena, roca) pendiente abajo, debido a un aumento de peso, pérdida de la consistencia de los materiales o algún otro factor que genere un desequilibrio en el talud (Pacheco, 2006).

#### E.1.2. Desprendimientos

Los desprendimientos son fragmentos de roca o suelo que se separan de un talud y caen saltando por el aire en buena parte de su recorrido (Pacheco, 2006).

### E.2. Factores que influyen en la estabilidad de taludes

Los derrumbes y deslizamientos de taludes ocurren de muchas maneras y aún persiste cierto grado de incertidumbre en su predictibilidad, rapidez de ocurrencia y área afectada. Sin embargo, existen ciertos factores que nos ayudan a identificar y reconocer áreas potenciales de fallas, lo cual permite el tratamiento del talud

para eliminar o reducir a un mínimo el riesgo de falla (Pacheco, 2006).

### **E.2.1. Condiciones climáticas**

El clima, de acuerdo con las características que presenta, puede favorecer la inestabilidad del subsuelo al aportar una suficiente cantidad de agua. Ello debido a la presión que ejerce el líquido en los poros y fisuras del suelo. Así mismo, las lluvias y la formación de corrientes de agua por la superficie (escorrentía superficial) favorecen los procesos de erosión (Pacheco, 2006).

Así mismo, Pacheco (2006) expresa que la pluviosidad tiene un efecto primordial en la estabilidad de los taludes ya que influye en la forma, incidencia y magnitud de los deslizamientos. En suelos residuales, generalmente no saturados, el efecto acumulativo del agua puede llegar a saturar el terreno y activar un deslizamiento. Es por este motivo que se deben diseñar sistemas de drenaje acordes a las características del talud.

### **E.2.2. Topografía**

Los taludes con pendientes fuertes y desprovistos de vegetación son los que, con más facilidad, sufren deslizamientos (Pacheco, 2006).

### **E.2.3. Geología**

Aporta un número de parámetros importantes para comprender la inestabilidad de las laderas.

#### ***a. Litología***

Los tipos de rocas y la calidad de los suelos determinan en muchos casos la facilidad con que la superficie se degrada por la acción de los factores externos (intemperismo).

### ***b. Estructuras***

Determinan zonas de debilidad (fallas, diaclasas y plegamientos), y la colocación de los materiales en posición favorable a la inestabilidad (estratos).

### ***c. Sismicidad***

Las vibraciones provocadas por sismos pueden ser lo suficientemente fuertes como para generar deslizamientos de diversa magnitud, afectando extensas áreas.

## **E.2.4. Erosión**

La erosión puede ser causada por agentes naturales y humanos. Entre los agentes naturales se pueden incluir el agua de escorrentía, aguas subterráneas, olas, corrientes y viento. La erosión por agentes humanos incluye cualquier actividad que permite un incremento de la velocidad del agua, especialmente en taludes sin protección, como la tala de árboles u otro tipo de vegetación que ayuda a fijar el suelo y mejorar la estabilidad del talud (Pacheco, 2006).

Esto sucede, cuando la actividad humana se realiza sin una adecuada planificación, especialmente en obras viales (carreteras y puentes) explotación de tajos, desarrollos urbanísticos, rellenos mal hechos, corte en el perfil natural de laderas, deforestación, prácticas agrícolas deficientes en la conservación de suelos, entre otros. Todo esto promueve procesos de inestabilidad en suelos que en cierta medida son naturalmente vulnerables a esta clase de fenómenos y que tienen graves consecuencias en el futuro (Pacheco, 2006).

## **F. Sistemas de protección y refuerzo frente a inestabilidades superficiales de taludes en suelos**

Los métodos empleados para la corrección de posibles inestabilidades de taludes son: los métodos de protección y los de estabilización o refuerzo.

La principal diferencia entre ambos se centra en que los primeros tratan de evitar que se desarrollen posibles fenómenos de alteración de la zona superficial del talud, lo que puede dar lugar a inestabilidades; mientras que los métodos de refuerzo y estabilización se caracterizan por actuar de forma activa en el caso de que se produzcan dichos fenómenos. En la tabla 04 se sintetiza los sistemas más empleados hasta nuestros días dentro de los dos grupos mencionados (Revelo, 2008).

**Tabla 04.** Sistemas de protección y refuerzo de taludes

<b>Sistemas de protección y refuerzo</b>	<b>Condición</b>	<b>Material empleado</b>	<b>Efecto en el talud</b>
Vegetación	Superficie desprotegida	Hierba, arbustos	Atenuación del viento y las lluvias
Mallas metálicas ancladas	Coluvión y rocas fracturadas	Mallas metálicas ancladas	Estabilización y refuerzo superficial
Hormigón proyectado	Suelos inestables	Hormigón y mallas metálicas	Estabilización
Geotextil	Superficie desprotegida	Malla de prolipropileno	Atenuación del viento y las lluvias
Malla de contención sobre vegetación	Suelos inestables	Geomallas y hierba	Estabilización y refuerzo

Fuente: *Revelo, 2008 - Modelo para la estabilización de taludes en las carreteras del subtrópico del nor occidente del ecuador a fin de evitar accidentes de tránsito y disminuir los costos de operación vehicular.*

## **G. Geosintéticos**

### **G.1. Mantos para control de erosión**

Son esterillas flexibles, compuestas por fibras o por una matriz tridimensional, que garantizan la protección del suelo, el refuerzo y el buen establecimiento de la vegetación (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

➤ **Clasificación:** Estos mantos se dividen en dos grandes grupos:

**a. Temporales:** Este tipo de mantos se utilizan para aplicaciones donde la vegetación natural (por sí sola) provee suficiente protección contra la erosión. Su durabilidad o longevidad funcional comprende entre 1 a 48 meses, la cual se refleja en la biodegradación o fotodegradación del manto. Al final de la vida útil del manto se espera que la vegetación se encuentre totalmente establecida y pueda resistir por sí sola los eventos hidrológicos y climáticos que generan erosión en el suelo (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

**b. Permanentes:** Son mantos conformados por fibras sintéticas no degradables, filamentos o mallas procesadas a través de una matriz tridimensional, con estabilización UV y resistentes a los químicos que habitan en el ambiente natural del suelo. Este tipo de mantos se instalan donde la vegetación natural, por sí sola, no es suficiente para resistir las condiciones de flujo y no provee la protección suficiente para la erosión a largo plazo. Los mantos que se emplean para estos casos tienen las propiedades necesarias para proteger la vegetación y reforzar el suelo, bajo las condiciones naturales del sitio. Su durabilidad o longevidad funcional va desde los 48 meses hasta los 50 años, aproximadamente. Su forma 3D y su fibra única X3 crea una matriz gruesa de vacíos que atrapan la semilla, el suelo y el agua para un crecimiento más rápido y más denso de la vegetación, proporcionando un esfuerzo adicional que dobla la capacidad natural (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

➤ **Funciones y aplicaciones**

Las principales aplicaciones para los diferentes tipos de mantos son:

- *Protección de Taludes.*- El uso de mantos en taludes genera una protección y un refuerzo adecuado del suelo, dependiendo de las características geométricas de los taludes a proteger, generando un buen establecimiento de la vegetación (Geosistemas Pavco S.A., 2009).
- *Revestimiento de Canales.*- En lugares donde se esperan altas velocidades de agua y esfuerzos cortantes, el uso de mantos permanentes genera un sistema de revestimiento hidráulico funcional, ambientalmente superior, debido a que retiene sedimentos, permite la recarga de acuíferos y disminuye la escorrentía (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

➤ **Ventajas del uso de mantos de control de erosión**

- La instalación es sencilla.
- Es una solución a bajo costo.
- Se logra una gran mejora estética visual.
- Protegen al suelo del impacto de las gotas de lluvia.
- Disminuyen la velocidad de la escorrentía del agua.
- Aumentan la infiltración en los huecos originados por las raíces.

➤ **Tipos**

- *Biomantos:* Mantos que contienen fibras cortas o largas de coco, paja, fique y cualquier otra fibra natural contenida entre una o dos redes sintéticas y que son empleadas para el control de erosión superficial en taludes. Diseñado para mantener y proteger las semillas y el suelo orgánico de eventos como la lluvia y favorecer el proceso inicial y el desarrollo de la revegetación en áreas intervenidas por acción de obras de infraestructura (Cidelsa, 2017).
- *Geomantos:* Es un manto permanente a largo plazo, que permite el establecimiento de la vegetación inmediatamente instalado, proporcionando un soporte y

protección a las semillas y una vez desarrollada la vegetación se integra con ella para formar un amarre entre las raíces y el suelo (Cidelsa, 2017).

Son usados para altos requerimientos en pendientes pronunciadas  $> 45^\circ$  o flujos mayores a 3m/s en canales.

Están fabricados con fibras de Polipropileno, Polietileno, Poliéster o Nylon estabilizado.

➤ **Propiedades**

**a. Biomanto de Fibra de Coco:** Tiene un promedio de vida útil de 3 años antes de su degradación, se recomienda para taludes hasta 1:1.

**Tabla 05.** Especificaciones técnicas del biomanto de fibra de coco.

DESCRIPCIÓN				
Aplicación y Condiciones	- Erosión de regueros moderada ( $V < 0.8\text{m/s}$ )			
	- Erosión laminar alta			
	- Cunetas y cárcavas			
	- Naturación de cubiertas y tejados			
- Taludes 2:1 y 1:1 con pendiente hasta 40 metros.				
Composición	<b>Natural:</b> 100% coco (Densidad: $400\text{ g/m}^2$ ) <b>Sintético:</b> polipropileno (Densidad: $17.97\text{ g/m}^2$ )			
Presentación	En Rollos	<b>Longitud:</b> 50 m <b>Ancho:</b> 2.40 m <b>Diámetro:</b> 0.35 m (aprox.)		
Estructura	<b>Hilo:</b> Polipropileno (PP) 1000 den Tratamiento UV	<b>Peso:</b> $3,33\text{ g/m}^2$ <b>Color:</b> Marrón <b>Tenacidad:</b> 4,12 g/den		
	Mallas en ambos lados: Polipropileno (PP) Tratamiento UV	<b>Malla inferior:</b> Polipropileno Marrón & Tratamiento UV <b>Peso:</b> $7.32\text{ g/m}^2$ <b>Tamaño de la cuadrícula:</b> 14.94 mm x 12.70 mm <b>Tracción longitudinal:</b> 0.87 KN/m <b>Tracción transversal:</b> 0.85 KN/m		
		<b>Malla superior:</b> Polipropileno Marrón & Tratamiento UV <b>Peso:</b> $7.32\text{ g/m}^2$ <b>Tamaño de la cuadrícula:</b> 14.94 mm x 12.70 mm <b>Tracción longitudinal:</b> 0.87 KN/m		
		<b>Tracción transversal:</b> 0.85 KN/m		
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PRODUCTO				
SENTIDO	RESISTENCIA MEDIA (KN/m)	C.V. (%)	DEFORMACIÓN MEDIA A LA CARGA MÁXIMA (%)	C.V. (%)
Longitudinal	3.63	10.10	24.98	4.20
Transversal	1.81	6.30	29.38	9.40
SENTIDO	PORCENTAJES	MODULO SECANTE MEDIO (KM/m)	C.V. (%)	
Longitudinal	2%	11.75	17.40	
	5%	13.20	25.20	
	10%	15.75	22.80	
Transversal	2%	12.00	7.20	
	5%	10.10	4.90	
	10%	9.05	3.90	
SENTIDO		RAZÓN DE LA DEFORMACIÓN (%/min.)		
Longitudinal		17		
Transversal		18		
Costes	<b>Rendimientos:</b> similares para otros productos en igual aplicación: <b>Taludes:</b> 800-1200 $\text{m}^2/\text{día}$ en 32 h de operario. <b>Carcavas:</b> 500-1000 $\text{m}^2/\text{día}$ en 32 h de operario.			

Fuente: Cidelsa, 2017 - Guía de instalación geomanto de control de erosión.

**b. Geomantos TRM 3ra Generación:** Geomanto TRM 15 Permanente de PET, confiere un sistema de fibras densas en sentido longitudinal y multifibras en el transversal formando una matriz tridimensional, con la finalidad de proporcionar un sistema inmediato de control de erosión, servir de soporte en el establecimiento y crecimiento de la Vegetación, es un Geomanto muy resistente a las tensiones, la configuración de su distribución permite el paso de la luz para una rápida germinación, con alta resistencia a la degradación, química y ultravioleta, y elongación suficiente para limitar su extensión en condiciones saturadas. No contiene componentes Biodegradables.

Además combinan las propiedades mecánicas de las geomallas con una cubierta verde lo suficientemente resistente al intemperismo (promedio de vida útil de 8 años) antes de iniciar su proceso de degradación, se utilizan para taludes > 1:1.

Resistencias a la Tensión última de 15KN x 50KN y de 50KN x 50KN (dirección longitudinal y transversal respectivamente).

El factor de reducción x polimero (PET) por durabilidad (ataques químicos y bacteriológicos) 1.15 y por Creep 1.50.

**Tabla 06.** Especificaciones técnicas del geomanto TRM 15

PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD DE MEDIDA	VALORES
<b>FÍSICAS</b>			
Color		Verde	
Penetración de la Luz (% traspasa)	ASTM D-6567	%	38.9
Espesor	ASTM D-6525	mm	>7.5
Masa por unidad de área	ASTM D-6566	g/m <sup>2</sup>	350
<b>MECÁNICAS</b>			
Resistencia a la tensión (MD)	ASTM D-6818	kN/m	9.9
Resistencia a la tensión (XMD)	ASTM D-6818	kN/m	50
Elongación	ASTM D-6818	%	17.8
Resiliencia	ASTM D-6824	%	69
<b>DURABILIDAD</b>			
Resistencia UV % Retenido 500 hrs	ASTM D-4355	%	80
<b>PRESENTACIÓN</b>			
Rollos:Ancho x Largo	m	2.55	50.0
Área:	m <sup>2</sup>	127.5	
<b>NOTAS:</b>			
1. La velocidad máxima permitida y tensión de cizallamiento se ha obtenido a través de los programas de prueba de vegetación que consiste en determinados tipos de suelo, clases de vegetación, condiciones de flujo y criterio de falla. Estas condiciones puedan no ser aplicables a todos los proyectos ni replicados por otros fabricantes.			
2. Calculado como valores típicos de los programas de prueba a gran escala de los canales flexibles de revestimiento con una profundidad de flujo de 15cm a 30cm.			

Fuente: *Cidelsa, 2017 - Guía de instalación geomanto de control de erosión.*

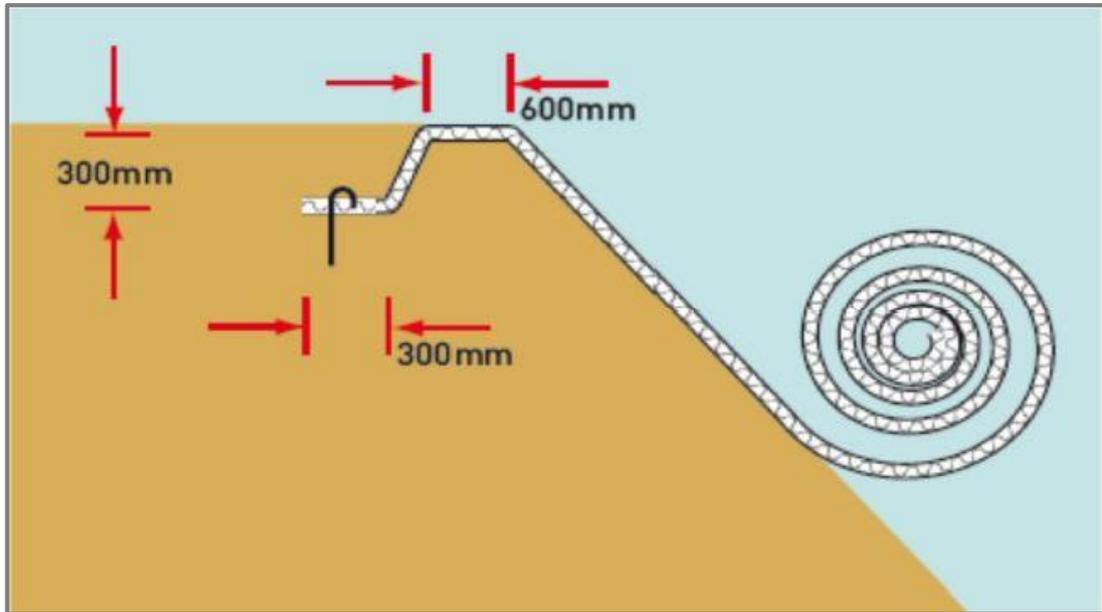
➤ **Guía de instalación geomanto de control de erosión**

a. Preparar la tierra según la pendiente o rastrillar el área para que no tenga terrones o piedras grandes. No compactar. Si se va a utilizar un fertilizante, agregarlo a la tierra antes de preparar la pendiente. (Cidelsa, 2017)

b. La Siembra manual o la Hidrosiembra deberán distribuirse de manera pareja sobre la tierra preparada.

c. Se debe instalar el Geomanto de Control de Erosión desenrollando hacia abajo por la pendiente o en la dirección del flujo del agua. Coloque siempre el Geomanto de

Control de Erosión hacia abajo hasta el nivel del área antes de su terminación, doble 15cm hacia dentro y asegúrela con grapas.

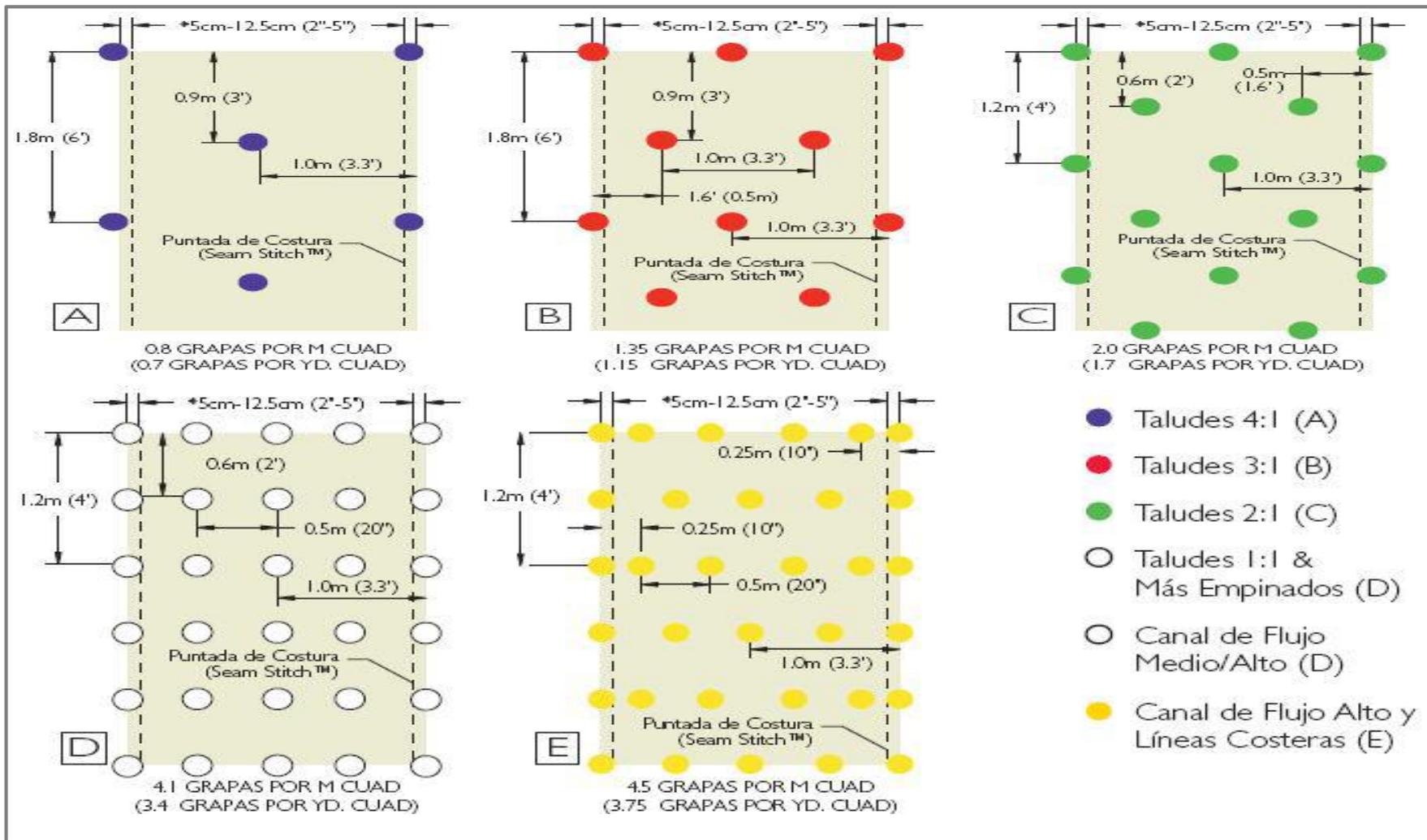


**Figura 16.** Instalación del geomanto de control de erosión.

Fuente: Cidelsa, 2017 – *Guía de instalación geomanto de control de erosión.*

d. Asegurar el Geomanto de Control de Erosión en la parte de arriba de la pendiente enterrándolo en una zanja de 30cm x 30cm a una distancia mínima del borde de 60cm. Volver a reforzarla con una hilera de por lo menos cinco (5) grapas, a 30 cm de distancia entre ellas y cubrirlas con tierra.

e. *Fijación del manto en el talud:* Fijación sólida del Geomanto o la densidad de las grapas irá en función de la pendiente del talud y la profundidad en función de la dureza del terreno. Se seguirá el siguiente patrón:



**Figura 17.** Densidades de grapas

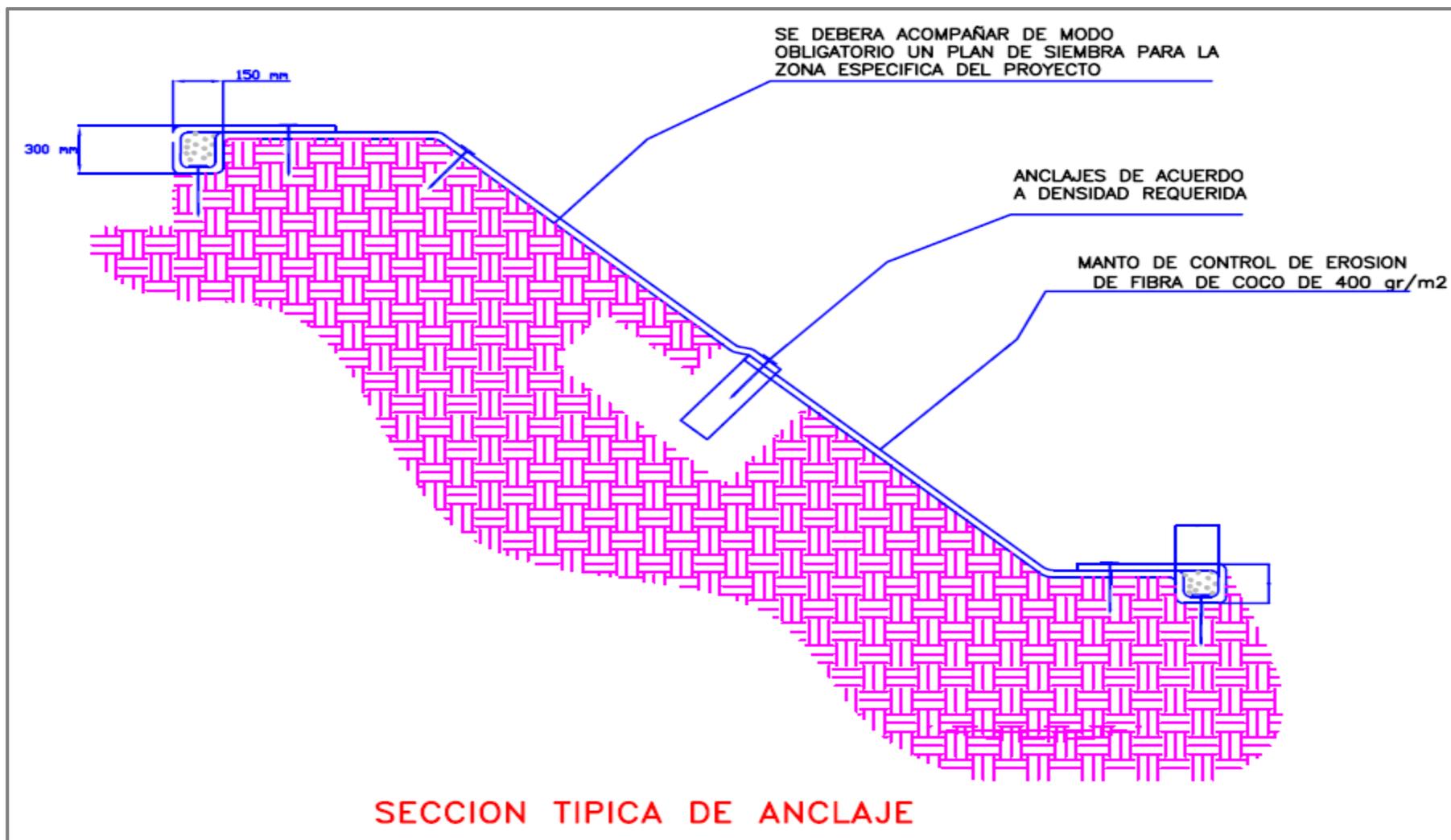
Fuente: *Cidelsa, 2017 – Guía de instalación geomanto de control de erosión.*

f. *Traslapes*: Superponer siempre los bordes 10 cm en el sentido vertical del talud y al final de cada rollo, doblar 20cm. Superponer esta capa de 10 cm a 20 cm sobre el comienzo del rollo que sigue. Asegurar con grapas las dos capas al suelo. Colocar la malla floja; no la estire.

g. Para la zanja de anclaje:

- Cavar una zanja de 30 cm de profundidad y 30cm de ancho de base.
- Desenrollar el Geomanto de Control de Erosión en dos o tres pliegues (ver el diagrama) y fijarla en la zanja.
- Asegurar la malla con grapas al fondo de la zanja y continuar desenrollándola pendiente abajo.

Uso recomendado para taludes de 45°, aproximadamente 240 grapas por cada 80 m<sup>2</sup>.



**Figura 18.** Sección típica de anclaje.

Fuente: *Cidelsa, 2017 – Guía de instalación geomanto de control de erosión.*

h. *Aplicación de la cobertura vegetal*: La aplicación de la mezcla fértil bajo o sobre el manto dependerá fundamentalmente de la pendiente y otras características propias del proyecto, las cuales deberán evaluarse por un profesional en ciencias agrícolas para efectos de definir el procedimiento más adecuado.

## **H. Programa de computación Slope/w**

SLOPE/W es un programa de análisis de estabilidad de taludes muy poderoso. Usando el equilibrio límite, tiene la habilidad de modelar suelos heterogéneos, estratigrafías complejas y la geometría de superficies de falla. El análisis puede ser desarrollado usando parámetros determinísticos y probabilísticos. La combinación de todas estas características permite que el programa SLOPE/W pueda ser utilizado para analizar casi cualquier problema de estabilidad de taludes que se pueda encontrar (Pacheco, 2006).

### **H.1. Características del programa**

El programa a cuyo uso nos vamos a introducir tiene fundamentalmente las siguientes características:

#### **H.1.1. Métodos de cálculo:**

El programa permite realizar los cálculos de estabilidad a través de una gran variedad de métodos:

- Ordinario (Fellenius).
- Janbu simplificado.
- Spencer.
- Morgentern-Price.
- Cuerpo de Ingenieros Americanos.
- Lowe-Karafiath.
- Sarma.

La gran variedad de métodos que se pueden utilizar en el programa SLOPE/W permite escoger el método más conveniente al problema en estudio (López, 2010).

### **H.1.2. Geometría y estratigrafía:**

La introducción de los condicionantes geométricos son muy versátiles y se adaptan prácticamente a cualquier geometría:

- Geometría adaptable a cualquier contorno estratigráfico mediante herramientas gráficas a través de la definición de regiones.
- Definición de grietas de tracción.
- Parcialmente sumergidos.

### **H.1.3. Superficie de deslizamiento:**

Dispone de distintos sistemas de modelización de las superficies de rotura:

- Malla de centros y límites de radios.
- Superficies de rotura poligonales, con o sin centro.
- Por bloques.
- Zonas de entrada salida acotando los posibles círculos de rotura.
- Búsqueda automática de superficies de rotura.
- Optimización de búsqueda de superficies de rotura.
- Posicionamiento automática de grietas de tracción.

### **H.1.4. Presión hidrostática:**

Se puede modelizar las acciones del agua en el terreno a través de los siguientes sistemas:

- Coeficiente de presión de agua,  $R_u$ .
- Superficie piezométrica.
- Presión hidrostática para cada punto.
- Contornos de presiones hidrostáticas.

### **H.1.5. Propiedades de los suelos:**

Con objeto de modelizar el comportamiento de los suelos el programa dispone de varios modelos de comportamiento.

- Tensiones totales y efectivas ( $\sigma$  y  $\sigma'$ ).
- Resistencia al corte sin drenaje ( $\phi = 0$ ),  $\tau = c$ .
- Resistencia al corte cero (agua,  $c = 0$  y  $\phi = 0$ ).
- Materiales impenetrables (lechos rocosos).
- Criterios de rotura bilineales.
- Incrementos de la cohesión con la profundidad.
- Resistencia al corte anisótropo.
- Criterios de rotura específicos.
- Modelo de Hoek y Brown

#### **H.1.6. Tipos de cargas:**

- Cargas superficiales.
- Cargas lineales.
- Cargas sísmicas.
- Anclajes y bulones (activos y pasivos).
- Suelo reforzado.

### **H.2. Parámetros para el análisis de la estabilidad de taludes**

Para lograr un correcto análisis de estabilidad determinar los siguientes parámetros que caracterizan al talud en estudio:

#### **H.2.1. Configuración geométrica del terreno**

La configuración geométrica del terreno es un parámetro básico para poder realizar el análisis de estabilidad de taludes (Pacheco, 2006).

#### **H.2.2. Estratos**

Con el objetivo de realizar el análisis de estabilidad de taludes, se determina el número de estratos.

#### **H.2.3. Nivel de napa freática**

Para considerar presión de poros en caso exista napa freática.

#### **H.2.4. Esfuerzos cortantes en el material a lo largo de la posible superficie de falla**

Para considerar el criterio de falla Mohr – Coulomb, el cual presenta la siguiente ecuación:

$$S = C + sn \times \text{Tan } (F)$$

Dónde:

C: Cohesión del suelo (Kg./cm<sup>2</sup>)

F: Ángulo de Fricción Interna (°)

sn: Presión de tapada (Kg./cm<sup>2</sup>)

#### **H.3. Iniciando el programa**

El paquete de programas Geostudio 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.
- ✓ **Sigma/W** orientado al cálculo tensodeformacional.
- ✓ **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 contaminación de suelos.
- ✓ **Vadose** usado en la modelización de acuíferos.

Todos estos programas están interrelacionados por lo que una geometría planteada para un tipo de problema, puede servir para un cálculo de estabilidad sin más que dar los correspondientes parámetros resistentes de los materiales (Pacheco, 2006).

#### **3.3. Definición de términos básicos**

**Ángulo de fricción:** Es la propiedad de un material, definido por la relación con el ángulo de reposo o máximo ángulo posible para la pendiente de un conjunto de dicho material.

**Cohesión:** Fuerza que une las moléculas de un cuerpo.

**Peso específico:** Es la relación entre el peso del suelo y su volumen.

**Compacidad:** Calidad de compactación de las arenas.

**Coluvial:** Depósito acumulado al pie de un talud y como consecuencia de la acción erosiva del agua.

**Consolidados:** Materiales que forman roca firme y coherente.

**Macizo rocoso:** Constituido por bloques de forma irregular cuyas propiedades varían no solo de una clase de roca a otra, sino también de un punto a otro.

**Línea piezométrica:** La línea piezométrica es la suma de las alturas de presión y de posición, y se determina uniendo los puntos que alcanzaría el fluido circulante en distintos piezómetros conectados.

**Banquetas:** Sección geométrica resultante, construida a intervalos, que permite reducir el ángulo efectivo del talud protegiéndolo contra la infiltración y la erosión.

**Capacidad de carga:** La capacidad de carga es la presión última o de falla por corte del suelo y se determina utilizando las fórmulas aceptadas por la mecánica de suelos.

**Corrimientos:** Son movimientos que afectan a una gran cantidad de masa de terreno.

**Deslizamientos:** Movimiento de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla o de zonas relativamente delgadas con gran deformación cortante.

**Empuje activo:** Tensiones generadas por el estado activo, donde existe la posibilidad de que el suelo se deforme lateralmente, disminuyendo la tensión horizontal hasta un valor mínimo donde se alcance un estado tensional de falla.

**Empuje de reposo:** Tensiones generadas a partir de un estado de reposo de empuje de tierras en total confinamiento lateral, donde solo puede presentarse deformación en el sentido vertical, mientras que lateralmente la deformación es nula.

**Empuje pasivo:** Tensiones generadas por el estado pasivo, donde existe la posibilidad de que el suelo se deforme lateralmente, aumentando la tensión horizontal hasta un valor máximo donde se alcance un estado tensional de falla.

**Estabilidad:** Resultado del proceso de estabilización.

**Estabilización de taludes:** Solución geotécnica integral que se implementa en un talud, sea de terraplén, de excavación, de corte, natural u otros, capaz de incorporarle equilibrio suficiente y sostenible, que atienda los criterios gravitatorios y sísmicos, medidos por factores de seguridad, sin afectar negativamente a su entorno.

**Nivel freático:** Nivel de agua subterránea cuya presión es igual a la presión atmosférica.

**Permeabilidad:** Facilidad con que el agua puede fluir a través de los poros y discontinuidades de un suelo o macizo rocoso.

**Talud:** Perfil conseguido tras una excavación o terraplénado no necesariamente vertical, sino con cierto ángulo con la horizontal, llamado ángulo de talud.

## **IV. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **4.1. Materiales, herramientas y/o equipos**

Se llevó a cabo el presente estudio de investigación utilizando los siguientes materiales, herramientas y/o equipos.

#### **4.1.1. En campo**

##### **➤ Levantamiento topográfico**

- Estación Total.
- Trípode.
- GPS.
- Wincha.
- Cámara.
- Libreta de campo.

##### **➤ Extracción manual de muestras**

- Tubos de PVC de 3”.
- Comba de jebe.
- Bolsas herméticas.
- Cinta de embalaje.
- Palana.
- Zapapico.
- Machete.

#### **4.1.2. En laboratorio**

##### **➤ Contenido de Humedad**

- Estufa (rango de temperatura 100 - 250°C).
- Balanzas (capacidad máxima: 300g, precisión: 0.01g).
- Recipientes.

##### **➤ Análisis granulométrico por tamizado**

- Balanzas (capacidad máxima: 6000g, precisión: 0.1g).
- Balanzas (capacidad máxima: 300g, precisión: 0.01g).
- Tamices de malla cuadrada.
- Horno de secado (rango de temperatura 100 - 250°C).

- Recipientes.
- Tamizadora (8 tamices).
- **Límite Líquido**
  - Recipientes.
  - Aparato de límite líquido (Copa de Casagrande).
  - Acanalador.
  - Calibrador.
  - Recipiente o pesa filtros.
  - Balanza (capacidad máxima: 300g, precisión: 0.01g).
  - Estufa (rango de temperatura 100 - 250°C).
- **Límite Plástico**
  - Espátula, de hoja flexible.
  - Recipientes.
  - Balanza (capacidad máxima: 300g., precisión: 0.01g).
  - Estufa (rango de temperatura 100 - 250°C).
  - Tamiz N° 40.
  - Agua destilada.
  - Vidrios de reloj.
  - Superficie de rodadura.
- **Peso específico y absorción**
  - Balanza (capacidad máxima: 6000g, precisión: 0.1g).
  - Matraz aforado o Picnómetro (precisión  $\pm 0.1\text{cm}^3$ ).
  - Probetas (precisión  $\pm 0.1\text{cm}^3$ ).
  - Recipientes.
  - Horno de secado (rango de temperatura 100 - 250°C).
- **Corte Directo**
  - Dispositivo de carga.
  - Piedras porosas.
  - Dispositivo para la aplicación de la fuerza normal.
  - Dispositivo para la aplicación de la fuerza de corte.
  - Equipo para el corte de la muestra.
  - Balanza (capacidad máxima: 6000g, precisión: 0.1g).

- Horno (rango de temperatura 100 - 250°C).
- Recipientes.
- Equipo para el remoldeo.
- Misceláneos.

#### **4.1.3. En Gabinete**

Además de equipos y materiales utilizados en campo y laboratorio, se utilizaron softwares para realizar modelamientos digitales:

- Laptop.
- Módem de internet.
- Softwares especializados.
- USB.
- Libretas de apuntes.

#### **4.2. Variable de estudio: Estabilización del talud.**

**Tabla 07.** Operacionalización de variable.

Hipótesis	Variable	Dimensión	Indicador	Sub indicador	Tipo	Escala	
El método analítico de estabilidad con mejor resultado numérico del indicador de factor seguridad será el de Morgenstern-Price por lo que su precisión es la mejor dentro de los demás métodos.	Estabilización del talud	Pendiente del talud	Topografía	Porcentaje de inclinación del talud	Cuantitativo	Factor de Seguridad (Software especializado de estabilización)	
			Suelo		Peso específico		Cuantitativo
					Cohesión		Cuantitativo
					Ángulo de Fricción interna		Cuantitativo
		Método de estabilización	Equilibrio Límite (métodos analíticos)		Método de Morgenstern-Price		Cuantitativo
					Método de Spencer		Cuantitativo
					Método de Janbú		Cuantitativo
					Método Ordinario o de Fellenius		Cuantitativo

### 4.3. Diseño de investigación

#### 4.3.1. Diseño

El presente trabajo de investigación es de tipo descriptivo; ya que se describió los indicadores de las dimensiones de la variable de estudio.

$$M \rightarrow O_x$$

$M$  = Muestra.

$O_x$  = Observación del deslizamiento.

#### 4.3.2. Población

La población fueron los 300 metros lineales definida por la progresiva Km 318+000 hasta Km 318+300 de la carretera Cajamarca – Chachapoyas.

#### 4.3.3. Muestra

Fue el punto más perjudicado por deslizamiento del talud en estudio, la progresiva Km 318+103; seleccionada a criterio del investigador.

#### 4.3.4. Muestreo

No probabilístico, muestreo por juicio del investigador.

#### 4.3.5. Métodos

##### ➤ *Método Inductivo*

Se utilizó el método inductivo en la observación de los factores que intervienen en la inestabilidad del talud y delimitar el área crítica.

##### ➤ *Método deductivo*

Se aplicó cuando se optó evaluar el factor seguridad del talud a través de cuatro métodos analíticos de estabilidad: Morgenstern-Price, Spencer, Janbú y Ordinario o de Fellenius.

##### ➤ *Método analítico*

Se aplicó en el análisis de resultados de suelos obtenidos de los ensayos en laboratorio y el procesamiento de datos topográficos en gabinete, para definir la sección crítica del talud.

#### **4.3.6. Técnicas e instrumentos**

- *Técnica de recolección:* Observación directa.
- *Instrumentos de recolección de información:* Ficha técnica y fichas bibliográficas.

#### **4.3.7. Procedimiento**

- Elección del tema.
- Ubicación y delimitación del área de investigación, se eligió el tramo de la carretera Cajamarca – Chachapoyas delimitada por las progresivas Km 318+000 (coordenadas: Norte-9310000.8, Este-178675.6 y Altitud-2043.0) hasta Km 318+300 (coordenadas: Norte-9309744.8, Este-178448.1 y Altitud-2056.0).
- Redacción del proyecto de tesis que sostiene la base de la investigación.
- Con la aprobación de este tema de investigación, se empezó a redactar el informe de proyecto de tesis de acuerdo al formato establecido.
- Se definió la metodología a utilizar.
- Para la obtención de datos de campo, el estudio se realizó en tres etapas:

Pre Campo:

- Planificación de las actividades a realizar.
- Recopilación de información bibliográfica referente al tema.

Campo:

- Reconocimiento del área de estudio.
- Levantamiento topográfico del área de estudio.
- Ubicación, excavación y extracción de muestras de suelo en las dos calicatas que se hizo.

Post Campo:

- Ensayos en laboratorio de las muestras de suelo.
- Organizar, interpretar y procesar toda la información de campo.

- Se analizaron los datos obtenidos en campos y de otras fuentes, para la obtención de resultados.
- Se continuó con la realización de conclusiones y recomendaciones.
- Se culminó con la elaboración del informe final.

#### **4.3.8. Análisis de datos**

Se analizó los datos obtenidos mediante los métodos analíticos de estabilización de taludes en el software especializado de estabilización, a través de los siguientes enfoques:

- Se estudió el tipo de suelo y la topografía del tramo en estudio.
- Se hizo una comparación de los métodos de estabilización de taludes para seleccionar el más eficiente y recomendable.
- Se utilizó gráficos de barras, como indicadores estadísticos y software estadístico para la prueba de hipótesis.
- Se utilizó software de diseño asistido por computadora para procesamiento de datos topográficos.



**Figura 19.** Ubicación del tramo en estudio.

## **V. RESULTADOS**

### **5.1. Estudio topográfico**

En esta sección, se plasman los resultados obtenidos del levantamiento topográfico: La vía existente, las curvas de nivel, el área crítica, el borde del talud, entre otros, tal como se indican en la figura 20.

Además, teniendo como criterio la mayor pendiente en el área crítica (área inestable) se ha tomado la sección transversal crítica, tipo para nuestro modelamiento en la fase inicial del talud (figura 21) y en la fase final (figura 22), es decir, cuando se ha hecho los cortes respectivos de las banquetas.

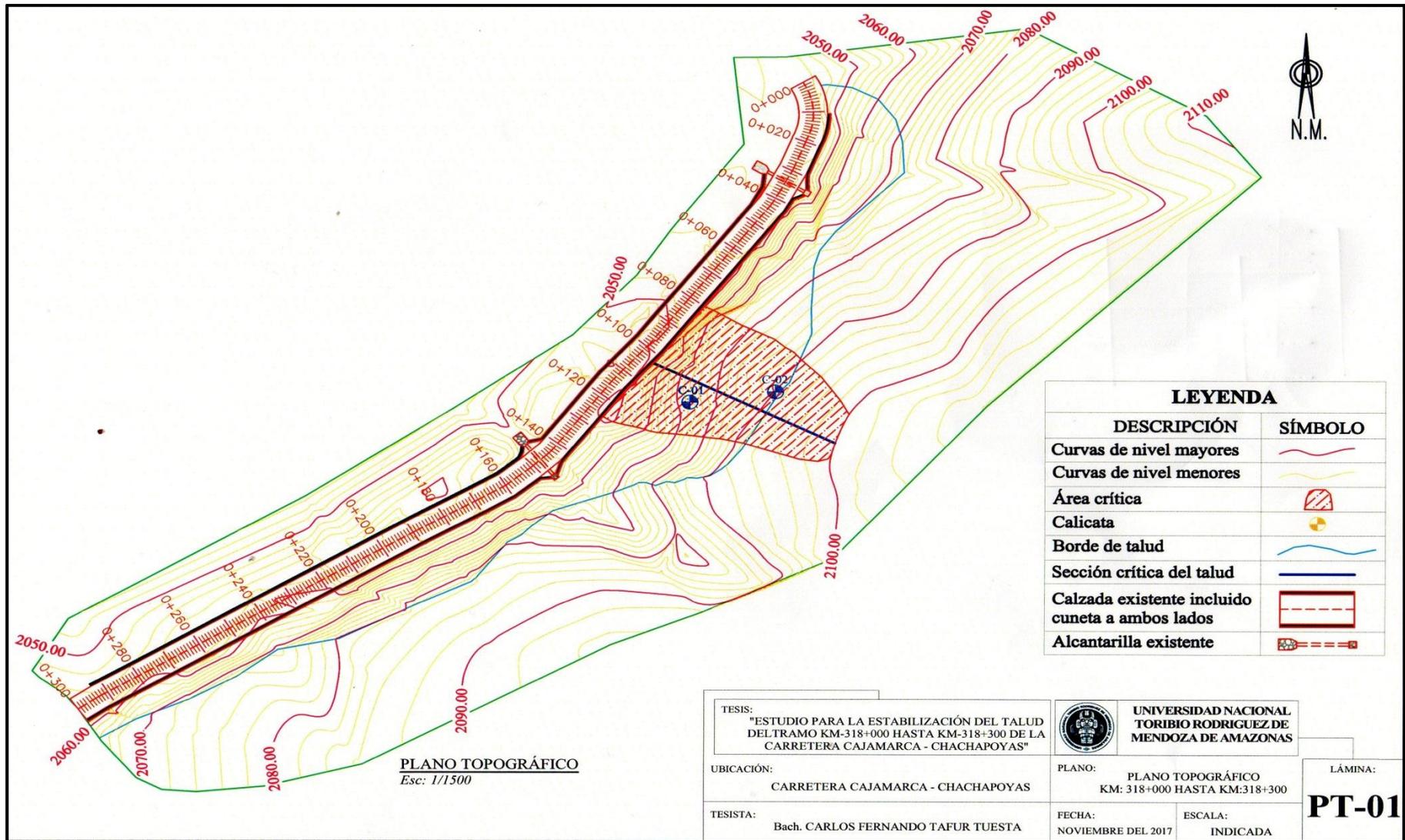


Figura 20. Resultados del levantamiento topográfico.

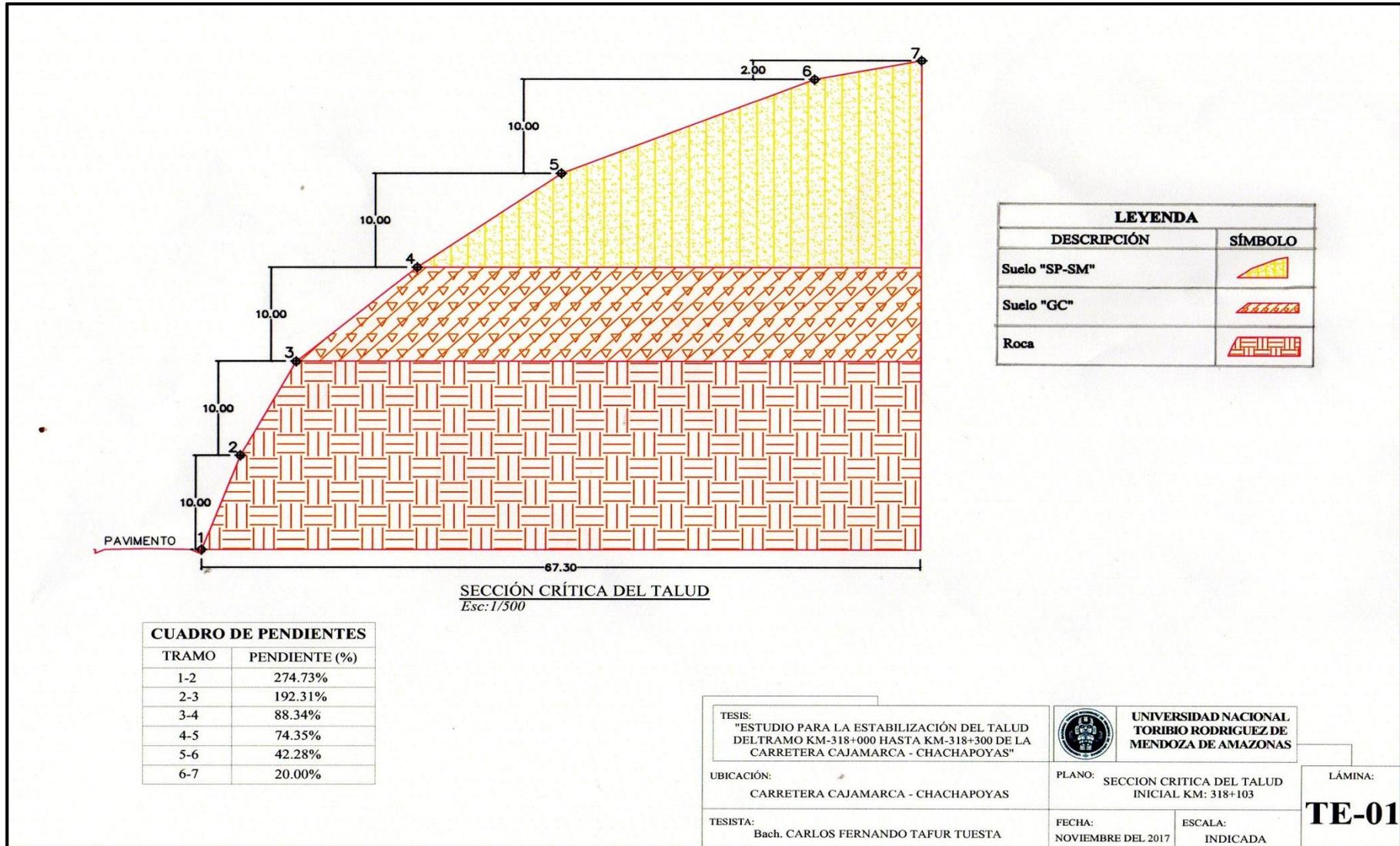


Figura 21. Sección transversal crítica: Talud inicial.

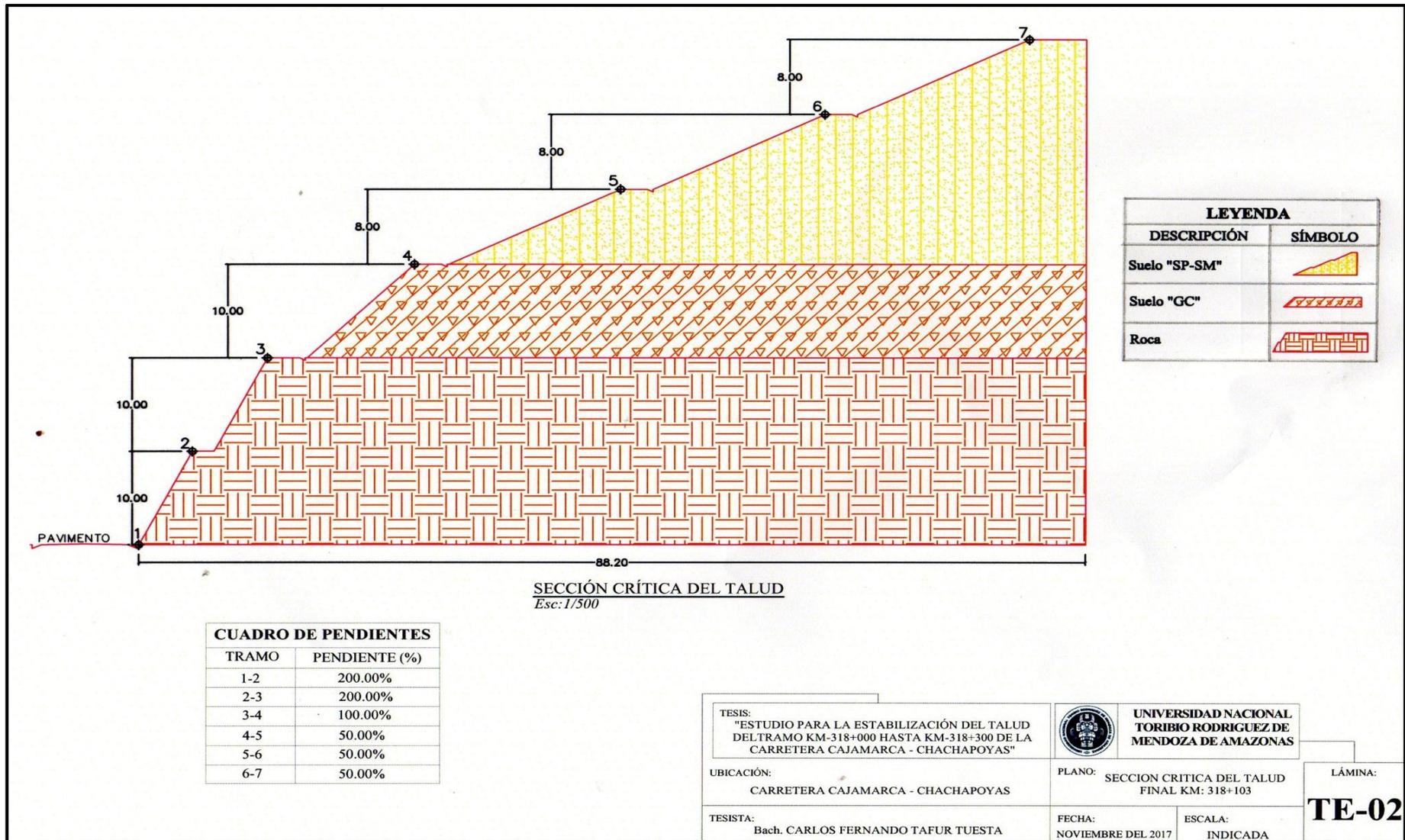


Figura 22. Sección transversal crítica: Talud final.

## 5.2. Estudio de suelos

En la tabla 08 se resumen las propiedades físico–mecánicas de cada una de las muestras de suelo obtenidas para la investigación y cuyas condiciones de estabilidad se investigan.

Estos resultados obtenidos en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Concreto de la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones de Amazonas, son de acuerdo a cada muestra y ensayo que se realizó. Las muestras se tomaron en campo a través de la excavación de calicatas ubicadas por criterio del investigador en el área crítica; además estos resultados nos definen el tipo de corte del talud, es decir la inclinación del talud en relación H:V (Horizontal:Vertical).

**Tabla 08.** Resultado de las propiedades físico-mecánicas del suelo.

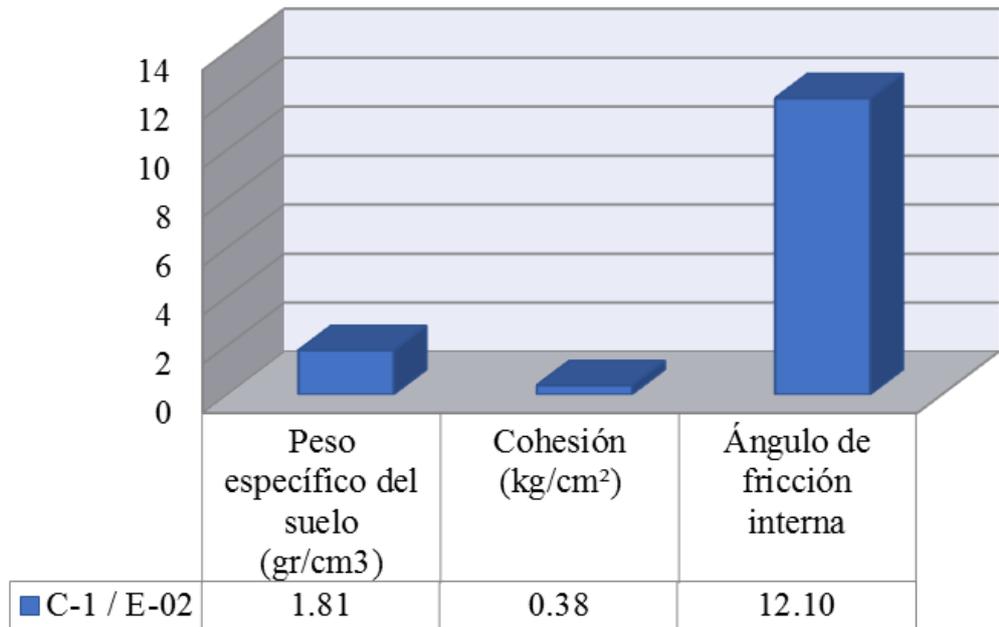
Estudio de Mecánica de Suelos		Calicata/Estrato					
		C-1 / E-01	C-1 / E-02	C-2 / E-01	C-2 / E-02	C-2 / E-03	
Contenido de Humedad promedio (%)		9.00	10.35	16.81	8.83	4.34	
Análisis Granulométrico por tamizado	Características	Gravas (%)	42.7	43.0	0.7	0.5	0.0
		Arenas (%)	22.9	21.8	45.1	66.8	88.1
		Finos (%)	34.4	35.3	54.2	32.7	11.9
	Clasificación	SUCS	GC	GC	ML	SM	SP-SM
		AASHTO*	A-2- 6 (0)	A-6 (0)	A-4 (4)	A-2- 4 (0)	A-2-4 (0)
Límites de consistencia	Limite Líquido (%)		27.0	25.0	NP	NP	NP
	Limite Plástico (%)		16.0	14.0	NP	NP	NP
	Índice de Plasticidad (%)		11.0	11.0	NP	NP	NP
Peso específico	Peso específico del suelo (gr/cm <sup>3</sup> )		-	1.81	-	-	1.62
Material que pasa el tamiz número 200 (%)		34.42	35.25	54.15	32.73	11.87	
Ensayo de Corte Directo	Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )		-	0.38	-	-	0.00
	Ángulo de fricción interna		-	12.10	-	-	32.80

En esta tabla se puede describir que:

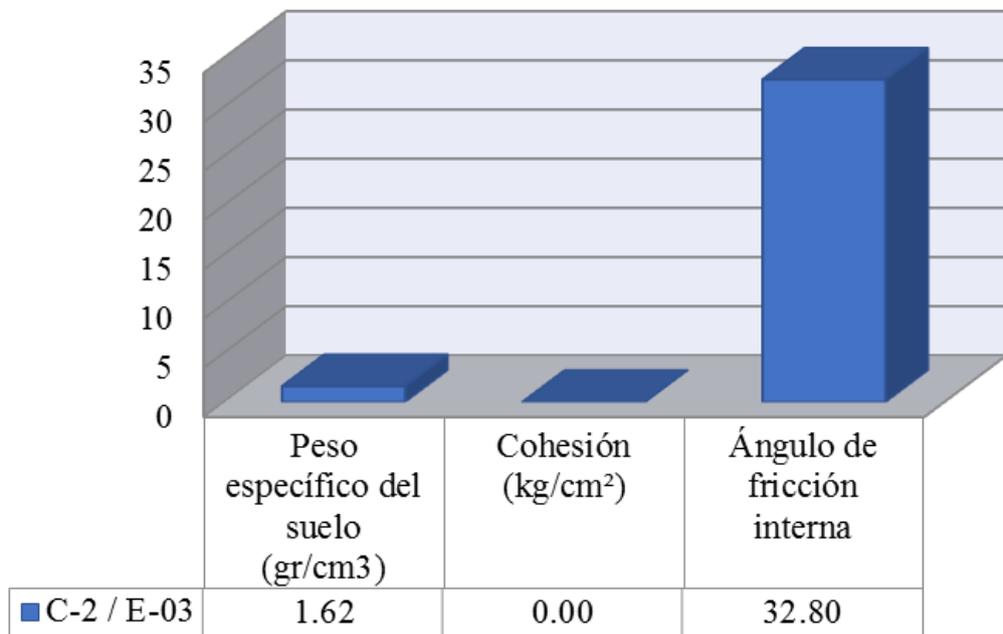
Para la Calicata N° 01, en sus estratos 01 y 02, se tiene un suelo gravo arcilloso, de mediana plasticidad y con un contenido de humedad promedio bajo.

Para la Calicata N°02: En su estrato 01, se tiene un suelo de limo inorgánico con mezclas de arena gruesa, mediana y fina, y es no plástico; en su estrato 02, se tiene un suelo de arenas limosas, no plástico y con un contenido de humedad promedio bajo y en su estrato 03, se tiene un suelo de arena pobremente graduada con limo, con poco porcentaje de material granular, no plástico y con un contenido de humedad promedio bajo.

Las propiedades físico-mecánicas de las muestras de suelo que se ingresó al software especializado de estabilización se indican en la figura 23 y la figura 24.



**Figura 23.** Clasificación SUCS “GC” de la muestra de suelo de la C-01/E-02.



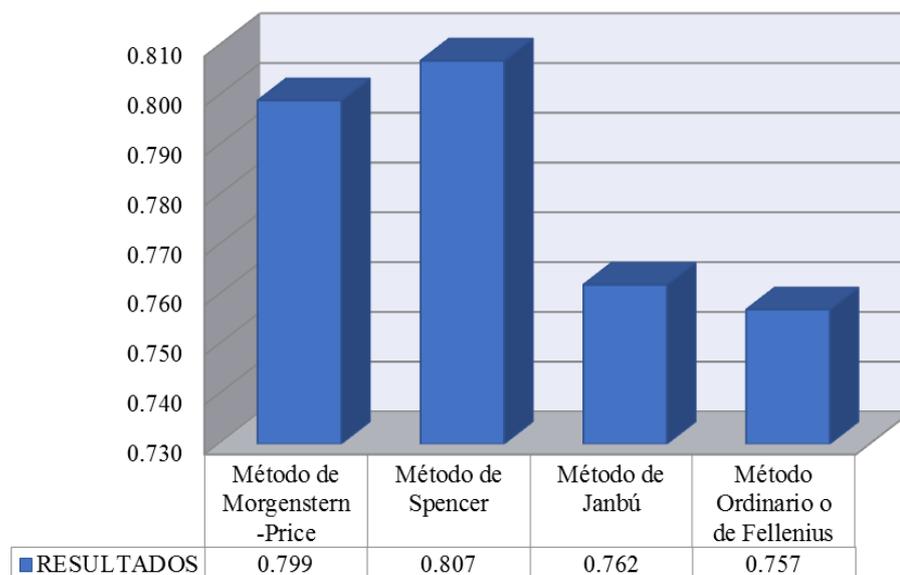
**Figura 24.** Clasificación SUCS “SP-SM” de la muestra de suelo de la C-02/E-03.

### 5.3. Análisis de estabilidad en software especializado de estabilización

#### 5.3.1. Resultados para el talud inicial

En la figura 25, se muestra los valores obtenidos del análisis del talud inicial (condición actual) bajo condiciones estáticas en el software especializado de estabilización, a partir de un modelo de estado de equilibrio límite de la masa de suelo que conforma el área crítica, donde el indicador fundamental fue el factor de seguridad.

El factor seguridad máximo obtenido es 0.807 y el mínimo 0.757, valores que están por debajo de 1.000, lo que nos indica de acuerdo con la teoría del equilibrio límite que actualmente el talud es inestable y se tiene que adoptar medidas correctivas.



**Figura 25.** Resultados de factor seguridad del talud inicial.

De los valores que muestra en esta figura se dice que el mayor valor numérico obtenido es a través del método analítico de Spencer, el cual es uno de los métodos más completos y precisos al igual que el método de Morgenstern-Price.

### 5.3.2. Resultados para el talud con banquetas

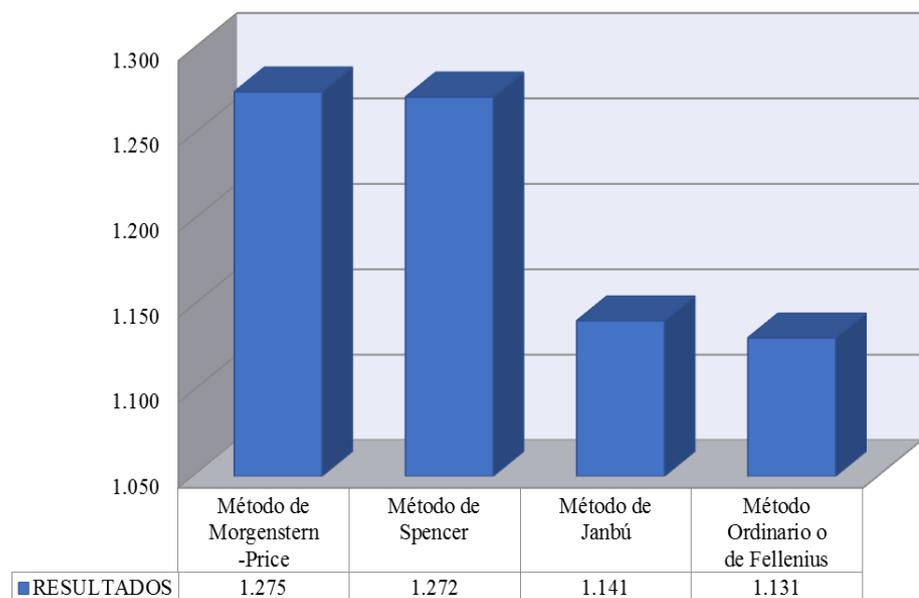
En la figura 26, se muestra los valores obtenidos en el software especializado de estabilización del análisis del talud final, donde se incluyó banquetas (necesarias para el proceso constructivo), ya que se necesitará superficies horizontales que permitan el movimiento del personal obrero y equipos, además ayudarán para el mantenimiento del talud y el anclaje de la protección superficial. La inclinación del talud en relación H:V (Horizontal:Vertical) se definió en gabinete con cortes imaginarios de acuerdo a las propiedades físico-mecánicas del suelo, bajo condiciones estáticas, a partir de un modelo de estado de equilibrio límite de la masa de suelo que conforma el área crítica, donde el indicador fundamental será el factor de seguridad al igual que para el talud inicial.

Para el tipo de suelo “GC” se definió la relación H:V en 1:1 hasta una altura vertical máxima de 10.00m y para el tipo de suelo “SP-SM” se

definió la relación H:V en 1.5:1 hasta una altura vertical máxima de 8.00m; sobre la cresta de corte para cada tipo de suelo se propuso una banqueta de 3.00m de ancho, donde está incluido una cuneta de coronación triangular revestida con un ancho de 0.50m y una profundidad de 0.25m.

El factor seguridad máximo obtenido es 1.275 y el mínimo 1.131, valores que están por encima de 1.000, lo que nos indica de acuerdo con la teoría del equilibrio límite que el talud es estable.

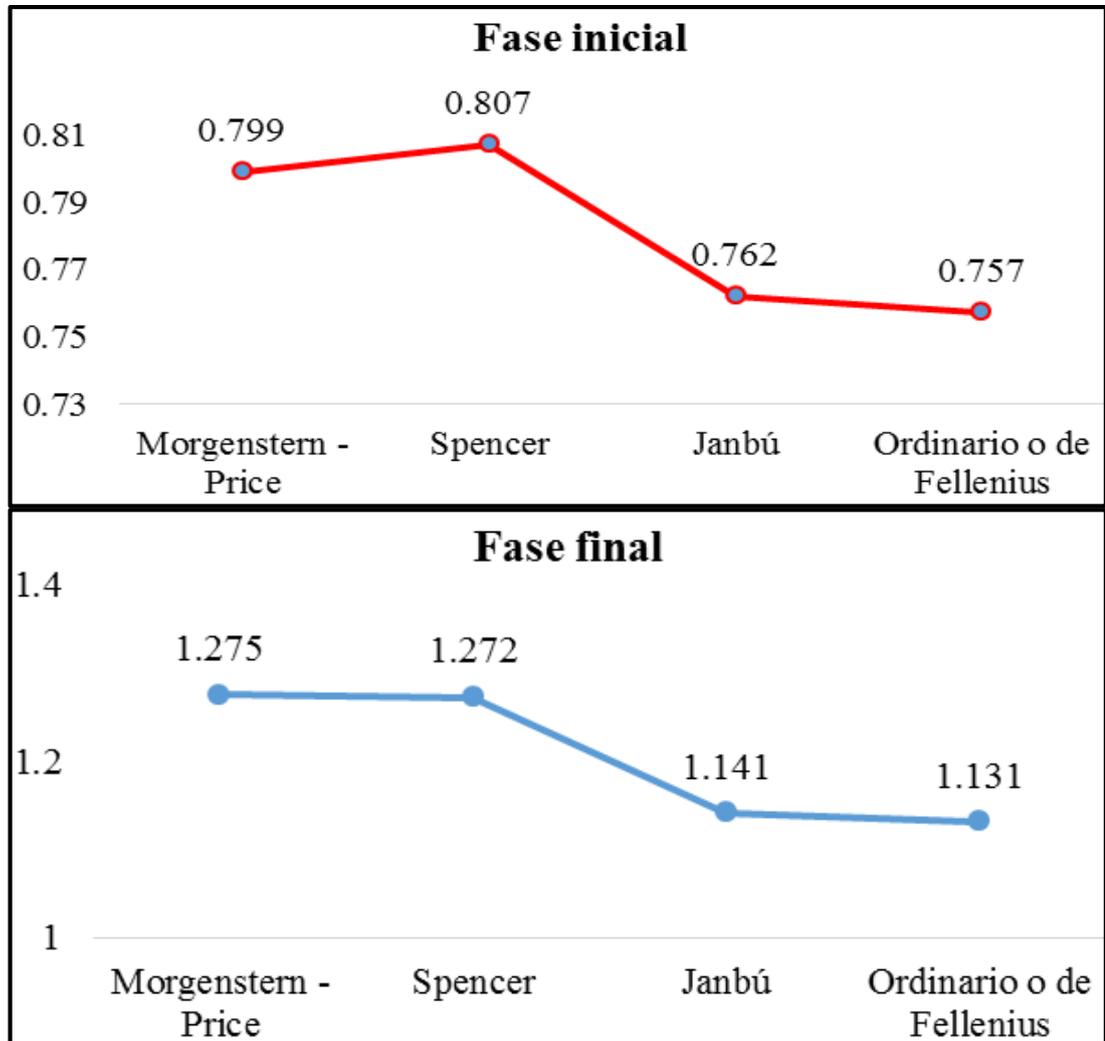
Además se ha propuesto una protección superficial contra la erosión sobre el talud final, por recomendaciones de Cidelsa (empresa proveedora de productos para reforzamiento y protección de taludes), para el tipo de suelo “GC” con geomantos TRM 3ra generación que tiene un periodo de vida útil de 8 años antes de su degradación y para el tipo de suelo “SP-SM” con biomanto de fibra de coco, que tiene un periodo de vida útil de 3 años antes de su degradación, durante los periodos de vida útil respectivos para cada material se hará una revegetación con plantas recomendadas por un especialista.



**Figura 26.** Resultados de factor seguridad de talud con banquetas.

#### 5.4. Prueba de hipótesis

Para la prueba de hipótesis los datos se procesó en el software estadístico.

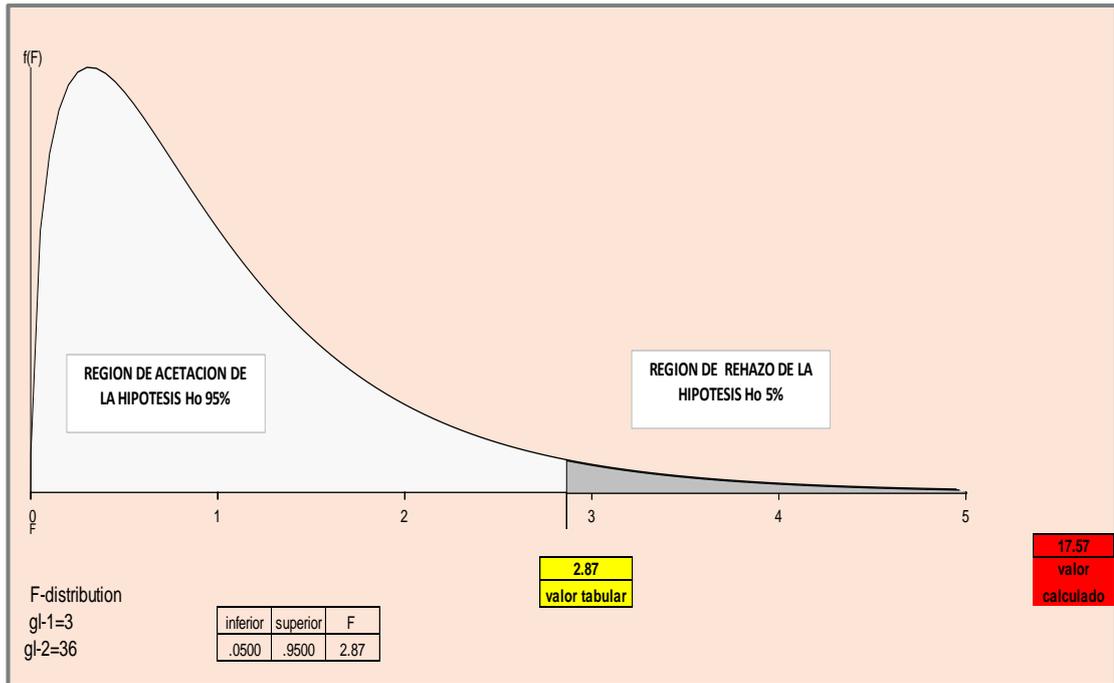


**Figura 27.** Factores de seguridad según métodos analíticos de estabilización en la fase inicial y final.

**Tabla 09.** Análisis de varianza según los métodos utilizados.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	F tabla	P	Decision
Metodos	3	1.83	0.610	17.57	2.87	0.000	<b>Existe diferencia</b>
Error	36	1.25	0.035				
<b>Total</b>	<b>39</b>	<b>3.08</b>					

En la tabla 10, se evaluó el análisis de varianza, para probar la diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los factores de seguridad de los 4 métodos de estabilización utilizados, ya que  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabular}}$  y según el análisis de varianza se comprobó la diferencia significativa entre estos factores de seguridad. Además se comprobó que con el método Morgenstern-Price se obtuvo el mayor factor de seguridad en la fase final en comparación con los otros tres métodos.



**Figura 28.** Probabilidad de aceptación o rechazo de la diferencia entre promedios de los valores de factor seguridad.

## VI. DISCUSIÓN

Para este estudio de investigación, según el objetivo general de *determinar una alternativa de solución para la estabilización del talud en el tramo Km 318+000 hasta Km 318+300 de la carretera Cajamarca - Chachapoyas, con el fin de lograr un tránsito seguro y permanente para el bienestar de la población* se hizo un reconocimiento del tramo en estudio para determinar el área crítica según criterio del investigador y dar una solución de estabilidad en esa sección del talud a través de los métodos analíticos de la teoría de equilibrio límite.

Granados (2006) hace un retro análisis para su investigación y asume lo siguiente: que el material que conforman las capas del perfil estratigráfico de la sección del talud es homogéneo, es decir que se prolongan paralelamente al plano horizontal, presunción que podría corroborarse realizando perforaciones de más de 20m de profundidad; el lecho rocoso está a una profundidad en la cual ninguna superficie de falla la atravesará y que no hay presión de poros debido a la ausencia de agua en la zona. En esta investigación se analizó la sección crítica del talud considerando las propiedades geomecánicas del suelo obtenidas de las calicatas de 3m de profundidad, ya que realizar perforaciones de más de 20m de profundidad escapa del alcance económico de esta investigación por su alto costo y complejidad, además en la primera capa de 20m del perfil del estratigráfico del talud no se considera inestable porque es una capa de roca, tampoco se considera presión de poros por la inexistencia de agua en los alrededores de la zona de estudio y no se encontró presencia de capa freática en la excavación de calicatas, lo que nos conlleva a decir que la metodología de la obtención y análisis de las muestras de suelo es correcta.

Guillen (2004) dice, que la erosión interna en las capas arenosas da lugar a deslizamientos en la arcilla subyacente y que cuando aparecen grietas de tracción en la parte superior del talud es, con frecuencia, un aviso de que va a ocurrir un deslizamiento. En esta investigación se definió el área crítica a través de un recorrido por la cresta del talud, considerando el área con riesgo de deslizamiento

donde se presentan grietas, a lo que podemos decir que el criterio con el que se determinó dicha área crítica es la correcta.

Salamanca (2016) afirma, que la diferencia de resultados del factor seguridad entre los métodos de Spencer y el de Morgenstern-Price es muy poca y que ambos métodos son muy precisos y prácticamente aplicable a todas las geometrías y perfiles de suelo, además son los más utilizados actualmente. En esta investigación los resultados numéricos del indicador de factor seguridad más favorables son obtenidos a través de los métodos de Spencer y Morgenstern-Price, tanto en el análisis del talud inicial y el talud final, por lo que se dice que la hipótesis planteada es verídica.

Pacheco (2006) dice, que el método del equilibrio límite se basa en el cálculo del factor de seguridad del talud en estudio, lo cual nos indica lo siguiente: si el factor de seguridad es menor a la unidad ( $FS < 1$ ), el talud es inestable o ya colapsado y si el factor de seguridad es mayor o igual a la unidad ( $FS \geq 1$ ), el talud es estable. En esta investigación se obtuvo los valores de los factores de seguridad menores a uno en el análisis del talud inicial, por lo que se dice que el talud es inestable y valores del factor seguridad mayores a uno en el análisis del talud final, por lo que se dice que el talud ya es estable.

Pacheco (2006) afirma que el clima, de acuerdo con las características que presenta, puede favorecer la inestabilidad del subsuelo al aportar una suficiente cantidad de agua; ello debido a la presión que ejerce el líquido en los poros y fisuras del suelo; así mismo la pluviosidad tiene un efecto primordial en la estabilidad de los taludes ya que influye en la forma, incidencia y magnitud de los deslizamientos, es por este motivo que se deben diseñar sistemas de drenaje acordes a las características del talud. En esta investigación se diseñó una protección superficial contra erosiones pluviales con geomantos tipo TMR 15 para el tipo de suelo "GC" y con fibra de coco para el tipo de suelo "SP-SM", además con cunetas de coronación en cada banqueta, lo que nos indica que la metodología utilizada para la protección superficial del talud favorecerá la estabilidad del mismo.

## VII. CONCLUSIONES

- ❖ La alternativa para la estabilización del talud, se planteó a partir del movimiento masivo de tierras, para suelos “GC” con banquetas cada 10.00m de altura, con una inclinación del talud 1:1 (Horizontal:Vertical) y para suelos “SP-SM” con banquetas cada 8.00m de altura, con una inclinación del talud del 1.5:1 (Horizontal:Vertical).
- ❖ Se hizo el levantamiento topográfico de toda la extensión territorial del talud en estudio, lo que permitió definir la sección crítica y la ubicación de calicatas.
- ❖ Las propiedades físico-mecánicas del suelo del talud, en la calicata 01/estrato 02 son: clasificación SUCS = GC, peso específico (gr/cm<sup>3</sup>) = 1.81, cohesión (kg/cm<sup>2</sup>) = 0.38, ángulo de fricción interna = 12.10; y, en la calicata 02/estrato 03 son: clasificación SUCS = SP-SM, peso específico (gr/cm<sup>3</sup>) = 1.62, cohesión (kg/cm<sup>2</sup>) = 0.00, ángulo de fricción interna = 32.80.
- ❖ El método analítico de equilibrio límite que se determinó para la estabilización del talud es el de Morgenstern-Price, con un indicador del factor seguridad de 1.275.
- ❖ La protección superficial contra erosiones pluviales para el suelo tipo “GC” fue con geomantos tipo TMR 15 y, para el suelo tipo “SP-SM” con fibra de coco. Esto se definió a partir de los resultados de suelos obtenidos y la recomendación de Cidelsa (Empresa especializada en productos para reforzamiento y protección de taludes).

## **VIII. RECOMENDACIONES**

Las siguientes recomendaciones, se precisan para efectos de quien haga la aplicación de la alternativa propuesta y se haga de la mejor forma:

- ❖ Sobre los cortes de talud finales se debe colocar una capa de 0.10m hasta 0.15m de terreno vegetal, para facilitar la adaptación y el crecimiento del césped, posterior a eso instalar el geomanto tipo TMR 15 y la fibra de coco.
  
- ❖ Hacer un correcto proceso constructivo para la estabilización del talud, es decir que en el movimiento masivo de tierras se tenga todos los implementos de seguridad necesarios con los obreros y los vehículos que transitarán por este tramo de la carretera, ya que se tiene una altura total de talud de 54.00m, lo que implica que una negligencia en la seguridad podría ocasionar múltiples problemas.
  
- ❖ Para la empresa encargada del mantenimiento de carreteras, concientizar a los propietarios de los terrenos adyacentes al talud para el sembrío de plantas estabilizadoras y ejecutar restricciones para evitar cultivos y asentamientos de viviendas cercanas a este proyecto.
  
- ❖ Ejecutar un mantenimiento periódico de prevención de las cunetas de coronación, ya que una colmatación de residuos podría hacer que no haya un desagüe correcto de las aguas de lluvia, malogrando la vegetación que se pondrá sobre la protección superficial y provocando una posible inestabilidad en el talud.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*Reglamento Nacional de Edificaciones.* (2015). 5ª ed. Lima, Perú: Macro.

Alvarado, A. A., & Cornejo, A. R. (2014). *Estabilización de taludes en la Costa Verde - Callao tramo Av. Santa Rosa - Jr. Virú (1.3km)*. (Tesis de Ingeniero). Universidad de San Martín de Porres. Lima, Perú.

Cidelsa. (2017). *Guía de instalación geomanto de control de erosión*. Lima.

Egoavil, H. (2012). *Refuerzo de cimentaciones superficiales con geosintéticos*. Madrid.

Geosistemas Pavco S.A. (2009). *Manual de diseño con geosintéticos*. Bogota.

Granados, A. (2006). *Estabilización del talud de la costa verde en la zona del distrito de Barranco*. (Tesis de Ingeniero). Pontificia Universidad Católica. Lima, Perú.

Guillén, C. E. (2004). *Estabilidad de Taludes en los Departamentos de Guatemala y Alta Verapaz, Casos Reales*. (Tesis de Ingeniero). Universidad de San Carlos. Guatemala.

López, G. (2010). *Introducción al uso del programa Slope/W 2007*. Universidad de Córdoba.

MTC. (2013). *Manual de diseño geométrico de carreteras*. Lima, Perú: Publicidad

Pacheco, A. (2006). *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de San Isidro*. (Tesis de Ingeniero). Pontificia Universidad Católica. Lima, Perú.

Revelo, V. (2008). *Modelo para la estabilización de taludes en las carreteras del subtrópico del nor occidente del ecuador a fin de evitar accidentes de tránsito y disminuir los costos de operación vehicular*. (Tesis de Magister). Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.

Salamanca, I. (2016). *Estudio de la estabilidad de muros ecológicos con geotextiles mediante métodos tenso-deformacionales. Técnica de diseño y predicción de fallos*. (Tesis de Ingeniero). Universidad de Sevilla. Sevilla, España.

Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda.

Suarez, J. (2009). *Deslizamientos: Análisis geotécnico*. Bucaramanga, Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda.

GeoStudio. *Versión 2012*. SLOPE/W User's Guide.

## **ANEXOS**

**Anexo 1:** Resultados de los ensayos de laboratorio del estudio de mecánica de suelos.

**Anexo 2:** Resultados obtenidos en el software especializado de estabilización.

**Anexo 3:** Panel fotográfico.

**ANEXO 1**

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DEL ESTUDIO DE  
MECÁNICA DE SUELOS**



**GOBIERNO REGIONAL DE AMAZONAS**  
**DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES - AMAZONAS**



RUC: 20392327747

REGISTRÓ DE LICENCIA N° 00001990-MPC

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y ASFALTO															
REGISTRO DE EXCAVACIÓN (CALICATA: C-001)															
PERFIL ESTRATIGRÁFICO															
Proyecto:		" ESTUDIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DEL TRAMO KM-318+000 HASTA KM-318+300 DE LA CARRETERA CAJAMARCA - CHACHAPOYAS "							Codigo Ensayo N°:		0.001 - 2017				
Solicitante:		BACH. CARLOS FERNANDO TAFUR TUESTA (TESISTA)													
Muestra:	02	Calicata:	N° 01		Coord.:	ESTE-0178625; NORTE-9308895		Ing. Responsable:		G. ALVARADO L.					
Material:	NATURAL	Profundidad:	3.00m				Tec. Responsable:		M. TAPAYURI CH.						
Nivel Freático:	NP	Excavación:	MANUAL (PEÓN)		Fecha:		22/03/2017								
Prof. (m.)	Estrato		Símbolo Gráfico	Descripción Visual del Suelo	Clasificación		Granulometría				Constantes Físicas			Humedad Natural (%)	
	Capa	Espesor (m)			AASHTO	SUCS.	>3"	3" - N°4	N°4 - N°200	< N°200	LL	LP	IP		
0.05		0.10		Suelo orgánico de color gris oscuro y sin vegetación.	-	PT	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.10															
0.15															
0.20															
0.25															
0.30															
0.35															
0.40															
0.45															
0.50															
0.55															
0.60															
0.65															
0.70															
0.75															
0.80															
0.85															
0.90	M-01	1.55		Grava arcillosa, de mediana plasticidad, de humedad baja de color marrón claro, con presencia de piedras angulosas y subredondeadas.		GC	0.0	42.7	22.9	34.4	27.0	16.0	11.0	9.00	
0.95															
1.00															
1.05															
1.10															
1.15															
1.20															
1.25															
1.30															
1.35															
1.40															
1.45															
1.50															
1.55															
1.60															
1.65															
1.70															
1.75															
1.80															
1.85															
1.90															
1.95															
2.00															
2.05															
2.10															
2.15															
2.20															
2.25															
2.30	M-02	1.35		Grava arcillosa, de mediana plasticidad, de humedad baja de color marrón claro, con presencia de piedras angulosas y subredondeadas.		GC	0.0	43.0	21.8	35.3	25.0	14.0	11.0	10.35	
2.35															
2.40															
2.45															
2.50															
2.55															
2.60															
2.65															
2.70															
2.75															
2.80															
2.85															
2.90															
2.95															
3.00															



DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
 DIRECCIÓN DE CAMINOS

EN LA CALICATA ESCAVADA SE PRESENTA PRESENCIA DE SUELOS DE TIPO CLASIFICADO EN CLASIFICACION SUCS. Y GRANULOMETRIA EN CLASIFICACION AASHTO.

**MIGUEL TAPAYURI CHOTA**  
 TECNICO EN MECANICA DE SUELOS

DIRECCIÓN DE CAMINOS  
 Ing. Geiner Alvarado Lopez  
 DIRECTOR

DIRECCION: Km. 1 + 000 CARRETERA A RODRIGUEZ DE MENDOZA- TELEFONO (FAX) #041 - 312358 ANEXO # 121  
 CHACHAPOYAS - AMAZONAS



GOBIERNO REGIONAL DE AMAZONAS  
DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES  
Y COMUNICACIONES - AMAZONAS



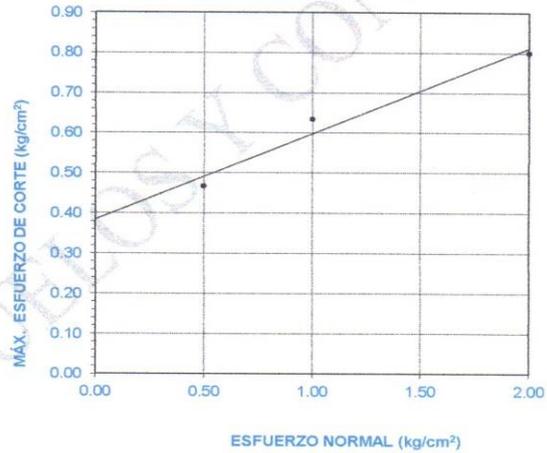
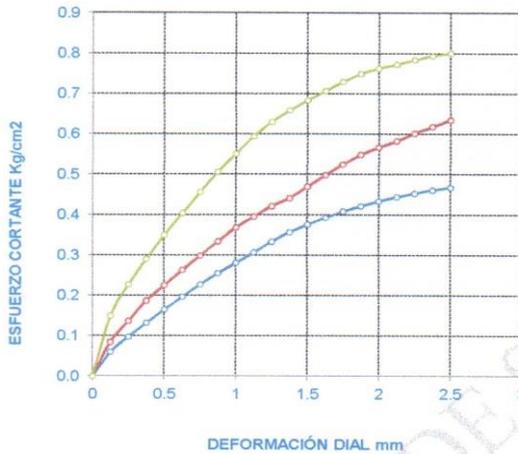
RUC: 20392327747		LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO				REGISTRÓ DE LICENCIA N° 00001990-MPCH		
FORMATO								
CORTE DIRECTO								
NORMA ASTM D - 3080								
Tesis :	"ESTUDIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DEL TRAMO KM-318+000 HASTA KM-318+300 DE LA CARRETERA CAJAMARCA - CHACHAPOYAS"					Codigo Ensayo N° :	0.01 - 2017	
Solicitante :	BACH. CARLOS FERNANDO TAFUR TUESTA (TESISTA)							
Procedencia :	KM. 318+120	Calicata:	N° 01 / M 02		Fecha :	29/06/2017	Ing. Responsable :	G. ALVARADO L.
Ubicación:	Coordenada: 0178625; 9309895	Profundidad :	1.65m - 3.00m				Tec. Responsable :	M. TAPAYURI CH.
Carga	kg/cm <sup>2</sup>	0.5		1.0		2.0		
Espécimen		1		2		3		
Numero de molde Cuadrado		A		B		C		
Peso de la muestra humeda + molde	gr.	307.30		356.70		294.10		
Peso de la muestra saturada + molde	gr.	310.30		357.70		294.50		
Peso de la muestra seca	gr.	126.90		127.90		143.45		
Contenido de humedad natural	%	10.40		10.32		10.35		
Contenido de humedad saturada	%	12.77		11.10		10.63		
Area del molde Cuadrado	cm <sup>2</sup>	36.12		36.00		40.32		
Peso del molde Cuadrado	gr.	167.20		215.60		135.80		
Volumen de molde Cuadrado	cm <sup>3</sup>	77.66		77.40		87.49		
Densidad humeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.804		1.823		1.809		
Densidad saturada	gr/cm <sup>3</sup>	1.843		1.84		1.814		
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	1.634		1.652		1.640		

Dial Deforma.	Desplaz Vertical	Dial Corte	Fuerza cortante	Fuerza cortante	Esfuerzo cortante	Desplaz Vertical	Dial Corte	Fuerza cortante	Fuerza cortante	Esfuerzo cortante	Desplaz Vertical	Dial Corte	Fuerza cortante	Fuerza cortante	Esfuerzo cortante
mm.	mm.	N	KN	Kg	Kg/cm2	mm.	N	KN	Kg	Kg/cm2	mm.	N	KN	Kg	Kg/cm2
0	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0
0.13	0.817	21.2	0.021	2.16	0.060	0.004	29.8	0.030	3.04	0.084	0.010	66.1	0.059	6.02	0.149
0.25	0.822	34.7	0.035	3.54	0.098	0.011	48.3	0.048	4.93	0.137	0.024	89.9	0.080	9.17	0.227
0.38	0.826	48.8	0.047	4.77	0.132	0.017	66.0	0.066	6.73	0.187	0.018	114.9	0.115	11.72	0.291
0.50	0.832	68.5	0.059	5.97	0.165	0.022	79.5	0.080	8.11	0.225	0.045	138.4	0.138	14.11	0.350
0.63	0.838	88.7	0.070	7.11	0.197	0.028	92.9	0.093	9.47	0.263	0.048	169.5	0.160	16.27	0.403
0.75	0.841	80.5	0.081	8.21	0.227	0.031	105.4	0.105	10.75	0.299	0.048	180.3	0.180	18.39	0.456
0.88	0.844	90.4	0.090	9.22	0.255	0.041	117.9	0.118	12.02	0.334	0.050	200.1	0.200	20.40	0.506
1.00	0.848	99.5	0.100	10.15	0.281	0.051	130.0	0.130	13.26	0.368	0.058	218.0	0.218	22.23	0.551
1.13	0.846	108.6	0.109	11.09	0.307	0.061	138.5	0.140	14.22	0.395	0.062	235.0	0.235	23.96	0.594
1.25	0.848	116.3	0.118	12.06	0.334	0.072	148.6	0.149	15.15	0.421	0.062	248.0	0.249	25.39	0.630
1.38	0.850	126.5	0.127	12.90	0.357	0.078	155.7	0.156	15.88	0.441	0.062	260.4	0.260	26.55	0.659
1.50	0.850	133.2	0.133	13.58	0.376	0.081	165.7	0.166	16.90	0.469	0.059	270.3	0.270	27.57	0.684
1.63	0.846	138.2	0.139	14.19	0.393	0.085	175.7	0.176	17.92	0.498	0.058	279.6	0.280	28.51	0.707
1.75	0.841	144.5	0.145	14.73	0.408	0.090	185.2	0.185	18.88	0.525	0.058	289.5	0.289	29.42	0.730
1.88	0.839	148.3	0.149	15.22	0.421	0.094	193.6	0.194	19.74	0.548	0.055	296.2	0.296	30.20	0.749
2.00	0.838	153.6	0.154	15.66	0.434	0.097	200.2	0.200	20.41	0.567	0.052	301.6	0.302	30.75	0.763
2.13	0.837	157.3	0.157	16.04	0.444	0.098	205.5	0.206	20.95	0.582	0.048	305.6	0.306	31.16	0.773
2.25	0.833	160.4	0.160	16.36	0.453	0.099	212.5	0.213	21.67	0.602	0.043	309.8	0.310	31.59	0.784
2.38	0.826	163.2	0.163	16.64	0.461	0.102	218.2	0.218	22.25	0.618	0.041	314.0	0.314	32.02	0.794
2.50	0.825	165.6	0.166	16.88	0.467	0.108	224.1	0.2	22.85	0.635	0.038	316.6	0.3	32.28	0.801
2.63	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
2.75	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
2.88	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
3.00	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
3.13	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
3.25	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
3.38	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
3.50	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
3.63	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
3.75	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
3.88	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
4.00	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
4.13	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
4.25	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
4.38	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
4.50	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
4.63	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
4.75	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
4.88	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
5.00	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
5.13	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
5.25	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
5.38	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
5.50	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
5.63	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
5.75	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
5.88	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
6.00	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
6.13	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
6.25	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
6.38	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
6.50	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
6.63	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
6.75	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
6.88	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
7.00	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
7.13	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
7.25	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
7.38	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
7.50	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
7.63	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
7.75	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
7.88	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
8.00	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
8.13	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
8.25	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000



RUC: 20392327747				REGISTRO DE LICENCIA N° 00001990-MPCH			
<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO</b>							
FORMATO							
CORTE DIRECTO							
NORMA ASTM D - 3080							
Tesis :	"ESTUDIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DEL TRAMO KM-318+000 HASTA KM-318+300 DE LA CARRETERA CAJAMARCA - CHACHAPOYAS"					Codigo Ensayo N° :	0.01 - 2017
Solicitante :	BACH. CARLOS FERNANDO TAFUR TUESTA (TESISTA)						
Procedencia :	KM. 318+120	Calicata:	N° 01 / M 02	Fecha :	29/05/2017	Ing. Responsable :	G. ALVARADO L.
Ubicación:	Coordenada: 0178625; 9309895	Profundidad :	1.65m - 3.00m			Tec. Responsable :	M. TAPAYURI CH.

COHESIÓN	0.38	kg/cm <sup>2</sup>
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA	12.1	°



DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES  
Y COMUNICACIONES  
DIRECCIÓN DE CAMINOS  
*[Signature]*  
MIGUEL TAPAYURI CHOTA  
TÉCNICO EN MECANICA DE SUELOS

DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
DIRECCIÓN DE CAMINOS E INFRAESTRUCTURA  
AEROPORTUARIA  
DIRECCIÓN DE CAMINOS  
-AMAZONAS-  
*[Signature]*  
Ing. Geiner Alvarado Lopez  
DIRECTOR



LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y ASFALTO																																					
REGISTRO DE EXCAVACIÓN (CALICATA: C-001)																																					
PERFIL ESTRATIGRÁFICO																																					
Proyecto:	" ESTUDIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DEL TRAMO KM-318+000 HASTA KM-318+300 DE LA CARRETERA CAJAMARCA - CHACHAPOYAS "																																				
Solicitante:	BACH. CARLOS FERNANDO TAFUR TUESTA (TESISTA)					Codigo Ensayo N° :	0.001 - 2017																														
Muestra :	02	Calicata :	N° 01	Coord. :	ESTE-0178625; NORTE-9309895	Ing. Responsable :	G. ALVARADO L.																														
Profundidad :	3.00m	Fecha :	22/03/2017			Tec. Responsable :	M. TAPAYURI CH.																														
<b>CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE</b>																																					
<b>(TERZAGHI, ROTURA GENERAL)</b>																																					
(Condiciones drenadas o sin drenar)																																					
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p>Ecuación general de Terzaghi (condiciones drenadas):</p> <math display="block">q_h = c \cdot N_c + q \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma</math> <math display="block">q_{adm} = \frac{q_h}{F}</math> </div>																																					
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 60%; background-color: #f0f0f0;"> <p><math>q_{adm} =</math> <span style="background-color: yellow; padding: 2px 10px;">1.39 kg/cm<sup>2</sup></span></p> </div>																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>Ángulo rozamiento interno <math>\phi</math>:</td> <td>12.1 °</td> <td>12.1 °</td> </tr> <tr> <td>Peso específico suelo, <math>\gamma</math>:</td> <td>1.81 gr/cm<sup>3</sup></td> <td>0.0018 kg/cm<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Profundidad cimentación, D:</td> <td>1.00 m</td> <td>100 cm</td> </tr> <tr> <td>Tensión vertical, q:</td> <td></td> <td>0.18 kg/cm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Cohesión, c:</td> <td>0.38 kg/cm<sup>2</sup></td> <td>0.38 kg/cm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Factor de seguridad, F:</td> <td>3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Ancho cimentación, B:</td> <td>1.00 m</td> <td>100 cm</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Factores</td> <td>capacidad</td> <td><math>N_c</math>:</td> <td>9.34</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">carga</td> <td><math>N_q</math>:</td> <td>3.00</td> </tr> <tr> <td><math>N_\gamma</math>:</td> <td>0.86</td> </tr> </tbody> </table>								Ángulo rozamiento interno $\phi$ :	12.1 °	12.1 °	Peso específico suelo, $\gamma$ :	1.81 gr/cm <sup>3</sup>	0.0018 kg/cm <sup>3</sup>	Profundidad cimentación, D:	1.00 m	100 cm	Tensión vertical, q:		0.18 kg/cm <sup>2</sup>	Cohesión, c:	0.38 kg/cm <sup>2</sup>	0.38 kg/cm <sup>2</sup>	Factor de seguridad, F:	3	3	Ancho cimentación, B:	1.00 m	100 cm	Factores	capacidad	$N_c$ :	9.34	carga	$N_q$ :	3.00	$N_\gamma$ :	0.86
Ángulo rozamiento interno $\phi$ :	12.1 °	12.1 °																																			
Peso específico suelo, $\gamma$ :	1.81 gr/cm <sup>3</sup>	0.0018 kg/cm <sup>3</sup>																																			
Profundidad cimentación, D:	1.00 m	100 cm																																			
Tensión vertical, q:		0.18 kg/cm <sup>2</sup>																																			
Cohesión, c:	0.38 kg/cm <sup>2</sup>	0.38 kg/cm <sup>2</sup>																																			
Factor de seguridad, F:	3	3																																			
Ancho cimentación, B:	1.00 m	100 cm																																			
Factores	capacidad	$N_c$ :	9.34																																		
	carga	$N_q$ :	3.00																																		
		$N_\gamma$ :	0.86																																		

DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES  
Y COMUNICACIONES  
DIRECCIÓN DE CAMINOS

ING. GUEL TAPAYURI CHOTA  
FÍSICO EN MECÁNICA DE SUELOS



DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
DIRECCIÓN DE CAMINOS E INFRAESTRUCTURA  
AEROPORTUARIA

Ing. Geiner Alvarado Lopez  
DIRECTOR



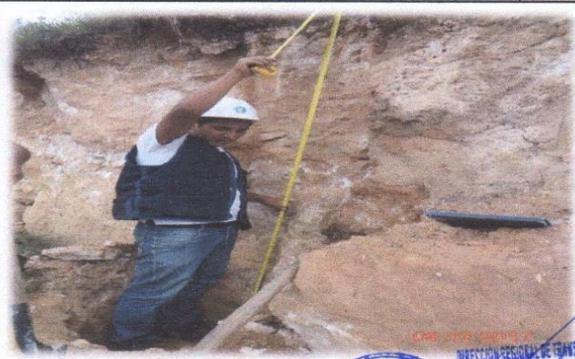
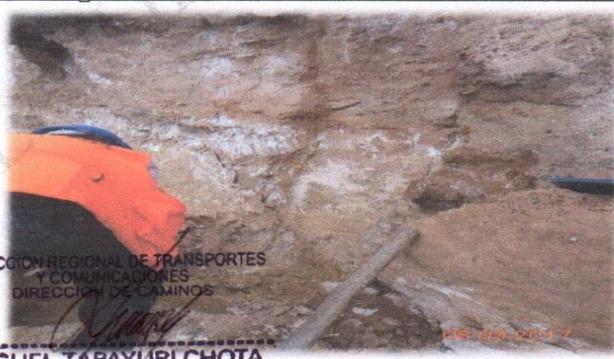
GOBIERNO REGIONAL DE AMAZONAS  
DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES  
Y COMUNICACIONES - AMAZONAS



RUC: 20392327747

REGISTRÓ DE LICENCIA N° 00001990-MPCH

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y ASFALTO														
REGISTRO DE EXCAVACIÓN (CALICATA: C-002)														
PERFIL ESTRATIGRÁFICO														
Proyecto:		" ESTUDIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DEL TRAMO KM-318+000 HASTA KM-318+300 DE LA CARRETERA CAJAMARCA - CHACHAPOYAS "								Codigo Ensayo N°:		0.002 - 2017		
Solicitante:		BACH. CARLOS FERNANDO TAFUR TUESTA (TESISTA)								Ing. Responsable:		G. ALVARADO L.		
Muestra:	03	Calicata:	N° 02		Coord.:	ESTE-0178668; NORTE-9309801		Tec. Responsable:		M. TAPAYURI CH.				
Material:	NATURAL	Profundidad:	3.00m		Fecha:		22/03/2017							
Nivel Freático:	NP	Excavación:	MANUAL (PEÓN)											
Prof. (m.)	Estrato		Símbolo Gráfico	Descripción Visual del Suelo	Clasificación		Granulometría				Constantes Físicas			Humedad Natural (%)
	Capa	Espesor (m)			AASHTO	Sucs.	>3"	3" - N°4	N°4 - N° 200	< N° 200	L.L.	L.P	IP	
0.05 0.10 0.15 0.20 0.25		0.25		Suelo orgánico de color gris oscuro, presenta materia orgánica y poca vegetación.	-	PT	-	-	-	-	-	-	-	-
0.30 0.35 0.40 0.45 0.50 0.55 0.60 0.65 0.70 0.75 0.80 0.85 0.90 0.95 1.00 1.05 1.10 1.15 1.20	M-01	0.95		Limo inorgánico con mezclas de arena gruesa, mediana y finas, no plástico, color beige con ligeras manchas de color blanco.		ML	0.0	0.7	45.1	54.2	NP	NP	NP	18.81
1.25 1.30 1.35 1.40 1.45 1.50 1.55 1.60 1.65 1.70 1.75 1.80 1.85 1.90 1.95 2.00 2.05 2.10 2.15 2.20 2.25	M-02	1.05		Arenas limosas mezcla de arena-limo, color beige con manchas blancas, no plástico (baja humedad), (de cimentación moderada), arena de granos finos.		SM	0.0	0.6	66.8	32.7	NP	NP	NP	8.83
2.30 2.35 2.40 2.45 2.50 2.55 2.60 2.65 2.70 2.75 2.80 2.85 2.90 2.95 3.00	M-03	0.75		Arena pobremente graduada con limo, color beige, no plástico con baja humedad, (consistencia compacto) con poco % material granular.		SP-SM	0.0	0.0	88.1	11.9	NP	NP	NP	4.34



DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES  
Y COMUNICACIONES  
DIRECCIÓN DE CAMINOS

MIGUEL TAPAYURI CHOTA  
TÉCNICO EN MECÁNICA DE SUELOS

EN LA CALICATA EXCAVADA NO SE PRESENCIA NIVEL FREÁTICO

DIRECCION: Km. 1 + 000 CARRETERA A RODRIGUEZ DE MENDOZA- TELEFONO (FAX) #041 - 312358  
CHACHAPOYAS - AMAZONAS

ANEXO # 121  
CAMINOS  
Ing. Geiner Alvarado Lopez  
DIRECTOR



**GOBIERNO REGIONAL DE AMAZONAS**  
**DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES - AMAZONAS**



RUC: 20392327747

REGISTRÓ DE LICENCIA N° 00001990-MPCH

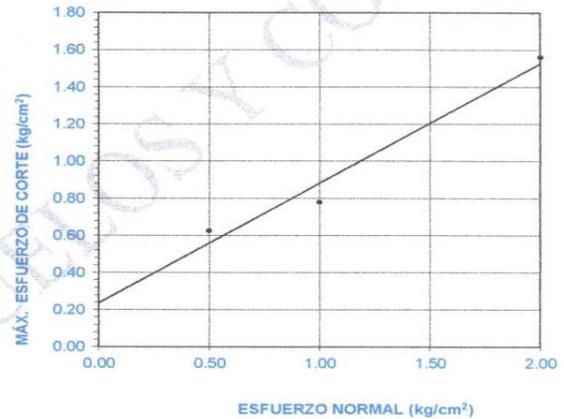
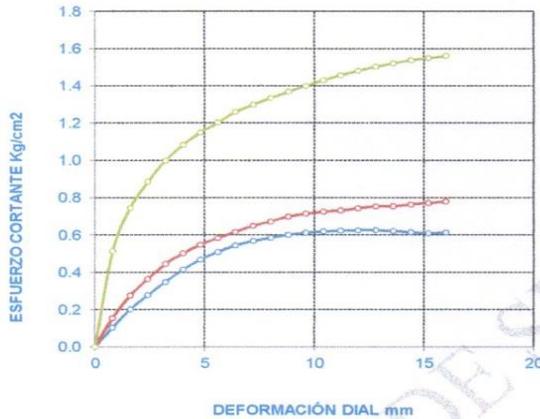
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
FORMATO							
CORTE DIRECTO							
NORMA ASTM D - 3080							
Tesis :	"ESTUDIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DEL TRAMO KM-318+000 HASTA KM-318+300 DE LA CARRETERA CAJAMARCA - CHACHAPOYAS"				Codigo Ensayo N° :	0.02 - 2017	
Solicitante :	BACH. CARLOS FERNANDO TAFUR TUESTA (TESISTA)				Ing. Responsable :	G. ALVARADO L.	
Procedencia :	KM. 318+090	Calicata:	N° 02 / M 03	Fecha :	03/05/2017	Tec. Responsable :	M. TAPAYURI CH.
Ubicación:	Coordenada: 0178668; 9309901	Profundidad :	2.25m - 3.00m				
Carga	kg/cm <sup>2</sup>	0.5	1.0	2.0			
Especimen		1	2	3			
Numero de molde Cuadrado		A	B	C			
Peso de la muestra humeda + molde	gr.	292.80	340.25	277.75			
Peso de la muestra saturada + molde	gr.	0.00	0.00	0.00			
Peso de la muestra seca	gr.	120.40	119.40	136.10			
Contenido de humedad natural	%	4.32	4.40	4.30			
Contenido de humedad saturada	%	0.00	0.00	0.00			
Area del molde Cuadrado	cm <sup>2</sup>	36.12	36.00	40.32			
Peso del molde Cuadrado	gr.	167.20	215.60	135.80			
Volumen de molde Cuadrado	cm <sup>3</sup>	77.66	77.40	87.49			
Densidad humeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.617	1.610	1.622			
Densidad saturada	gr/cm <sup>3</sup>	0.000	0.00	0.000			
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	1.550	1.543	1.556			

Dial Deforma.	Desplaz Vertical	Dial Corte	Fuerza cortante	Fuerza cortante	Esfuerzo cortante	Desplaz Vertical	Dial Corte	Fuerza cortante	Fuerza cortante	Esfuerzo cortante	Desplaz Vertical	Dial Corte	Fuerza cortante	Fuerza cortante	Esfuerzo cortante
mm.	mm.	N	KN	Kg	Kg/cm2	mm.	N	KN	Kg	Kg/cm2	mm.	N	KN	Kg	Kg/cm2
0	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0
0.80	0.473	36.8	0.037	3.75	0.104	0.008	54.6	0.055	5.57	0.155	0.623	203.4	0.203	20.74	0.514
1.60	0.481	71.6	0.072	7.30	0.202	0.008	97.6	0.098	9.95	0.276	0.840	284.6	0.295	30.04	0.745
2.40	0.489	98.7	0.099	10.08	0.279	0.008	128.4	0.128	13.09	0.364	0.856	359.2	0.350	35.71	0.886
3.20	0.494	123.8	0.124	12.62	0.349	0.008	157.0	0.157	16.01	0.445	0.674	395.2	0.395	40.30	0.999
4.00	0.498	147.2	0.147	15.01	0.416	0.008	177.0	0.177	18.05	0.501	0.685	428.4	0.428	43.88	1.083
4.80	0.492	166.2	0.166	16.95	0.469	0.009	193.6	0.194	19.74	0.548	0.690	454.4	0.454	46.34	1.149
5.60	0.493	180.8	0.181	18.44	0.510	0.009	206.2	0.206	21.03	0.584	0.696	475.8	0.476	48.52	1.203
6.40	0.472	183.2	0.183	19.70	0.545	0.009	218.0	0.218	22.23	0.617	0.705	499.2	0.498	50.80	1.260
7.20	0.454	201.8	0.202	20.58	0.570	0.009	229.6	0.230	23.41	0.650	0.710	513.6	0.514	52.37	1.299
8.00	0.434	207.8	0.208	21.19	0.587	0.009	238.0	0.238	24.27	0.674	0.712	527.8	0.528	53.82	1.335
8.80	0.415	213.4	0.213	21.76	0.602	0.009	246.8	0.247	25.17	0.699	0.714	541.4	0.541	55.21	1.369
9.60	0.385	217.0	0.217	22.13	0.613	0.010	252.6	0.253	25.76	0.715	0.717	553.6	0.554	56.45	1.400
10.40	0.374	219.8	0.220	22.41	0.621	0.010	256.2	0.256	26.12	0.726	0.730	565.8	0.566	57.89	1.431
11.20	0.350	221.2	0.221	22.56	0.624	0.010	258.6	0.258	26.37	0.732	0.708	578.2	0.576	58.76	1.457
12.00	0.326	222.0	0.222	22.64	0.627	0.011	262.6	0.263	26.78	0.744	0.704	586.2	0.588	59.77	1.483
12.80	0.304	222.2	0.222	22.66	0.627	0.018	266.6	0.267	27.19	0.755	0.704	594.6	0.595	60.83	1.504
13.60	0.283	229.8	0.221	22.49	0.623	0.015	268.8	0.267	27.21	0.756	0.701	601.8	0.602	61.35	1.521
14.40	0.259	217.8	0.218	22.21	0.615	0.010	270.0	0.270	27.53	0.765	0.700	608.2	0.608	62.02	1.538
15.20	0.238	216.0	0.216	22.03	0.610	0.010	272.6	0.273	27.80	0.772	0.698	612.6	0.613	62.47	1.549
16.00	0.219	217.4	0.217	22.17	0.614	0.010	275.8	0.3	28.10	0.781	0.696	617.4	0.6	62.96	1.561
16.80	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
17.60	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
18.40	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
19.20	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
20.00	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
20.80	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
21.60	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
22.40	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
23.20	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
24.00	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
24.80	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
25.60	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
26.40	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
27.20	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
28.00	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
28.80	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
29.60	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
30.40	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
31.20	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
32.00	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
32.80	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
33.60	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
34.40	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
35.20	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
36.00	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
36.80	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
37.60	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
38.40	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
39.20	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
40.00	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
40.80	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
41.60	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
42.40	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
43.20	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
44.00	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
44.80	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
45.60	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
46.40	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
47.20	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
48.00	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
48.80	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
49.60	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
50.40	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
51.20	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000
52.00	0.000	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00	0.000	0.00				



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
FORMATO							
CORTE DIRECTO							
NORMA ASTM D - 3080							
Tesis :	"ESTUDIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DEL TRAMO KM-318+000 HASTA KM-318+300 DE LA CARRETERA CAJAMARCA - CHACHAPOYAS"				Codigo Ensayo N° :	0.02 - 2017	
Solicitante :	BACH. CARLOS FERNANDO TAFUR TUESTA (TESISTA)						
Procedencia :	KM. 318+090	Calicata:	N° 02 / M 03	Fecha :	03/05/2017	Ing. Responsable :	G. ALVARADO L.
Ubicación:	Coordenada: 0178668; 9309901	Profundidad :	2.25m - 3.00m			Tec. Responsable :	M. TAPAYURI CH.

COHESIÓN	0.00	kg/cm <sup>2</sup>
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA	32.8	°



DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
DIRECCIÓN DE CAMINOS

MIGUEL TAPAYURI CHOTA  
TECNICO EN MECANICA DE SUELOS



DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
DIRECCIÓN DE CAMINOS E INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA

Ing. Geiner Alvarado Lopez  
DIRECTOR



LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y ASFALTO																																			
REGISTRO DE EXCAVACIÓN (CALICATA: C-001)																																			
PERFIL ESTRATIGRÁFICO																																			
Proyecto:	" ESTUDIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DEL TRAMO KM-318+000 HASTA KM-318+300 DE LA CARRETERA CAJAMARCA - CHACHAPOYAS"																																		
Solicitante:	BACH. CARLOS FERNANDO TAFUR TUESTA (TESISTA)			Codigo Ensayo N° :	0.002 - 2017																														
Muestra :	03	Calicata :	N° 02	Coord. : ESTE-0178668; NORTE-9309901	Ing. Responsable :	G. ALVARADO L.																													
Profundidad :	3.00m	Fecha :	22/03/2017		Tec. Responsable :	M. TAPAYURI CH.																													
<b>CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE</b>																																			
<b>(TERZAGHI, ROTURA GENERAL)</b>																																			
(Condiciones drenadas o sin drenar)																																			
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p>Ecuación general de Terzaghi (condiciones drenadas):</p> <math display="block">q_h = c \cdot N_c + q \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma</math> <math display="block">q_{adm} = \frac{q_h}{F}</math> </div>																																			
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"><math>q_{adm} =</math></td> <td style="padding: 5px; background-color: yellow;">2.22 kg/cm<sup>2</sup></td> </tr> </table>						$q_{adm} =$	2.22 kg/cm <sup>2</sup>																												
$q_{adm} =$	2.22 kg/cm <sup>2</sup>																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Ángulo rozamiento interno <math>\phi</math>:</td> <td style="width: 30%;">32.8 °</td> <td style="width: 30%;">32.8 °</td> </tr> <tr> <td>Peso específico suelo, <math>\gamma</math>:</td> <td>1.62 gr/cm<sup>3</sup></td> <td>0.0016 kg/cm<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Profundidad cimentación, D:</td> <td>1.00 m</td> <td>100 cm</td> </tr> <tr> <td>Tensión vertical, q:</td> <td></td> <td>0.16 kg/cm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Cohesión, c:</td> <td>0.00 kg/cm<sup>2</sup></td> <td>0.00 kg/cm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Factor de seguridad, F:</td> <td>3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Ancho cimentación, B:</td> <td>1.00 m</td> <td>100 cm</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">Factores</td> <td><math>N_c</math>:</td> <td>37.98</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">capacidad</td> <td><math>N_q</math>:</td> <td>25.48</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">carga</td> <td><math>N_\gamma</math>:</td> <td>31.55</td> </tr> </table>						Ángulo rozamiento interno $\phi$ :	32.8 °	32.8 °	Peso específico suelo, $\gamma$ :	1.62 gr/cm <sup>3</sup>	0.0016 kg/cm <sup>3</sup>	Profundidad cimentación, D:	1.00 m	100 cm	Tensión vertical, q:		0.16 kg/cm <sup>2</sup>	Cohesión, c:	0.00 kg/cm <sup>2</sup>	0.00 kg/cm <sup>2</sup>	Factor de seguridad, F:	3	3	Ancho cimentación, B:	1.00 m	100 cm	Factores	$N_c$ :	37.98	capacidad	$N_q$ :	25.48	carga	$N_\gamma$ :	31.55
Ángulo rozamiento interno $\phi$ :	32.8 °	32.8 °																																	
Peso específico suelo, $\gamma$ :	1.62 gr/cm <sup>3</sup>	0.0016 kg/cm <sup>3</sup>																																	
Profundidad cimentación, D:	1.00 m	100 cm																																	
Tensión vertical, q:		0.16 kg/cm <sup>2</sup>																																	
Cohesión, c:	0.00 kg/cm <sup>2</sup>	0.00 kg/cm <sup>2</sup>																																	
Factor de seguridad, F:	3	3																																	
Ancho cimentación, B:	1.00 m	100 cm																																	
Factores	$N_c$ :	37.98																																	
capacidad	$N_q$ :	25.48																																	
carga	$N_\gamma$ :	31.55																																	

DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES  
Y COMUNICACIONES  
DIRECCIÓN DE CAMINOS

MIGUEL TAPAYURI CHOTA  
TECNICO EN MECÁNICA DE SUELOS

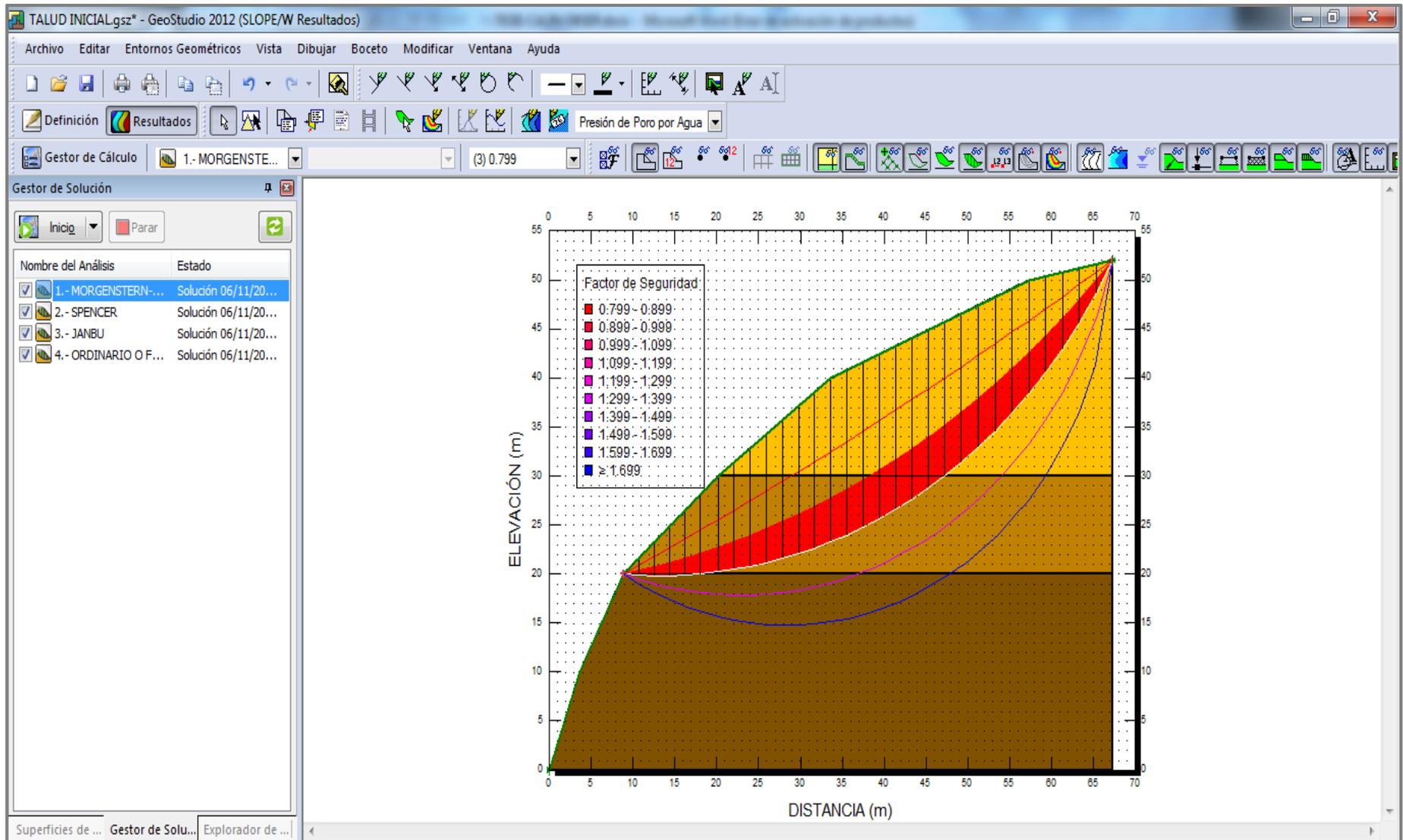


DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
DIRECCIÓN DE CAMINOS E INFRAESTRUCTURA  
AEROPORTUARIA

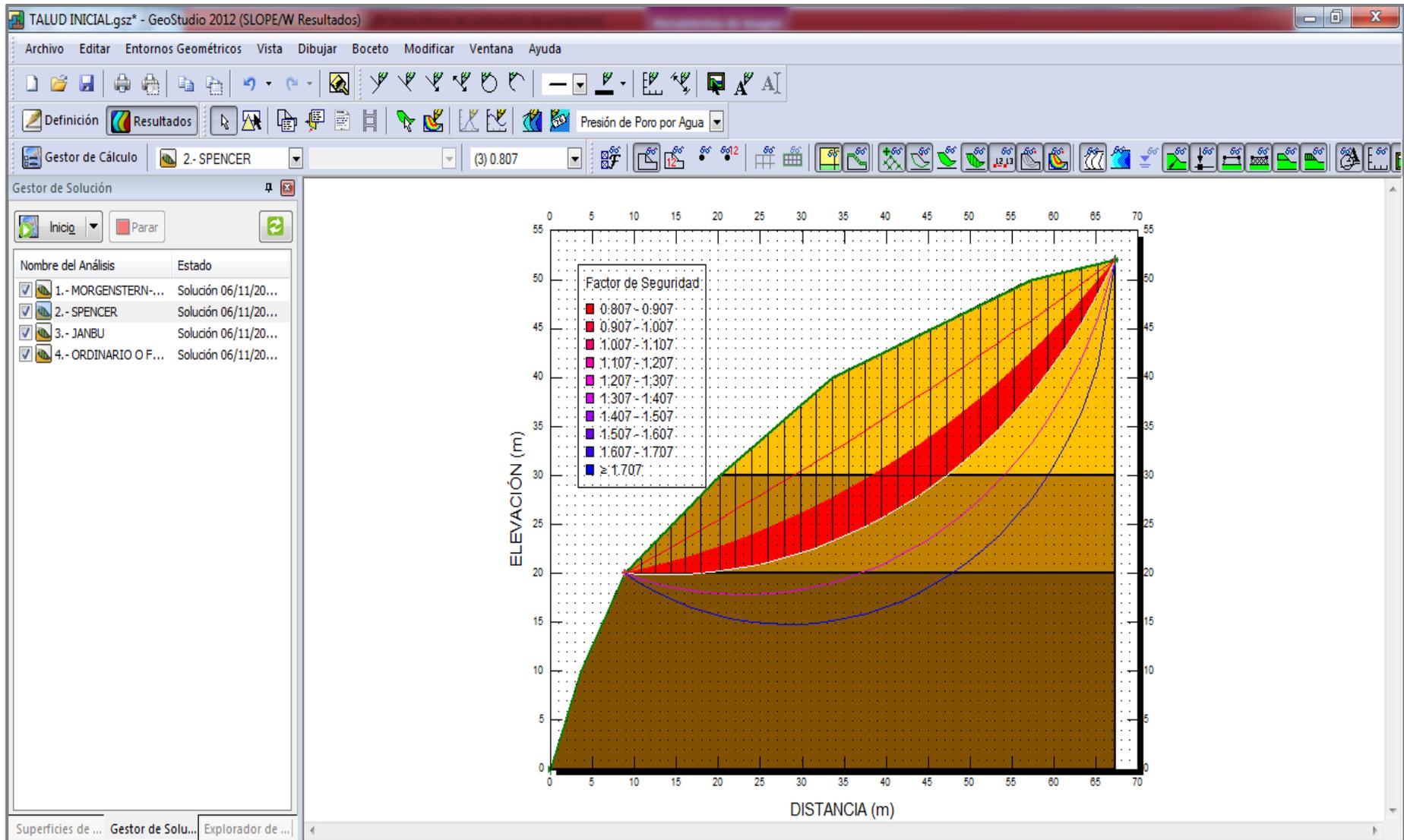
Ing. Geiner Alvarado Lopez  
DIRECTOR

**ANEXO 2**

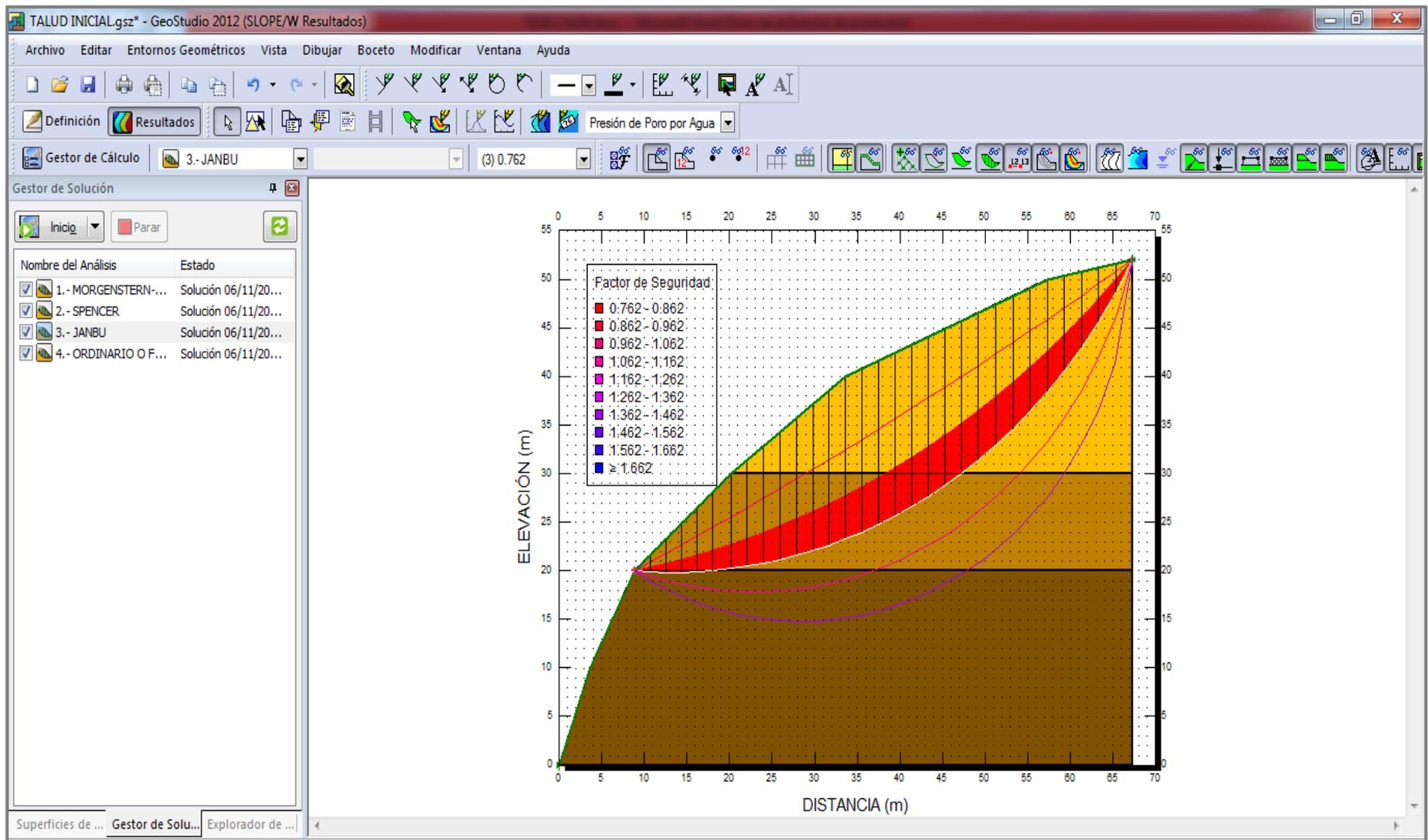
**RESULTADOS OBTENIDOS EN EL SOFTWARE ESPECIALIZADO DE  
ESTABILIZACIÓN**



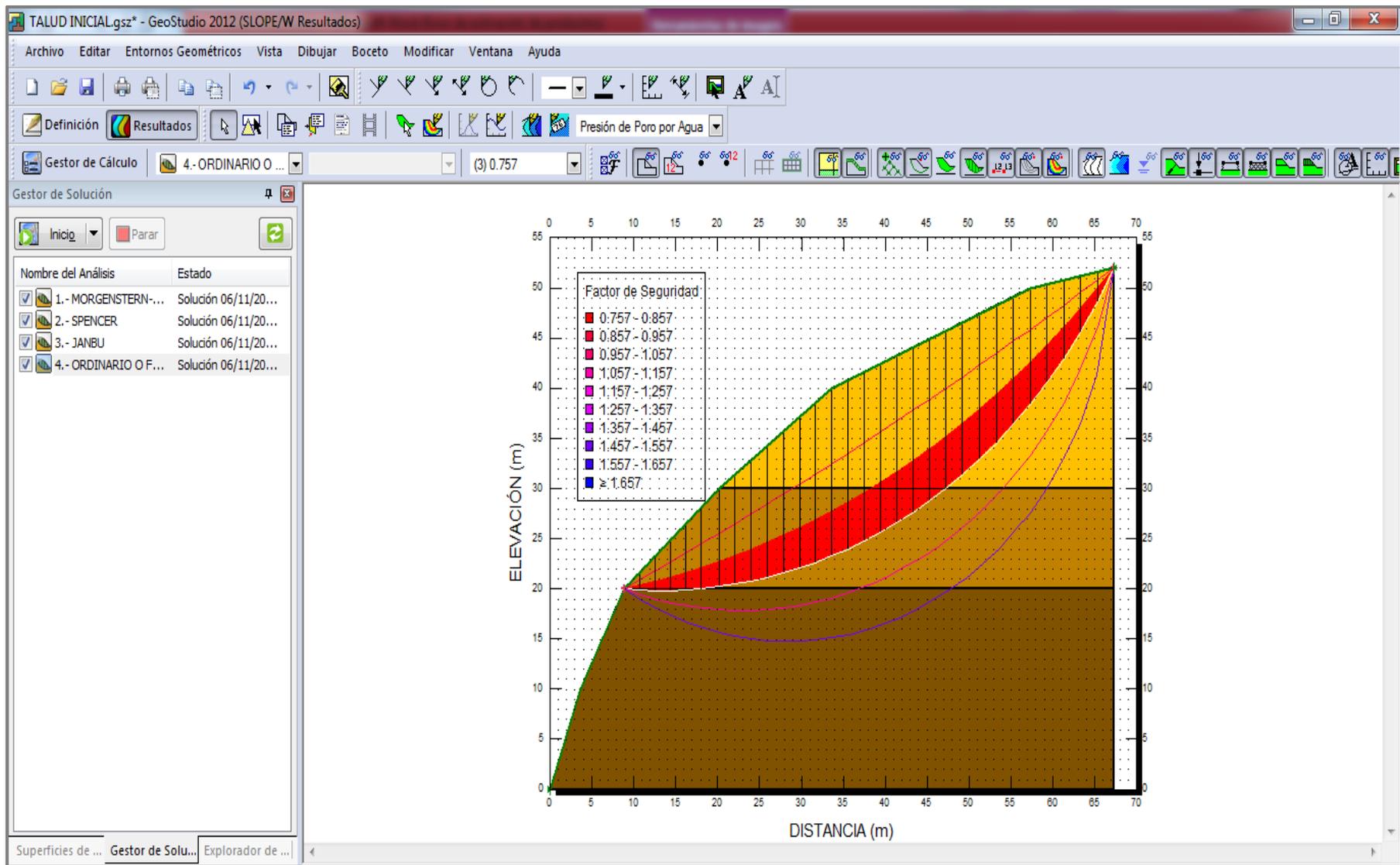
*Talud inicial:* Método de Morgenstern-Price.



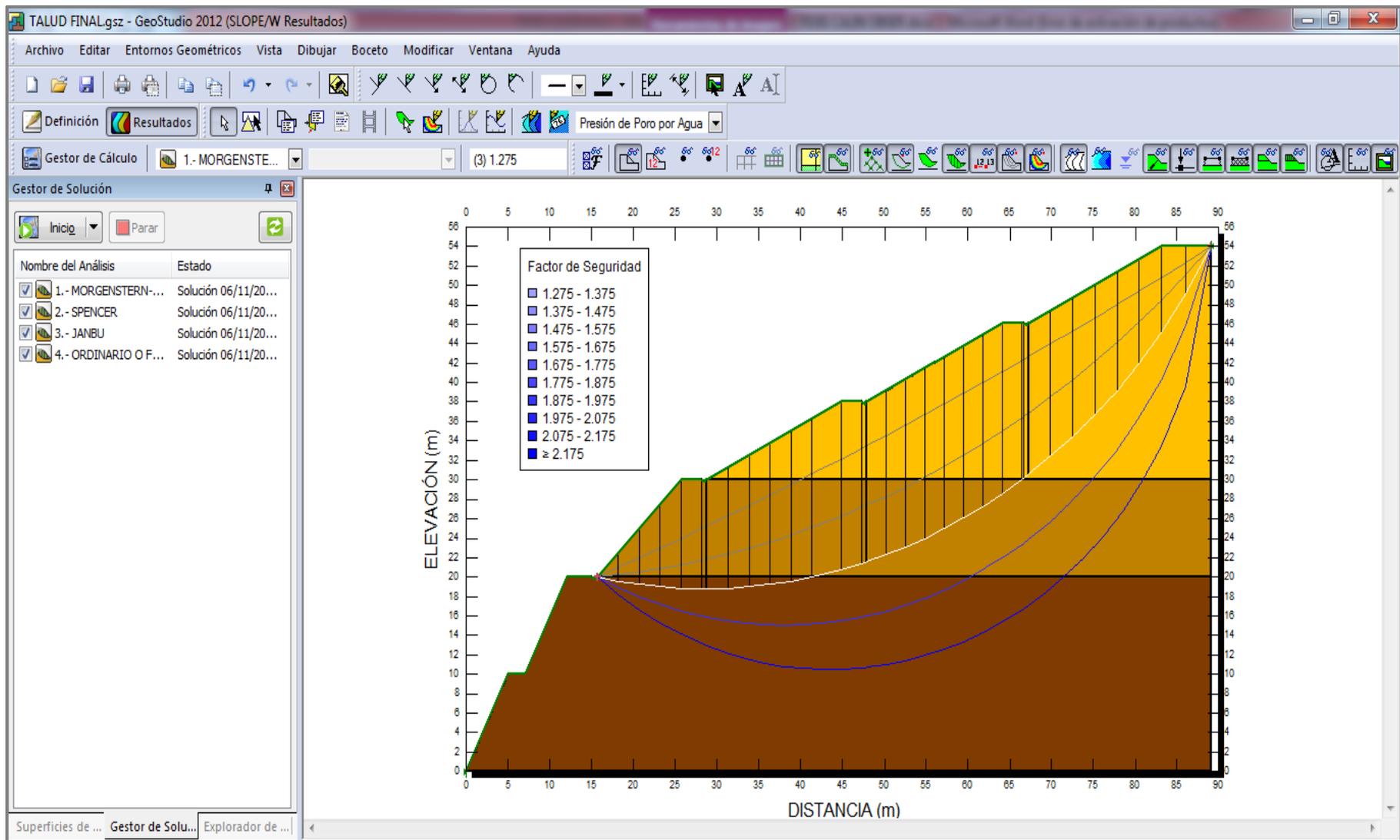
*Talud inicial:* Método de Spencer.



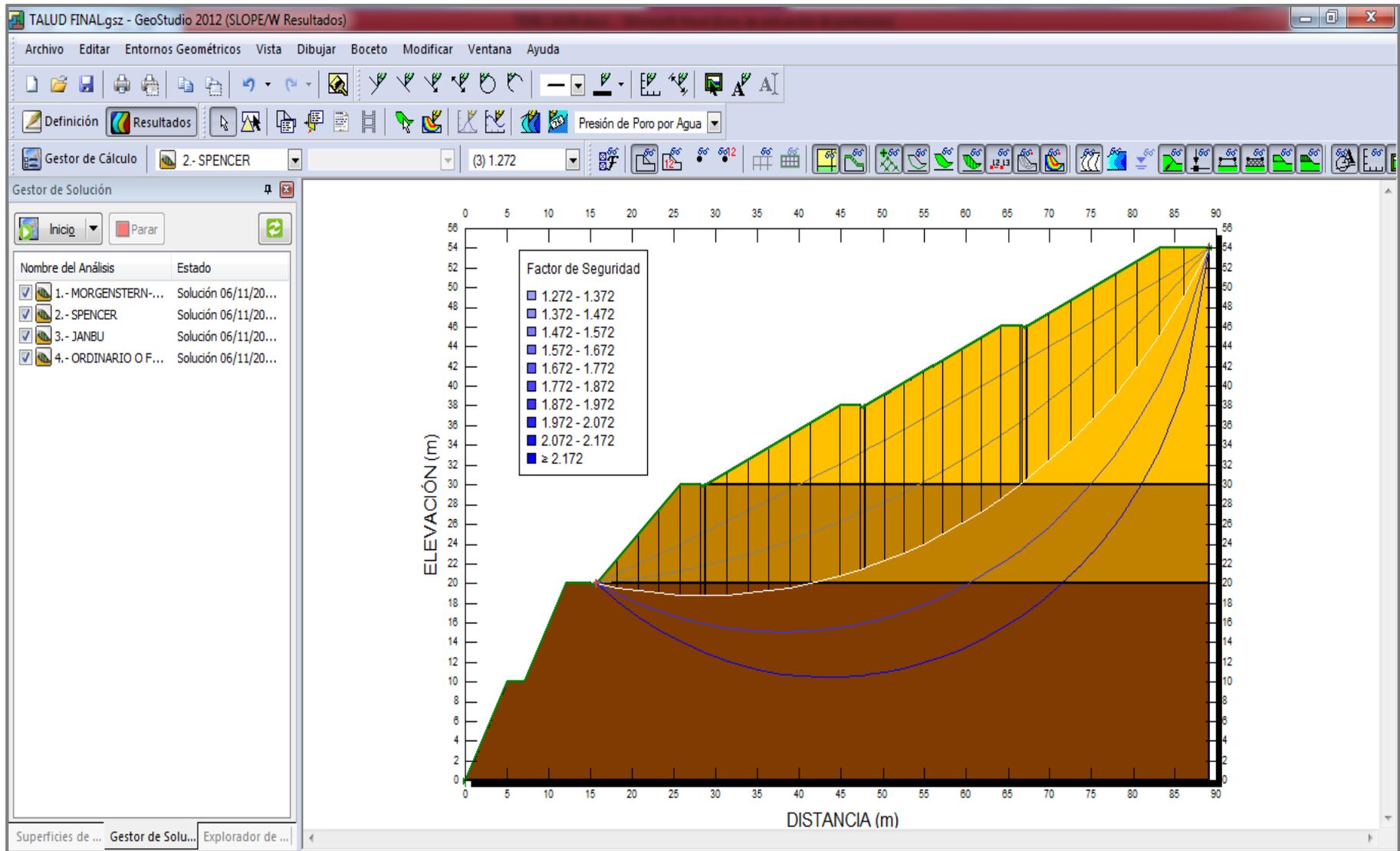
*Talud inicial:* Método de Janbú.



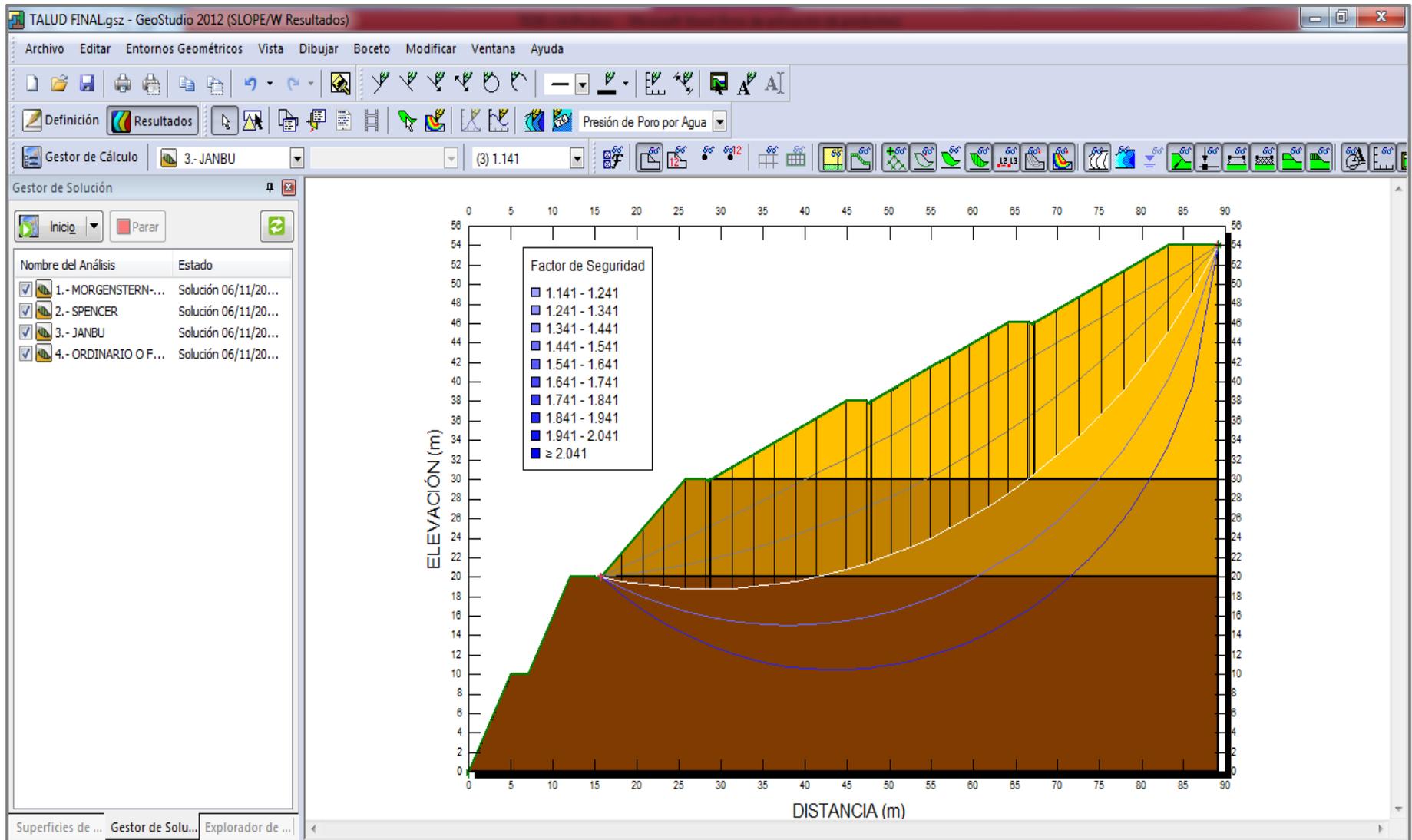
**Talud inicial:** Método Ordinario o de Fellenius.



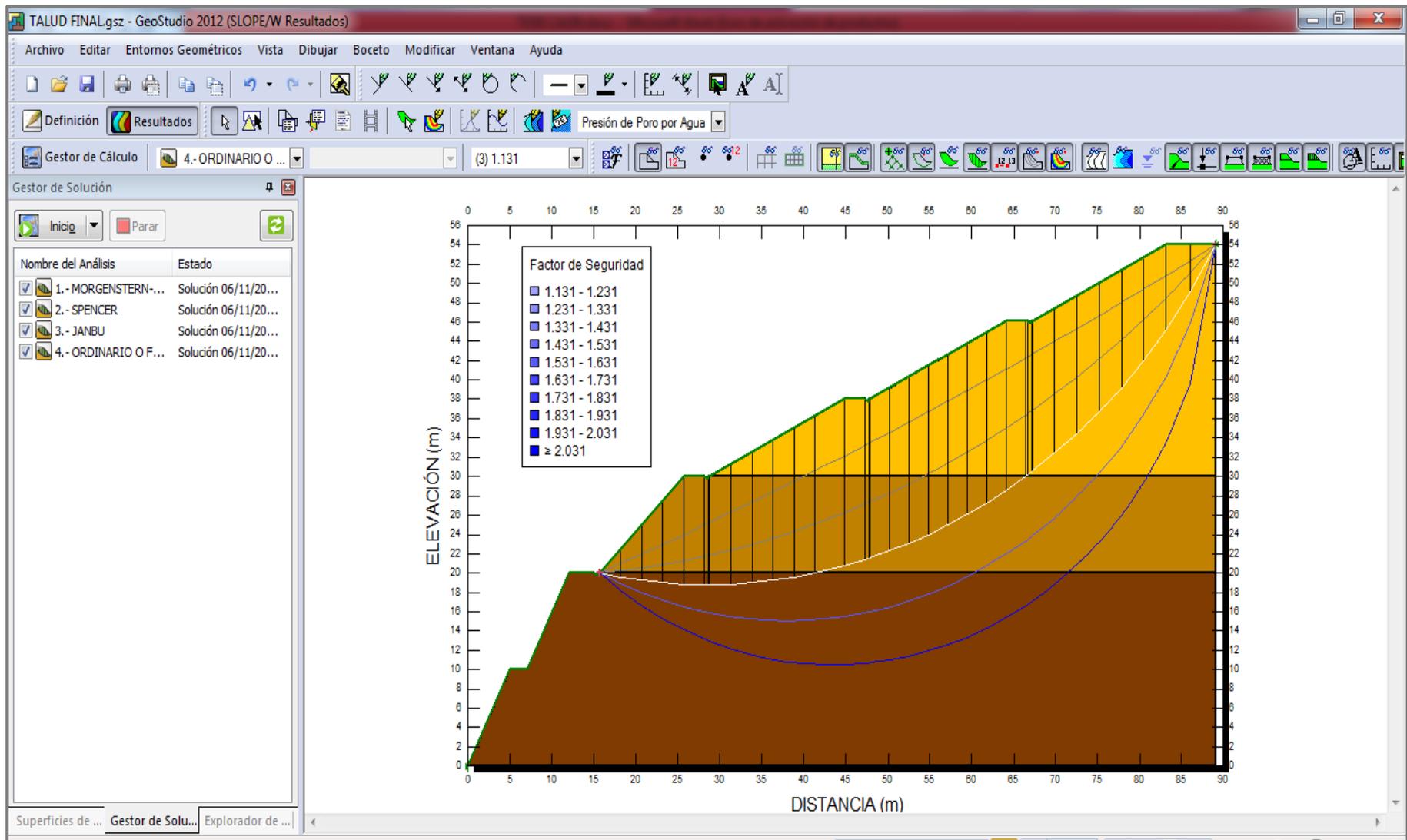
**Talud final:** Método de Morgenstern-Price.



**Talud final:** Método de Spencer.

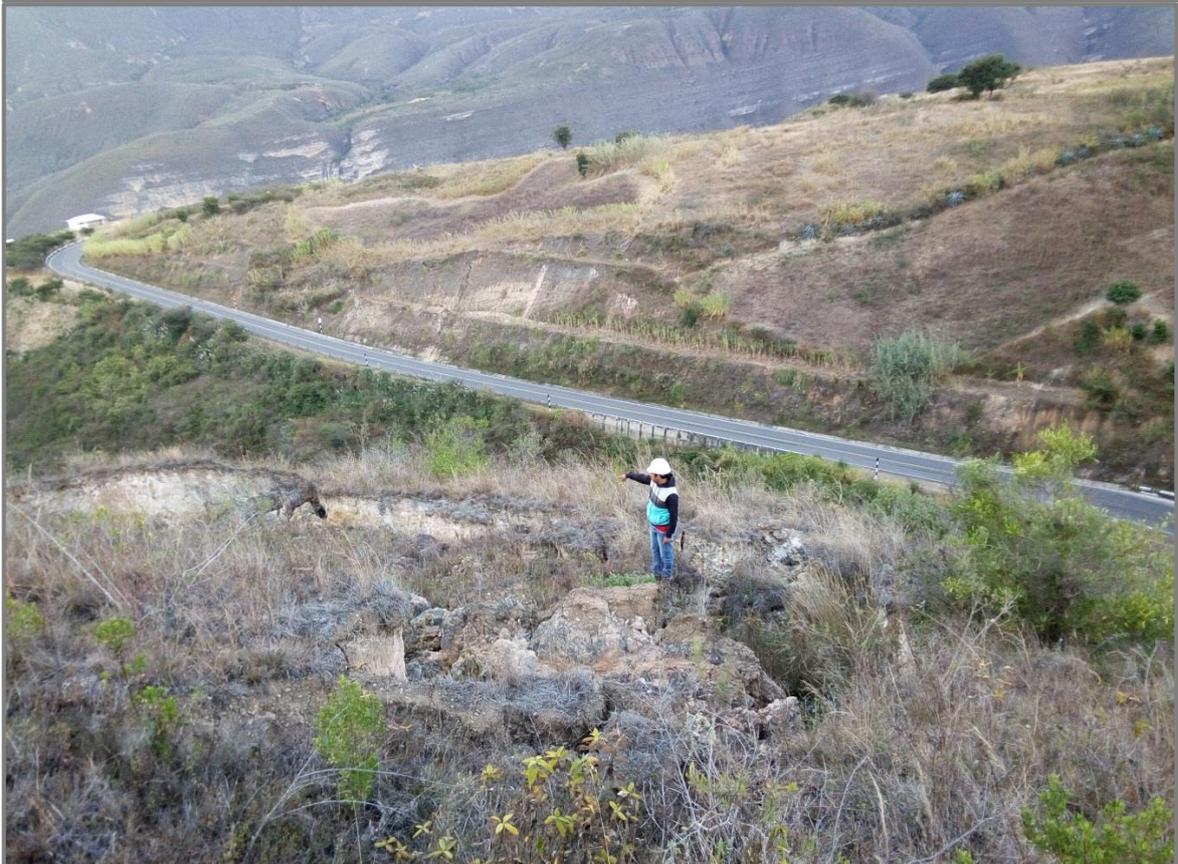


**Talud final:** Método de Janbú.



**Talud final:** Método Ordinario o de Fellenius.

**ANEXO 03**  
**PANEL FOTOGRAFICO**



**FOTO 01 y 02.** Grietas en la cresta del talud.



**FOTO 03 y 04.** Levantamiento topográfico del talud con estación total.



**FOTO 05.** Sección crítica del talud (KM 318+103).



**FOTO 06.** Extracción de muestras en la calicata 01.



**FOTO 07.** Extracción de muestras en la calicata 02.



**FOTO 08.** Apoyo en la preparación de muestras para los ensayos en laboratorio.



**FOTO 09.** Ensayos en laboratorio de suelos.