

**ESTABILIZACION DEL TALUD DE LA VIA VADOREAL-GÁMBITA  
TRONCAL CENTRAL - SANTANDER**

**EILEEN CATALINA CASTILLA DURTE**

**LUIS HERNANDO CALDERON TURIZO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO – MECANICA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2012**

**ESTABILIZACION DEL TALUD DE LA VIA VADOREAL-GAMBITA  
TRONCAL CENTRAL - SANTANDER**

**EILEEN CATALINA CASTILLA DURTE**

**LUIS HERNANDO CALDERON TURIZO**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero(a) Civil**

**Directora:**

**Ing. Hebenly Celis Leguizamo**

**Co-Directora:**

**Ing. Fabiola Figueredo Hurtado**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO – MECANICA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2012**

## DEDICATORIA

*Este proyecto está dedicado a todos aquellos que me acompañaron y apoyaron durante la trayectoria de mi carrera haciendo parte fundamental de mi formación integral como profesional y personal, especialmente:*

*A Dios y a la Virgen de Rosario, que siempre me llevan de su mano para nunca dejarme caer.*

*A mis padres, María Bettyna y Fernando, que me han enseñado los principios y valores que enmarcan mi vida, regalándome su dedicación, perseverancia, apoyo y amor incondicional en todo momento. Los adoro.*

*A mi hermana, mis hermanos y sobrinos, María Fernanda, Edixon, José Luis, Jorge, Fernando, Adrián, Juan Pablo, Juan José y María Paula, porque representan para mí personas valiosas quienes han aportado felicidad a mis días. Los quiero con toda mi alma.*

*A toda mi familia, quienes me han dado comprensión y cariño en el transcurso de mi vida.*

*A mi novio, Jerson por acompañarme, enseñarme a amar y a encontrar mi fortaleza.*

*A mis amigos, en especial Ana Yibe, Karen, Jullly, Yurany, Leidý, Ramiro, José, Carlos A, Andrea, Jersey, Jorge Luis, quienes quiero y siempre han estado conmigo, regalándome una sonrisa cuando estaba triste, viviendo alegrías y tristezas, aconsejándome y entregándome una sincera e incondicional amistad que cuidare siempre.*

*A los estudiantes UIS, por enseñarme a luchar por lo que se quiere y entender que el bienestar común está por encima del bienestar personal.*

**CATALINA CASTILLA**

## DEDICATORIA

*A Dios, por regalarme sus bendiciones.*

*Por darme fortaleza, por siempre ser mi compañía, por hacer de mí una persona espiritual y por regalarme este triunfo.*

*A mis padres, Rosario y Jhonny por el esfuerzo que hacen cada día para brindarme lo mejor y por creer en mí.*

*A mis hermanos, familiares y amigos, que gracias a su compañía y apoyo incondicional me hicieron vivir momentos inolvidables.*

*Mil Gracias.*

**LUIS CALDERÓN**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por su inmenso amor y misericordia, regalándonos la vida, salud, inteligencia y sabiduría en el transcurso de nuestras vidas.

A nuestros padres por brindarnos su apoyo incondicional, regalándonos la oportunidad de estudiar garantizarnos un futuro profesional.

A la Universidad Industrial de Santander por nuestra formación profesional y contribuir en nuestra formación personal

A nuestra directora de proyecto Ingeniera Hebenly Celis quien dispuso de su sabiduría para orientarnos y asesorarnos incondicionalmente hasta alcanzar las metas propuestas en nuestro proyecto.

A nuestra codirectora Ingeniera Fabiola Figueredo por su colaboración y tiempo invertidos en la realización de este proyecto.

A cada uno de nuestros docentes, por contribuir a nuestro aprendizaje mediante sus valiosos conocimientos y experiencias, convirtiéndose en partícipes de nuestra formación integral intelectual y profesional.

**¡A todos muchas Gracias!**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>17</b>
<b>1. OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>2 GENERALIDADES DEL PROYECTO.....</b>	<b>19</b>
<b>3 INFORMACION EXISTENTE.....</b>	<b>21</b>
3.1 LOCALIZACION.....	21
3.2 TOPOGRAFIA.....	22
3.3 GEOLOGIA .....	22
3.3.1 Geología Regional .....	22
3.3.2 Geología Local.....	24
3.4 HIDROLOGIA.....	26
3.4.1 Clima .....	26
3.4.2 Recurso Agua .....	29
3.5 SISMISIDAD.....	29
<b>4 INVESTIGACION EN CAMPO.....</b>	<b>31</b>
4.1 ESTUDIOS GEOELECTRICOS .....	31
Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1 .....	32
Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2 .....	33

4.2	ESTUDIOS GEOTECNICOS.....	35
4.2.1	Humedad.....	35
4.2.2	Granulometría .....	36
4.2.3	Límites de Atterberg.....	37
4.2.4	Corte Directo .....	38
<b>5</b>	<b>ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD POR MODELAMIENTO.....</b>	<b>43</b>
6.1	EVALUACIÓN DE LA AMENAZA.....	43
6.2	EVALUACION DE ESTABILIZACION DE TALUDES MEDIANTE EL METODO DEL EQUILIBRIO LÍMITE.....	44
6.3	CALIBRACIÓN DEL MODELO DEL TALUD ANTES DE LA FALLA.....	45
6.4	CALIBRACIÓN DEL MODELO DEL TALUD DESPUES DE LA FALLA .....	46
6.5	RESULTADOS DE FACTORES DE SEGURIDAD (Morgenster y Price) PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS .....	47
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>48</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>50</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>52</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Valores totales mensuales de precipitación .....	27
Tabla 2: Cotas límites en los pisos térmicos en Santander .....	28
Tabla 3: Resultados Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1 .....	33
Tabla 4: Resultados Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2 .....	34
Tabla 5: Resultados generales SEV-1 y SEV-2 .....	35
Tabla 6: Resultados granulométricos de los apiques .....	36
Tabla 7: Resultados Límites de Atterberg y clasificación de los apiques .....	38
Tabla 8: Resultados de resistencia al corte por apiques.....	39
Tabla 9: Características físicas típicas de diversos suelos.....	41
Tabla 10: Valores de diseño finales de las unidades geológicas para el modelamiento.....	42
Tabla 11 :Criterios de Evaluación de Amenaza.....	43
Tabla 12 :Factores de Seguridad (Morgenster y Price) de los Diferentes Escenarios Utilizando el Modelo de Mohr-Coulomb. ....	47

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Estado actual del talud .....	20
Ilustración 2: Ubicación del talud en estudio .....	21
Ilustración 3: Mapa geológico de la zona .....	23
Ilustración 4: Formación Rosablanca (Kir) .....	25
Ilustración 5: Depósito Coluvial (Qc) .....	26
Ilustración 6: Zonificación amenaza sísmica del sector en estudio .....	30
Ilustración 7: Plano topográfico con la ubicación de la toma de muestras .....	31
Ilustración 8 :Modelamiento talud con gaviones (N.F. Geoelectricos).....	45
Ilustración 9 :Modelamiento del talud en condiciones actuales (N.F. Geoelectricos).....	46

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: MAPA DE EJES VIALES DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER.....	52
ANEXO B: PLANOS TOPOGRAFICOS.....	53
ANEXO C: ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE COLOMBIA .....	54
ANEXO D: ESTUDIO GEOELÉCTRICO .....	55
ANEXO E: RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO.....	63
ANEXO F: ANALISIS DE ESTABILIZACION DE TALUDES .....	81
ANEXO G: MODELAMIENTOS ANTES DE LA FALLA (Fuente: Autores) .....	86
ANEXO H: MODELAMIENTO EN CONDICIONES ACTUALES.....	90
ANEXO I: MODELAMIENTO DE LAS DIFERENTES SITUACIONES .....	94

## RESUMEN

**TITULO:** ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DE LA VÍA VADOREAL-GÁMBITA TRONCAL CENTRAL SANTANDER.\*

**AUTORES:** EILEEN CATALINA CASTILLA DUARTE\*\*  
LUIS HERNANDO CALDERÓN TURIZO\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Amenaza, Deslizamiento, Talud, Erosión, Geo/slope, Factor de Seguridad, Mohr Coulomb, Estabilidad

### DESCRIPCIÓN

El presente estudio se realizó con el fin determinar el nivel de amenaza de un talud ubicado en el K 15+900 al K15+960 de la vía troncal central Vadoreal-Gámbita en el Departamento de Santander.

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

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

Posterior a estas etapas se analizó los resultados obtenidos, hallando los parámetros de resistencia del suelo y así poder evaluar el nivel de amenaza actual y los posibles factores que influyeron en la inestabilidad del mismo a través de software GEO/SLOPE, el cual utiliza la teoría de equilibrio límite para hallar el factor de seguridad en las diferentes simulaciones de condiciones estáticas y pseudoestáticas.

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

---

\*Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Directora: Hebenly Celis. Codirectora: Fabiola Figueredo.

## SUMMARY

**TITLE:** STABILIZATION OF THE SLOPE ON THE VADOREAL-GAMBITACENTRAL SANTANDER ROAD-TRUNKED.\*

**AUTHORS:** EILEEN CATALINA CASTILLA DUARTE\*\*  
LUIS HERNANDO CALDERÓN TURIZO\*\*

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

### DESCRIPTION

This study was conducted to determine the threat level for the slope located at K15+900 to K15+960 on the road-trunked plant Vadoreal-Gámbita in the Department of Santander.

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

The study was conducted at different stages: the first consisted of a preliminary recognition of the affected area, the second stage was the collection of existing information from the study area with the help of the government of Santander and the third stage was the implementation and classification of apiques made in the most critical of the slope.

After these steps are analyzed the results, finding the strength parameters of soil and thus of assessing the current threat level and the possible factors influencing the instability of the same software through GEO/SLOPE, which uses the theory limit equilibrium to find the safety factor in the different simulations pseudo-static conditions.

Obtained the degree of threat present in the slope is the best alternative proposed work that mitigate the instability and vulnerability of the area, ensuring safety for users who travel on this road.

---

\*Degree Project

\*\*Faculty of Physical Mechanical Engineering.School of Civil Engineering. Director: Hebenly Celis. Co-director: Fabiola Figueredo.

## INTRODUCCION

En países de climas tropicales como Colombia, conformados por zonas geodinámicas activas y otras relativamente estables, se presentan los deslizamientos, uno de los riesgos geológicos más destructivos. Estos son los causantes de muertes, daños en las infraestructuras viales, ocasionando interrupción de la conectividad en gran parte de las ciudades.

La profundización de los estudios en las zonas donde ocurre el movimiento y la determinación de las condiciones de estabilidad, es un objetivo importante de los estudios de riesgos. En ausencia de intervención humana, la frecuencia e importancia de los deslizamientos del terreno suelen estar ligada a zonas de relieve montañoso, a intensidades y duraciones de precipitaciones y a ciertas formaciones litológicas especialmente sensibles a los movimientos.

El Departamento de Santander es susceptible a la ocurrencia de deslizamientos debido a diversos factores relacionados con las condiciones del suelo tales como: topografía, meteorización, sismicidad y lluvias intensas que hacen que el suelo se sature, debilite los estratos y produzca fallas en los taludes, estimulando el suelo al colapso en algunos casos. Es por ello que es importante el estudio y evaluación de la amenaza en estas zonas, para así poder encontrar métodos y tecnologías de estabilización, que van desde obras civiles a recubrimientos con material de origen natural.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar el modelamiento del talud de la vía troncal central Vadoreal-Gambita, mediante la caracterización de materiales y la utilización del programa computacional (GEO-SLOPE), con el fin de determinar las causas del deslizamiento del talud y encontrar la alternativa más eficaz para su estabilización.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar la caracterización de materiales en el sector donde se encuentra ubicado el talud en el Municipio de Gambita, Departamento de Santander.
- Determinar los parámetros y factores que producen la falla en la estabilidad del talud.
- Elaborar la modelación del talud con la herramienta Geo-Slope con los datos obtenidos en los ensayos de caracterización del terreno.

## **2 GENERALIDADES DEL PROYECTO**

Luego de la Ola Invernal que presencié el Departamento de Santander en los años 2010 y 2011, se ratificó la importancia de identificar y actuar en los sitios de riesgo inminentes por los deslizamientos de los taludes en la infraestructura vial, que pudieran ocasionar daños a los usuarios de la vía e interrupción de la conectividad entre las ciudades de la zona; haciendo necesaria la prevención y mitigación de corto, mediano y largo plazo, centradas en la aplicación de la geotecnia en especial en el talud en estudio ubicado entre el K15+900 al K15+960 de la vía Vado Real - Gambita.

El Departamento de Santander se encuentra adelantando una inversión para efectuar el mejoramiento y pavimentación de 15 kilómetros, desde el Casco urbano de Vadoreal hasta el sitio Balneario Pescaderito, esta vía que se llama: la vía Troncal Central Vadoreal-Gámbita, del Municipio de Gambita, la cual hace parte integral del CORREDOR AGROFORESTAL Y ENERGÉTICO. Véase Anexo A.

La ejecución que se está adelantando sobre el trayecto vial, fue interrumpida a causa de la Ola Invernal, la cual produjo infiltración y activó movimientos de grandes masas, desestabilizando taludes en el trayecto vial dependiendo de la geotecnia de cada uno de ellos.

En años anteriores se realizaron obras para reducir el riesgo en este sector: en el talud inferior objeto de este estudio, en el cual se instalaron gaviones como estabilización del terreno y de la vía, pero desafortunadamente esto no fue suficiente, teniendo en cuenta que se presentó un deslizamiento en el talud produciendo la falla y ruptura de los gaviones, dejando el terreno vulnerable.

Este deslizamiento se creyó que sucedió por la infiltración que ocurría desde el talud superior, en el cual no existían obras de prevención para este problema; pero

alarmados por la falla producida en el terreno y en los gaviones, se adelantaron obras básicas de drenaje superficial, las cuales han servido para mantener estable hasta ahora el sector como se muestra en la **Ilustración 1**, mientras se estudia y planifica la mejor forma de estabilización para este suelo.

Ilustración 1: Estado actual del talud



Fuente: Autores

Es por ello que se realizara un análisis tomando ambos taludes y la vía presente en ellos; estopara garantizar que los resultados obtenidos reflejen lo más cercano posible la situación actual del talud inferior.

### 3 INFORMACION EXISTENTE

Para estudiar un talud principalmente debemos obtener la mayor información de las características topográficas, geológicas, geotécnicas y ambientales que permitan realizar un diagnóstico preciso del problema y un diseño efectivo de la estabilización. Por tanto se considera necesario analizar los siguientes parámetros, hallando su influencia sobre el talud objeto de este trabajo.

#### 3.1 LOCALIZACION

El talud se encuentra ubicado en la provincia comunera del departamento de Santander, en las coordenadas  $X=1'159.246$ ,  $Y=1'077.614$  y altura estimada de 1814 (m.s.n.m).

Ilustración 2: Ubicación del talud en estudio



Fuente: Google Earth.

La ubicación exactamente del talud es en el K<sub>o</sub>15+900 al K<sub>o</sub>15+960, por la vía troncal central VADOREAL-GAMBITA, municipio de GAMBITA, SANTANDER; siendo las condiciones de esta vía generalmente buenas.

## **3.2 TOPOGRAFIA**

Se realizó el levantamiento topográfico del talud con curvas de nivel cada metro, localizando detalles tales como: gaviones, cunetas, falla, borde de vía, curva de nivel, muros, poste de energía, estación y punto topográfico, con base en esta topografía se trazó los perfiles geométricos y geotécnicos. Véase Anexo B.

## **3.3 GEOLOGIA**

Es indispensable estudiar las características geológicas de la zona en que vamos a trabajar, para poder tener en cuenta las estructuras geológicas del suelo y así analizar de forma clara el comportamiento del talud.

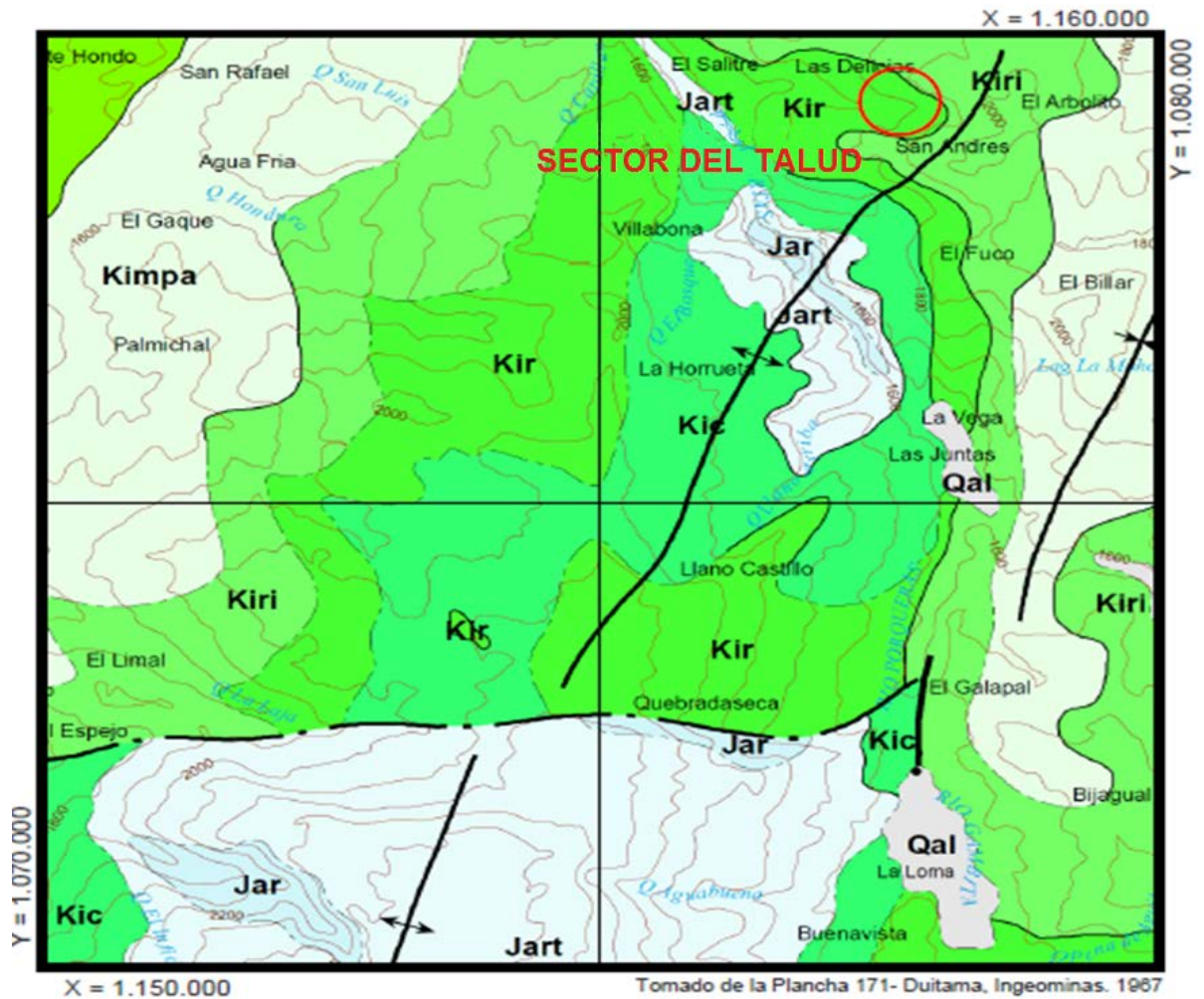
### **3.3.1 Geología Regional**

Según estudios previos realizados por INGEOMINAS la zona estudio se encuentra en la vertiente occidental de la cordillera Oriental de los Andes, correspondiendo a una provincia fisiográfica de cordilleras de plegamiento, con diversas unidades geológicas que varían en su litología, creando un paisaje de diversas características.

Esta zona se localiza al oriente de la Falla del Suárez y la zona sur del municipio de Encino, occidente de la vía Vilorín-Duitama, al noreste de Gambita. Las estructuras de la región son suaves y muy sostenidas, como son los ejes de los anticlinales de Oiba y de Confines y su sinclinal intermedio. Esta

área se caracteriza por estar conformada por el conjunto sedimentario del cretáceo inferior del Macizo de Santander y por la presencia de la unidad geológica, la formación Rosablanca, la cual está parcialmente cubierta por delgados cuerpo cuaternarios (derrubios, conos de deyección y Coluviones).

Ilustración 3: Mapa geológico de la zona



**LEYENDA**

- |  |                      |  |                    |
|--|----------------------|--|--------------------|
| <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Kiri</span> | Formación Ruitoque   | <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Kic</span>                | Formación Cumbre   |
| <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Kir</span>  | Formación Rosablanca | <span style="border: 1px solid red; border-radius: 50%; padding: 2px;"></span> | Sector del Estudio |

Fuente: INGEOMINAS 1967

### 3.3.2 Geología Local

La geología presente del talud en estudio muestra un patrón de fracturamiento asociado a la tectónica regional, jugando un papel importante en esta relación entre el grado de fracturamiento y la presencia de agua subterránea, debido a que facilita los movimientos de inestabilidad.

**3.3.2.1 Geomorfología:** El talud se encuentra en una zona correspondiente a un paisaje de relieve montañoso estructural erosional con laderas de pendientes entre moderadas y fuertes. Se ubica en el anticlinal de Oiba, teniendo un buzamiento aproximado de 25 grados al oeste y caracterizado por presentar escarpe estructural que puede llegar a ser erosivo, debido a la inestabilidad que pueda ocurrir en la litoestratigrafía.

**3.3.2.2 Estratigrafía:** Se realizará a continuación una descripción de las unidades geológicas presentes en el talud.

- a) **Formación Rosablanca (Kir).** Unidad litoestratigráfica del periodo cretáceo, la cual cubre gran parte de la zona y observándose en algunos cortes de la vía Vadoreal-Gámbita. Compuesta en su parte inferior por capas de caliza y yeso con oolitos, ostrácodos y dolomías; y hacia la parte superior consta de areniscas y lodolitas calcáreas. En el talud esta formación fue reconocida en la parte central del cuerpo del deslizamiento donde aparecen algunos niveles de calizas con intercalaciones de shales y lodolitas calcáreas grises altamente fracturadas.

#### Ilustración 4: Formación Rosablanca (Kir)



Fuente: Autores

- b) **Depósito Coluvial (Qc).** Este depósito correspondiente al periodo cuaternario presenta un espesor entre 7 y 18 metros, suprayaciendo a las rocas de la formación Rosablanca. El depósito está constituido por materiales de tipo coluvial con fragmentos de areniscas y arcillolitas de diversos tamaños embebidos en una matriz limo-arcillosa, depositados por diferentes medios de transporte en especial por la gravedad y aguas superficiales como subterráneas.

### Ilustración 5: Depósito Coluvial (Qc)



Fuente: Autores

## 3.4 HIDROLOGIA

Para conocer las condiciones hidrológicas en el talud en estudio, es necesario analizar las principales características que influyen en la zona:

### 3.4.1 Clima

En la climatología se analiza los principales factores que tienen influencia en el talud, como son:

- a) **Precipitaciones:** Esta zona posee una de las curvas pluviométricas de mayor humedad, que se encuentra aproximadamente alrededor de 2400 mm a 3300 mm promedio anuales, haciendo de esta región una zona de humedad media. A continuación se hace relación a un cuadro de valores totales mensuales de precipitación de los años (2001 y 2002),

tomada de la estación pluviométrica de Olival, en el Municipio de Suaita.

**Tabla 1: Valores totales mensuales de precipitación**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Vr. Anu
2001	113,1	82,5	252,3	190,0	383,5	170,7	288,4	226,8	302,9	483,8	425,9	216,2	3136,1
2002	66,9	187,0	194,0	338,5	211,9	246,9	120,9	168,8	343,2	305,0	327,7	130,9	2641,7
Medios	90,0	134,8	223,2	264,3	297,7	208,8	204,7	197,8	323,1	394,4	376,8	173,6	2889,2
Max	113,1	187,0	252,3	338,5	383,5	246,9	288,4	226,8	343,2	483,8	425,9	216,2	3505,6
Min	66,9	82,5	194,0	190,0	211,9	170,7	120,9	168,8	302,9	305,0	327,7	130,9	2272,2

Fuente: IDEAM, seccional Bucaramanga

- b) **Temperatura:** Se determina los valores promedio anuales de temperatura de la zona, utilizando la fórmula de regresión lineal para Santander (1974-1997), suministrada por el IDEAM de Bucaramanga.

Formula de regresión lineal:

$$Y = -0.0060X + 29.1890^{\circ} \text{C}$$

Y siendo X, la cota promedio del talud = 1814[m.s.n.m], tenemos:

$$Y = -0.0060 \cdot 1814 + 29.1890$$

$$Y = -10.884 + 29.1890$$

$$Y = 18.305^{\circ}\text{C}. \text{ Temperatura en el Talud}$$

- c) **Unidad Climática:** Las Unidad Climática de la zona se define con base en la clasificación según el Estudio de Temperatura para el departamento de Santander realizado por el IDEAM, dado por la siguiente tabla:

**Tabla 2: Cotas límites en los pisos térmicos en Santander**

PISO TERMICO	RANGO DE ALTURAS	
	COTA LIMITE INFERIOR (m)	COTA LIMITE SUPERIOR (m)
CALIDO $T > 24^{\circ}$	0	865
TEMPLADO $24 > T > 12^{\circ}\text{C}$	865	1950
FRIO $17,5 > T > 12^{\circ}\text{C}$	1950	2865
PARAMUNO $12 > T > 0^{\circ}\text{C}$	2865	4865
NIEVES PERPETUAS $T < 0^{\circ}\text{C}$	4865	

Fuente: Estudio para el departamento de Santander, IDEAM

Donde se caracteriza el sector del talud en el piso térmico:

- Templado Húmedo (TH): La cual está comprendida entre 865 y 1950 m.s.n.m, presentando temperaturas que oscilan entre los 17.5 y  $24^{\circ}$  C. Dentro de esta unidad climática se encuentran San José de Suaita, Tolotá, Vadoreal, Gámbita y presente en todas las veredas de estos municipios.

### **3.4.2 Recurso Agua**

En la región se encuentran una compleja red fluvial, pero para el presente estudio solo se tendrán en cuenta la Quebrada Seca proveniente del Rio Huertas, ya que es la de mayor contacto con el sector, convirtiéndose en su corriente principal.

## **3.5 SISMISIDAD**

Según estudios realizados por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, el Departamento de Santander presenta zonas de amenaza intermedia y alta, debido a que se encuentra en la zona Andina, una de las formaciones más recientes del planeta, presentando fallas geológicas como las originadas en las placas tectónicas de Nazca, Caribe y Continental. Véase Anexo C.

De igual forma, su cercanía al llamado enjambre sísmico y el registro de un promedio de cinco temblores diarios, sin duda alguna, dejan al Departamento de Santander en los más altos escalones de alta amenaza telúrica; presentando temblores frecuentes generalmente a profundidades mayores de los 130 kilómetros.

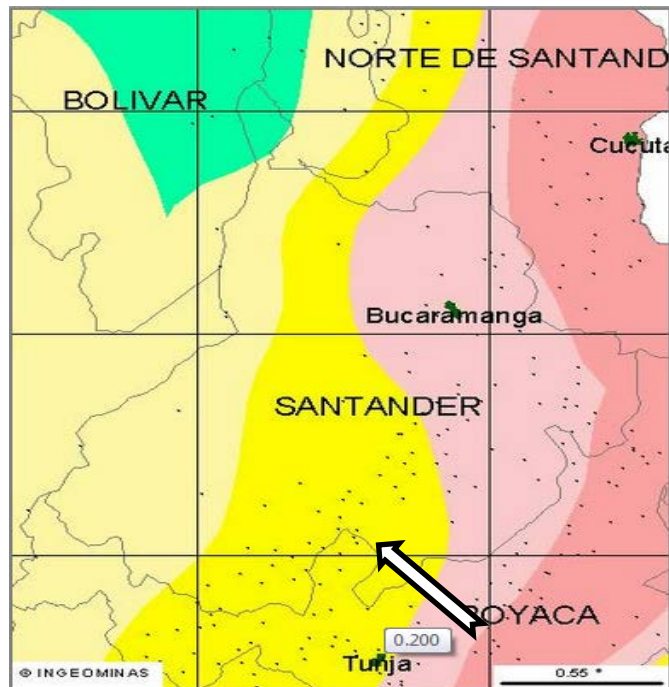
Estos movimientos sísmicos pueden activar deslizamientos en el terreno. En el caso de un sismo existe el triple efecto de aumento de esfuerzo cortante, la pérdida de resistencia por aumento de la presión de poros y la deformación asociada con la onda sísmica; pudiéndose llegar a la falla al cortante y hasta la licuación, en el caso de suelos granulares saturados.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> [http://www.erosion.com.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=30:sismica-sismologia&catid=19&Itemid=212](http://www.erosion.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=30:sismica-sismologia&catid=19&Itemid=212)

En la zona ubicada entre el K15+900 al K15+960 de la vía Vadoreal – Gámbita, se observa que la Zona de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño en este sector es Intermedia; caracterizándose por poseer el coeficiente de aceleración horizontal  $A_a$  entre 0.15 y 0.20. Debido a lo anterior se escoge el valor de 0.20 para el coeficiente  $A_a$  (g), con el fin de representar el sismo más crítico que se puede presentar en el talud de estudio.

**Ilustración 6: Zonificación amenaza sísmica del sector en estudio**



Fuente: INGEOMINAS

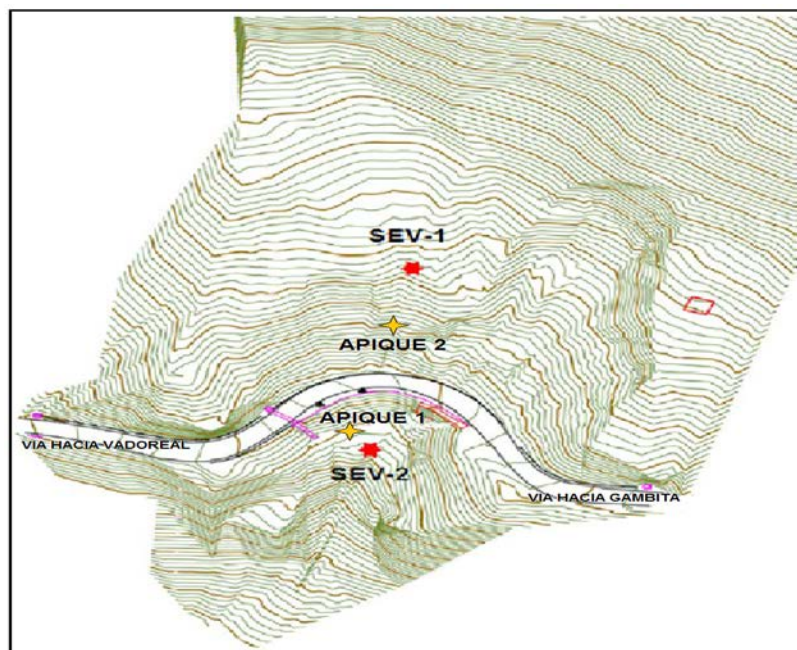
## 4 INVESTIGACION EN CAMPO

### 4.1 ESTUDIOS GEOELECTRICOS

Los Estudios Geoelectricos, es una herramienta que permite estudiar la constitución y posición de las unidades geológicas y aguas subterráneas, utilizando la resistividad eléctrica del subsuelo, a través de una serie de mediciones de Intensidad de corriente como del gradiente de potencial desde la superficie.

Se realizó una visita de reconocimiento de la zona de inestabilidad y luego se ejecutaron los Sondeos Eléctricos Verticales SEV-1 y SEV-2, tomados en elK15+910, el día 13 de diciembre 2011.Véase Anexo D.

Ilustración 7: Plano topográfico con la ubicación de la toma de muestras



Fuente: Autores (Basandose en anexos E)

En la ejecución de los Estudios Geoeléctricos para la obtención de resultados acertados, se siguieron las siguientes fases:

- a) **Fase de Reconocimiento Lito-Estratigráfico y Estructural:** realizada en los alrededores del sitio de estudio.
- b) **Fase de Adquisición de Datos:** efectuada con la visita en los sitios de interés para buscar y escoger los puntos de los sondeos.
- c) **Fase de Valoración de Información:** en la cual se estudió la información existente del suelo.
- d) **Fase de Procesamiento e Interpretación:** se tomó los datos para obtener los resultados y correlacionarlos con los existentes en la región.

A continuación se muestra los resultados obtenido por los Sondeos Eléctricos Verticales:

#### **Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1**

- LOCALIZACION: PR15+910, Parte alta de la vía.
- PROFUNDIDAD INVESTIGADA:  $AB/2 = 100.00$  m.
- TERRENO: Inclinado
- COORDENADAS: X=1´159.263, Y=1´077.646, Z=1836 msnm
- ERROR RELATIVO: 0.0115

**Tabla 3: Resultados Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1**

Profundidad (m) Desde – Hasta	Unidad Geoeléctrica	Resistividad (Ohm – m)	Correlación Hidrogeológica
0.00 - 0.50	I	1130	Suelo areno-arcilloso calcáreo.
0.50 - 2.50	II	456	Depósito coluvial de fragmentos de caliza y areniscas embebidos en una matriz arcillosa.
2.50 - 20.30	III	80	Depósito coluvial de fragmentos de caliza y areniscas embebidos en una matriz arcillosa. Saturado.
20.30 - 63.90	IV	538	Basamento cretácico compuesto por calizas intercaladas con shale. Formación Rosablanca.
63.90 - 100.00	V	281	Basamento cretácico compuesto por shale y calizas. Formación Rosablanca.

Fuente: Estudio Geoeléctrico – Gobernación de Santander

### Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2

- LOCALIZACIÓN: PR15+910 parte baja de la vía.
- PROFUNDIDAD INVESTIGADA:  $AB/2 = 100.00$  m.
- TERRENO: Inclinado
- COORDENADAS: X=1'159.246, Y=1'077.614, Z=1814 msnm
- ERROR RELATIVO: 0.0170

**Tabla 4: Resultados Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2**

Profundidad (m) Desde - Hasta	Unidad Geoeléctrica	Resistividad (Ohm - m)	Correlación Hidrogeológica
0.00 - 0.90	I	36	Suelo areno-arcilloso calcáreo. Húmedo.
0.90 - 2.90	II	22	Depósito coluvial de fragmentos de caliza y areniscas embebidos en una matriz arcillosa. Saturado.
2.90 - 7.90	III	12	Depósito coluvial de fragmentos de caliza y areniscas embebidos en una matriz arcillosa. Saturado.
7.90 - 16.30	IV	1158	Basamento cretácico compuesto por calizas intercaladas con shale. Formación Rosablanca.
16.30 - 100.00	V	200	Basamento cretácico compuesto por shale y calizas. Formación Rosablanca.

Fuente: Estudio Geoeléctrico – Gobernación de Santander

De acuerdo con las observaciones de campo efectuadas y la interpretación de los Sondeos Eléctricos Verticales SEV-1 y SEV-2, realizados en el área de la inestabilidad geológica, se podría decir que Las secciones Geoeléctricas de los Sondeos Eléctricos Verticales presentan una litología correspondiente a rocas sedimentarias marinas del Cretáceo conformado por calizas, shale y margas correlacionables con la Formación Rosa Blanca, infrayaciendo a un depósito coluvial compuesto por fragmentos heterométricos y heterogéneos de calizas y areniscas embebidos en una matriz arcillosa. Notándose también que el grado de meteorización en las rocas cretácicas va disminuyendo a medida que se profundiza la roca hasta llegar a la roca fresca.

En la siguiente tabla se presenta el resumen Geológico-Geotécnico de la investigación Geoeléctrica realizada para los sitios donde se ejecutaron los Sondeos Eléctricos Verticales:

**Tabla 5: Resultados generales SEV-1 y SEV-2**

<b>SITIO SONDEO</b>	<b>SUELO</b> Desde....Hasta	<b>SUELO RESIDUAL</b> Desde.....Hasta	<b>COLUVION</b> Desde...Hasta	<b>BASAMENTO</b> partir de:
SEV-1	0.00–0.50	-	0.50–20.30	20.30
SEV-2	0.00–0.90	-	0.90–7.90	7.90

Fuente: Estudio Geoeléctrico – Gobernación de Santander

## **4.2 ESTUDIOS GEOTECNICOS**

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

Para la recolección de muestras se realizó dos apiques en las ubicaciones de la Ilustración 5, con una profundidad aproximada de 1 m; de cada una de estas excavaciones manuales se recolectaron muestras de bloque, conservándolas por separado en bolsas herméticas, para realizar los respectivos ensayos de laboratorio mencionados anteriormente y obtener los siguientes resultados. Véase Anexo E.

### **4.2.1 Humedad**

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

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

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

#### 4.2.2 Granulometría

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

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

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

**Tabla 6: Resultados granulométricos de los apiques**

	GRANULOMETRIA [%]		
	Gravas	Arenas	Finos
APIQUE 1	7.56	25.07	67.37
APIQUE 2	0.1	2.59	97.31

Fuente: Autores

### 4.2.3 Límites de Atterberg

Los suelos que poseen algo de cohesión, según su naturaleza y cantidad de agua, pueden presentar propiedades que los incluyan dentro de un estado sólido, semi-sólido, plástico o semi-líquido. El contenido de agua o humedad con los cuales se produce los cambios de estado se denominan límites de Atterberg y puede variar de un suelo a otro<sup>2</sup>. Este ensayo cumple un papel importante en la clasificación de un suelo junto con el ensayo granulométrico.

El ensayo de límites de Atterberg se compone de:

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

---

<sup>2</sup> PEDROZA NIÑO, Orlando y VERA SARMIENTO, Jorge. Manual técnico para el desarrollo del laboratorio de caracterización de materiales I. Tesis de la Escuela de Ing. Civil. UIS. 2008. Pág. 187.

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

**Tabla 7: Resultados Límites de Atterberg y clasificación de los apiques**

	% FINOS	LIMITES ATTERBERG [%]			SUCS
		LL	LP	IP	
<b>APIQUE 1</b>	67.37	32	25	7	ML
<b>APIQUE 2</b>	97.31	45	34	11	ML

Fuente: Autores

#### 4.2.4 Corte Directo

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

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

**Tabla 8: Resultados de resistencia al corte por apiques**

		$\gamma_d$ [gr/cm <sup>3</sup> ]	W [%]	Cpico [gr/cm <sup>2</sup> ]	$\phi_{pico}$ [Grados]	Cres [gr/cm <sup>2</sup> ]	$\phi_{res}$ [Grados]	ENSAYO DE COMPACTACION	
								$\gamma_{m\acute{a}x.}$ [gr/cm <sup>3</sup> ]	W $\acute{o}$ ptima [%]
APIQUE 1	Muestra Saturada	1.49	33	400.55	21	157.11	20	1.86	16.2
	Muestra Natural	1.41	29	658.11	24	482.92	22		
	Muestra Compactada	1.66	15	1338.6	35	551.53	32		
APIQUE 2	Muestra Saturada	1.31	32	466.63	20	171.94	19	1.83	16.6
	Muestra Natural	1.25	27	765.75	22	512.37	21		
	Muestra Compactada	1.66	16	1414.1	32	579.69	30		

Fuente: Autores, (res: residual)

## 5 ANALISIS DE LA INFORMACIÓN

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

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

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

**Tabla 9: Características físicas típicas de diversos suelos**

TIPO DE SUELO	$\gamma$ (T/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (Grados)	C (T/m <sup>2</sup> )
Bloques y Bolos Suelos	1,70	35 - 40°	-
Grava	1,70	37,5°	-
Grava Arenosa	1,90	35°	-
Arena Compactada	1,90	32,5 - 35°	-
Arena Semi-compactada	1,80	30 - 32,5°	-
Arena Suelta	1,70	27,5 - 30°	-
Limo Firme	2,00	27,5°	1 - 5
Limo	1,90	25°	1 - 5
Limo Blando	1,80	22,5°	1 - 2,5
Marga Arenosa Rígida	2,20	30°	20 - 70
Arcilla Arenosa Firme	1,90	25°	10 - 20
Arcilla Media	1,80	20°	5 - 10
Arcilla Blanda	1,70	17,5°	2 - 5
Fango Blando Arcilloso	1,40	15°	1 - 2
Suelos Orgánicos (Turba)	1,10	10 - 15°	-

Fuente: Documento Estabilidad de Taludes de Luis Bañón Blázquez

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

Los valores finales utilizados para el sistema de parámetros totales de resistencia, de acuerdo al sistema de Mohr-Coulomb obtenidos en los ensayos de Corte Directo se realizaron tomando un promedio de los apiques 1 y 2 (Tabla 8), utilizando para la primera capa los coeficientes residuales saturados y para la segunda capa los coeficientes residuales saturados y compactados, tratando de asemejar las condiciones más críticas en el sector. Se considera también el

Coeficiente Pseudoestático: 0.20\*g (Zona de Riesgo Sísmico Intermedio) y la carga de 5 KN aproximada para el transporte que transita en la vía.

**Tabla 10: Valores de diseño finales de las unidades geológicas para el modelamiento**

SUELO	FRICCION (Ø)	COHESION (Kpa)	PESO UNITARIO (KN/m <sup>3</sup> )
Suelo Areno-Arcilloso Calcáreo.	20°	16	14
Depósito Coluvial	26°	36	17
Basamento Cretácico	Roca, Formación Rosablanca		

Fuente: Autores

## 6 EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD POR MODELAMIENTO

### 6.1 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

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

Tabla 11 :Criterios de Evaluación de Amenaza

<b>CONDICION ESTATICA</b>	<b>F.S.</b>
Amenaza Baja	> 1.50
Amenaza Media	1.25 - 1.50
Amenaza Alta	< 1.25
<b>CONDICION CON SISMO Y AGUA</b>	<b>F.S.</b>
Amenaza Baja	> 1.20
Amenaza Media	1.0 - 1.20
Amenaza Alta	< 1.0

Fuente: Norma Geotécnica CDMB

## **6.2 EVALUACION DE ESTABILIZACION DE TALUDES MEDIANTE EL METODO DEL EQUILIBRIO LÍMITE.**

Se utiliza el análisis de Equilibrio Límite, ya que permite obtener un factor de seguridad por medio de los parámetros de resistencia del suelo básicos como lo son cohesión y ángulo de fricción del material, entre otros.

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

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

Este software permite trabajar con diferentes métodos de análisis, los cuales han sido utilizados por varias décadas para taludes terrestres sujetos a fuerzas gravitacionales; para objeto del presente estudio se trabajó conjuntamente con los siguientes métodos:

- a) Ordinario o de Fellenius 1927.
- b) Bishop 1955.
- c) Morgenster y Price 1965.
- d) Janbu 1973.

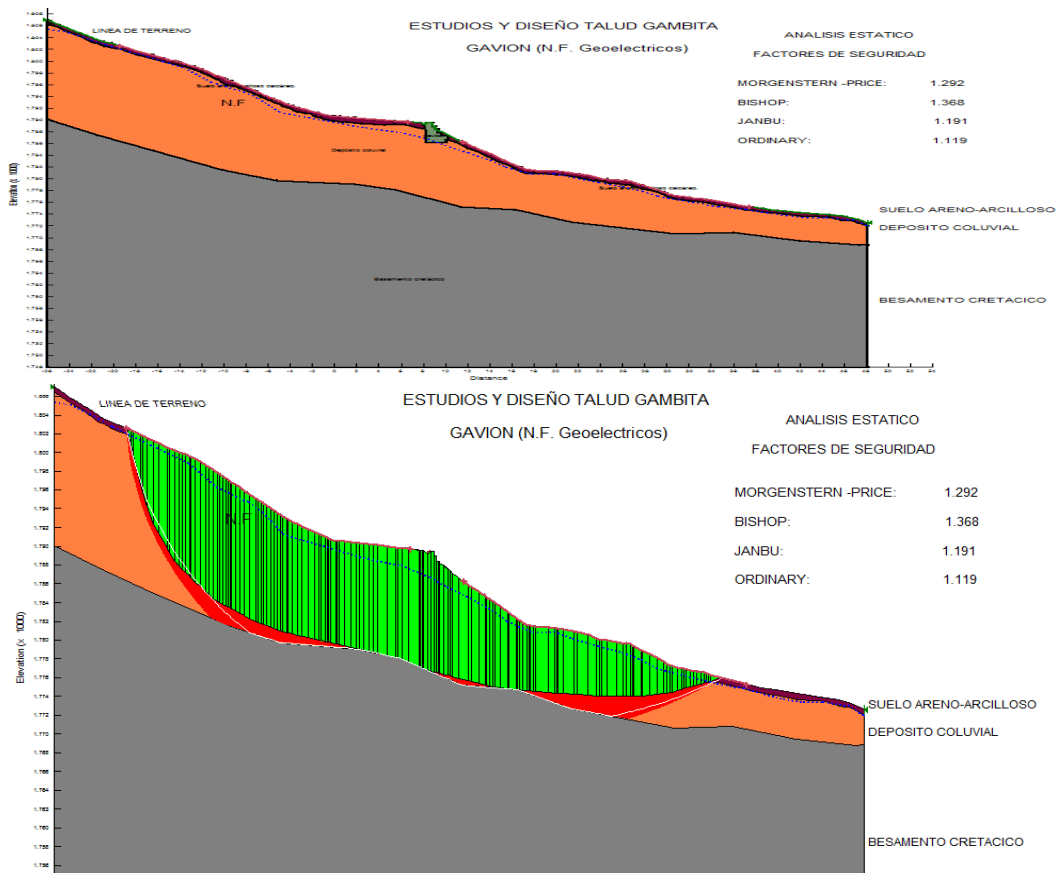
Todo con el fin de llegar a obtener el factor de seguridad del talud, determinando así el nivel de amenaza en que se encuentra y utilizarlo como herramienta útil en la toma de decisiones.

### 6.3 CALIBRACIÓN DEL MODELO DEL TALUD ANTES DE LA FALLA

Se realizó diferentes modelamientos del talud antes de la falla, con el fin de mostrar los escenarios representativos en la zona causantes de la inestabilidad en el terreno. Véase Anexo G.

A continuación se muestra en la Ilustraciones 8, el modelamiento inicial en el que se encontraba el talud luego de ser estabilizado con los gaviones. El perfil mostró los siguientes valores utilizando el modelo de Mohr-Coulomb, para un factor de seguridad (Morgenster y Price) de 1.292.

**Ilustración 8 :Modelamiento talud con gaviones (N.F. Geoelectricos)**



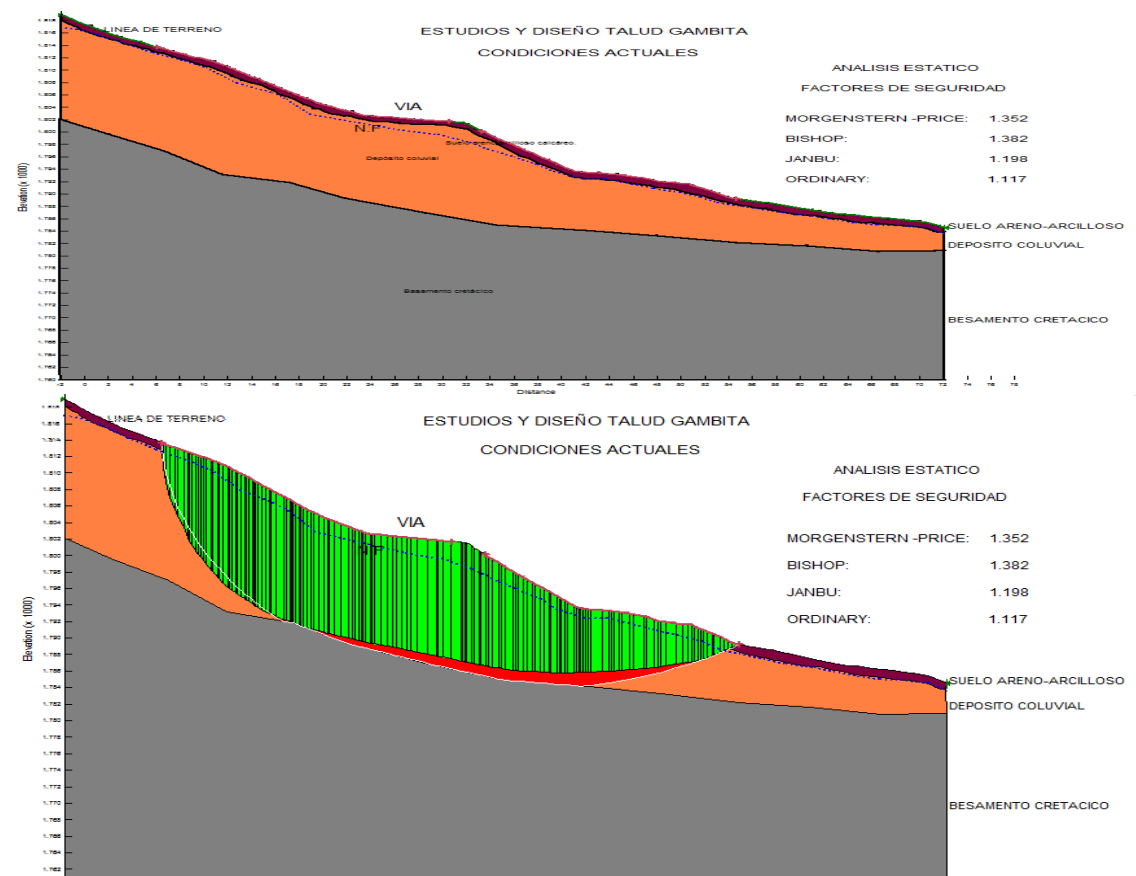
Fuente: Autores

## 6.4 CALIBRACIÓN DEL MODELO DEL TALUD DESPUES DE LA FALLA

Se muestra en la Ilustración 9, el modelamiento en el que se encuentra el talud en condiciones actuales, luego de que los gaviones fallaran. Utilizando el modelo de Mohr-Coulomb, para un factor de seguridad (Morgenster y Price) de 1.352.

Se realizaron los diferentes modelamientos del talud después de la falla variando el nivel freático, para saber cómo se comporta el talud. Véase Anexo H.

**Ilustración 9 :Modelamiento del talud en condiciones actuales (N.F. Geoelectricos)**



Fuente: Autores

## 6.5 RESULTADOS DE FACTORES DE SEGURIDAD (Morgenster y Price) PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS

Una vez obtenidos los parámetros de resistencia, se realizó la modelación de cada uno de los perfiles del talud y a partir de esto, se obtuvo un cuadro comparativo de los factores de seguridad para las diferentes amenazas en los escenarios estático y Pseudoestático. Véase en Anexo I.

**Tabla 12 :Factores de Seguridad (Morgenster y Price) de los Diferentes Escenarios Utilizando el Modelo de Mohr-Coulomb.**

	N.F. SUPERFICIAL	N.F. GEOELECTRICOS	N.F. 10 [m]	SIN N.F.
<b>DESPUES DE LA FALLA (NORMAL)</b>	1,228	1,352	1,808	2,106
<b>DESPUES DE LA FALLA (NORMAL) + CARGA</b>	1,223	1,354	1,816	2,030
<b>DESPUES DE LA FALLA (NORMAL) + SISMO</b>	0,378	0,410	0,481	0,553
<b>DESPUES DE LA FALLA (NORMAL) + CARGA + SISMO</b>	0,345	0,384	0,485	0,554
<b>ANTES DE LA FALLA (GAVIONES)</b>	1,197	1,292	1,750	2,065
<b>ANTES DE LA FALLA (GAVIONES) + CARGA</b>	1,202	1,293	1,783	1,796
<b>ANTES DE LA FALLA (GAVIONES) + CARGA + SISMO</b>	0,333	0,378	0,497	0,579

Fuente: Autores

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El comportamiento de los materiales que conforman la unidad superficial favorecen el desarrollo de los deslizamientos, por acción de efectos de saturación al presentar porosidad en estas rocas pegadas y fracturadas, cuya fuente de recarga es la precipitación y las aguas superficiales.
- Al analizar la modelación del talud para todos los escenarios donde se evidencia amenaza, se observó que el gavión construido ocasionó una carga adicional al suelo lo cual se muestra en la disminución del factor de seguridad (F.S.).
- Cuando hay presencia de matriz arcillosa y esta se expone a infiltraciones, la atracción entre partículas como consecuencia de la tensión superficial se pierde rápidamente, las partículas se separan y la muestra se desgrana.
- Analizando los resultados obtenidos en la modelación del talud por medio del software, observamos que la superficie de falla es profunda, por lo que concluimos que el talud posiblemente falló por socavación debido a los problemas erosivos del sector y la infiltración proveniente del talud superior.
- Debido a los problemas de erosión que se han venido presentando en la zona, se propone la instalación de canales o cunetas superficiales en la parte superior de la vía, con el fin de recoger y desviar el agua de escorrentía e impedir que se infiltre y se discurra por el talud.

- Para garantizar la estabilidad y aumentar considerablemente el factor de seguridad del talud inferior a la vía, se recomienda la construcción de una estructura de contención con sistemas de drenes, comprobando que sea la indicada para la transmisión de cargas presentes en el talud, disminuyendo así la amenaza en la zona.
- Se recomienda luego de finalizar las obras de estabilización, revegetalizar el área intervenida y el área afectada por el deslizamiento mediante lodo fertilizado con semillas o estolones de pasto típicos en la región para el control de erosión.

## BIBLIOGRAFIA

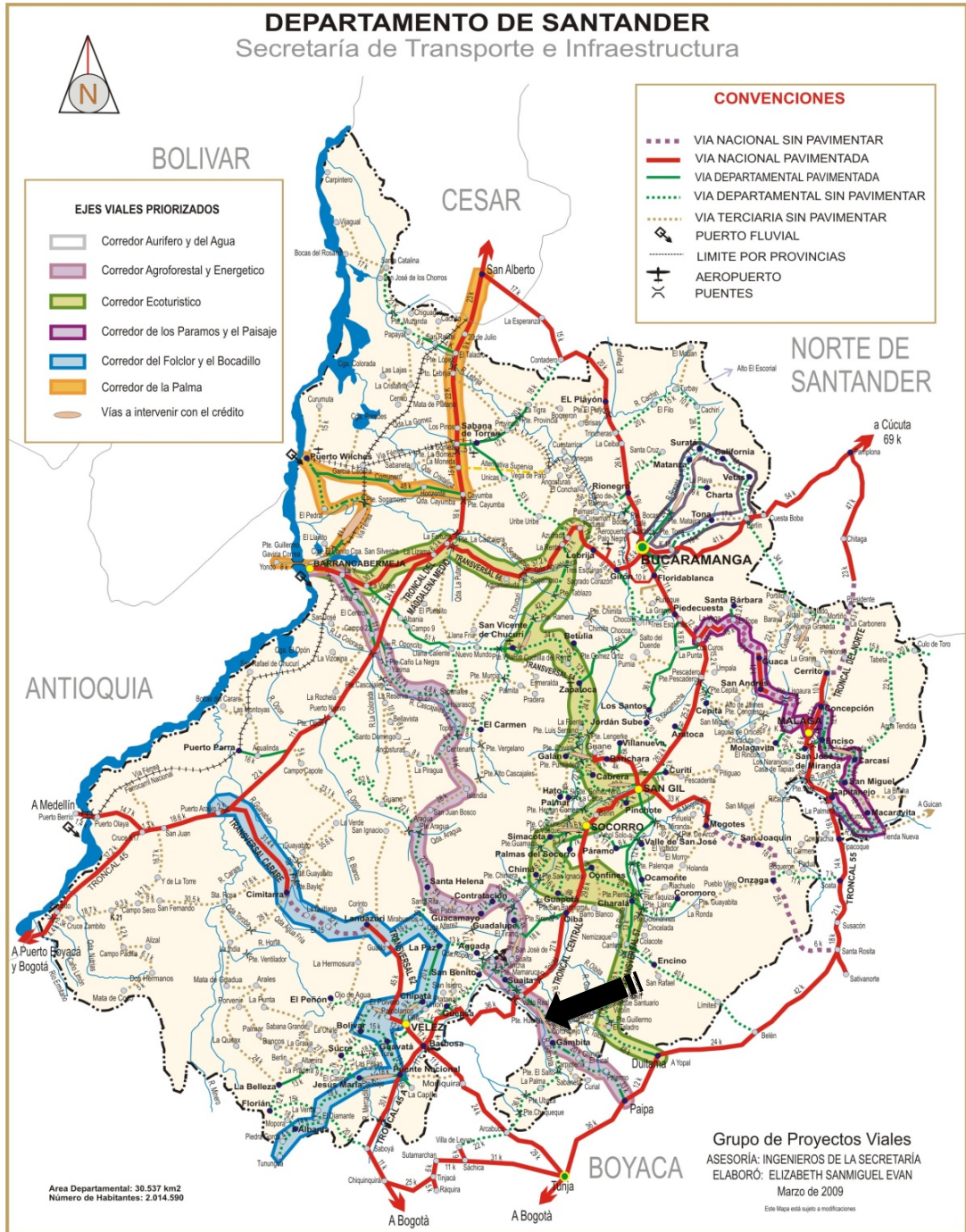
- ARISTIZABAL, Diego. Estudio geoelectrico realizado para la inestabilidad geológica presentada en el PR15+910 de la vía secundaria que va desde el corregimiento de Vadoreal municipio de Suaita al municipio de Gámbita, Boyacá. Bucaramanga, 2011.
- ASOCIACION Colombiana de Ingeniería Sísmica (Colombia). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente (NSR-10). Bogotá, 2010
- BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis. Estabilidad de taludes. Infraestructura, pág. 17.
- COORPORACION de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (Colombia). Normas Geotécnicas CDMB. Bucaramanga, 2005.
- Estabilidad de Taludes. Sitio Web del Ingeniero Jaime Suárez Díaz:  
[http://www.erosion.com.co/index.php?option=com\\_content&task=view&id=76](http://www.erosion.com.co/index.php?option=com_content&task=view&id=76)
- Estudios Geológicos. Sitio Web del Instituto Colombiano de Geología y Minería:  
<http://www.ingeminas.gov.co>
- GONZALEZ MATURANA, Laura Dayanna. Guía para el desarrollo de las prácticas en las materias “caracterización de materiales I y II”. Tesis de la Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Físico-Mecánica. UIS. 2010
- INGEOMINAS. Mapa geológico de Colombia, 1 plano. 1976.
- INGEOMINAS. Mapa geológico generalizado de Santander. 1998.
- INGEOMINAS. Boletín geológico. Volumen V, Número 3.
- INSTITUTO Nacional de Vías (Colombia) .I.N.V.E123. Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado. 7p.
- INSTITUTO Nacional de Vías (Colombia) .I.N.V.E125. Determinación del Límite Líquido de los Suelos.8

de Suelos por Tamizado. 7p.

- INSTITUTO Nacional de Vías (Colombia) .I.N.V.E125. Determinación del Límite Líquido de los Suelos.8
- INSTITUTO Nacional de Vías (Colombia). I.N.V.E-126. Límite Plástico en índice Plasticidad.4p
- INSTITUTO Nacional de Vías (Colombia). I.N.V. E-154. Determinación de la Resistencia al Corte. Método del Corte Directo (Consolidado Drenado). 10p.
- JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRIGUEZ, Alfonso. Mecánica de Suelos. Limusa. 1999-2000
- OQUENDO VARGAS, Diana y QUINTERO VELASCO, Astrid. Elaboración de un manual con ejercicios para la estabilización de taludes utilizando estructuras de contención. Tesis de la Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Físico-Mecánicas. UIS. 2008
- SERRANO GOMEZ, Julián Andrés. Bioingeniería como Ayuda a la Solución de Estabilización en Taludes que Presentan una Amenaza Geotécnica en la Escarpa Occidental de la Meseta de Bucaramanga. Tesis de la Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Físico-Mecánicas. UIS. 2006
- SUAREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigación sobre Erosión y Deslizamientos. 1998.
- SUAREZ DÍAZ, Jaime. Diseño de Obras en Gaviones. UIS. 1983

# ANEXOS

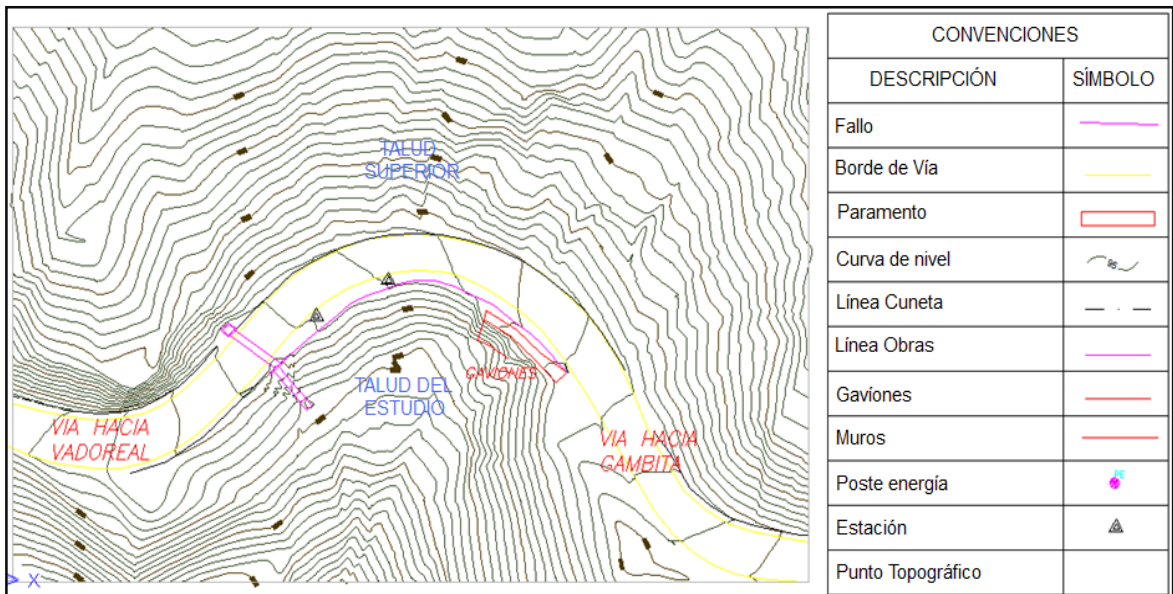
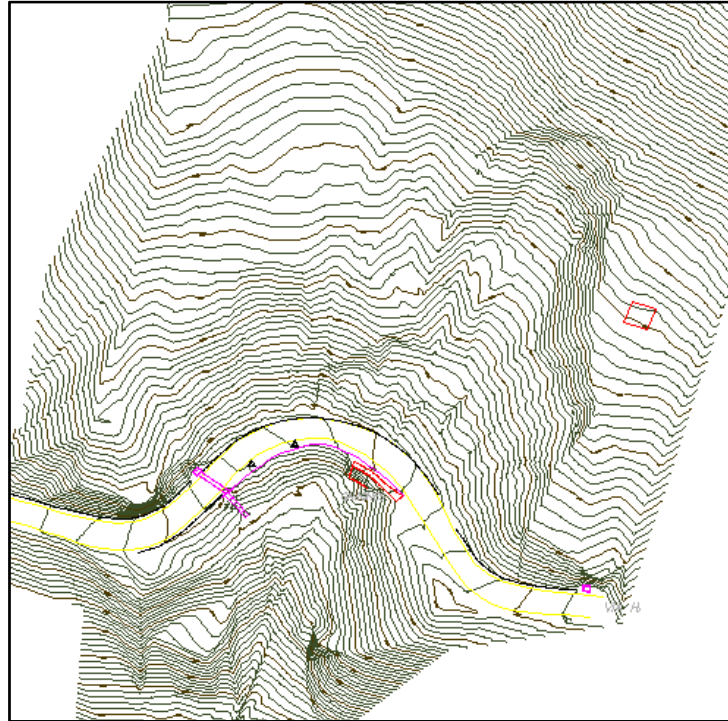
## ANEXO A: MAPA DE EJES VIALES DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER



Fuente: Secretaria de transporte e infraestructura

**ANEXO B: PLANOS TOPOGRAFICOS.**

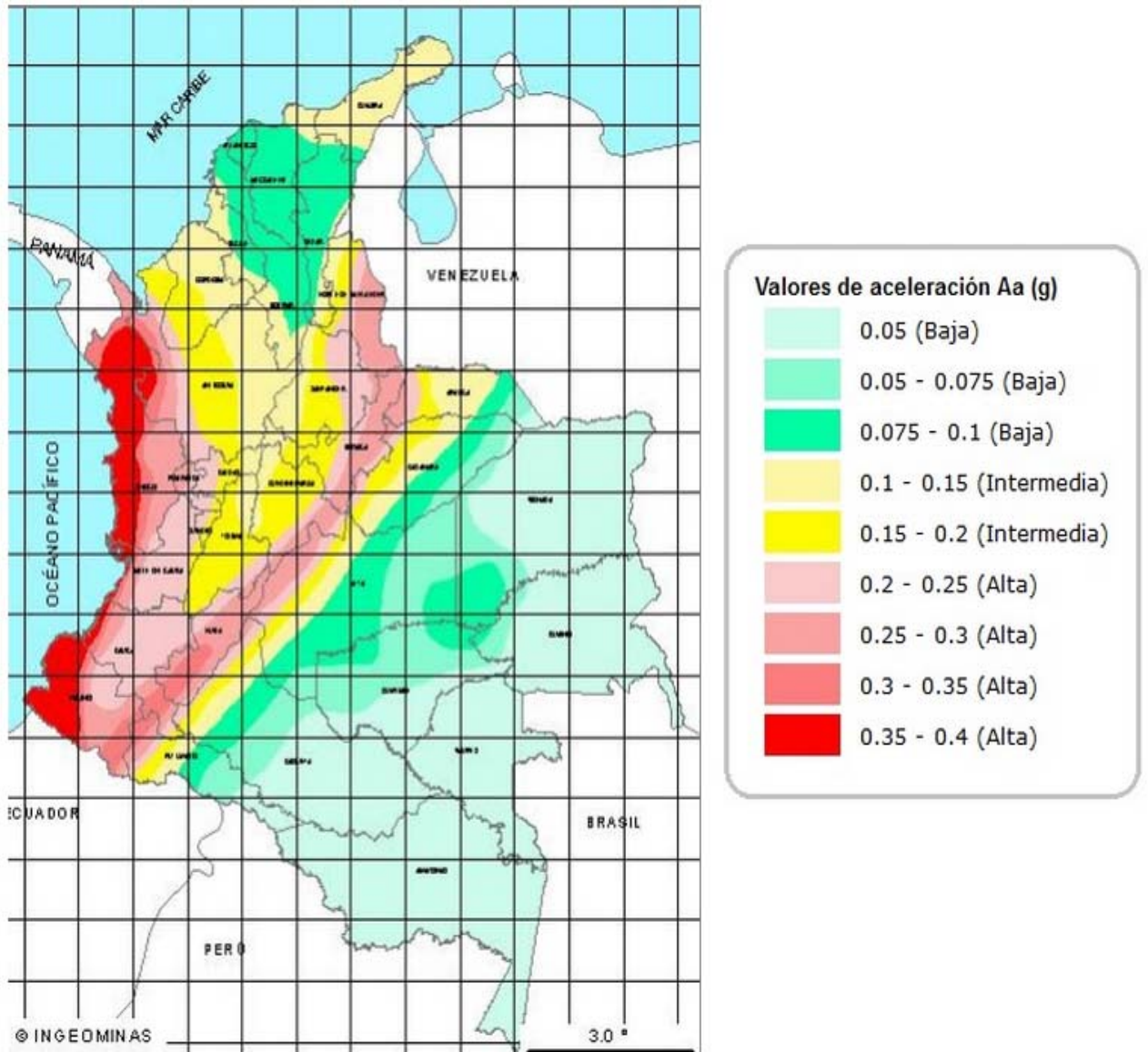
Vista en planta de la Sector



Fuente: Levantamiento topográfico - Gobernación de Santander

## ANEXO C: ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE COLOMBIA

Mapa de amenaza sísmica



Fuente: INGEOMINAS

## **ANEXO D: ESTUDIO GEOELÉCTRICO**

### **ESTUDIO GEOELÉCTRICO**

En los estudios geotécnicos y de recursos hídricos subterráneos se utiliza como principal herramienta el método geoelectrico, que permite estudiarla constitución y posición de los sedimentos, rocas y aguas subterránea, utilizando la evolución de la resistividad eléctrica a través de su profundidad.

El método Geoelectrico o de resistividad fue ideado por el ingeniero francés Conrad Schlumberger y es el más eficaz hasta el momento, y demás amplia difusión en la prospección de agua subterránea y en la aplicación a los estudios geotécnicos, que consiste en energizar el terreno para evaluar las resistividades del subsuelo realizando una serie de mediciones de Intensidad de corriente como del gradiente de potencial desde la superficie.

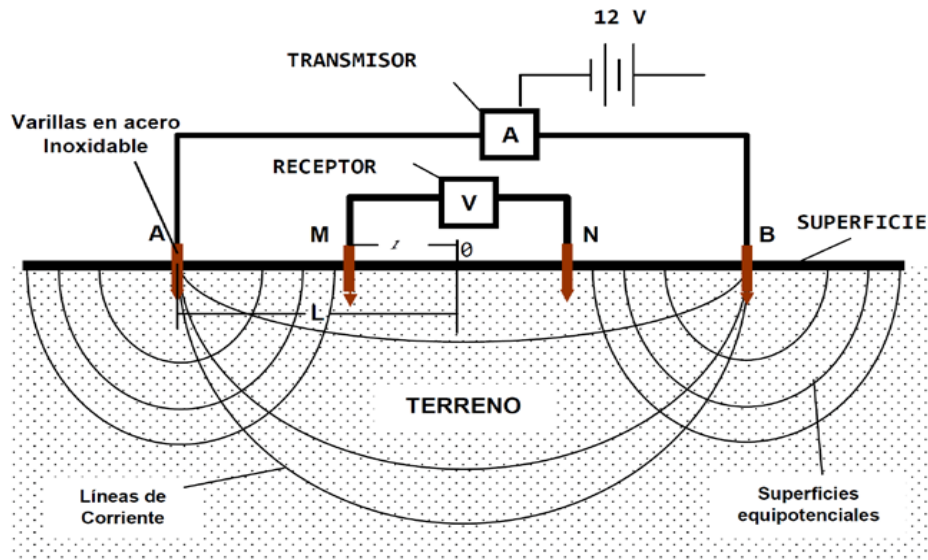
El estudio geoelectrico de la zona fue realizado por el Geólogo Carlos M. Wandurraga para la Gobernación de Santander. Los sondeos se realizaron con un equipo de resistividad GESS-2000 compuesto por un Trasmisor y un Receptor con las siguientes características: Potencia 1500W, Máximo Voltaje de Salida 400V, AB/2 Máxima de 1000m de profundidad, Electrodo en Acero Inoxidable de Alta Conductividad, Corriente de salida: continua DC, Precisión en la corriente de salida 0.5% en 100mA, Tiempo de pulsación de 1 a 4 segundos, Lecturas en auto-rango, Precisión V/I de 0.1%, Impedancia de entrada 1M mínimo, Fuente de entrada 12V. Operación de temperaturas entre  $-5^{\circ} + 50^{\circ}\text{C}$ .

#### **DISPOSITIVO SHLUMBERGER**

En este tipo de arreglo, los electrodos de potencial se colocan (MyN); se ubican simétricamente a una distancia  $l$  del punto central. De igual forma se colocan los electrodos de corriente (Ay B) a una distancia  $L$  del punto central, conservando

entre todos una alineación. Por lo tanto es equivalente a  $AB/2$ , mientras que el valor de  $MN/2$  lo es para  $l$ .

### Montaje típico para la ejecución de los Sondeos Eléctricos Verticales tipo Schlumberger



Fuente: Cantos Figueroa en el tratado de geofísica aplicada, 1979

De este arreglo se extrae el siguiente valor de  $K$ , que corresponde a la constante, para cada apertura.  $K$  se dé nomina constante geométrica, porque depende directamente de la geometría del dispositivo empleado para inyectar y medirla corriente y tiene las dimensiones de una distancia (m). Para luego realizar el cálculo de la resistividad  $R$ .

## ANÁLISIS DE DATOS GEOELÉCTRICOS

En interpretaciones cuantitativas se debe distinguir entre interpretaciones puramente matemáticas e interpretaciones Hidrogeológicas. Es decir la interpretación de un levantamiento Geoeléctrico es mucho más que simplemente

sumar los resultados de una interpretación matemática de cada una de las mediciones.

Una interpretación geoelectrica tiene además como objetivo proporcionar información, como:

- Profundidades, espesores y extensión de acuíferos, capas semipermeables e impermeables.
- Nivel freático
- Profundidad del basamento
- Interfaz entre aguas dulces y saladas
- Calidad química de las aguas subterráneas
- Propiedades físicas de la roca (Porosidad, permeabilidad, granulometría, etc.)
- En general, aporta datos sobre constitución hidrogeológica en un área.

En la interpretación de un Sondeo Eléctrico Vertical las resistividades aparentes, obtenidas promedio de un SEV con el dispositivo Schlumberger, se representan en función de las distancias  $AB/2$  en un gráfico de papel doblemente logarítmico, en el cual las ordenadas representan profundidades y las abscisas resistividad aparente.

El sistema computarizado recibe las aperturas y la resistividad aparente, lo cual permite interpretar las unidades geoelectricas con resistividad, espesor y profundidad del techo, para que manualmente se determine la litología correspondiente. Los anteriores datos son incluidos en otro programa de computador, denominado Curteo, en el cual se procede, independientemente del programa inicial, en forma totalmente inversa, obteniendo así la curva teórica, la cual indica el grado de confiabilidad de los datos obtenidos en el campo. Para ambos casos se emplea un error relativo de 0, 10, lo cual muestra la precisión con la cual se maneja la información a ser comparada.

## RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO GEOELECTRICO

### a) Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1

#### Mediciones obtenidas en campo

```

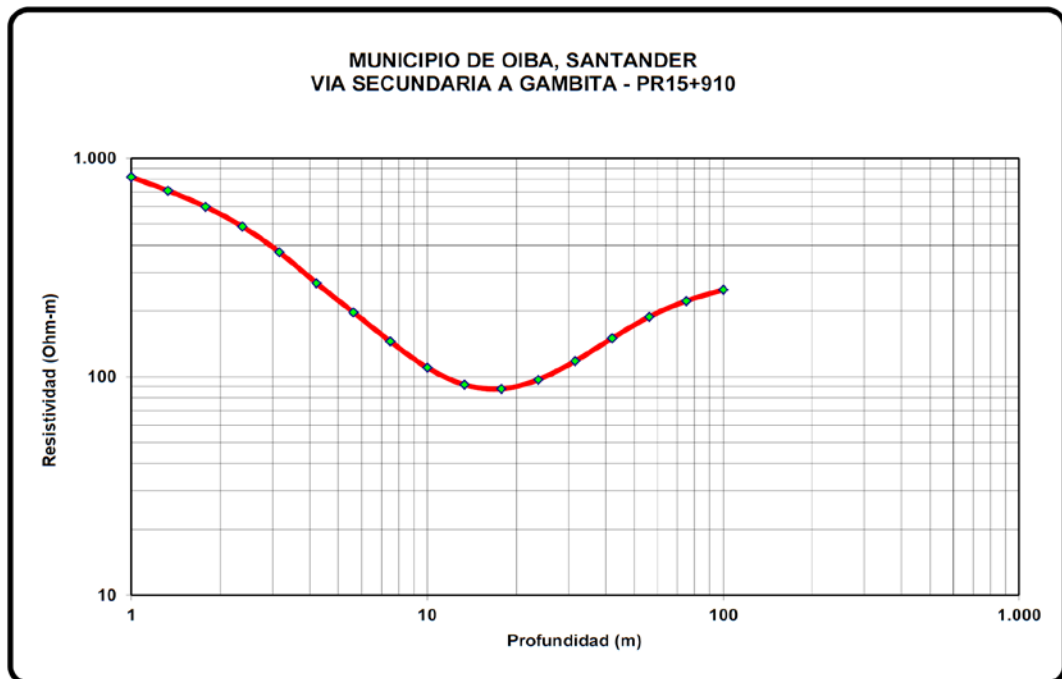
MODEL DATA LAYER 1
.39 TO 1.23 .50 1130.00 455.63
CONTINUE (1), CHOOSE DEPTH (2), CHOOSE NEXT RESISTIVITY
(3), OR CHOOSE DEPTH AND NEXT RESISTIVITY (4)
1
MODEL DATA LAYER 2
1.64 TO 12.29 1.99 455.63 80.01
CONTINUE (1), CHOOSE DEPTH(2), CHOOSE NEXT RESISTIVITY
(3), OR CHOOSE DEPTH AND NEXT RESISTIVITY (4)
1
MODEL DATA LAYER 3
16.40 TO 51.85 17.82 80.01 537.54
CONTINUE (1), CHOOSE DEPTH(2), CHOOSE NEXT RESISTIVITY
(3), OR CHOOSE DEPTH AND NEXT RESISTIVITY (4)
1
MODEL DATA LAYER 4
69.14 TO 291.56 43.63 537.54 280.79
CONTINUE (1), CHOOSE DEPTH(2), CHOOSE NEXT RESISTIVITY
(3), OR CHOOSE DEPTH AND NEXT RESISTIVITY (4)
1
FINAL SOLUTION
LAYER RESISTIVITY THICKNESS DEPTH
1 1130.0 .5 .0
2 455.6 2.0 .5
3 80.0 17.8 2.5
4 537.5 43.6 20.3
5 280.8 .0 63.9
R.M.S. RELATIVE ERROR IS .0115
MAXIMUM REL. ERROR IS .0241 AT SAMPLE POINT 13
ABSCISSA TRANSFORM REL. ERROR
.39 1049.92 .0093
.52 996.91 .0025
.69 932.46 -.0083
.92 855.36 -.0149
1.23 766.67 -.0129
1.64 671.30 -.0059
2.19 577.62 -.0032
2.92 486.19 .0004
3.89 405.41 -.0020
5.18 333.65 .0016
6.91 275.14 .0056
9.22 228.29 .0167
12.29 195.35 .0241
16.40 175.92 .0224
21.86 169.63 .0062
29.16 173.10 -.0102
38.88 184.18 -.0217
51.85 198.54 -.0180
69.14 215.62 -.0127
92.20 231.61 -.0027
122.95 245.99 .0040
163.96 258.24 .0050
218.64 267.79 .0025
291.56 275.75 -.0052

```

Resistividades aparentes y resistencias del sitio de ejecución

AB/2 (m)	K (m)	Resistencia (Ohm)	Resistividad (Ohm-m)
1,33	5,62	126,3345196	710,00
1,78	10,62	56,49717514	600,00
2,37	19,36	25,15495868	487,00
3,16	34,95	10,64377682	372,00
4,22	62,88	4,262086514	268,00
5,63	112,06	1,757986793	197,00
7,50	200,12	0,724565261	145,00
10,00	356,30	0,308728599	110,00
13,34	634,60	0,144973211	92,00
17,78	1127,88	0,078022485	88,00
23,71	2006,23	0,048349392	97,00
31,62	255,52	0,461803381	118,00
42,17	461,74	0,324858145	150,00
56,23	828,21	0,226995569	188,00
74,99	1480,29	0,149970614	222,00
100,00	2637,50	0,09478673	250,00

Curva Sondeo Eléctrico Vertical



## b) Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2

Mediciones obtenidas en campo

```

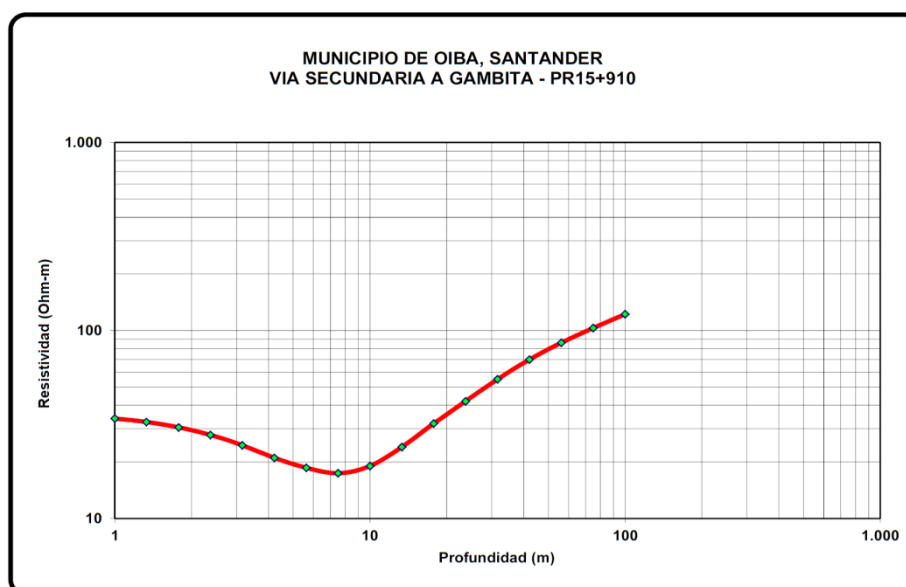
MODEL DATA LAYER  1
.39 TO  1.64      .90      36.20      21.77
CONTINUE (1), CHOOSE DEPTH(2), CHOOSE NEXT RESISTIVITY
(3), OR CHOOSE DEPTH AND NEXT RESISTIVITY (4)
1
MODEL DATA LAYER  2
2.19 TO  3.89      2.02      21.77      11.70
CONTINUE (1), CHOOSE DEPTH(2), CHOOSE NEXT RESISTIVITY
(3), OR CHOOSE DEPTH AND NEXT RESISTIVITY (4)
1
MODEL DATA LAYER  3
5.18 TO  16.40      5.03      11.70      1158.34
CONTINUE (1), CHOOSE DEPTH(2), CHOOSE NEXT RESISTIVITY
(3), OR CHOOSE DEPTH AND NEXT RESISTIVITY (4)
1
MODEL DATA LAYER  4
29.16 TO 291.56      8.30      1158.34      199.74
CONTINUE (1), CHOOSE DEPTH(2), CHOOSE NEXT RESISTIVITY
(3), OR CHOOSE DEPTH AND NEXT RESISTIVITY (4)
1
FINAL SOLUTION
  LAYER  RESISTIVITY  THICKNESS  DEPTH
    1      36.2         .9         .0
    2      21.8         2.0         .9
    3      11.7         5.0         2.9
    4     1158.3        8.3         7.9
    5      199.7         .0        16.3
R.M.S. RELATIVE ERROR IS .0170
MAXIMUM REL. ERROR IS .0427 AT SAMPLE POINT 10
  ABSCISSA  TRANSFORM  REL. ERROR
    .39      35.79      -.0063
    .52      35.44      -.0056
    .69      34.87      -.0001
    .92      33.93      -.0076
    1.23     32.45      -.0115
    1.64     30.46      -.0108
    2.19     28.11      -.0054
    2.92     25.43      .0126
    3.89     23.27      .0269
    5.18     21.91      .0427
    6.91     22.22      .0344
    9.22     24.24      .0159
   12.29     28.07      -.0017
   16.40     34.35      -.0278
   21.86     42.05      -.0261
   29.16     52.18      -.0259
   38.88     63.84      -.0131
   51.85     77.28      -.0015
   69.14     92.73      -.0004
   92.20    108.13      .0057
  122.95    123.84      .0040
  163.96    138.04      .0045
  218.64    151.37      -.0010
  291.56    162.65      -.0053

```

### Resistividades aparentes y resistencias del sitio de ejecución

AB/2 (m)	K (m)	Resistencia (Ohm)	Resistividad (Ohm-m)
1,33	5,62	5,800711744	32,60
1,78	10,62	2,871939736	30,50
2,37	19,36	1,435950413	27,80
3,16	34,95	0,701001431	24,50
4,22	62,88	0,333969466	21,00
5,63	112,06	0,165982509	18,60
7,50	200,12	0,086947831	17,40
10,00	356,30	0,053325849	19,00
13,34	634,60	0,037819099	24,00
17,78	1127,88	0,028371813	32,00
23,71	2006,23	0,020934788	42,00
31,62	255,52	0,215247339	55,00
42,17	461,74	0,151600468	70,00
56,23	828,21	0,103838398	86,00
74,99	1480,29	0,06958096	103,00
100,00	2637,50	0,046255924	122,00

### Curva Sondeo Eléctrico Vertical



**ANEXO E: RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION  
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123**

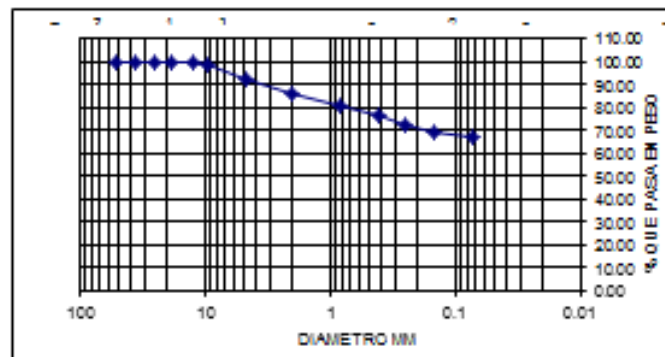
**FECHA** : 13 de Abril de 2012  
**PROYECTO** : ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL-GAMBITA  
**LOCALIZACION** K 15+900 AL K 15+960 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA

**SONDEO** : S1  
**MUESTRA** : 1  
**PROFUNDIDAD** : 1m

PESO TARA (qr)		
TARA+MUESTRA HUMEDA (qr)		
TARA+MUESTRA SECA (qr)		
PESO AGUA (qr)		
PESO MUEST. SECA (qr)		
HUMEDAD (%)		

PESO INICIAL DE LA MUESTRA qr: 700  
 PESO DESPUES DELAVADO qr: 234.2  
 PORCENTAJE DE ERROR %: 0.20

MALLA N <sup>o</sup>	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIEN TO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA N <sup>o</sup>	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIEN TO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	qr	%	%	****	mm	qr	%	%
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	47.20	6.74	85.70
1 1/2"	36.1	0.00	0.00	100.00	20	0.84	31.9	4.56	81.14
1"	25.4	0.00	0.00	100.00	40	0.42	29.7	4.24	76.30
3/4"	19.05	0.00	0.00	100.00	60	0.25	27.4	3.91	72.39
1/2"	12.7	3.10	0.44	99.56	100	0.143	22.1	3.16	69.83
3/8"	9.52	3.40	0.49	99.07	200	0.074	17.2	2.46	67.37
No 4	4.75	46.40	6.63	92.44	PASA 200	****	470.20		
SUMA	*****	52.90	7.56		SUMA	*****	645.70	25.07	
					<b>TOTAL</b>		<b>645.70</b>		



GRAVAS- 7.56 %  
 ARENAS - 25.07 %  
 FINOS- 67.37 %

**CLASIFICACION SUGS:** ML - Limo inorganico de baja plasticidad

Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123**

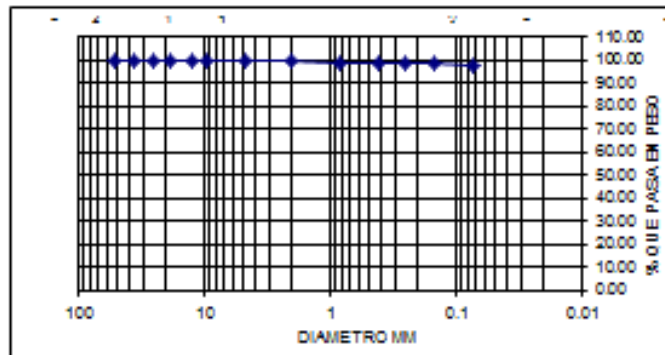
**FECHA** : 13 de Abril de 2012  
**PROYECTO** : ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL-GAMBITA  
**LOCALIZACION** K 15+900 AL K 15+960 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA

**SONDEO** : S2.  
**MUESTRA** : 2  
**PROFUNDIDAD** : 1m

PESO TARA (gr)		
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)		
TARA+MUESTRA SECA (gr)		
PESO AGUA (gr)		
PESO MUEST. SECA (gr)		
HUMEDAD (%)		

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 700  
PESO DESPUES DE LAVADO gr: 23.1  
PORCENTAJE DE ERROR %: 0.20

MALLA N <sup>o</sup>	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENT O RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA N <sup>o</sup>	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENT O RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	2.40	0.34	99.56
1 1/2"	36.1	0.00	0.00	100.00	20	0.84	2.7	0.39	99.17
1"	25.4	0.00	0.00	100.00	40	0.42	2.6	0.37	98.80
3/4"	19.05	0.00	0.00	100.00	60	0.25	1.9	0.27	98.53
1/2"	12.7	0.00	0.00	100.00	100	0.149	1.6	0.23	98.30
3/8"	9.52	0.00	0.00	100.00	200	0.074	6.3	0.99	97.31
No 4	4.75	0.70	0.10	99.90	PASA 200	*****	679.80		
SUMA	*****	0.70	0.10		SUMA	*****	697.90	2.59	
					<b>TOTAL</b>		<b>699.60</b>		



GRAVAS- 0.10 %  
ARENAS - 2.59 %  
FINOS- 97.31 %

**CLASIFICACION SUCS:** ML - Limo inorganico de baja plasticidad

Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126**

**FECHA** : 13 de Abril de 2012  
**PROYECTO** : ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL-GAMBITA  
**LOCALIZACION** K 15+900 AL K 15+960 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA

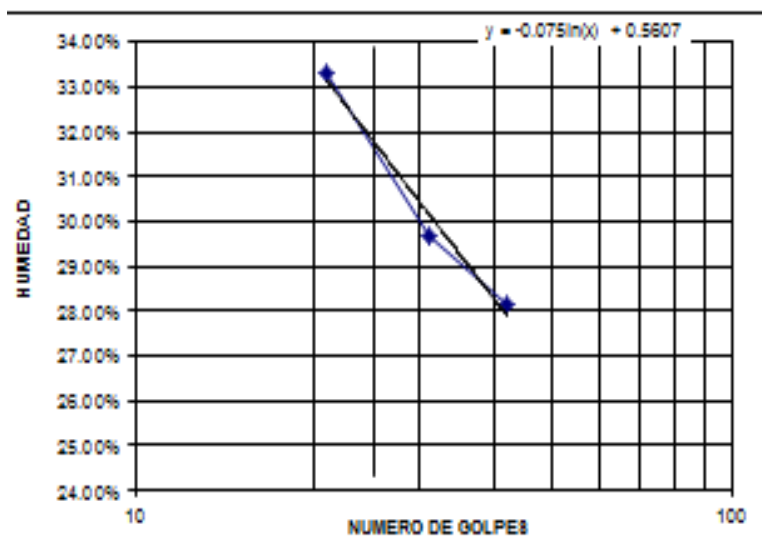
**SOMDEO** : S1.  
**MUESTRA** : 1  
**PROFUNDIDAD** : 1m

**LIMITE LIQUIDO**

CAPSULA N.	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA - SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA - SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
100	42	8.8	36.1	30.1	6	24.3	28.17%
200	31	7.7	32.6	26.9	5.7	19.2	29.69%
12	21	8.40	30.8	25.2	5.6	16.8	33.33%

**LIMITE PLASTICO**

1	6.9	16.3	14.42	1.88	7.52	25.00%
2	6.8	16.6	14.65	1.95	7.85	24.84%



LIMITE LIQUIDO : 32%  
 LIM. PLASTICO : 25%  
 IND. DE PLASTI. : 7%  
 CLASIFICACION SUCS. : ML

Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126**

**FECHA** : 13 de Abril de 2012  
**PROYECTO** : ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL-GAMBITA  
**LOCALIZACION:** K 15+900 AL K 15+960 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA

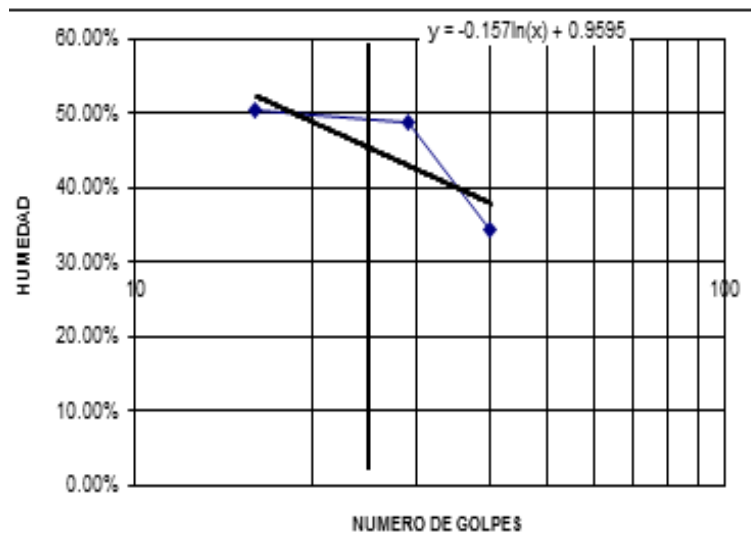
**SONDEO** : S2  
**MUESTRA** : 2  
**PROFUNDIDAD** : 1m

**LIMITE LIQUIDO**

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA gr	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO gr	PESO CAPSULA + SUELO SECO gr	PESO DEL AGUA gr	PESO SUELO SECO gr	CONTENIDO DE AGUA %
8	40	6.8	24.4	19.9	4.5	13.1	34.35%
19	29	6.70	23.5	18	5.5	11.3	48.67%
1	16	7.2	25.1	19.1	6	11.9	50.42%

**LIMITE PLASTICO**

1		6.8	16.7	14.2	2.5	7.4	33.78%
2		6.7	18.4	15.36	3.04	8.66	35.10%



LIMITE LIQUIDO : 45%  
 LIM. PLASTICO : 34%  
 IND. DE PLASTI. : 11%  
 CLASIFICACION SUCS. : ML

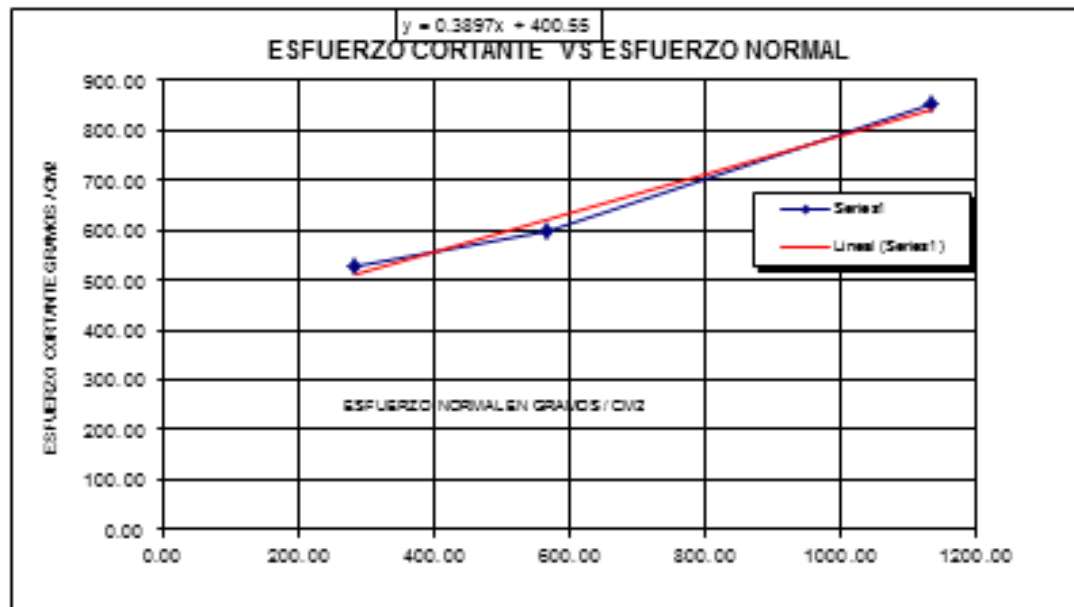
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO SATURADO - CARGAS MAXIMAS INV E-154**

<b>FECHA</b>	13 de Abril de 2012	<b>SONDEO</b>	S1.
<b>PROYECTO</b>	ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL-GAMBI	<b>MUESTRA</b>	1- SATURADA
<b>LOCALIZACION</b>	K 15+900 AL K 15+960 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA	<b>PROFUNDIDAD</b>	1m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
gramas	cm <sup>2</sup>	MAXIMA EN gramas	gr/cm <sup>2</sup>	gr/cm <sup>2</sup>
8000	28.15	14800	284.20	525.78
16000	28.15	16900	568.41	600.38
32000	28.15	23950	1136.81	850.83



<b>HUMEDAD %</b>	33	
<b>PENDIENTE</b>	0.3897	
<b>ANGULO FRICCIÓN</b>	21	grados
<b>COHESION</b>	400.55	gr/cm <sup>2</sup>
<b>COHESION</b>	4006	kgr/m <sup>2</sup>

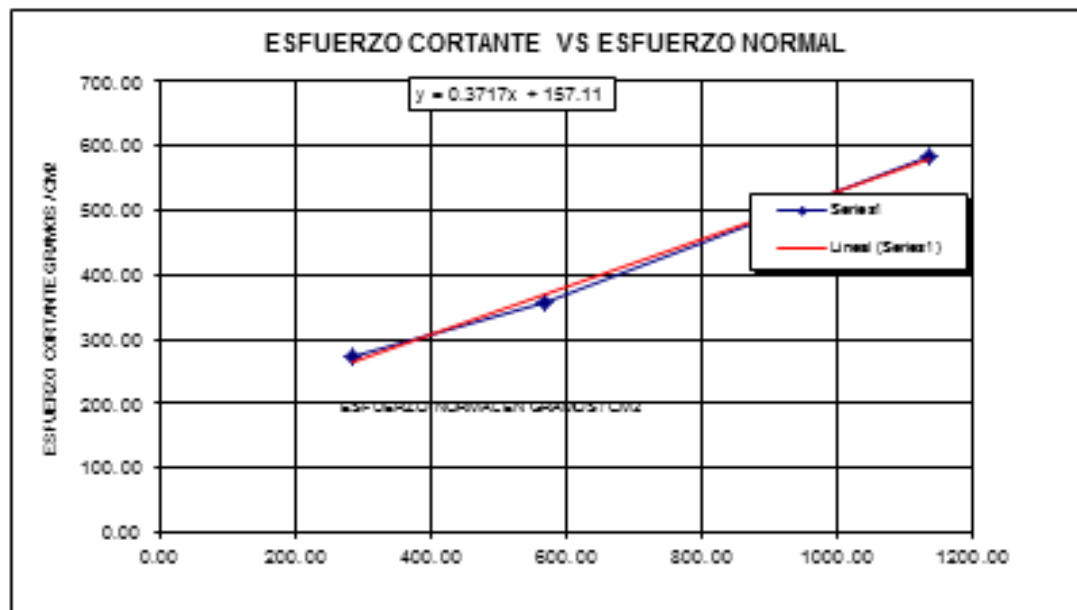
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO SATURADO - CARGAS RESIDUALES INV E-154**

<b>FECHA</b>	13 de Abril de 2012	<b>SONDEO</b>	S1.
<b>PROYECTO</b>	ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL-GAMBI	<b>MUESTRA</b>	1- SATURADA
<b>LOCALIZACION</b>	K 15+900 AL K 15+960 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA	<b>PROFUNDIDAD</b>	1m.

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
gramar	cm <sup>2</sup>	MAXIMA EN gramar	gr/cm <sup>2</sup>	gr/cm <sup>2</sup>
8000	28.15	7625	284.20	270.88
16000	28.15	10025	568.41	356.14
32000	28.15	16430	1136.81	583.68



<b>HUMEDAD %</b>	33	
<b>PENDIENTE</b>	0.3717	
<b>ANGULO FRICC </b>	20	grados
<b>COHESION</b>	157.11	gr/cm <sup>2</sup>
<b>COHESION</b>	1571	kgr/m <sup>2</sup>

Fuente: Autores

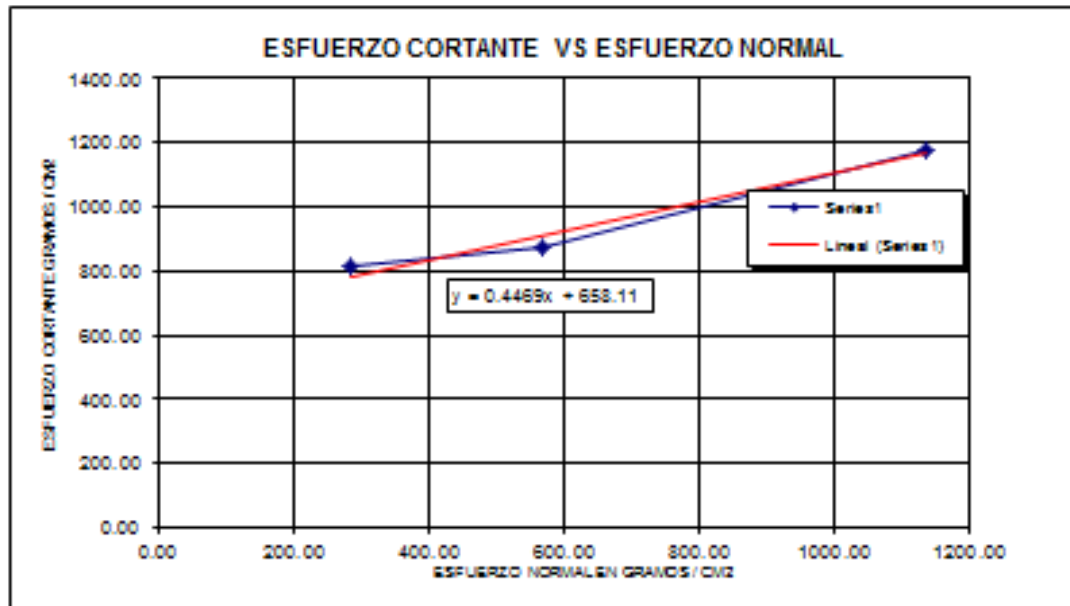


**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO NATURAL - CARGAS MAXIMAS INV E-154**

<b>FECHA</b>	13 de Abril de 2012	<b>SONDEO</b>	S1.
<b>PROYECTO</b>	ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL-GAMEBI	<b>MUESTRA</b>	1- NATURAL
<b>LOCALIZACION</b>	K 15+900 AL K 15+960 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA	<b>PROFUNDIDAD</b>	1m.

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
gramar	cm <sup>2</sup>	MAXIMA EN gramar	gr/cm <sup>2</sup>	gr/cm <sup>2</sup>
8000	28.15	22850	284.20	811.76
16000	28.15	24550	568.41	872.15
32000	28.15	33200	1136.81	1179.44



<b>HUMEDAD %</b>	29	
<b>PENDIENTE</b>	0.4469	
<b>ANGULO FRICCIÓN</b>	24	grados
<b>COHESION</b>	658.11	gr/cm <sup>2</sup>
<b>COHESION</b>	6581	kgr/m <sup>2</sup>

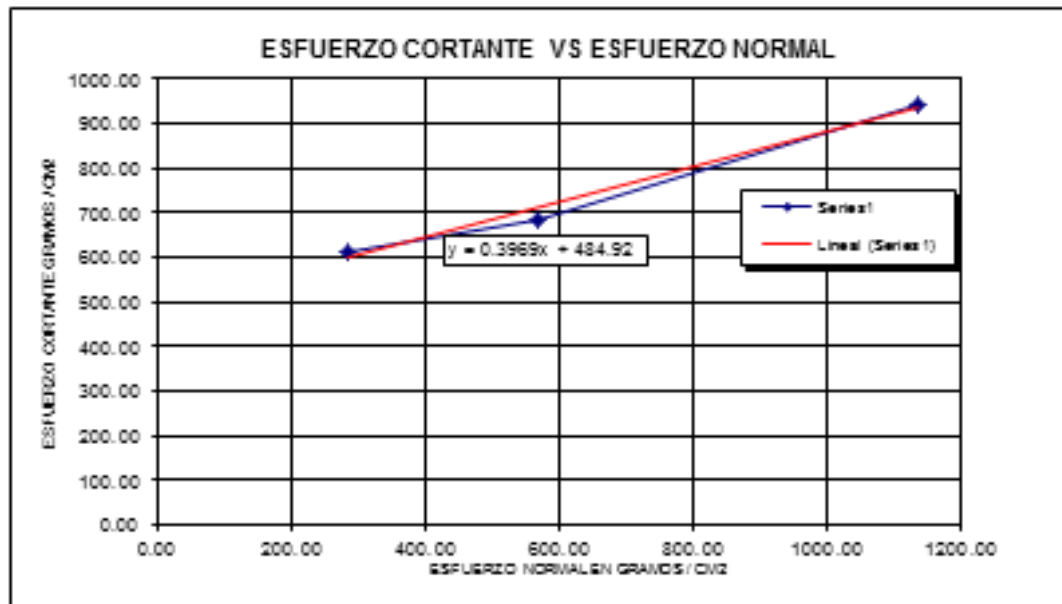
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO NATURAL - CARGAS RESIDUALES INV E-154**

<b>FECHA</b>	13 de Abril de 2012	<b>SONDEO</b>	S1.
<b>PROYECTO</b>	ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL-GAMBI	<b>MUESTRA</b>	1- NATURAL
<b>LOCALIZACION</b>	K 15+900 AL K 15+960 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA	<b>PROFUNDIDAD</b>	1m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
gramas	cm <sup>2</sup>	MAXIMA EN gramas	gr/cm <sup>2</sup>	gr/cm <sup>2</sup>
8000	28.15	17275	284.20	613.70
16000	28.15	19325	568.41	686.53
32000	28.15	26575	1136.81	944.09



<b>HUMEDAD %</b>	29	
<b>PENDIENTE</b>	0.3969	
<b>ANGULO FRICCIÓN</b>	22	grados
<b>COHESION</b>	482.92	gr/cm <sup>2</sup>
<b>COHESION</b>	4829	kgr/m <sup>2</sup>

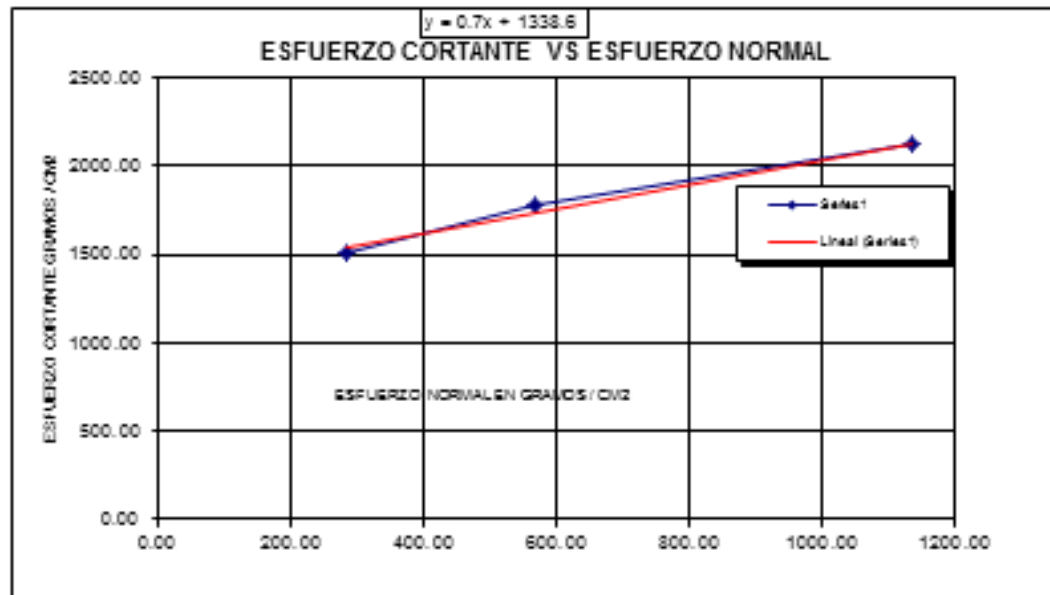
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO COMPACTADO - CARGAS MAXIMAS INV E-154**

<b>FECHA</b>	13 de Abril de 2012	<b>SONDEO</b>	S1.
<b>PROYECTO</b>	ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL-GAMBI	<b>HUESTRA</b>	1- COMPACTADA
<b>LOCALIZACION</b>	K 15+900 AL K 15+960 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA	<b>PROFUNDIDAD</b>	1m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
gramar	cm <sup>2</sup>	MAXIMA EN gramar	gr/cm <sup>2</sup>	gr/cm <sup>2</sup>
8000	28.15	42500	284.20	1509.83
16000	28.15	50050	568.41	1778.05
32000	28.15	59690	1136.81	2120.51



<b>HUMEDAD %</b>	15	
<b>PENDIENTE</b>	0.7	
<b>ANGULO FRICCIÓN</b>	35	grados
<b>COHESION</b>	1338.6	gr/cm <sup>2</sup>
<b>COHESION</b>	13386	kg/m <sup>2</sup>

Fuente: Autores

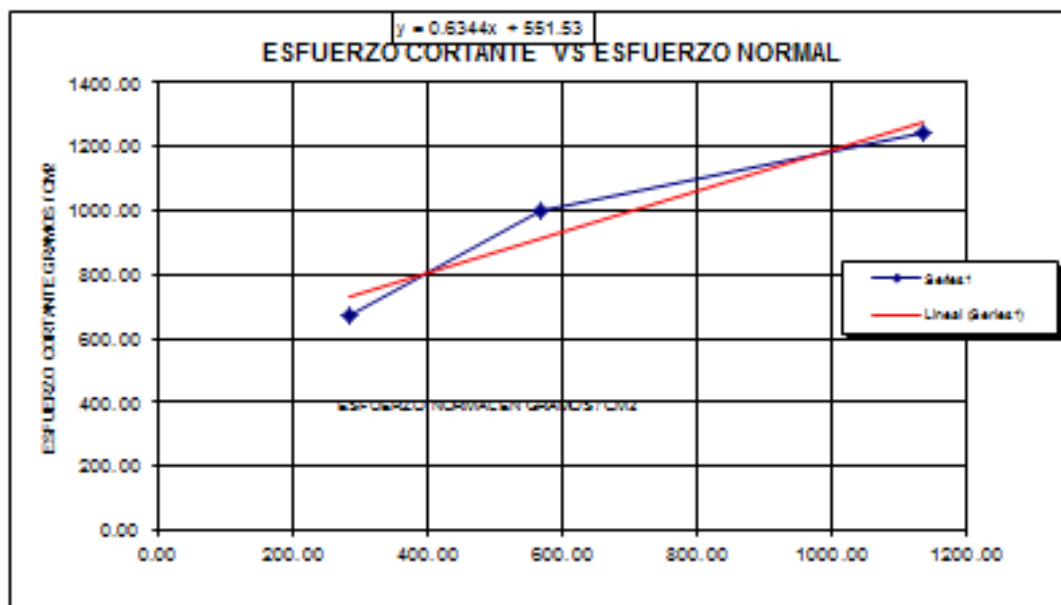


**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**ENSAJO DE CORTE DIRECTO COMPACTADO - CARGAS RESIDUALES INV E-154**

<b>FECHA</b>	13 de Abril de 2012	<b>SONDEO</b>	S1.
<b>PROYECTO</b>	ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL-GAMBI	<b>MUESTRA</b>	1-COMPACTADA
<b>LOCALIZACION</b>	K 15+900 AL K 15+960 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA	<b>PROFUNDIDAD</b>	1m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
gramas	cm <sup>2</sup>	MAXIMA EN gramas	gr/cm <sup>2</sup>	gr/cm <sup>2</sup>
8000	28.15	18960	284.20	673.56
16000	28.15	28135	568.41	999.51
32000	28.15	35005	1136.81	1243.57



<b>HUMEDAD %</b>	15	
<b>PENDIENTE</b>	0.6344	
<b>ANGULO FRICCIÓN</b>	32	grados
<b>COHESION</b>	551.53	gr/cm <sup>2</sup>
<b>COHESION</b>	5515	kgr/m <sup>2</sup>

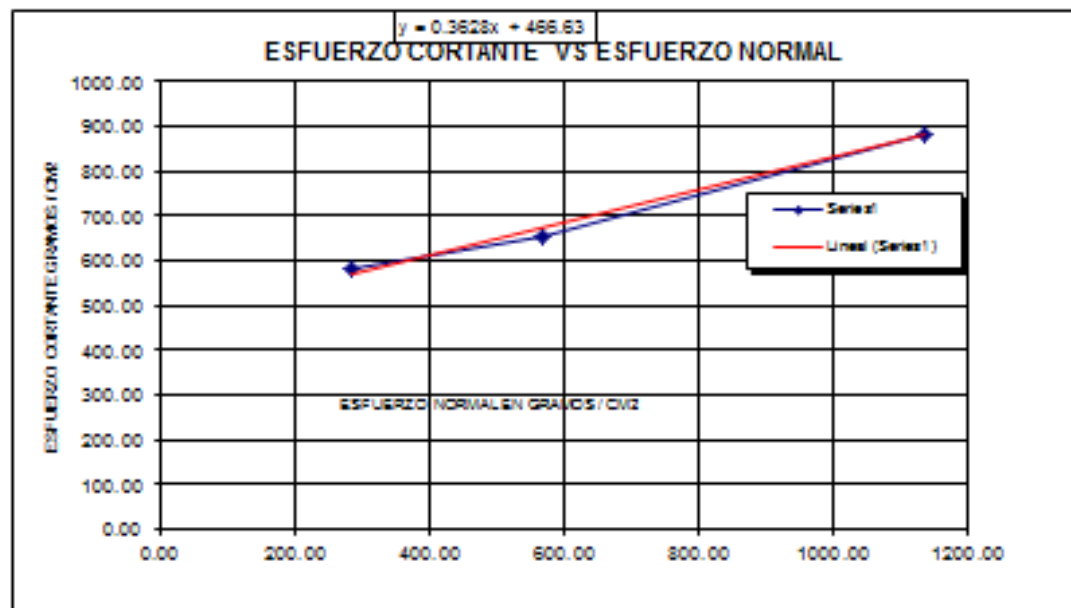
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO SATURADO - CARGAS MAXIMAS INV E-154**

<b>FECHA</b>	13 de Abril de 2012	<b>SONDEO</b>	S2
<b>PROYECTO</b>	ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL-GAMBI	<b>MUESTRA</b>	2 - SATURADA
<b>LOCALIZACION</b>	K 15+900 AL K 15+960 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA	<b>PROFUNDIDAD</b>	1m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
gramas	cm <sup>2</sup>	MÁXIMA EN gramas	gr/cm <sup>2</sup>	gr/cm <sup>2</sup>
8000	28.15	16250	284.20	580.84
16000	28.15	18470	568.41	656.15
32000	28.15	24900	1136.81	884.58



<b>HUMEDAD %</b>	32	
<b>PENDIENTE</b>	0.3628	
<b>ANGULO FRICC </b>	20	grados
<b>COHESION</b>	466.63	gr/cm <sup>2</sup>
<b>COHESION</b>	4666	kgr/m <sup>2</sup>

Fuente: Autores

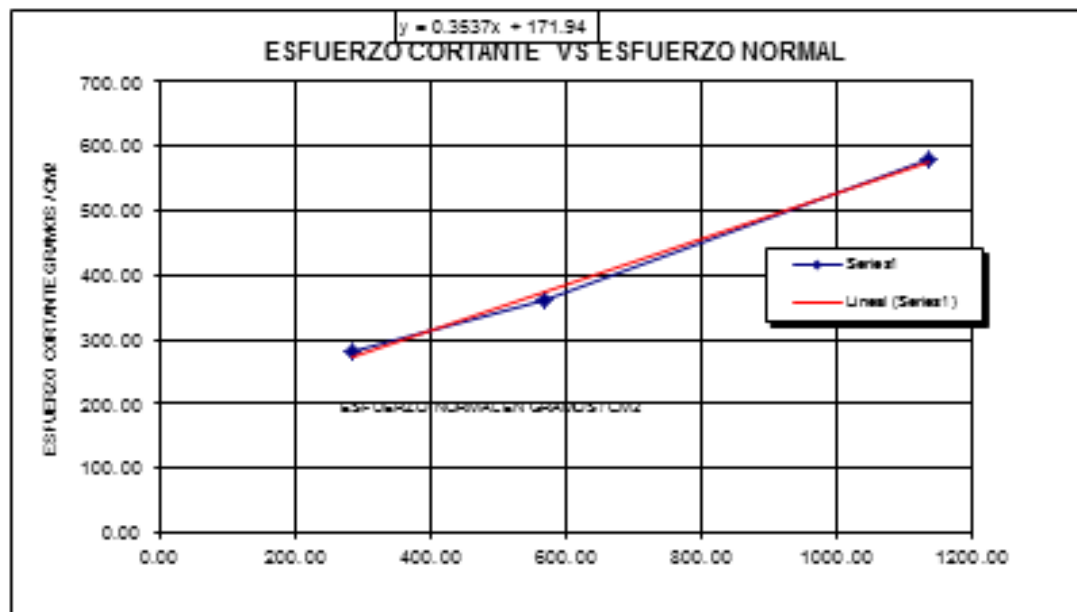


**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO SATURADO - CARGAS RESIDUALES INV E-154**

<b>FECHA</b>	13 de Abril de 2012	<b>SONDEO</b>	S2
<b>PROYECTO</b>	ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL-GAMBI	<b>MUESTRA</b>	2 - SATURADA
<b>LOCALIZACION</b>	K 15+900 AL K 15+960 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA	<b>PROFUNDIDAD</b>	1m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
gramas	cm <sup>2</sup>	MAXIMA EN gramas	gr/cm <sup>2</sup>	gr/cm <sup>2</sup>
8000	28.15	7885	284.20	280.12
16000	28.15	10175	568.41	361.47
32000	28.15	16265	1136.81	577.82



<b>HUMEDAD %</b>	32	
<b>PENDIENTE</b>	0.3537	
<b>ANGULO FRICCIÓN</b>	19	grados
<b>COHESION</b>	171.94	gr/cm <sup>2</sup>
<b>COHESION</b>	1719	kgr/m <sup>2</sup>

Fuente: Autores

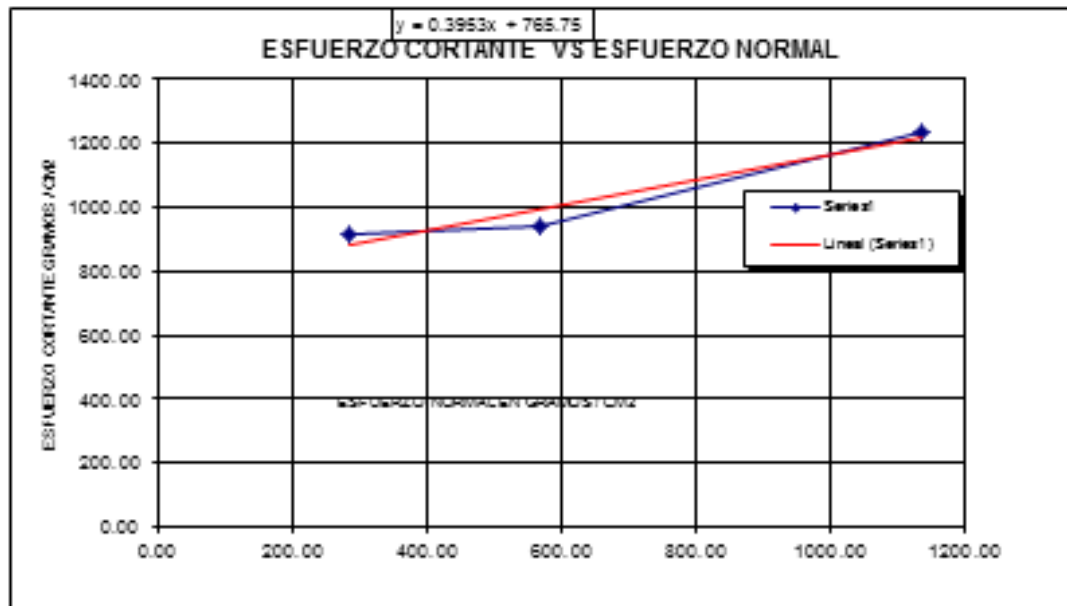


**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO NATURAL - CARGAS MAXIMAS INV E-154**

<b>FECHA</b>	<u>13 de Abril de 2012</u>	<b>SONDEO</b>	<u>S2</u>
<b>PROYECTO</b>	<u>ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL-GAMBI</u>	<b>MUESTRA</b>	<u>2 - NATURAL</u>
<b>LOCALIZACION</b>	<u>K 15+900 AL K 15+960 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA</u>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<u>1m</u>

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
gramas	cm <sup>2</sup>	MAXIMA EN gramas	gr/cm <sup>2</sup>	gr/cm <sup>2</sup>
8000	28.15	25650	284.20	911.23
16000	28.15	26480	568.41	940.71
32000	28.15	34670	1136.81	1231.67



<b>HUMEDAD %</b>	<u>27</u>	<b>DE ENSAYO</b>	
<b>PENDIENTE</b>	<u>0.3953</u>		primer dato ecuacion
<b>ANGULO FRICC</b>	<u>22</u>	grados	
<b>COHESION</b>	<u>765.75</u>	gr/cm <sup>2</sup>	segundo dato ecuacion
<b>COHESION</b>	<u>7658</u>	kg/m <sup>2</sup>	

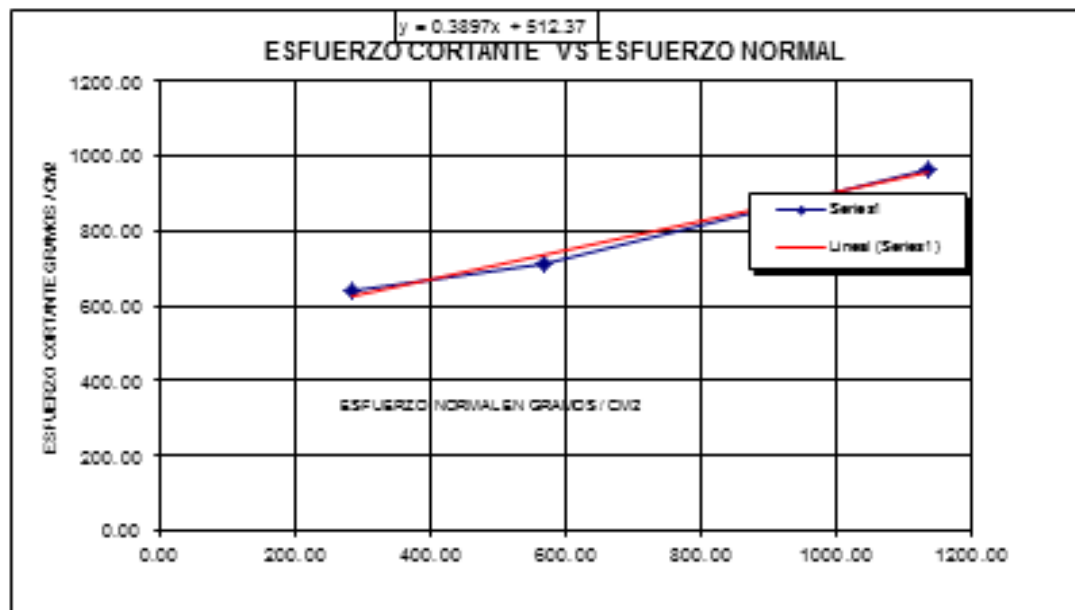
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO NATURAL - CARGAS RESIDUALES INV E-154**

<b>FECHA</b>	13 de Abril de 2012	<b>SONDEO</b>	S2
<b>PROYECTO</b>	ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL-GAMBI	<b>MUESTRA</b>	2 - NATURAL
<b>LOCALIZACION</b>	K 15+900 AL K 15+96.0 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA	<b>PROFUNDIDAD</b>	1m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
gramas	cm <sup>2</sup>	MAXIMA EN gramas	gr/cm <sup>2</sup>	gr/cm <sup>2</sup>
8000	28.15	17975	284.20	638.57
16000	28.15	20005	568.41	710.69
32000	28.15	27110	1136.81	963.09



<b>HUMEDAD %</b>	27	
<b>PENDIENTE</b>	0.3897	
<b>ANGULO FRICC </b>	21	grados
<b>COHESION</b>	512.37	gr/cm <sup>2</sup>
<b>COHESION</b>	5124	kgr/m <sup>2</sup>

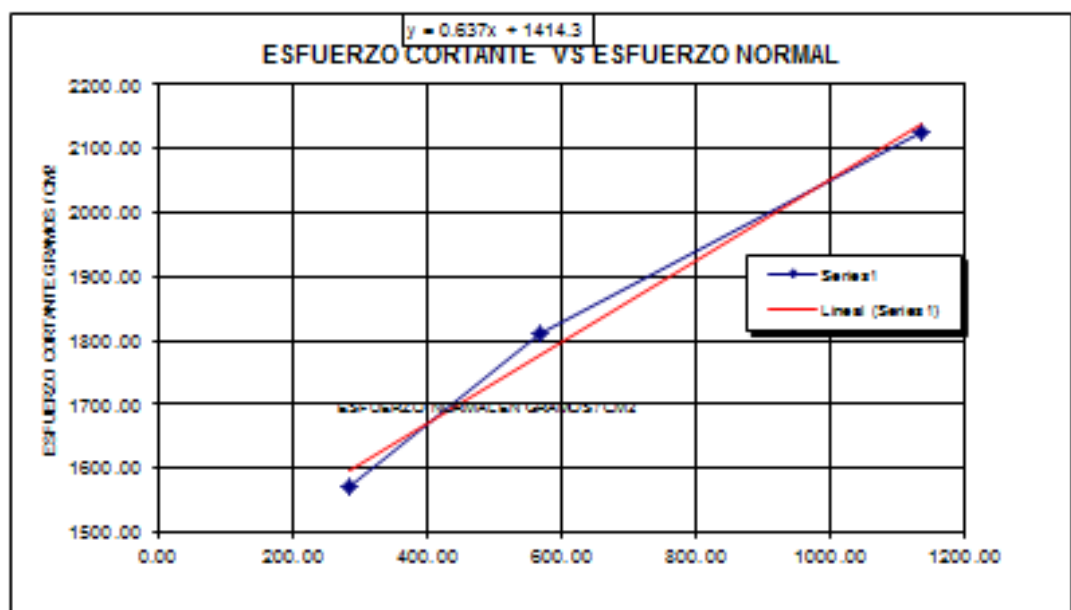
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO COMPACTADO - CARGAS MAXIMAS INV E-154**

<b>FECHA</b>	13 de Abril de 2012	<b>SONDEO</b>	S2
<b>PROYECTO</b>	ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL-GAMBI	<b>MUESTRA</b>	2-COMPACTADA
<b>LOCALIZACION</b>	K 15+900 AL K 15+960 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA	<b>PROFUNDIDAD</b>	1m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
gramas	cm <sup>2</sup>	MAXIMA EN gramas	gr/cm <sup>2</sup>	gr/cm <sup>2</sup>
8000	28.15	44260	284.20	1572.35
16000	28.15	50970	568.41	1810.73
32000	28.15	59870	1136.81	2126.91



<b>HUMEDAD %</b>	16	
<b>PENDIENTE</b>	0.637	
<b>ANGULO FRICCION</b>	32	grados
<b>COHESION</b>	1414.1	gr/cm <sup>2</sup>
<b>COHESION</b>	14141	kgr/m <sup>2</sup>

Fuente: Autores

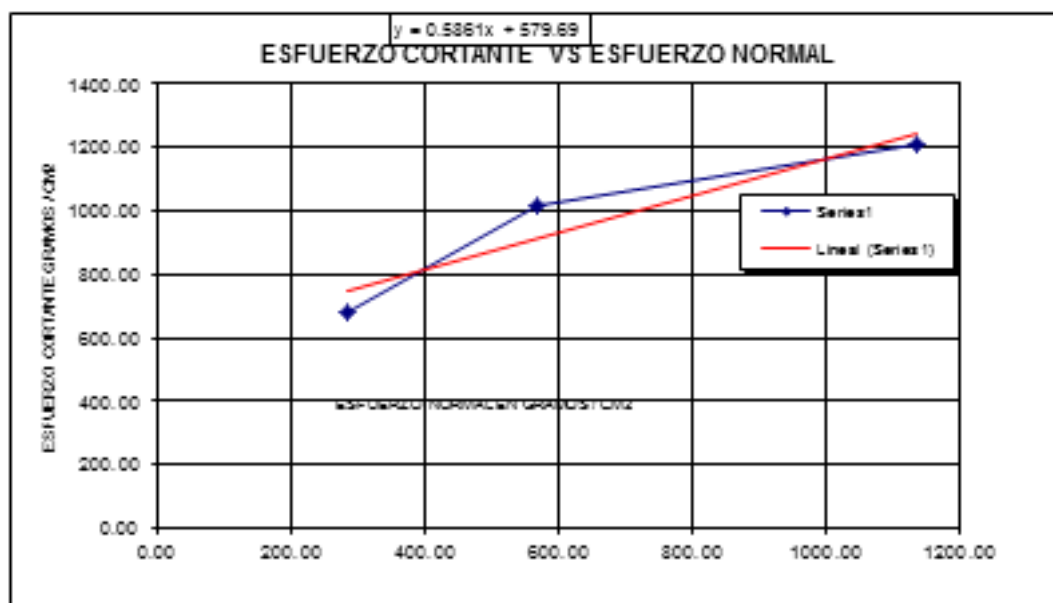


**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO COMPACTADO - CARGAS RESIDUALES INV E-154**

<b>FECHA</b>	13 de Abril de 2012	<b>SONDEO</b>	S2
<b>PROYECTO</b>	ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL-GAMBI	<b>MUESTRA</b>	2 - COMPACTADA
<b>LOCALIZACION</b>	K 15+900 AL K 15+960 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA	<b>PROFUNDIDAD</b>	1m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
gramas	cm <sup>2</sup>	MAXIMA EN gramas	gr/cm <sup>2</sup>	gr/cm <sup>2</sup>
8000	28.15	19070	284.20	677.47
16000	28.15	28600	568.41	1016.03
32000	28.15	34105	1136.81	1211.59



<b>HUMEDAD %</b>	16	
<b>PENDIENTE</b>	0.5861	
<b>ANGULO FRICCIÓN</b>	30	grados
<b>COHESION</b>	579.69	gr/cm <sup>2</sup>
<b>COHESION</b>	5797	kgr/m <sup>2</sup>

Fuente: Autores



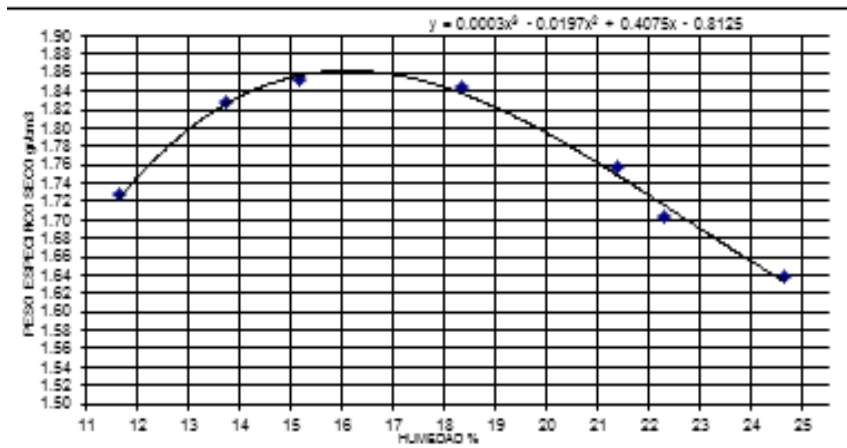
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE COMPACTACION**  
**INV E - 142**

**FECHA :** 13 de Abril de 2012 **SONDEO** S1.  
**PROYECTO :** ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL - GAMBITA **HUESTRA** 1  
**LOCALIZACION:** K 15+900 AL K 15+960 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA **PROFUNDIDAD** 1m

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	55
MOLDE No	23
DIAMETRO MOLDE (cm)	10.00
ALTURA MOLDE (cm)	11.50
VOLUMEN MOLDE (cm <sup>3</sup> )	903.21

PESO TARA (qr)	8.3	6.7	6.9	6.9	6.9	6.8	8.6	8.8	6.8	8.4	6.8	6.7	6.9	8.6
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO (qr)	56.5	54.3	46.3	45.4	47.5	42.2	37.0	37.9	33.4	32.4	31.8	34.3	36.6	37.6
PESO DE TARA + SUELO SECO (qr)	51.5	49.3	41.5	40.8	42.2	37.5	32.6	33.4	28.8	28.1	27.4	29.1	30.6	32.0
PROMEDIO HUMEDAD %	11.66		13.72		15.16		18.31		21.37		22.29		24.62	

PESO MOLDE (qr)	4123	4123	4123	4123	4123	4123	4123
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO (qr)	5864	5999	6049	6094	6094	6004	5966
PESO DEL SUELO HUMEDO (qr)	1741	1876	1926	1971	1926	1881	1843
DENSIDAD HUMEDA (qr/cm <sup>3</sup> )	1.928	2.077	2.132	2.182	2.132	2.083	2.040
DENSIDAD SECA (qr/cm <sup>3</sup> )	1.73	1.93	1.85	1.84	1.76	1.70	1.64



**DENSIDAD MAXIMA gr/cm<sup>3</sup>** 1.86  
**HUMEDAD OPTIMA%** 16.2

Fuente: Autores



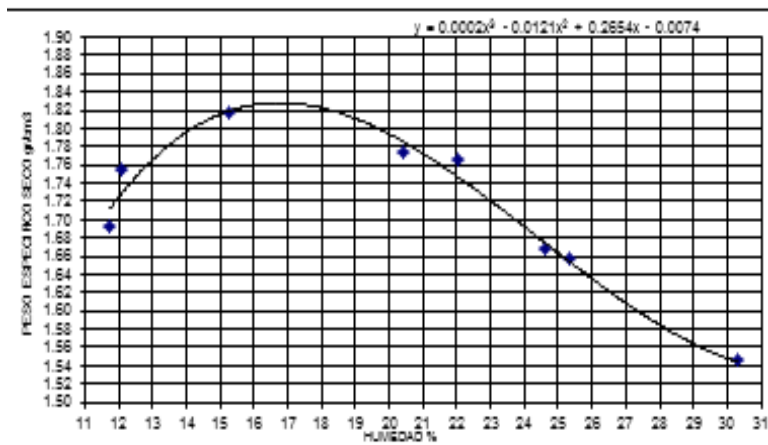
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE COMPACTACION**  
**INV E - 142**

**FECHA** : 13 de Abril de 2012 **SONDEO** S2  
**PROYECTO** : ESTABILIZACION DEL TALUD VIA VADOREAL-GAMBITA **MUESTRA** 2  
**LOCALIZACION**: K 15+900 AL K 15+960 DEL MUNICIPIO DE GAMBITA **PROFUNDID** 1m

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	55
MOLDE No	23
DIAMETRO MOLDE (cm)	10.00
ALTURA MOLDE (cm)	11.50
VOLUMEN MOLDE (cm <sup>3</sup> )	903.21

PESO TARA (qr)	6.8	7.3	6.8	8.6	8	7.4	6.9	7.2	8.7	7.7	7.3	7.3	7.2	6.9	7.3	6.8
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO (qr)	46.0	48.3	43.2	45.4	41.7	44.0	37.0	32.6	40.3	37.0	35.6	31.1	28.3	31.2	34.6	38.8
PESO DE TARA + SUELO SECO (qr)	41.5	44.4	39.3	41.4	37.2	39.2	31.9	28.3	34.5	31.8	30.0	26.4	23.7	26.7	28.3	31.3
PROMEDIO HUMEDAD %	11.74		12.10		15.25		20.39		22.03		24.64		25.30		30.31	

PESO MOLDE (qr)	4123	4123	4123	4123	4123	4123	4123	4123
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO (qr)	5831	5898	6014	6051	6069	6000	5996	5941
PESO DEL SUELO HUMEDO (qr)	1708	1775	1891	1928	1946	1877	1873	1818
DENSIDAD HUMEDA (qr/cm <sup>3</sup> )	1.891	1.965	2.094	2.135	2.155	2.078	2.074	2.013
DENSIDAD SECA (qr/cm <sup>3</sup> )	1.69	1.75	1.82	1.77	1.77	1.67	1.65	1.54



**DENSIDAD MAXIMA gr/cm<sup>3</sup>** 1.83  
**HUMEDAD OPTIMA%** 16.6

Fuente: Autores

## **ANEXO F: ANALISIS DE ESTABILIZACION DE TALUDES**

### **ANALISIS DE ESTABILIZACION DE TALUDES**

Para la estabilización de taludes se pueden utilizar varios métodos, con el fin de determinar los factores que afectan la estabilidad. Estos factores incluyen la geometría del talud, parámetros de resistencia del suelo, flujo de agua y cargas dinámicas, entre otros. Los objetivos principales del análisis de los taludes son determinar las condiciones de estabilidad, investigar los posibles eventos que llevaron a la falla del talud, determinar el comportamiento del talud en diferentes escenarios (agua, sismo, etc.), comparar las diferentes medidas de estabilización para finalizar con el diseño de obras seguras y confiables.

#### **METODO DE EQUILIBRIO LÍMITE:**

El método de equilibrio límite para la estabilidad de taludes es uno de los métodos más utilizados en la práctica común, debido a su sencillez, y porque el valor del coeficiente de seguridad obtenido no dista demasiado del valor real.

El método del equilibrio límite establece que la rotura del terreno se produce a través de una línea que representa la superficie de rotura. De esta forma, se interpreta que la masa de terreno por encima de dicha línea se desplaza respecto la masa inferior, produciéndose, así, la rotura del terreno. En el momento de producirse la rotura, la resistencia al corte a lo largo de la superficie de deslizamiento está movilizada, y el terreno se encuentra, en su totalidad, en equilibrio estático.

Un análisis de equilibrio límite supone que un valor de factor de seguridad  $F.S=1.0$  indica que la pendiente está en el límite entre la estabilidad y la inestabilidad y habrá fallado, ya que las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla. 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.

Los métodos existentes son:

METODO	SUPERFICIES DE FALLA	EQUILIBRIO	CARACTERISTICAS
<b>Talud infinito</b>	Rectas	De fuerzas e implícito de momentos	Se analizan un bloque superficial con un determinado espesor y una altura de nivel freático, y se supone una falla paralela a la superficie del terreno.
<b>Bloques o Cuñas</b>	Tramos rectos formando una cuña	De fuerzas	Se analiza la falla de cuñas simples, dobles o triples analizando las fuerzas que actúan sobre cada uno de los sectores de la cuña. Son útiles para analizar estabilidad de los suelos estratificados.
<b>Espiral Logarítmica (Frohlich, 1953)</b>	Espiral logarítmica	De fuerzas y de momentos	Se asume una superficie de falla espiral logarítmica en el cual el radio de la espiral varía con el ángulo de rotación sobre el centro de la espiral.
<b>Arco circular (Pettersen, 1916). (Fellenius, 1922)</b>	Circulares	De momentos e implícitamente de fuerzas	Se supone un círculo de falla, el cual se analiza como un solo bloque. Se requiere que el suelo sea cohesivo ( $\phi=0$ ).
<b>Ordinario o de Fellenius (Fellenius, 1927)</b>	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 las dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy atizado por su procedimiento simple.
<b>Bishop Simplificado (Bishop 1955)</b>	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobre determinada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio por una dovela.

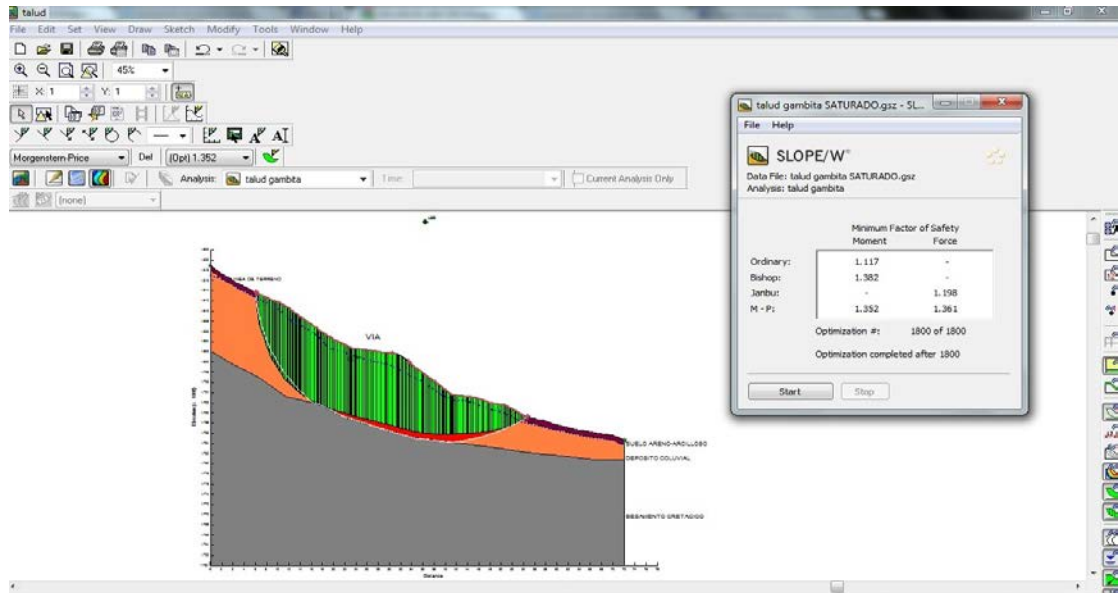
<b>Janbú Simplificado (Jambú 1968)</b>	Cualquier forma de superficie de falla	De fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobre determinada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Jambú utiliza un factor de corrección $F_0$ para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos
<b>Sueco modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)</b>	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.
<b>Lowe y Karafiath (1959)</b>	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.
<b>Spencer (1967)</b>	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.
<b>Morgenster y Price (1965)</b>	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 es la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas, se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.
<b>Sarma (1973)</b>	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.
<b>Elementos finitos</b>	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.

Fuente: Estabilidad de Taludes - Clase - Jaime Suarez

### **PROGRAMA DE ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES GEO-SLOPE:**

Es un programa de estabilidad de taludes para calcular el factor de seguridad (F.S.) en taludes en suelo. Con este programa, se pueden analizar problemas

simples y complejos para una variedad de ángulos, condiciones de presión de poros, propiedades del suelo, métodos de análisis y condiciones de carga. La interfaz del programa es mostrada a continuación:



Fuente: Programa Geo-Slope 2012. Tomado del programa GEOSLOPE®

Geo-Slope permite escoger el método de análisis, especificando las propiedades específicas del suelo y las presiones de poro, definiendo cargas aplicadas y creando la superficie más real.

Después de haber resuelto el problema de estabilidad de taludes, GEOSLOPE® ofrece distintas herramientas para visualizar los resultados. Se puede dibujar la superficie de falla con menor factor de seguridad, o ver cada una individualmente. También se puede variar el Nivel Freático para obtener factores de seguridad que nos dicen si el talud falla o se mantiene estable.

## **FACTOR DE SEGURIDAD (F.S.)**

El factor de seguridad (F.S.) se asume que es igual para todos los puntos a lo largo de toda la superficie de falla, por lo tanto este valor representa un promedio del valor total en toda la superficie de falla.

La superficie de falla se refiere a una superficie asumida a lo largo de la cual puede ocurrir el deslizamiento o rotura del talud. Sin embargo, este deslizamiento o rotura no ocurre a lo largo de esas superficies si el talud es diseñado adecuadamente.

El factor de seguridad se presenta como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

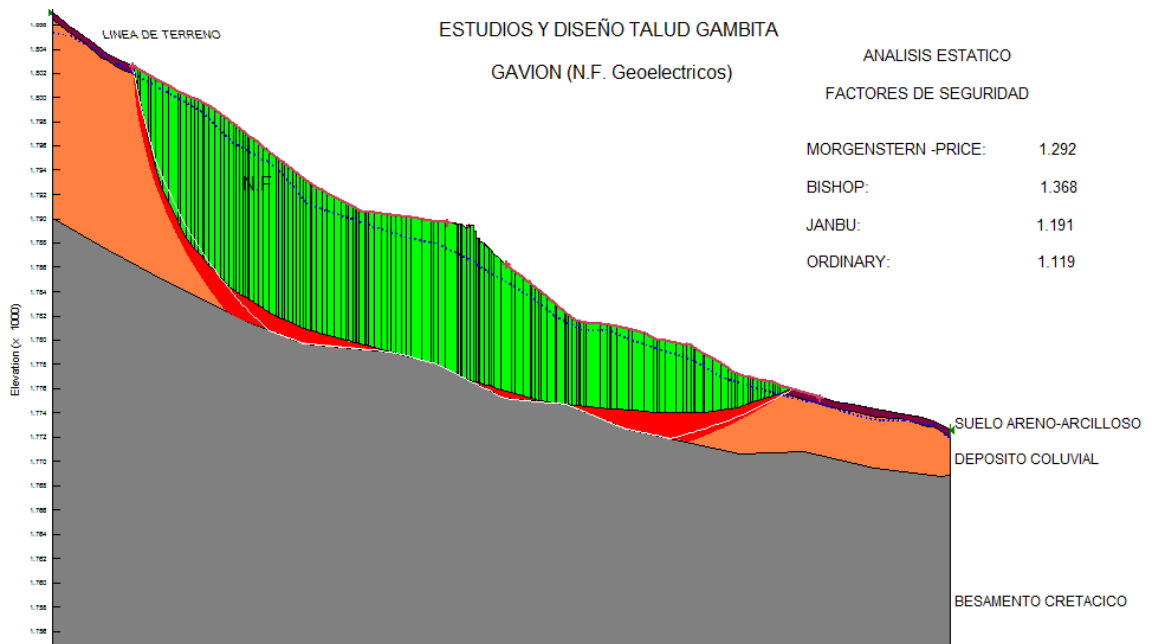
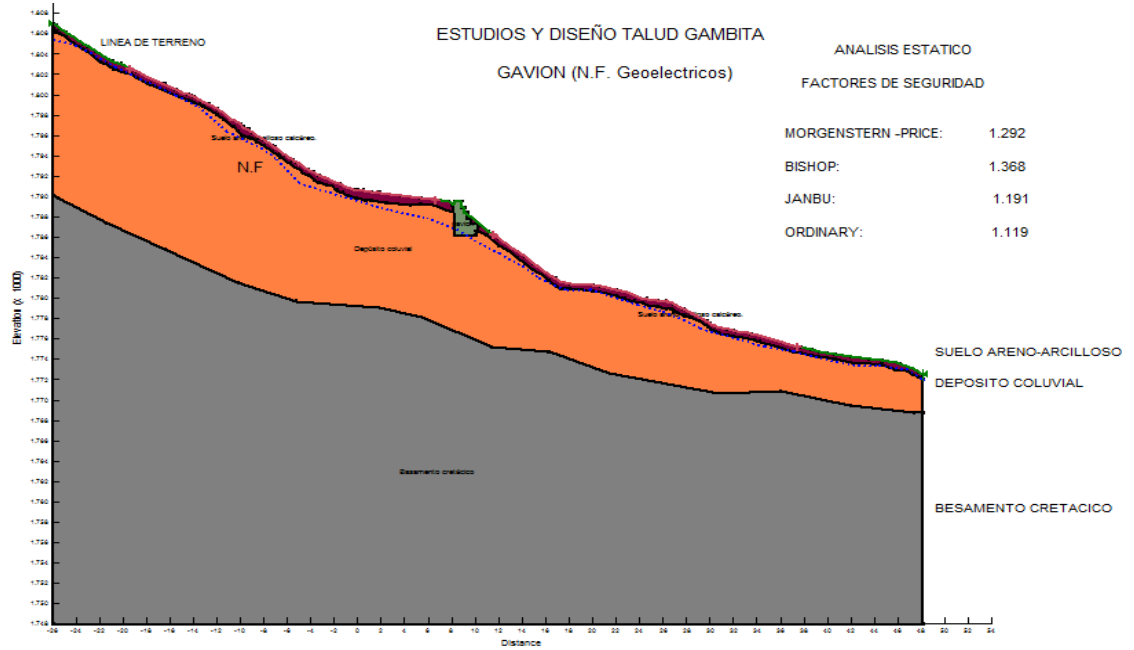
$$F.S = \frac{\text{(RESISTENCIAS AL CORTANTE DISPONIBLES)}}{\text{(ESFUERZOS AL CORTANTE)}}$$

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

$$F.S = \frac{\text{(MOMENTOS RESISTENTES DISPONIBLES)}}{\text{(MOMENTOS ACTUANTES)}}$$

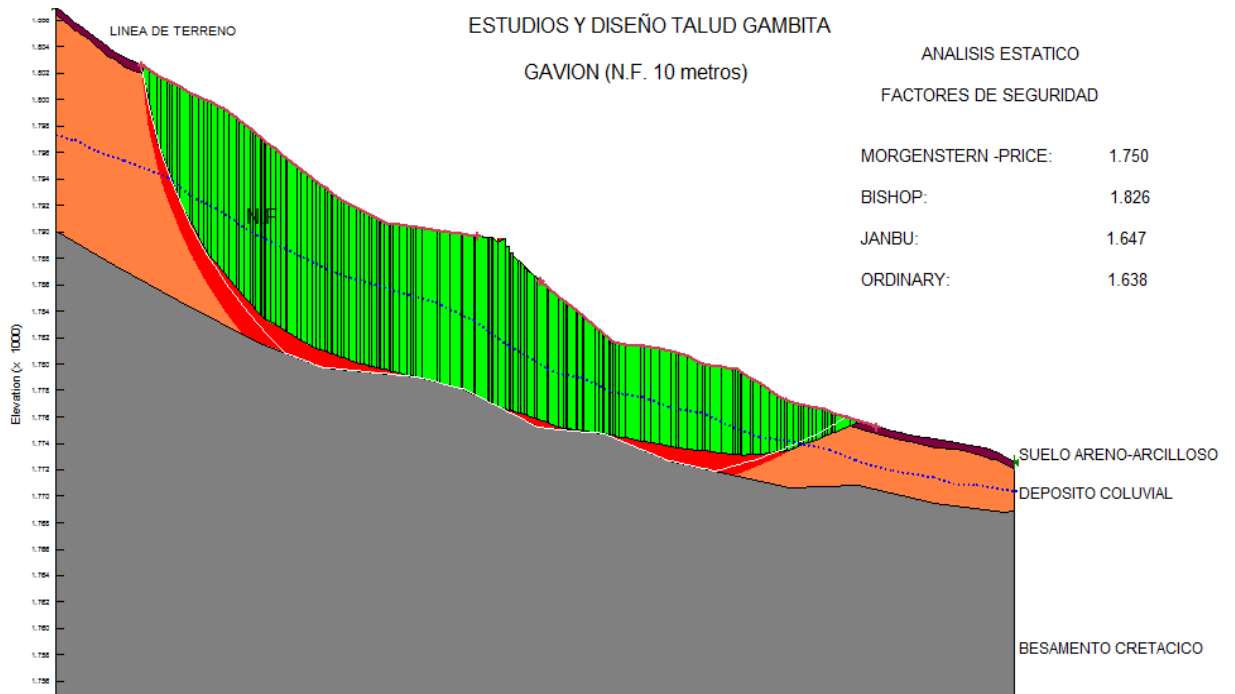
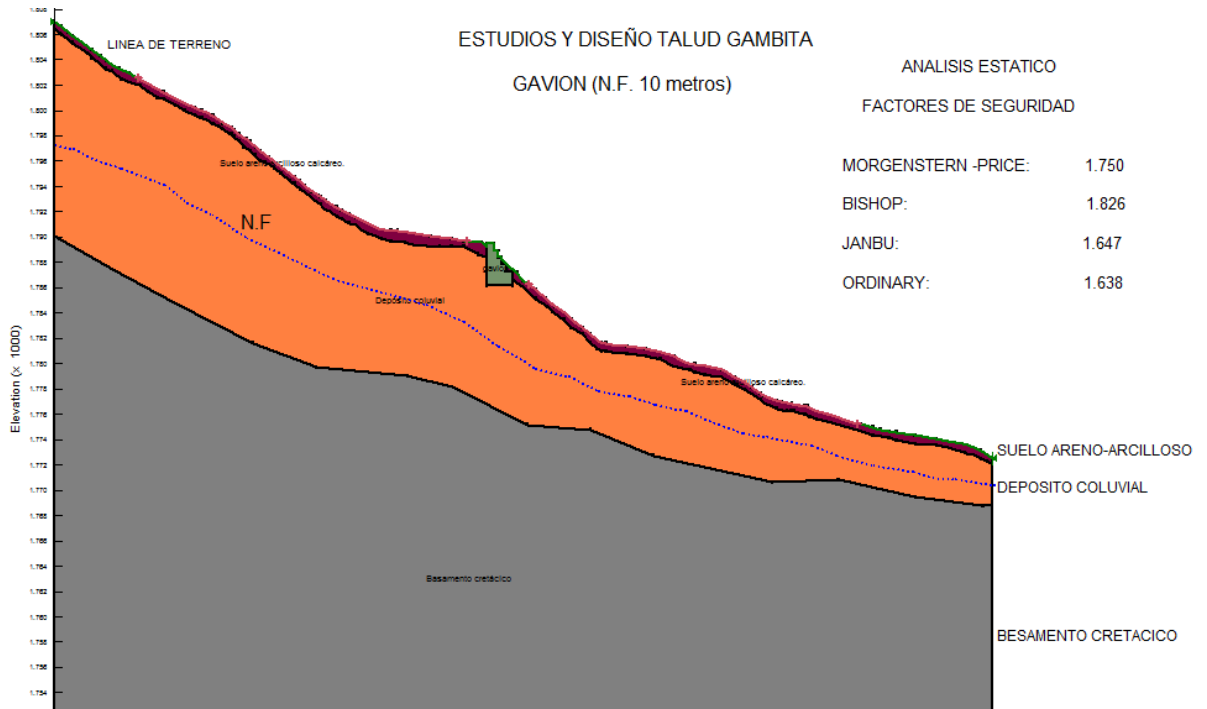
**ANEXO G: MODELAMIENTOS ANTES DE LA FALLA (Fuente: Autores)**

**CON GAVIONES (N.F. Geoelectricos)**



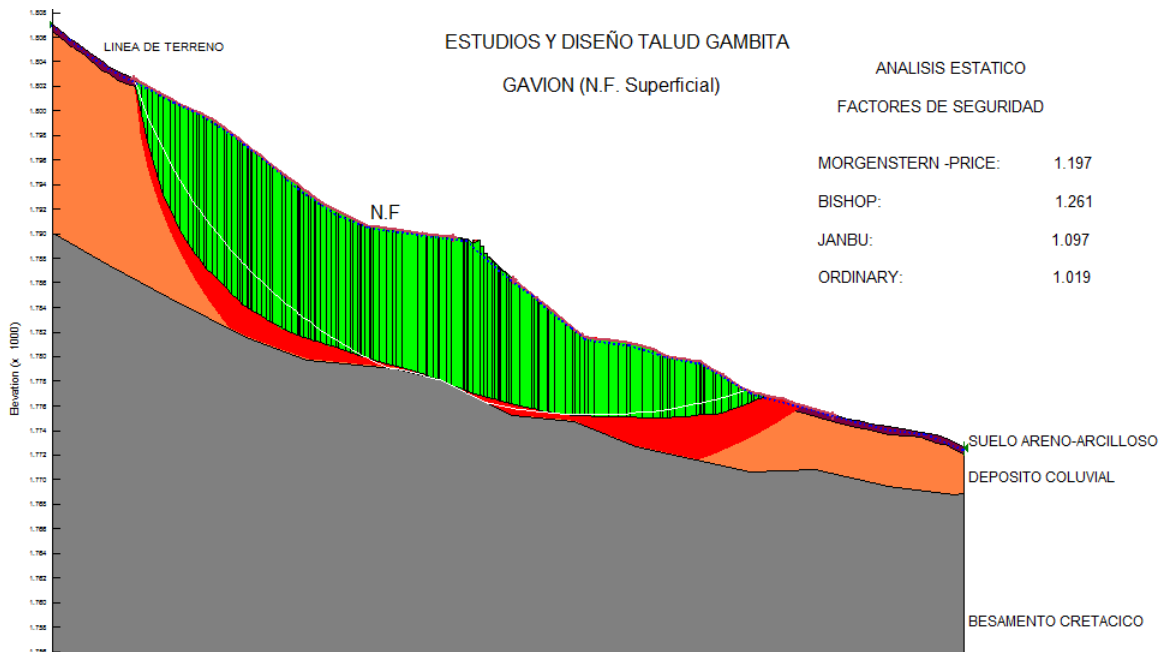
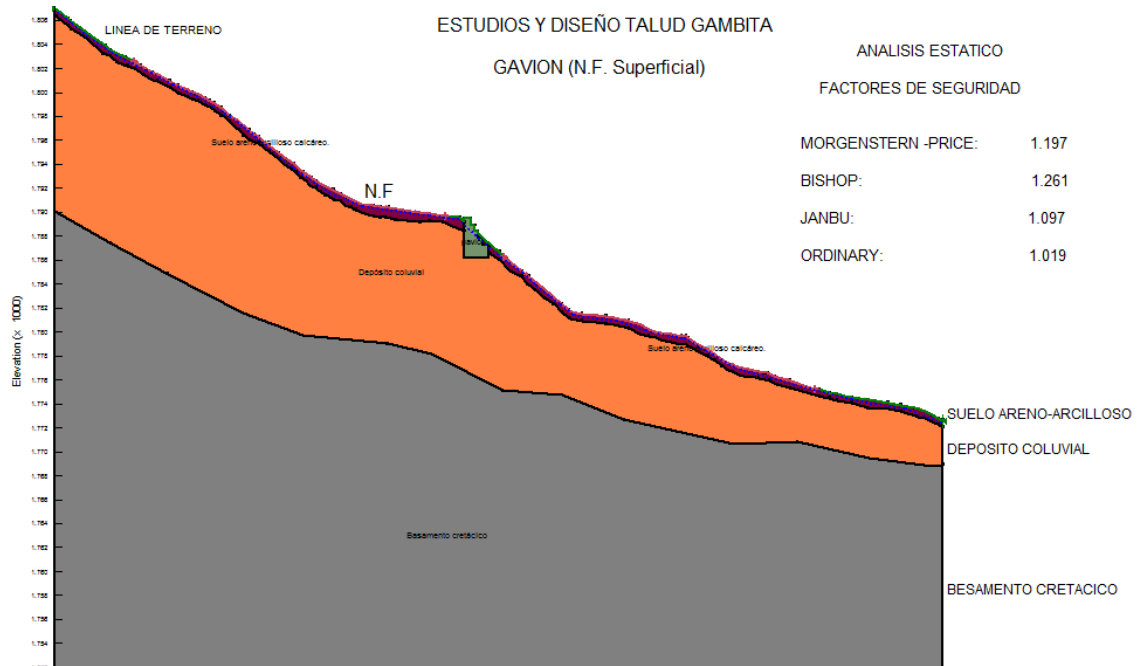
Fuente: Autores

## CON GAVIONES (N.F. 10 metros)



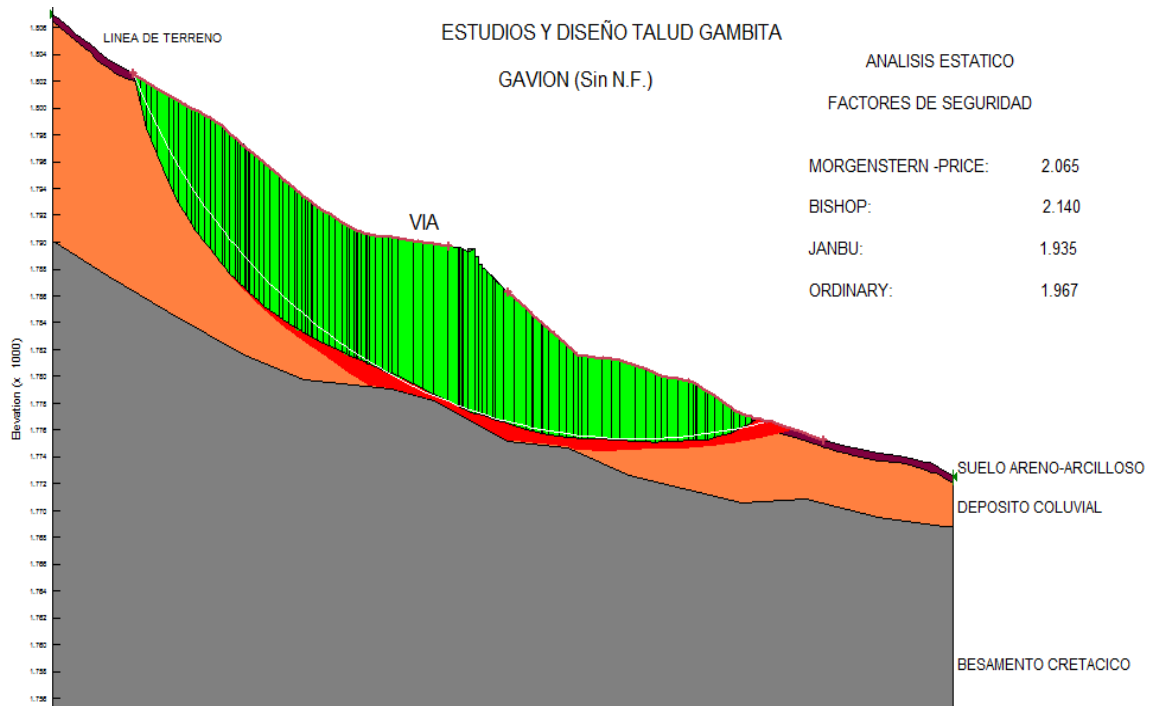
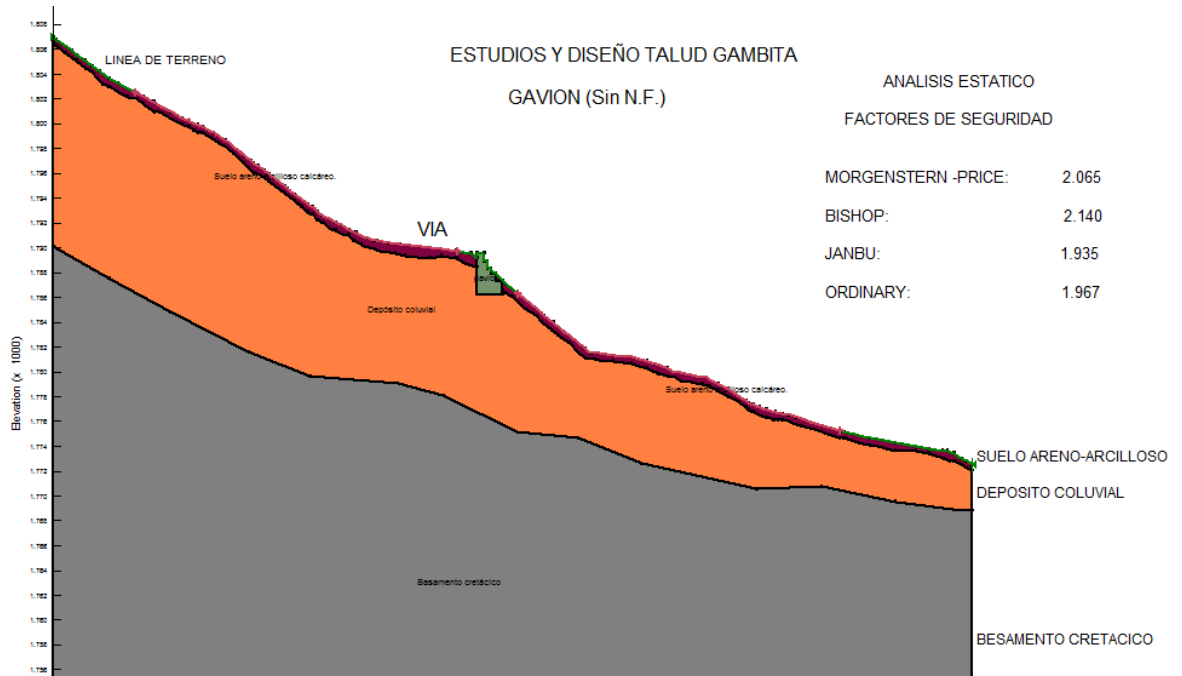
Fuente: Autores

## CON GAVIONES (N.F. Superficial)



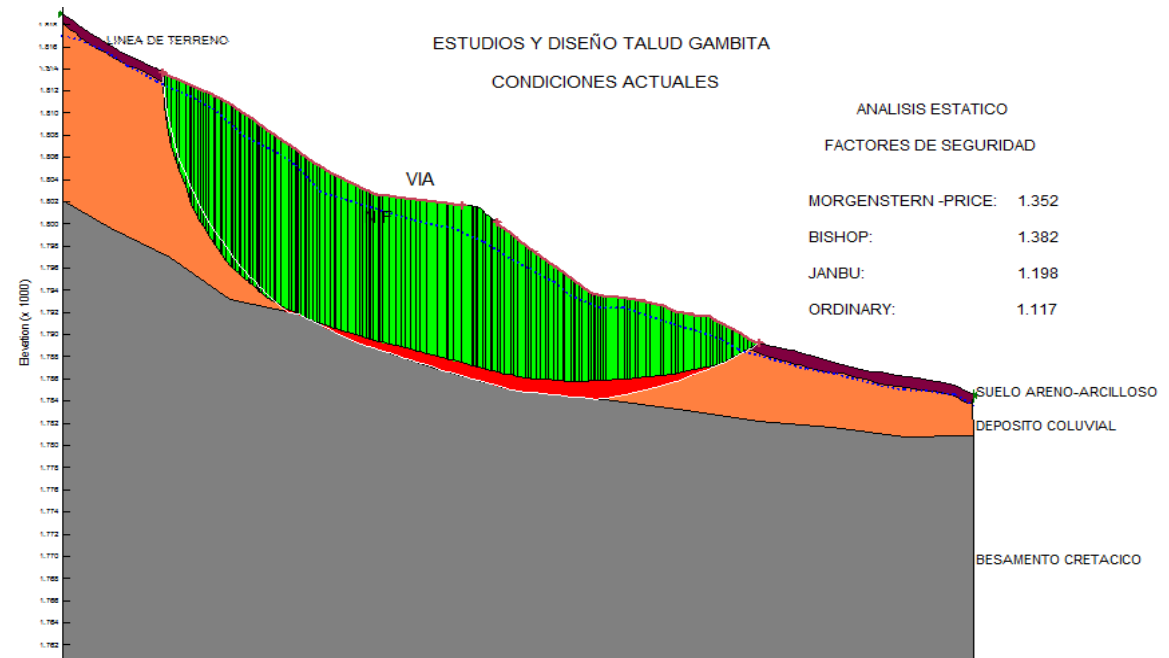
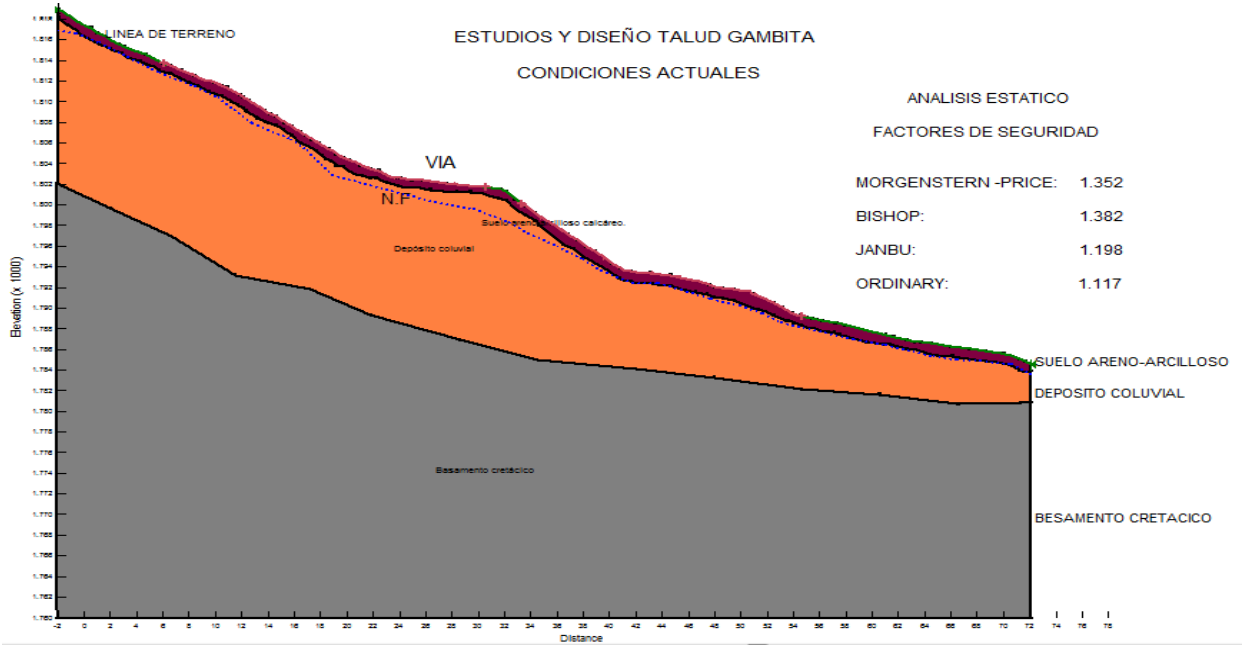
Fuente: Autores

## CON GAVIONES (Sin N.F)



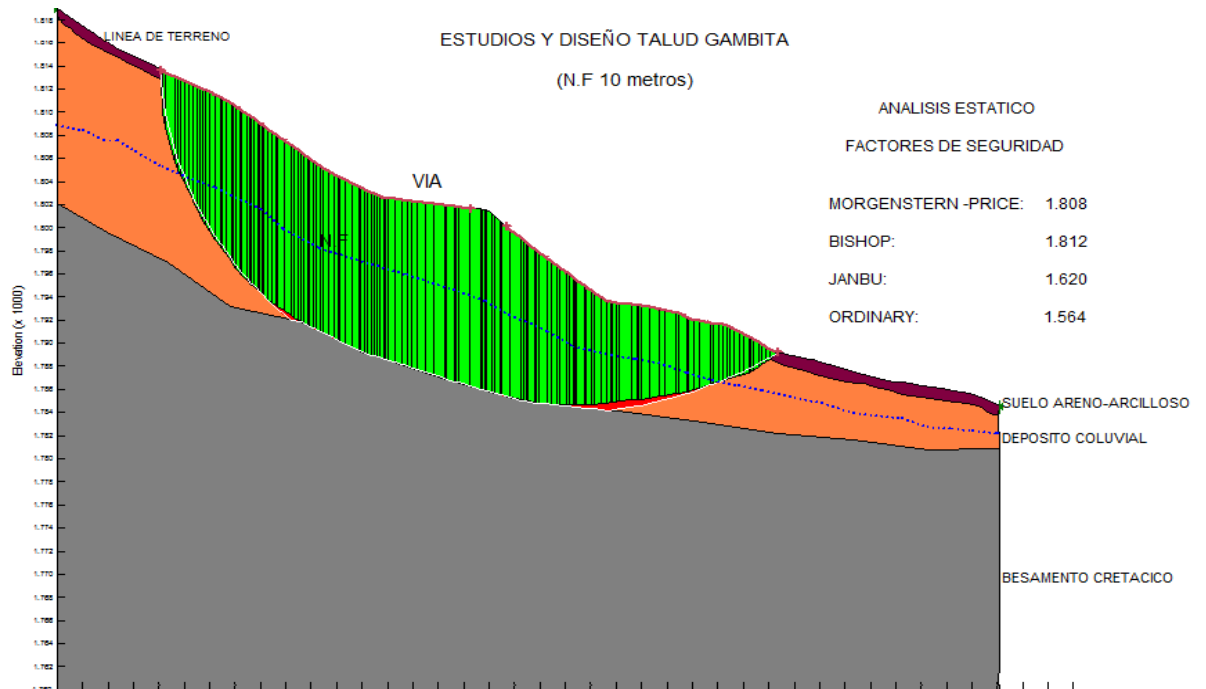
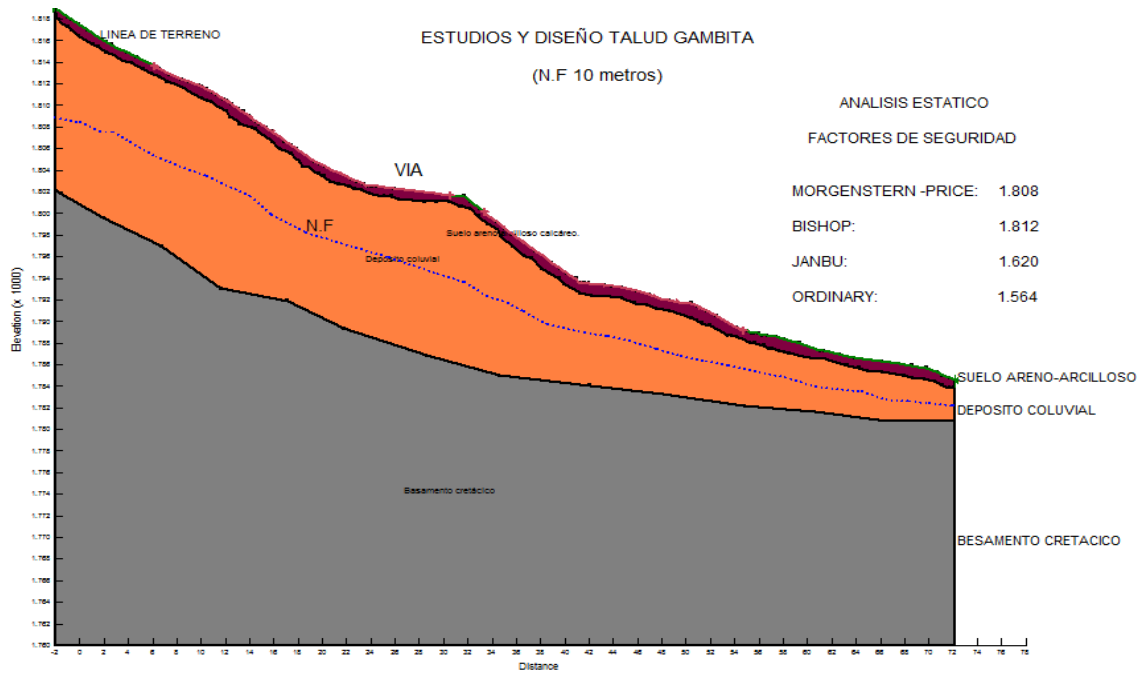
Fuente: Autores

**ANEXO H: MODELAMIENTO EN CONDICIONES ACTUALES**  
**CONDICIONES NORMALES (N.F. Geoeléctricos)**



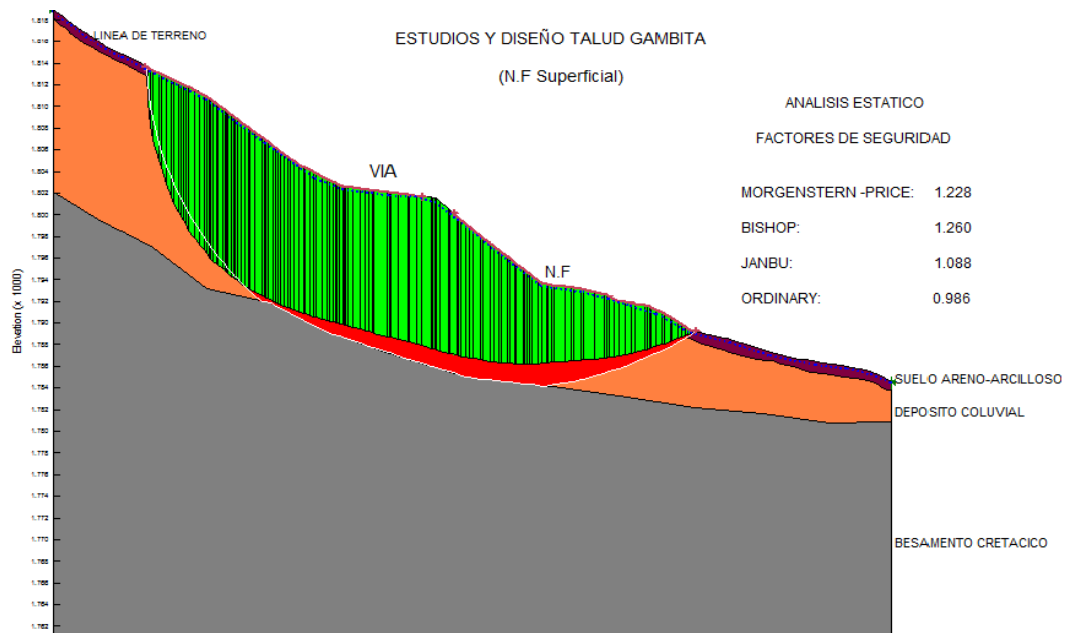
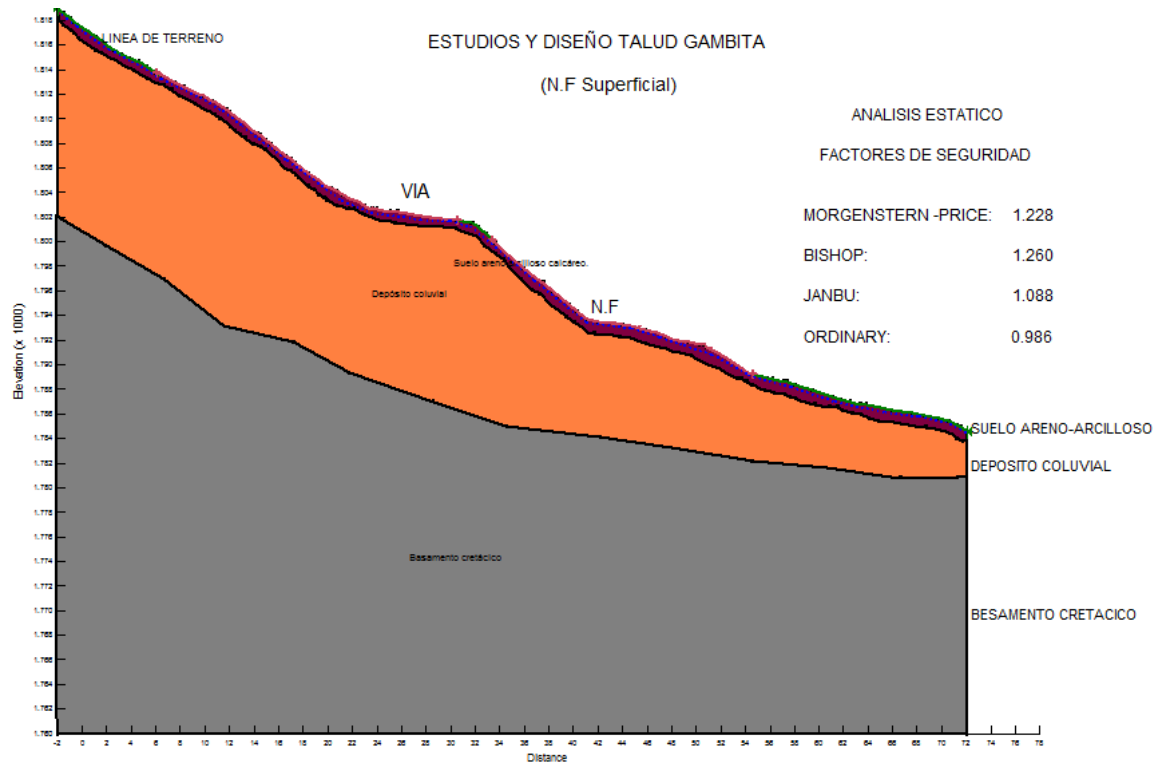
Fuente: Autores

## CONDICIONES NORMALES (N.F. 10 mts)



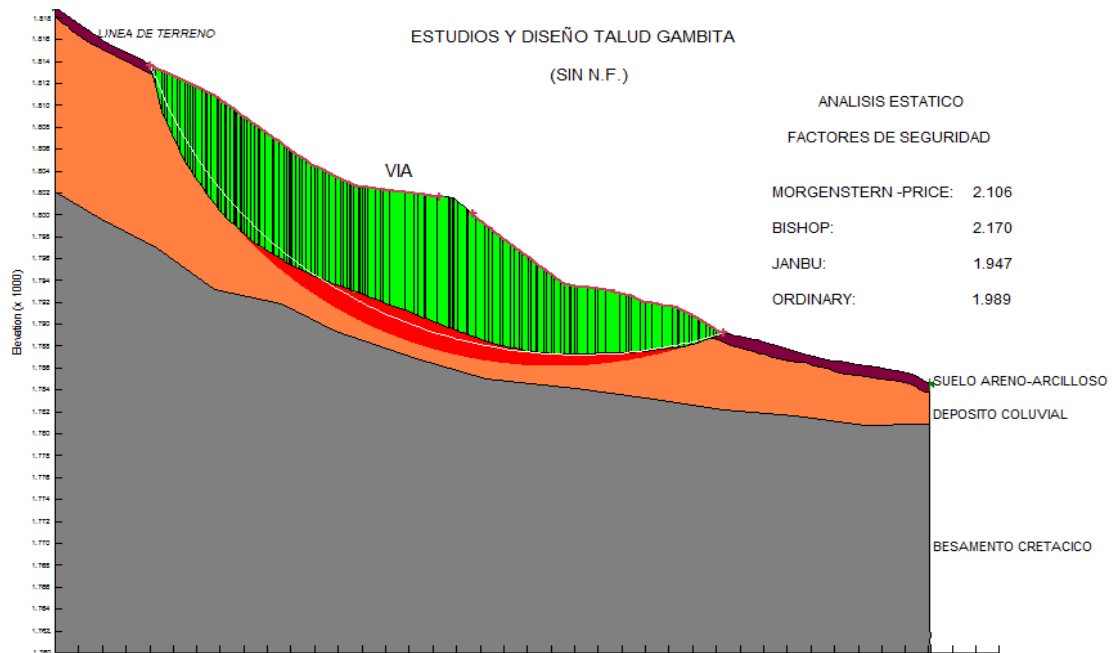
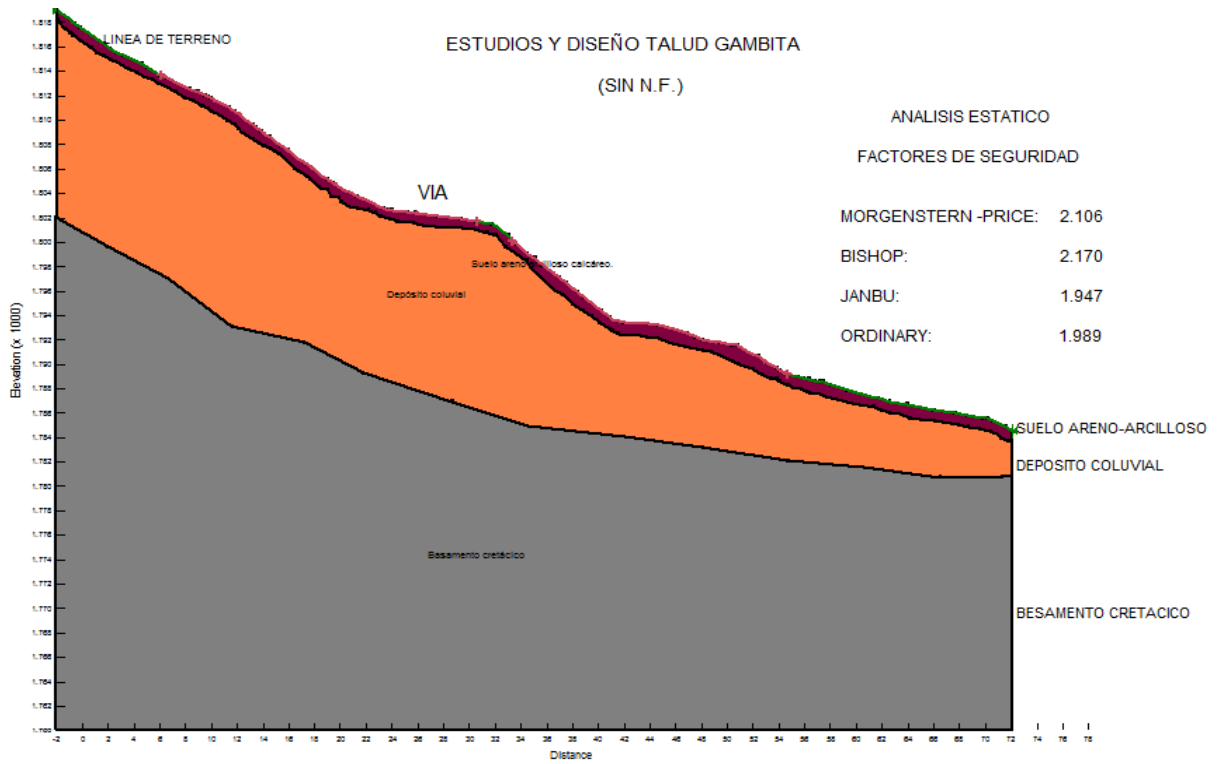
Fuente: Autores

## CONDICIONES NORMALES (N.F SUPERFICIAL)



Fuente: Autores

## CONDICIONES NORMALES (SIN N.F)

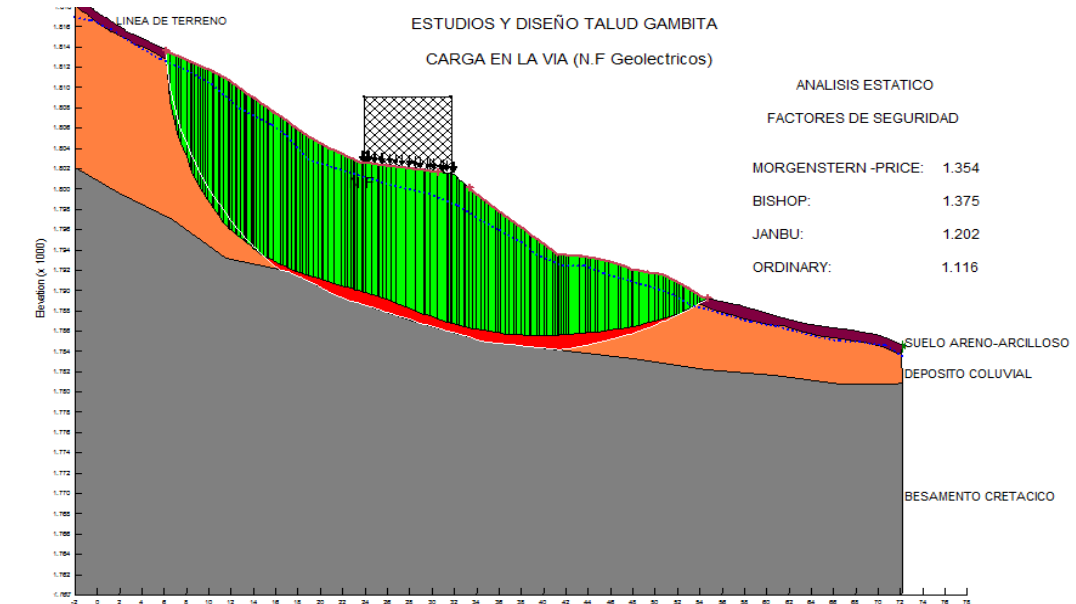
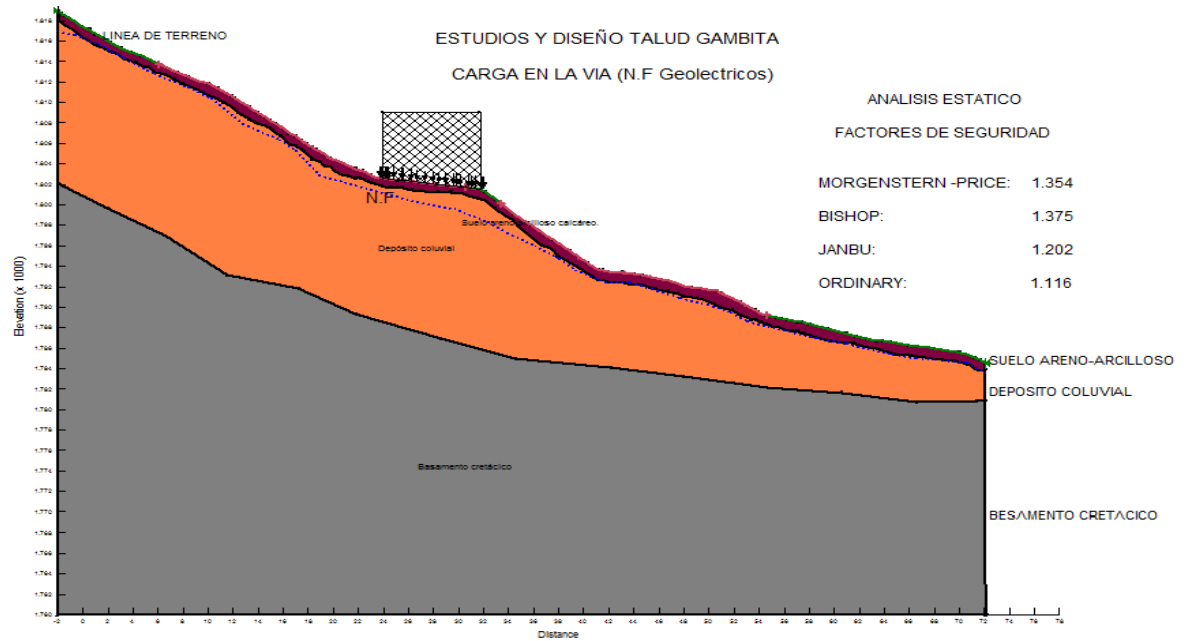


Fuente: Autores

## ANEXO I: MODELAMIENTO DE LAS DIFERENTES SITUACIONES

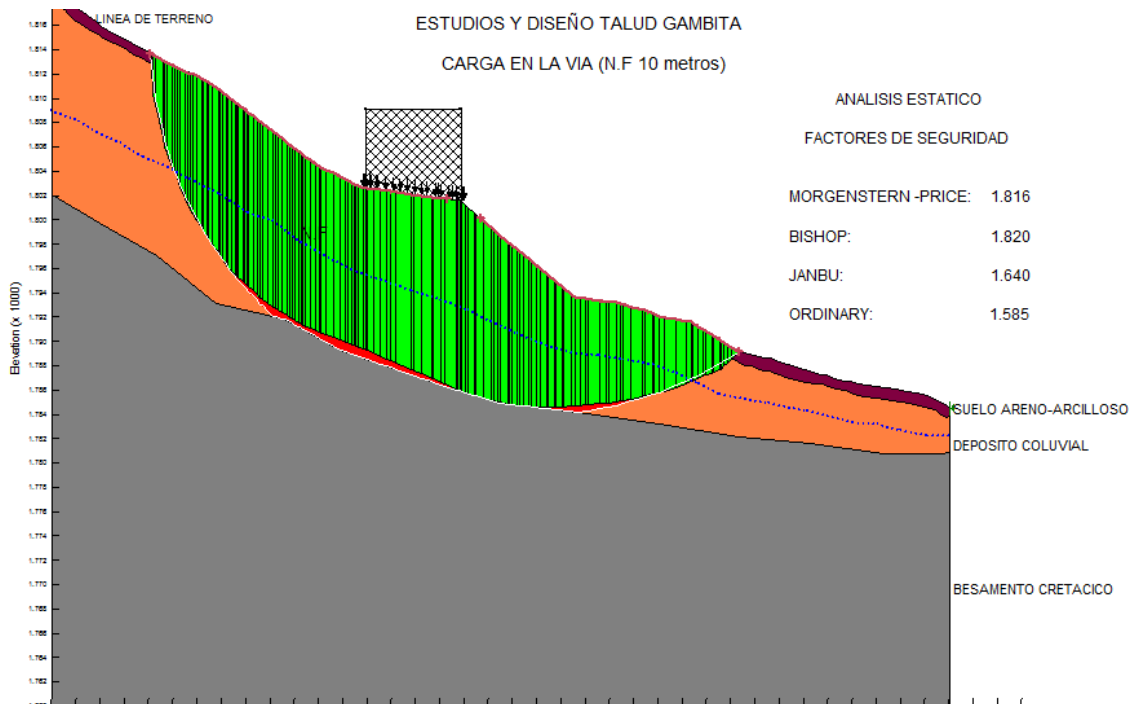
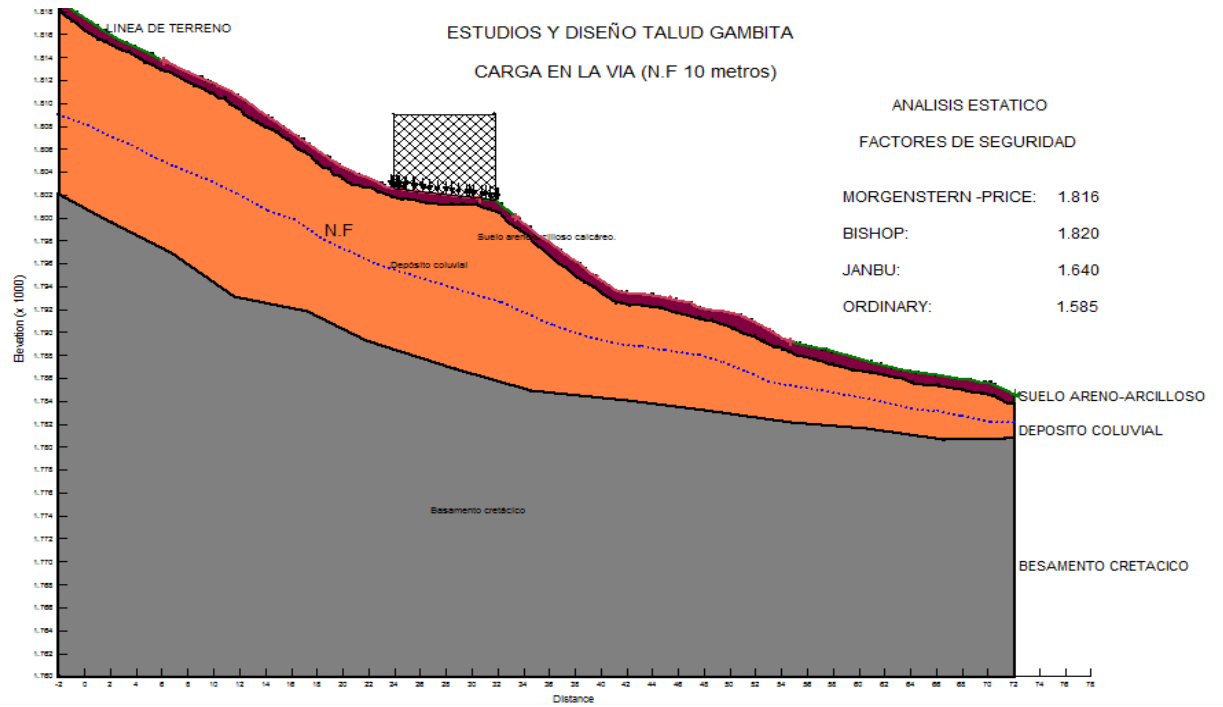
### a) TALUD EN CONDICIONES ACTUALES

**CON CARGA EN LA VIA (N.F. Geoelectricos)**



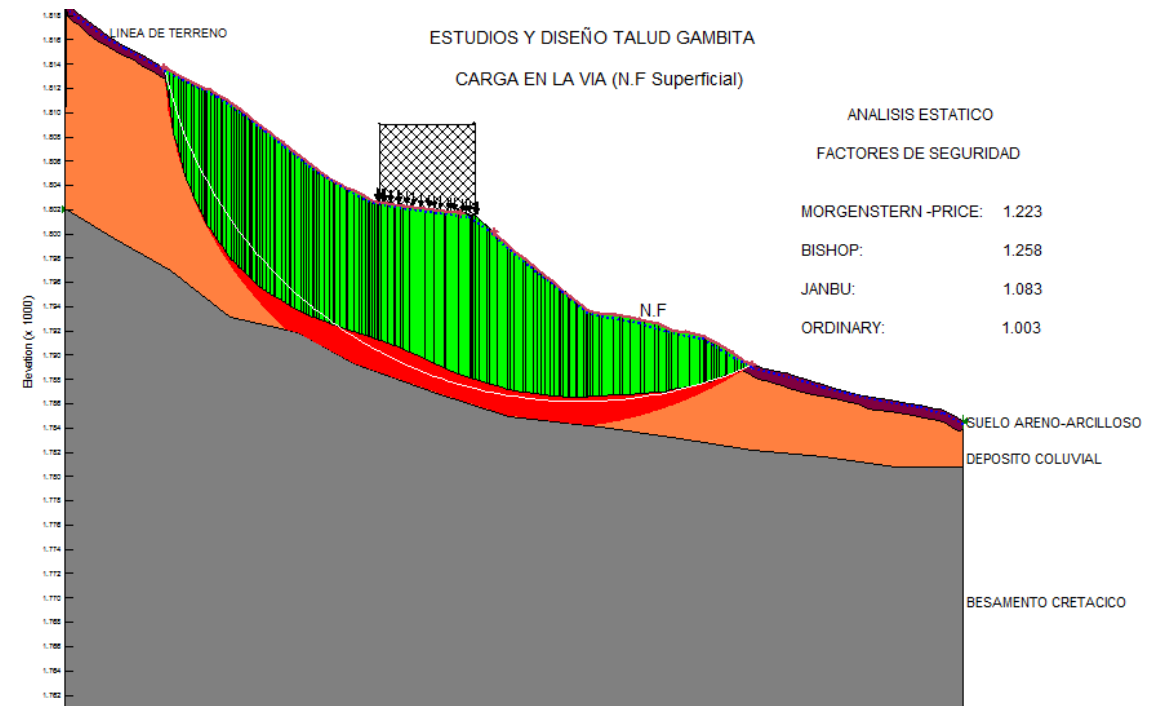
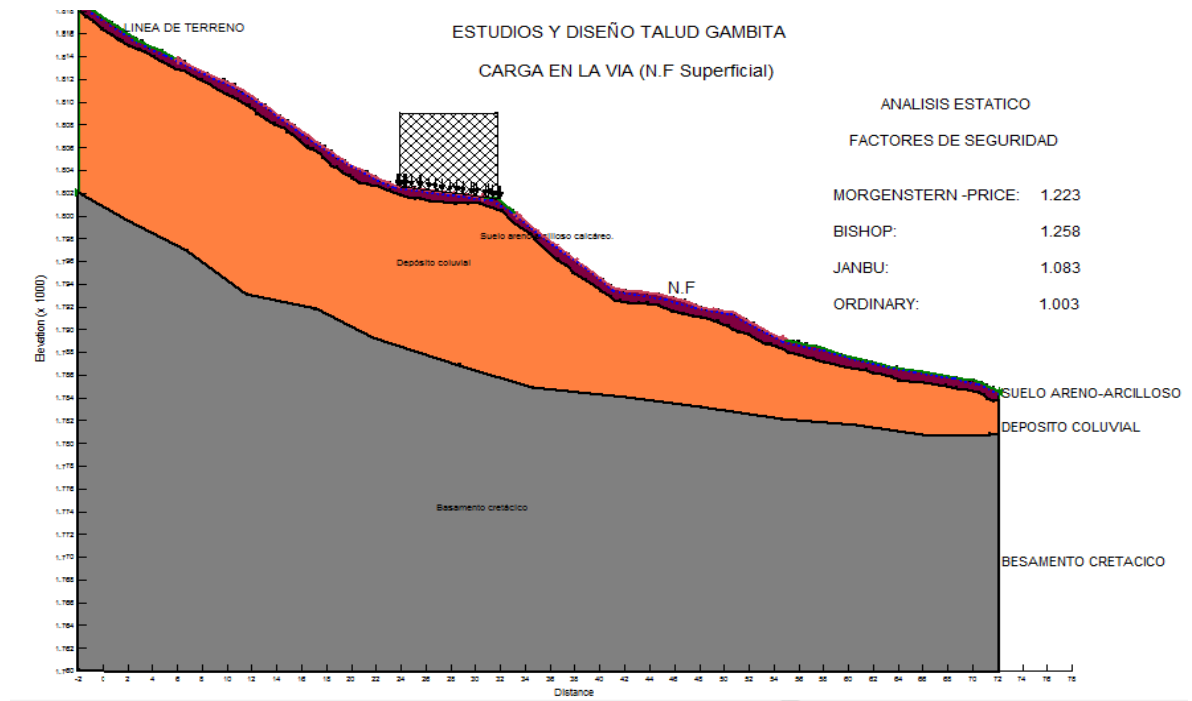
Fuente: Autores

### CON CARGA EN LA VIA (N.F 10 Metros)



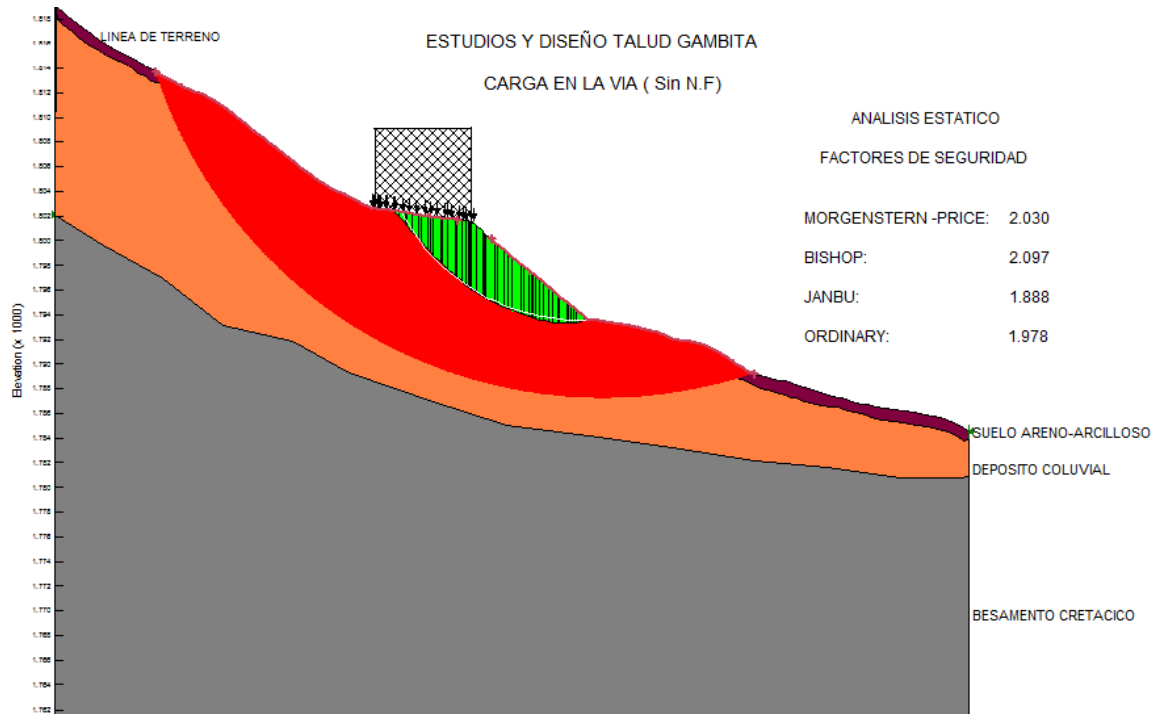
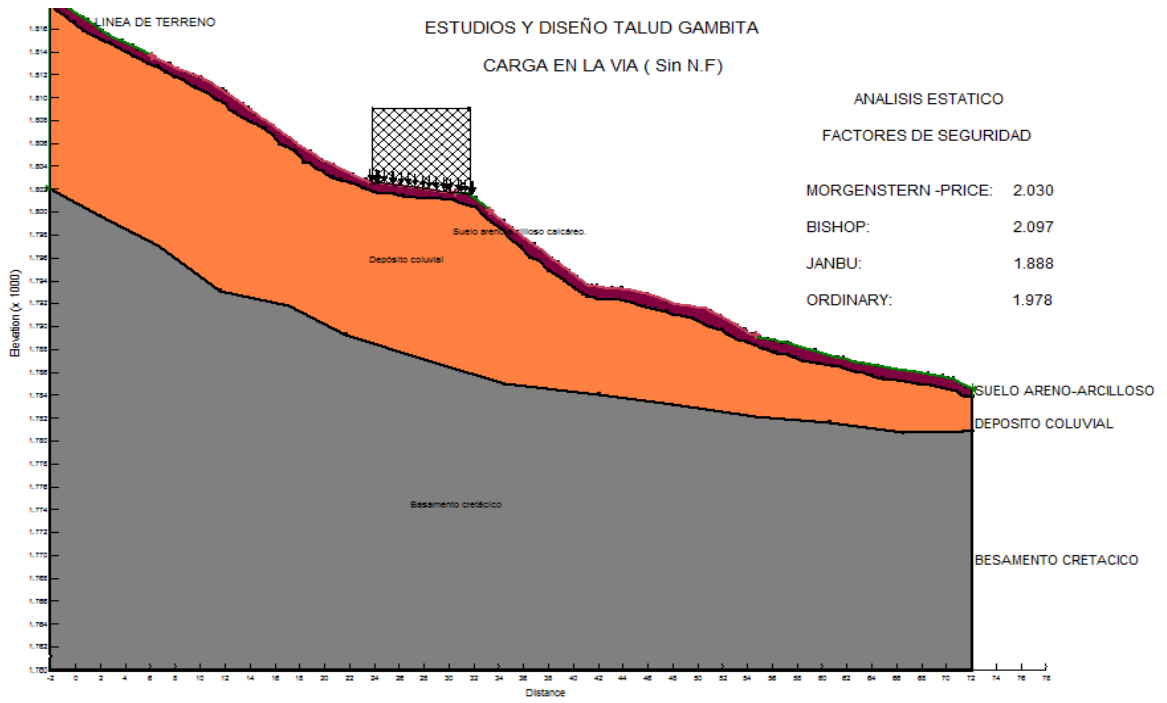
Fuente: Autores

## CON CARGA EN LA VIA (N.F. SUPERFICIAL)



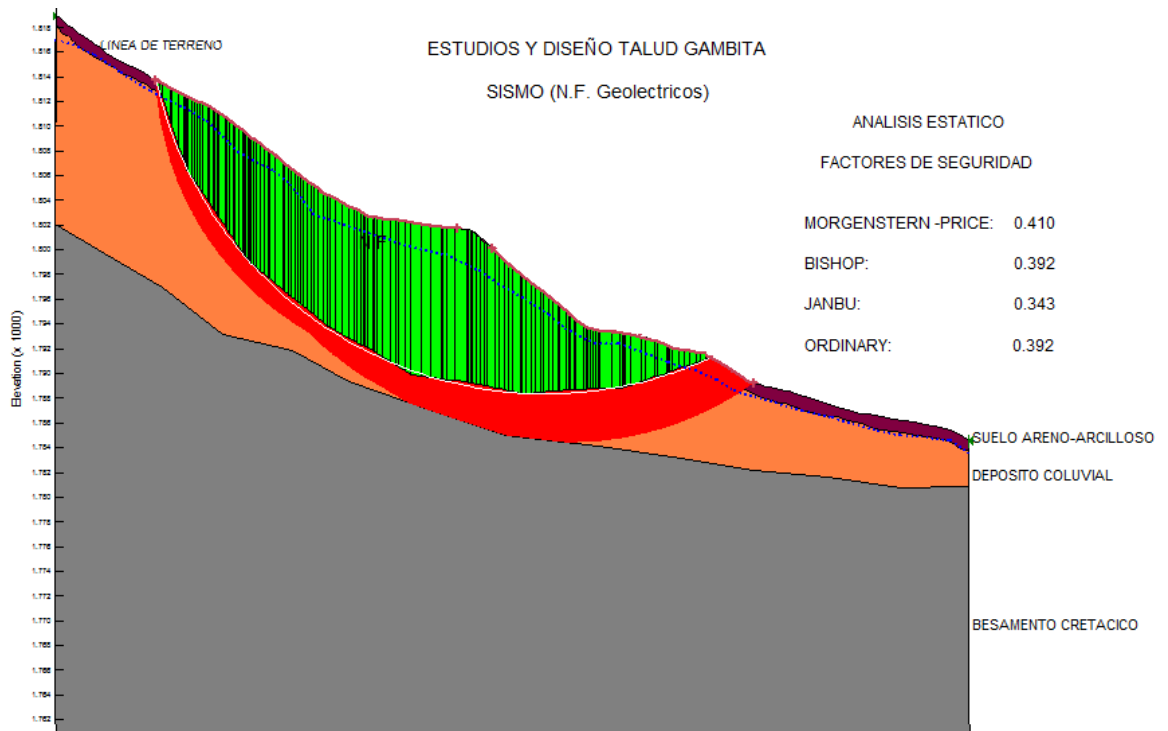
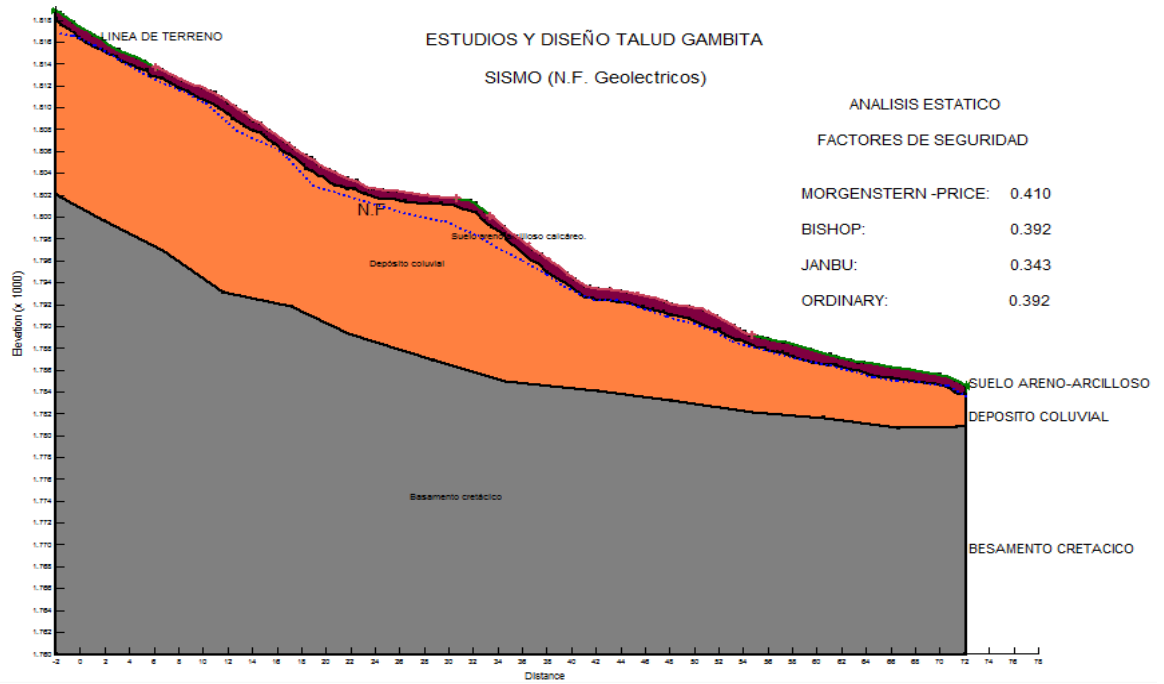
Fuente: Autores

**CON CARGA EN LA VIA (SIN N.F.)**



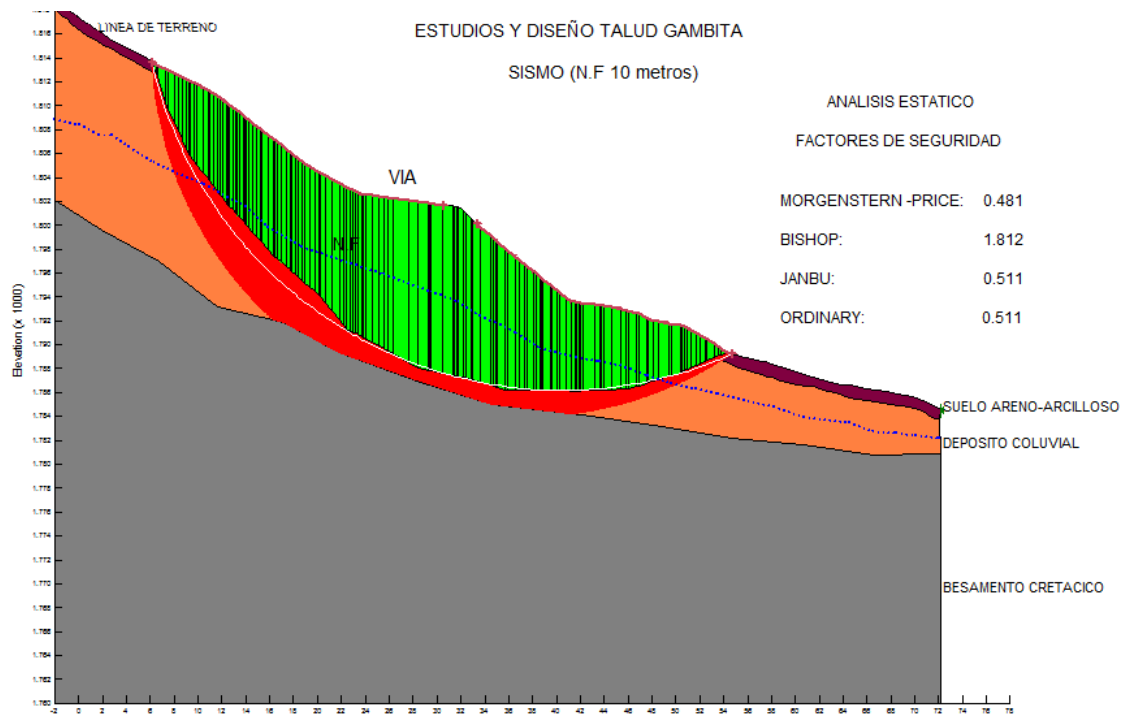
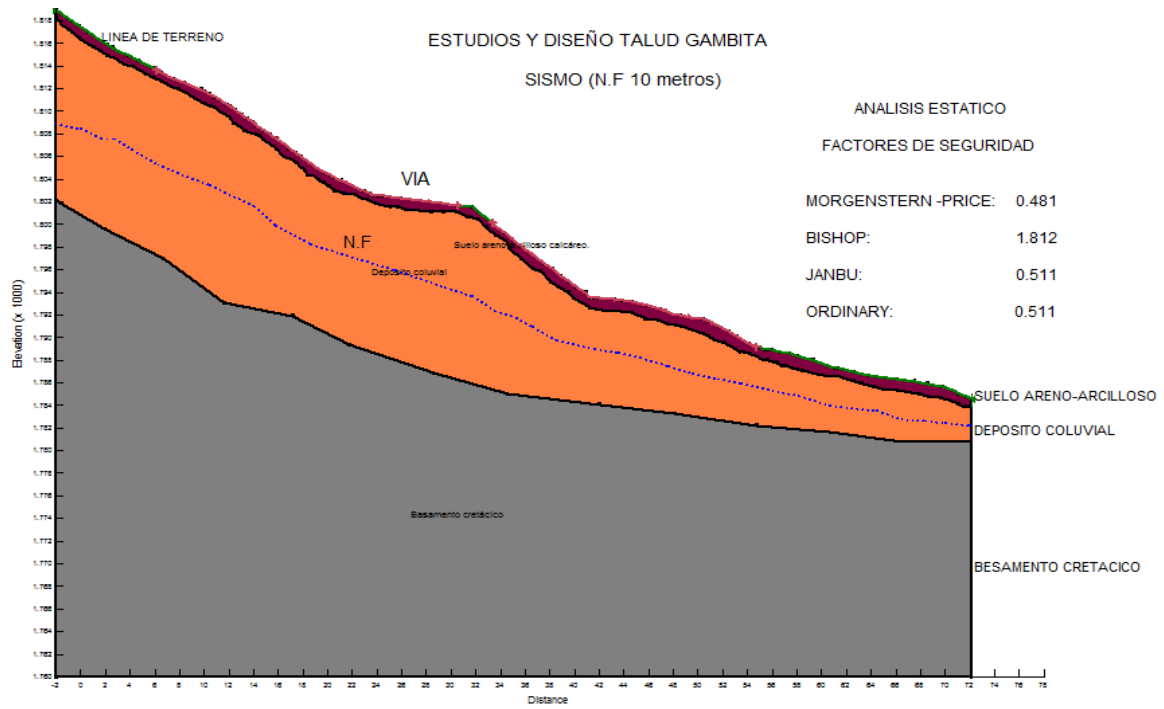
Fuente: Autores

### CON SISMO (N.F. Geoelectricos)



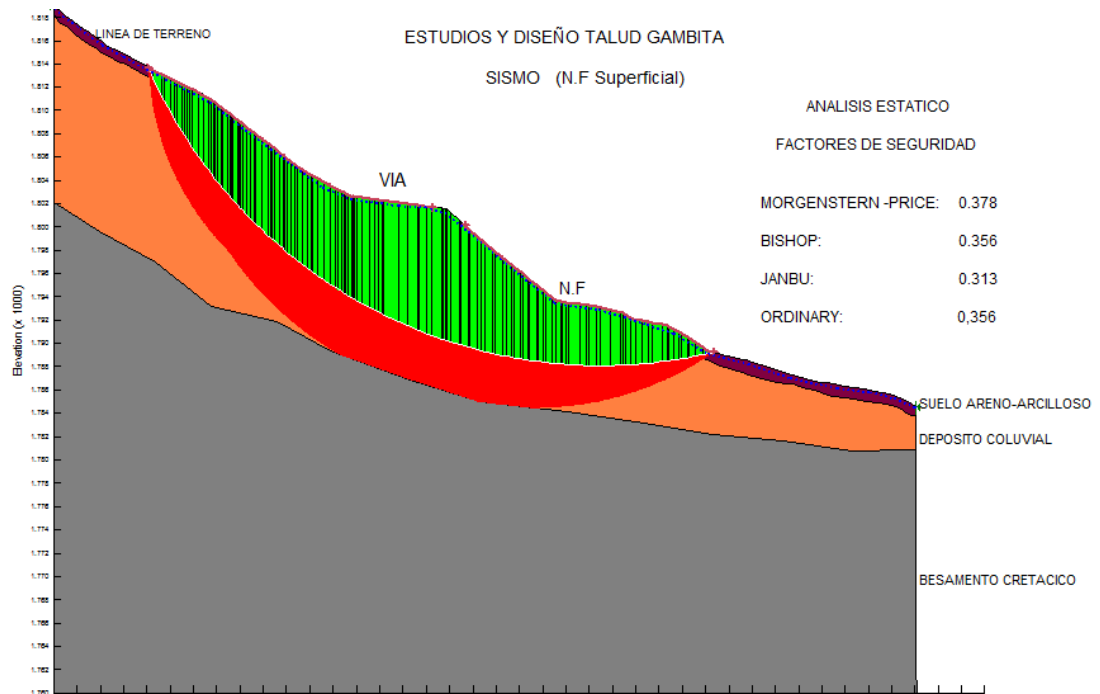
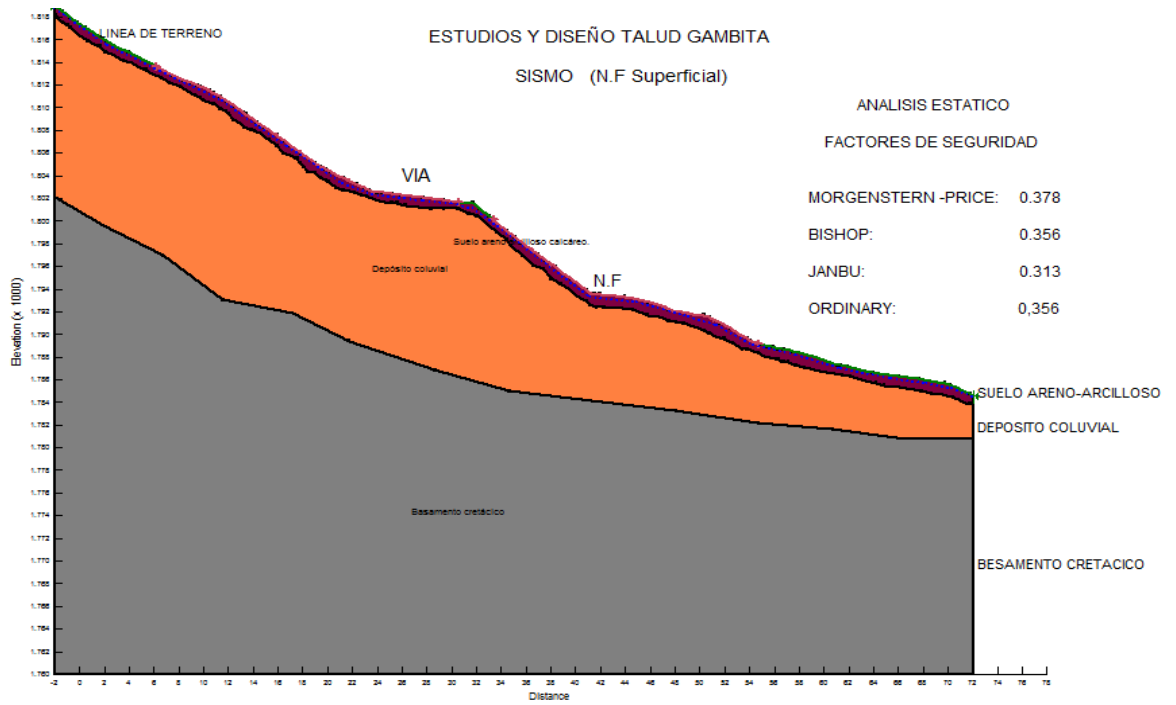
Fuente: Autores

**CON SISMO (N.F 10 Metros)**



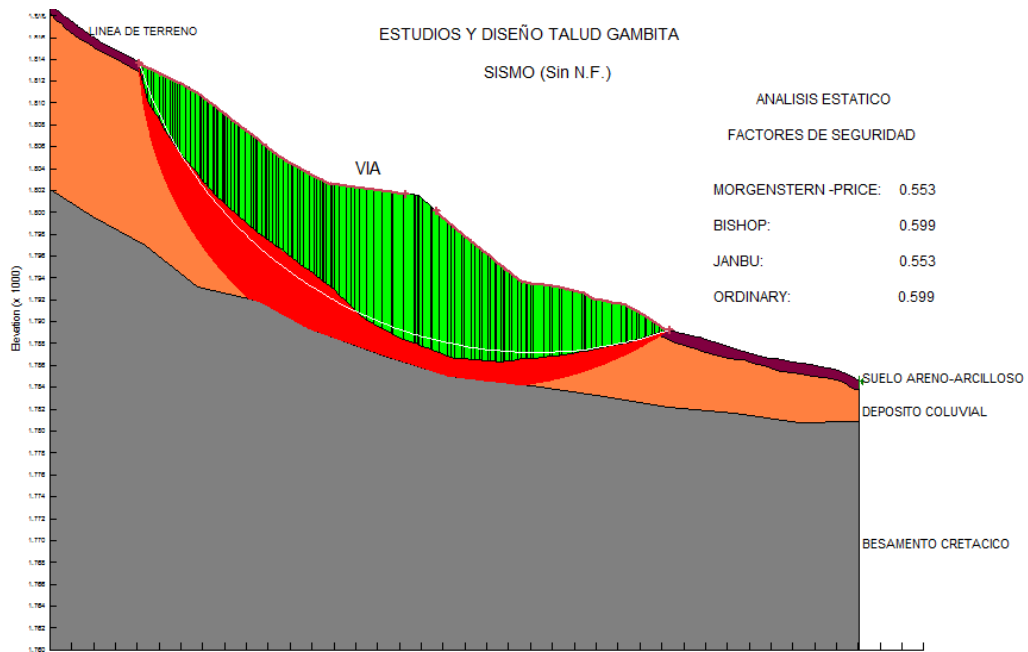
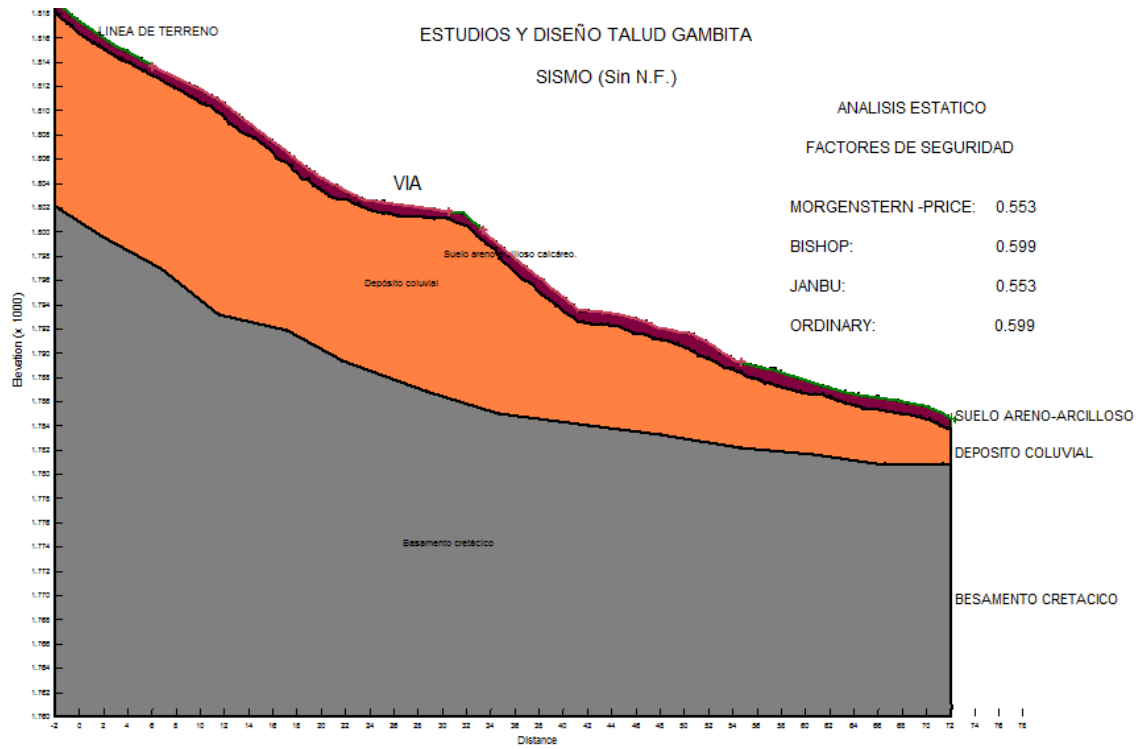
Fuente: Autores

**CON SISMO (N.F. Superficial)**



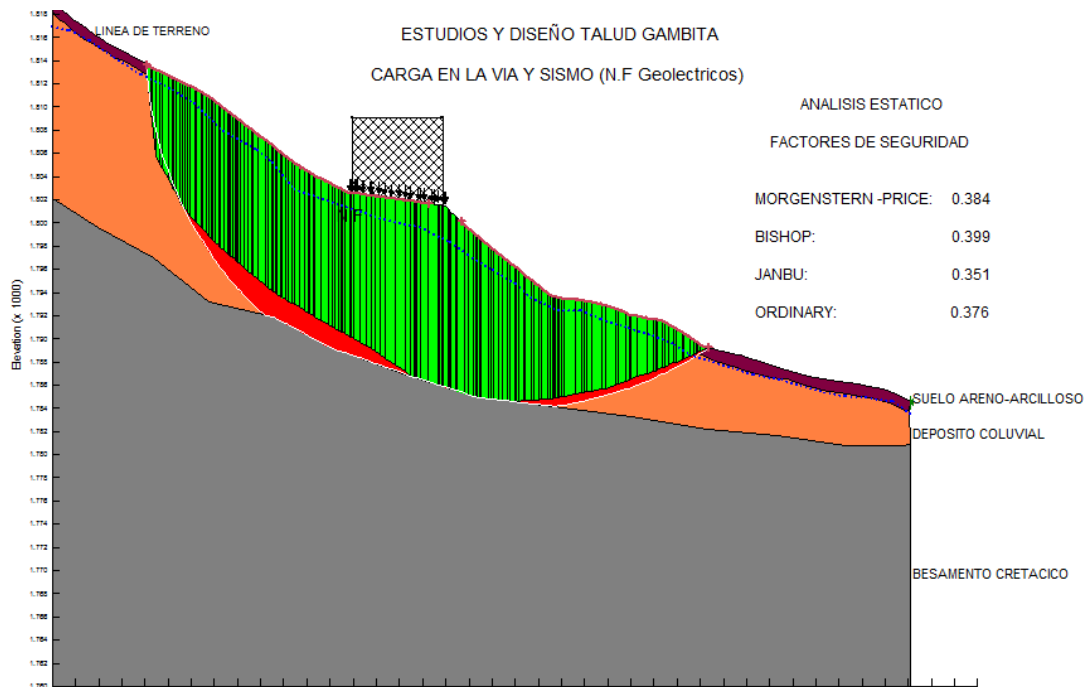
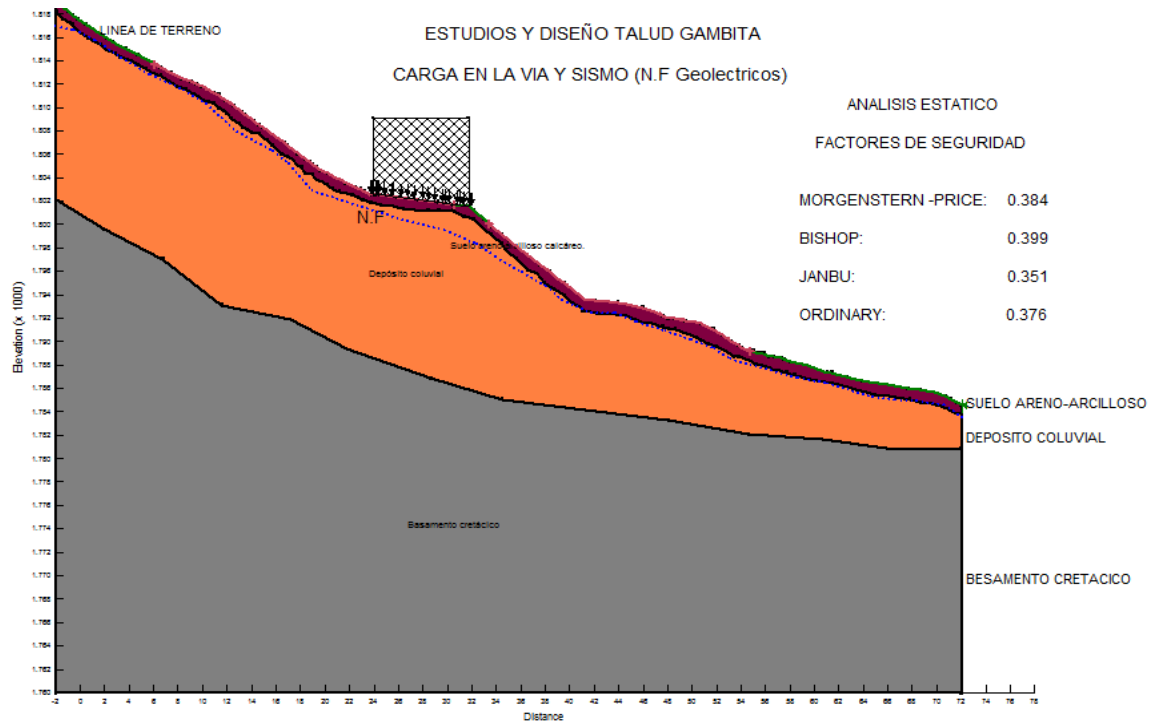
Fuente: Autores

**CON SISMO (SIN N.F.)**



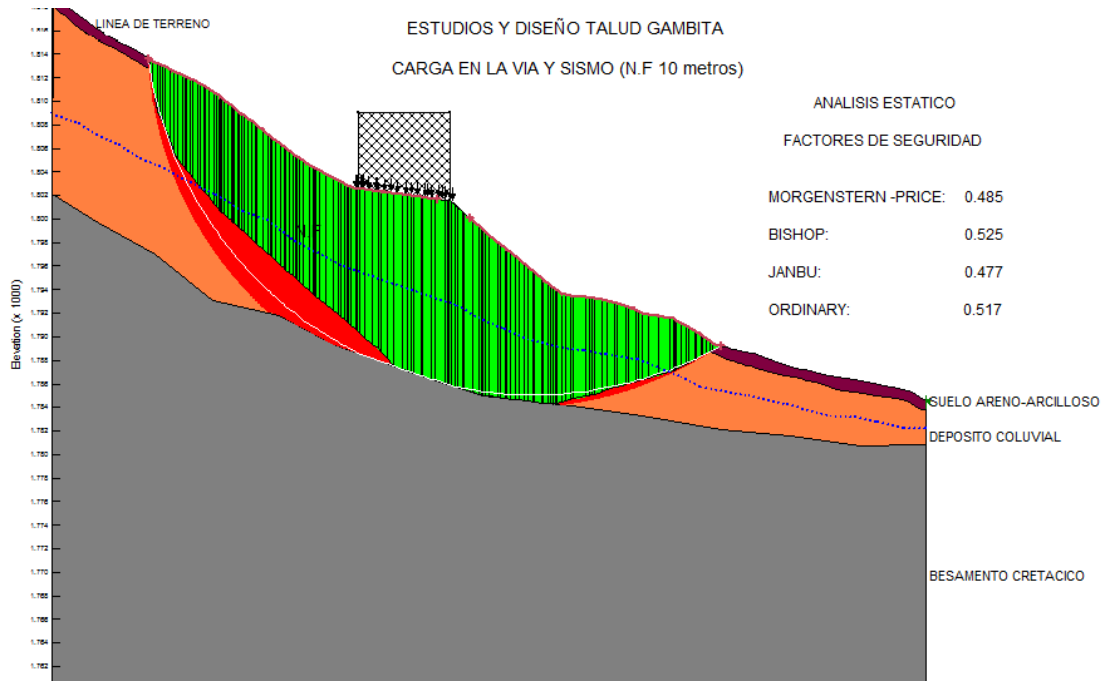
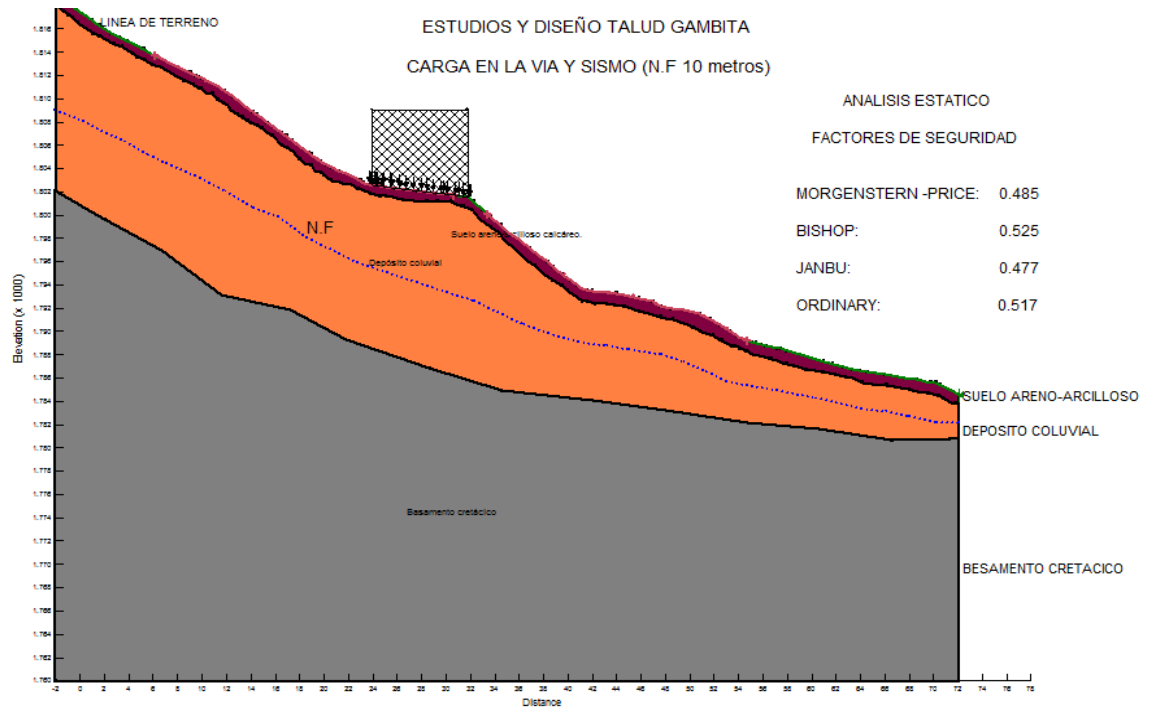
Fuente: Autores

## CARGA Y SISMO (N.F. Geoelectricos)



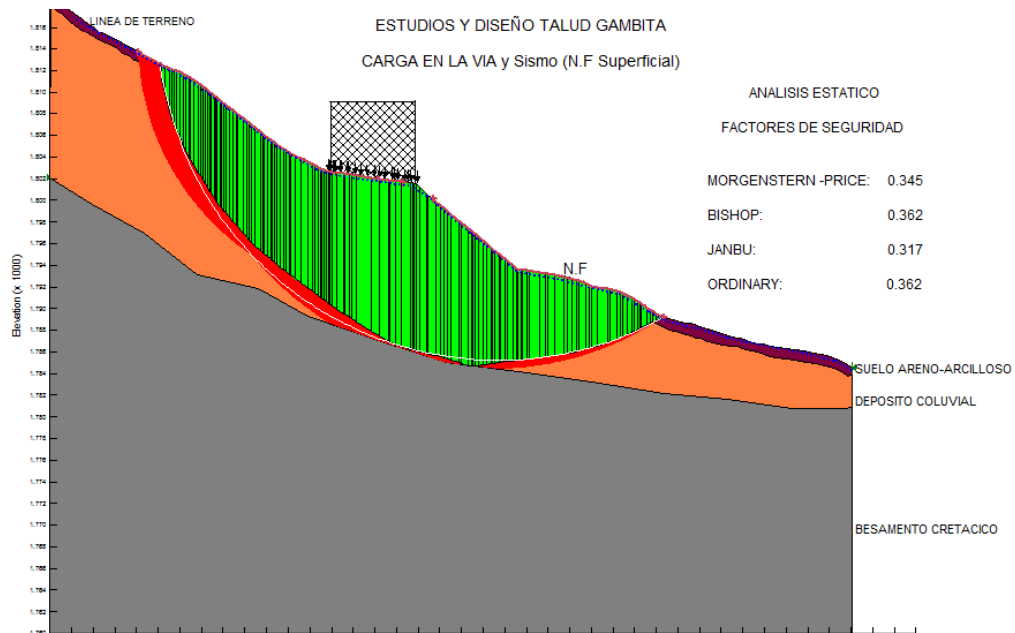
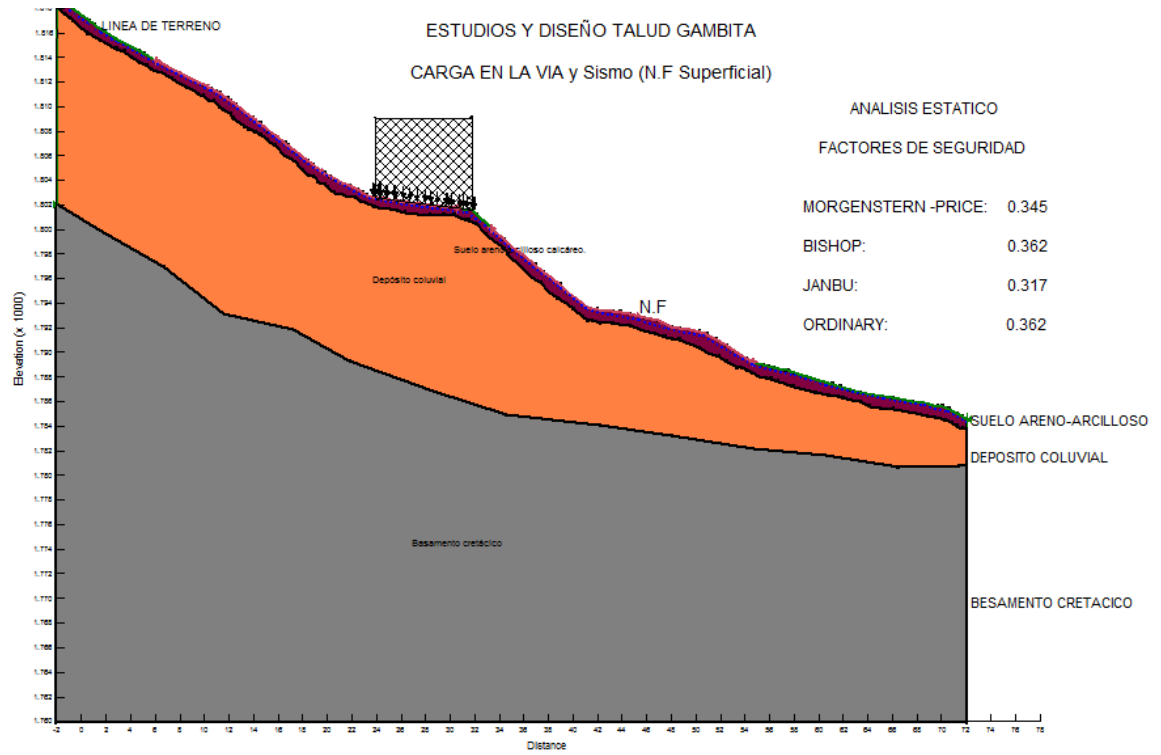
Fuente: Autores

## CARGA Y SISMO (N.F 10 Metros)



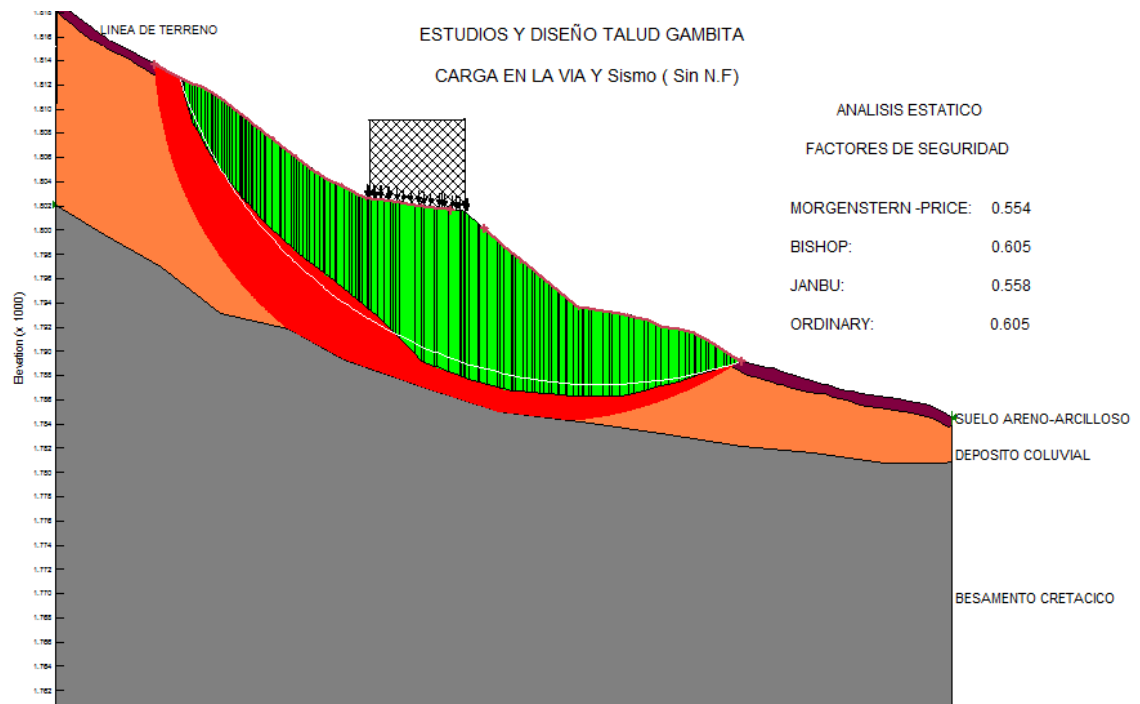
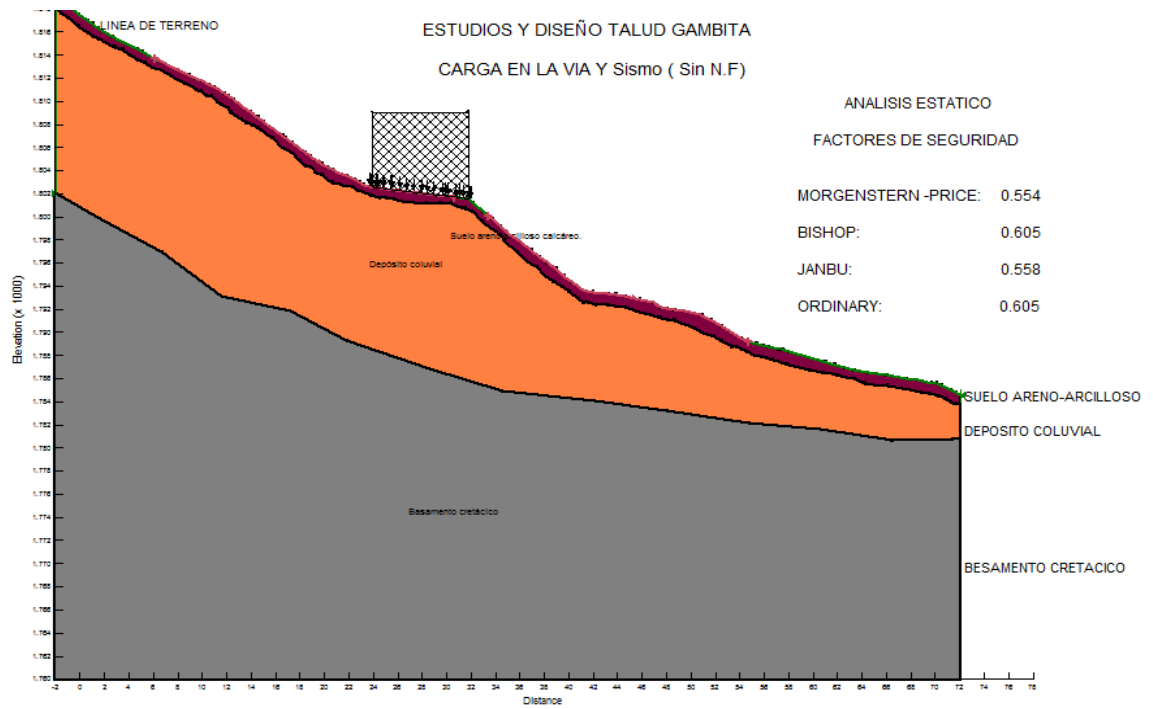
Fuente: Autores

## CARGA Y SISMO (N.F. Superficial)



Fuente: Autores

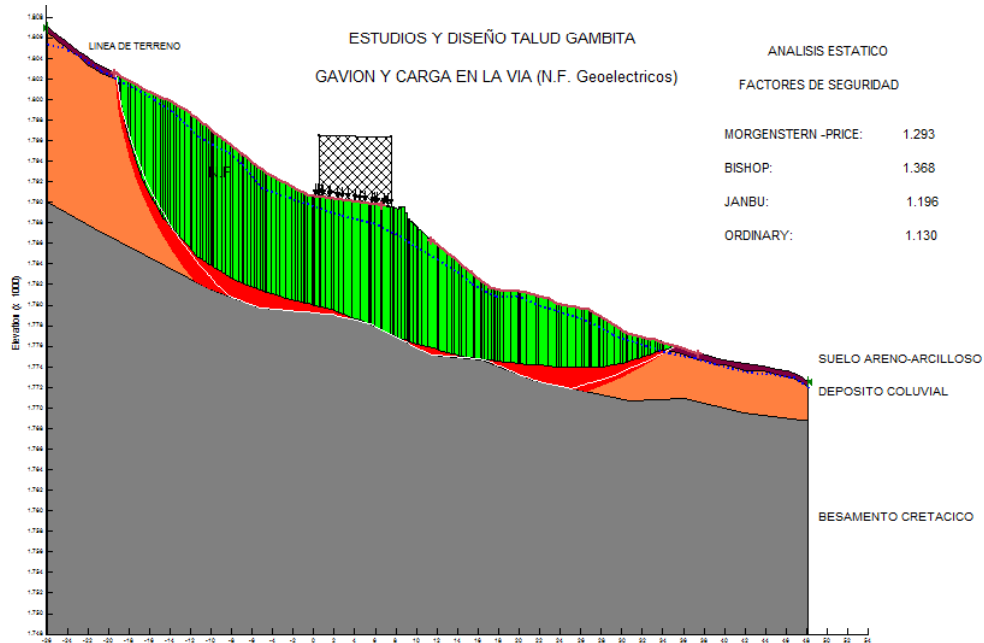
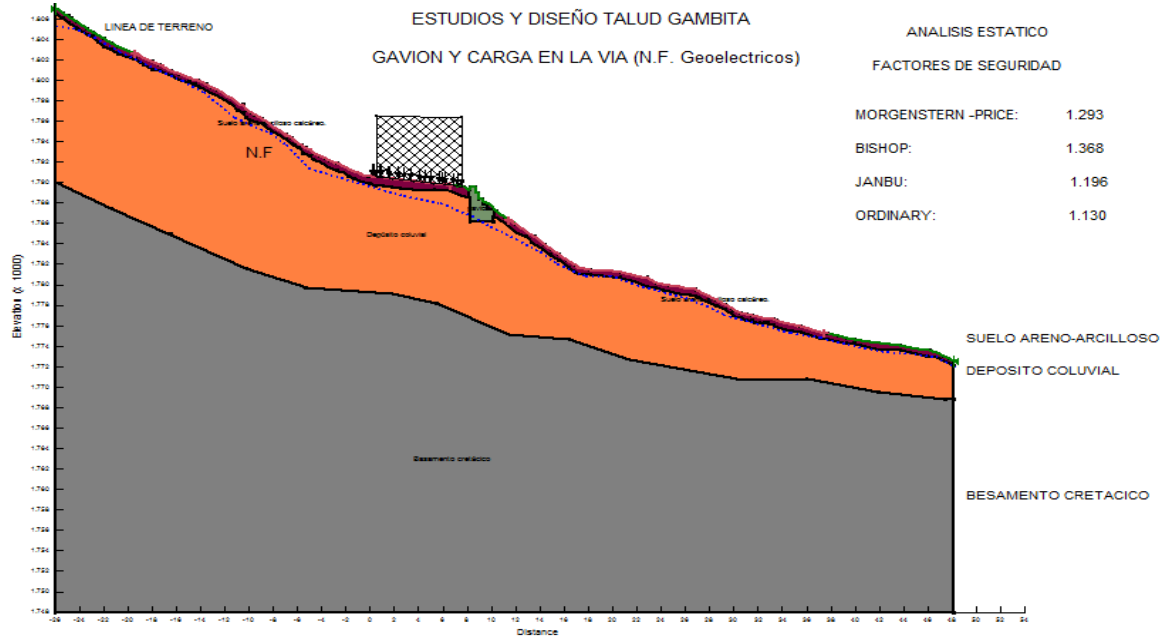
## CARGA Y SISMO (SIN N.F.)



Fuente: Autores

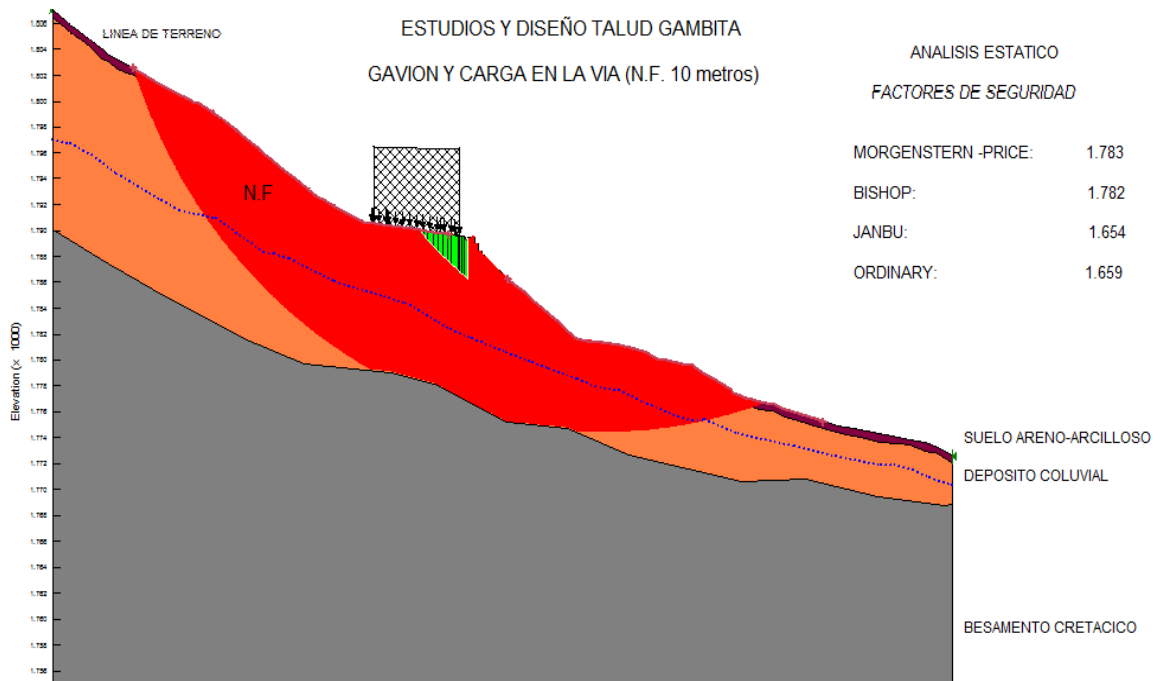
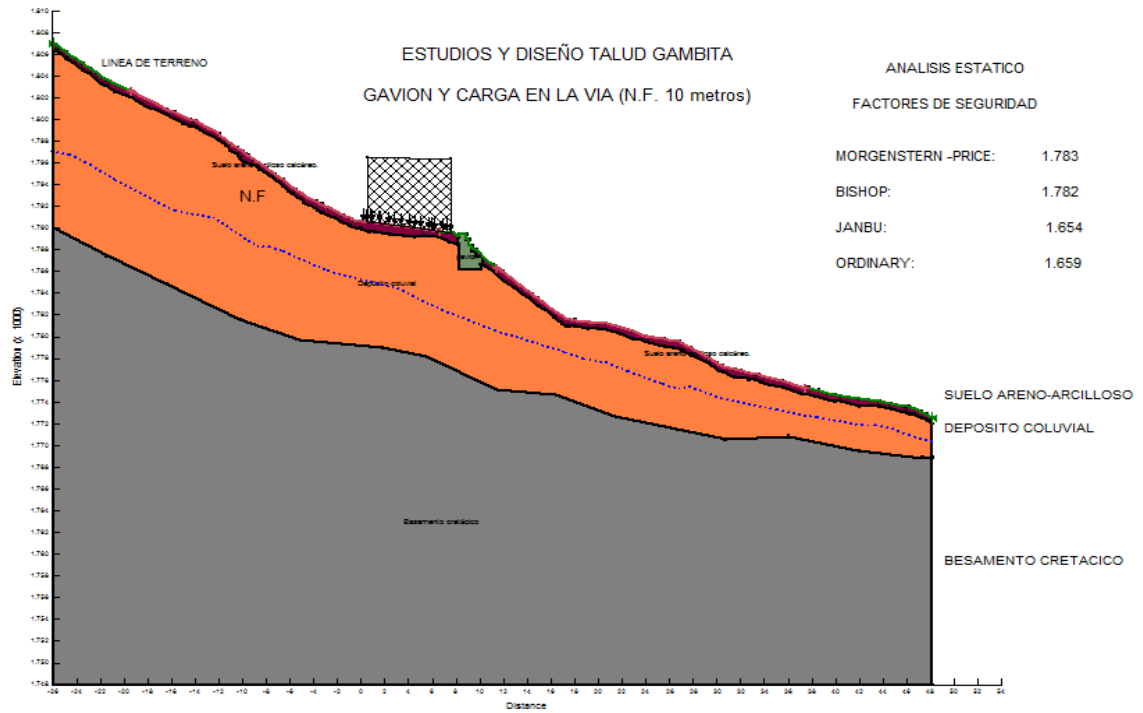
## b) TALUD CON GAVIONES

### CARGA EN LA VIA (N.F. Geoelectricos)



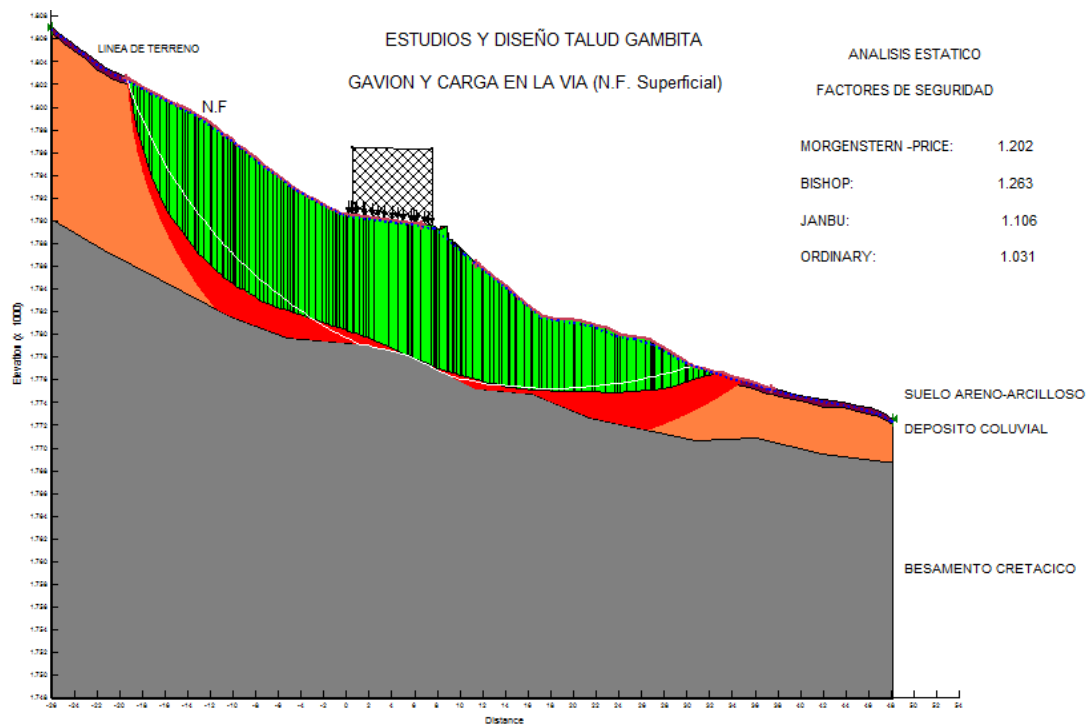
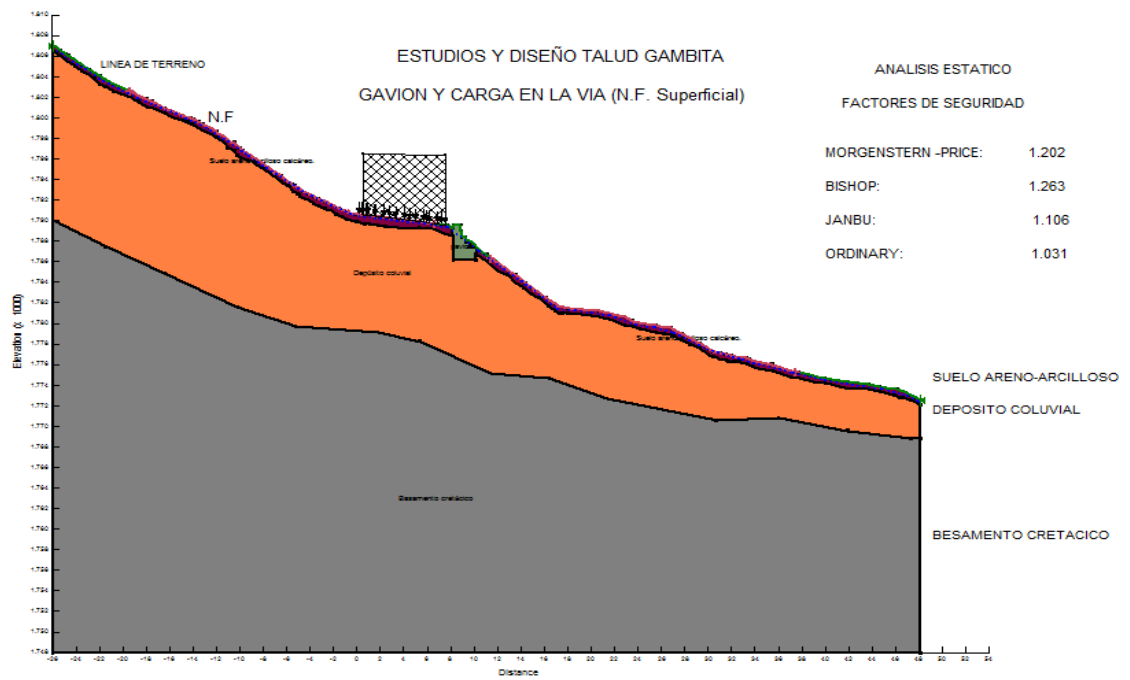
Fuente: Autores

## CARGA EN LA VIA (N.F. 10 metros)



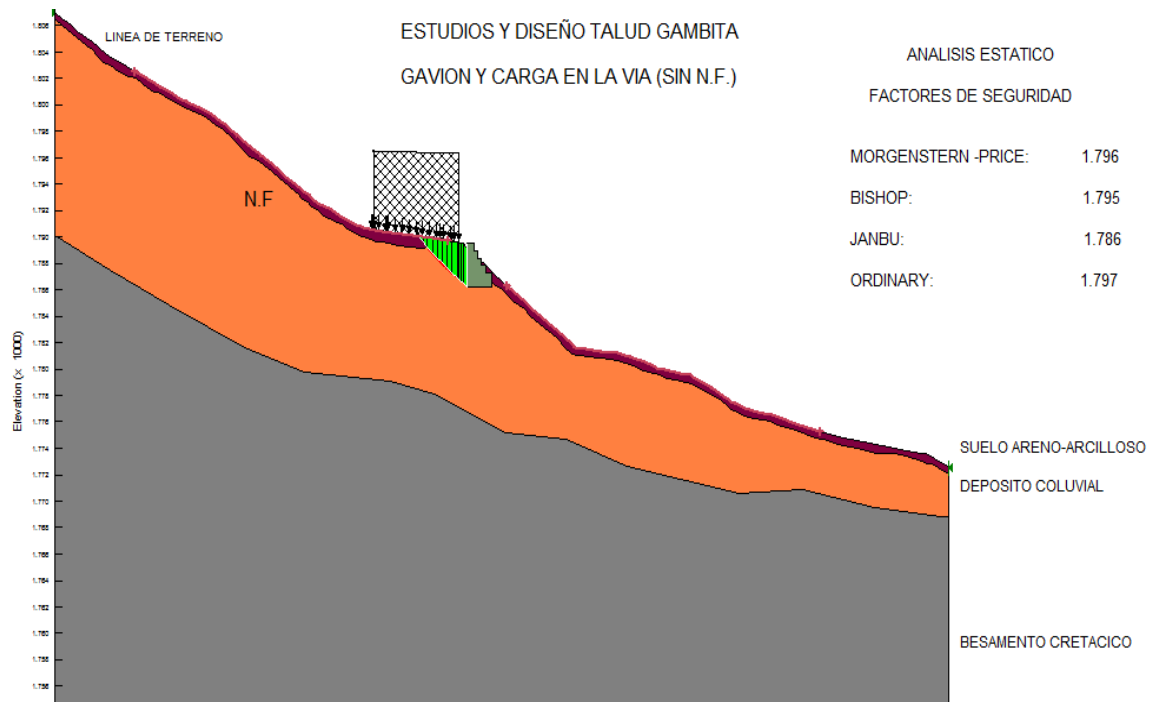
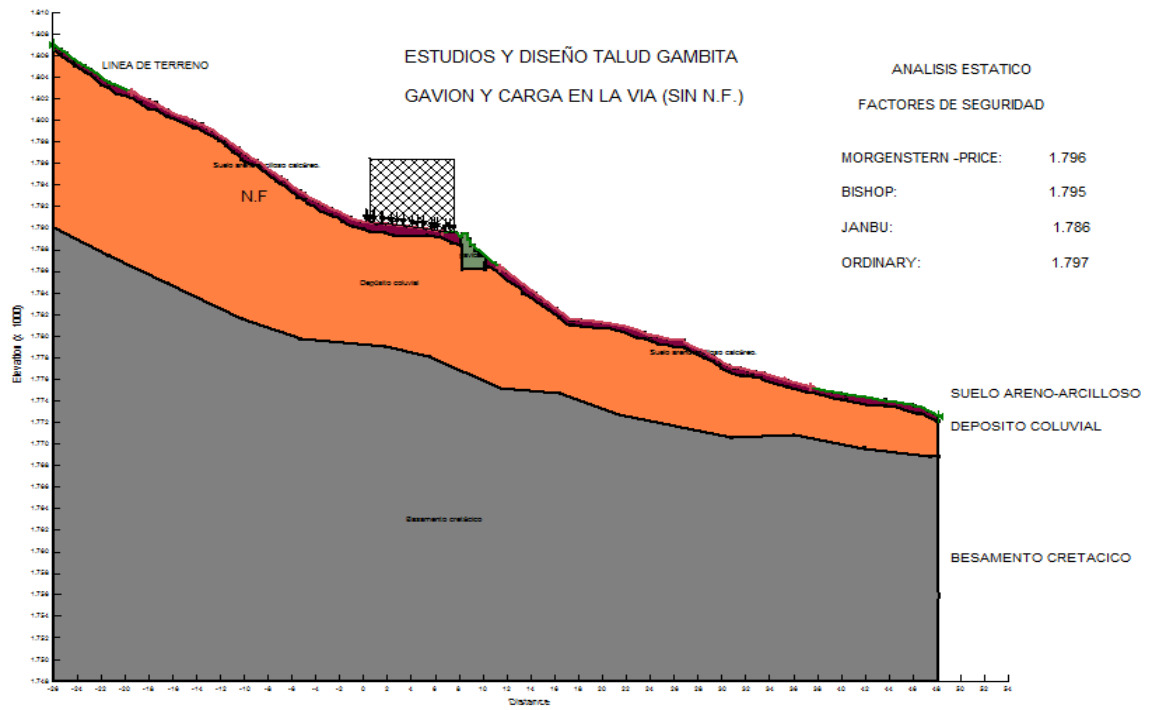
Fuente: Autores

## CARGA EN LA VIA (N.F. Superficial)



Fuente: Autores

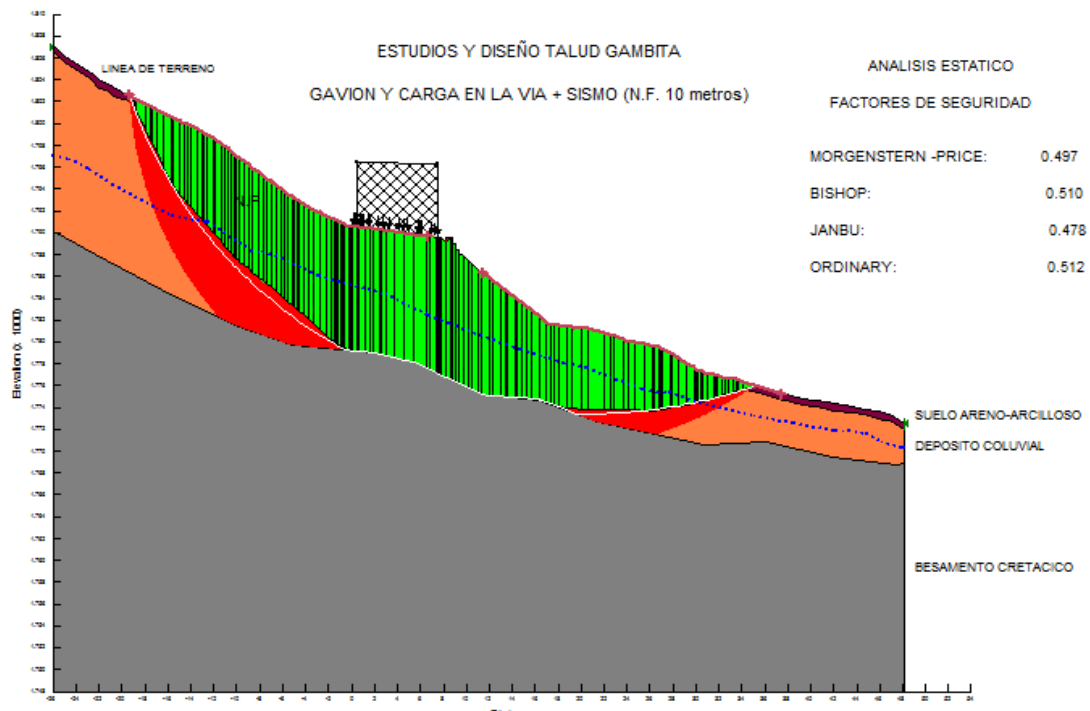
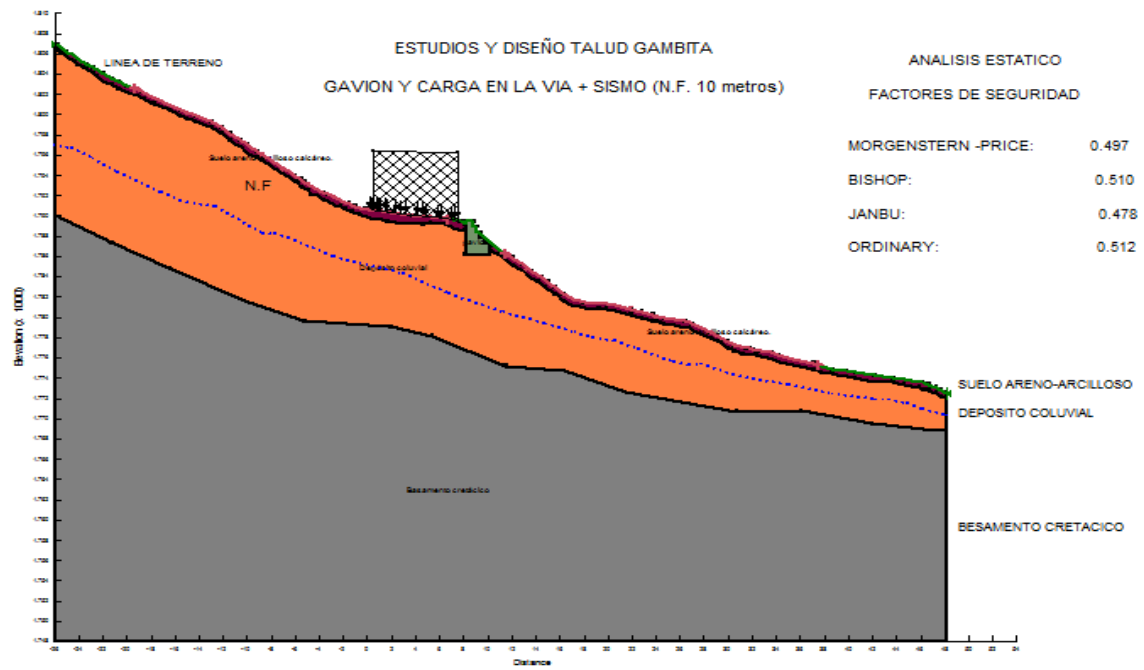
## CARGA EN LA VIA (Sin N.F.)



Fuente: Autores



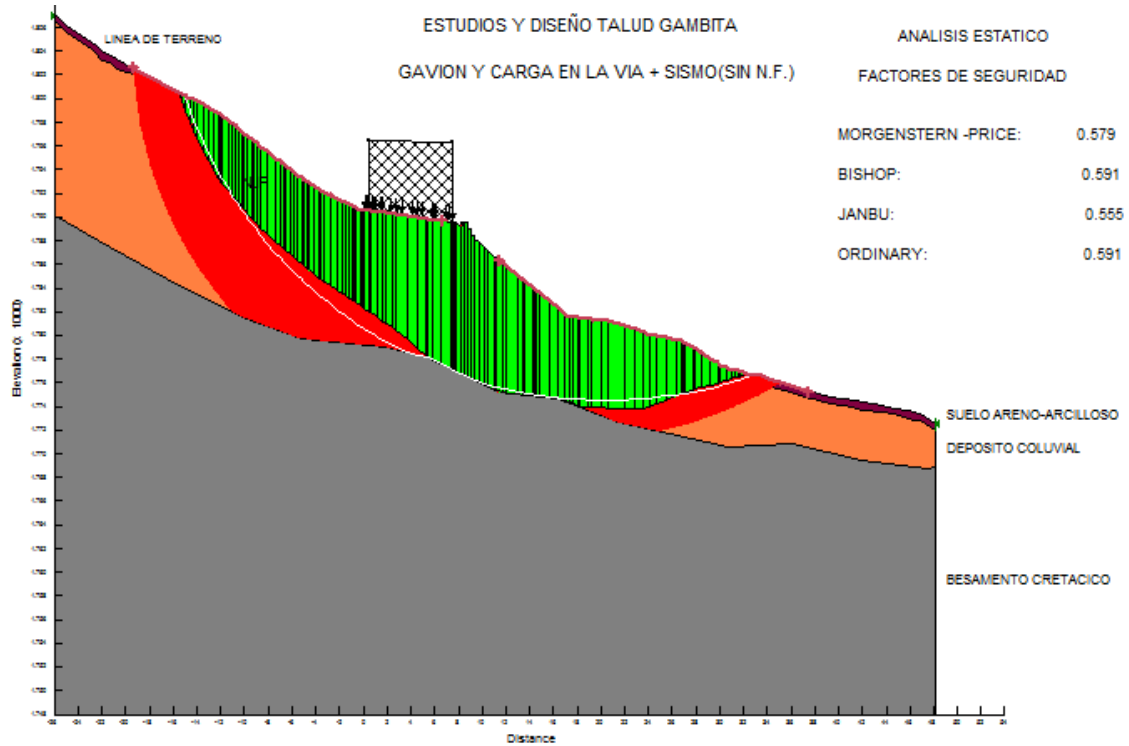
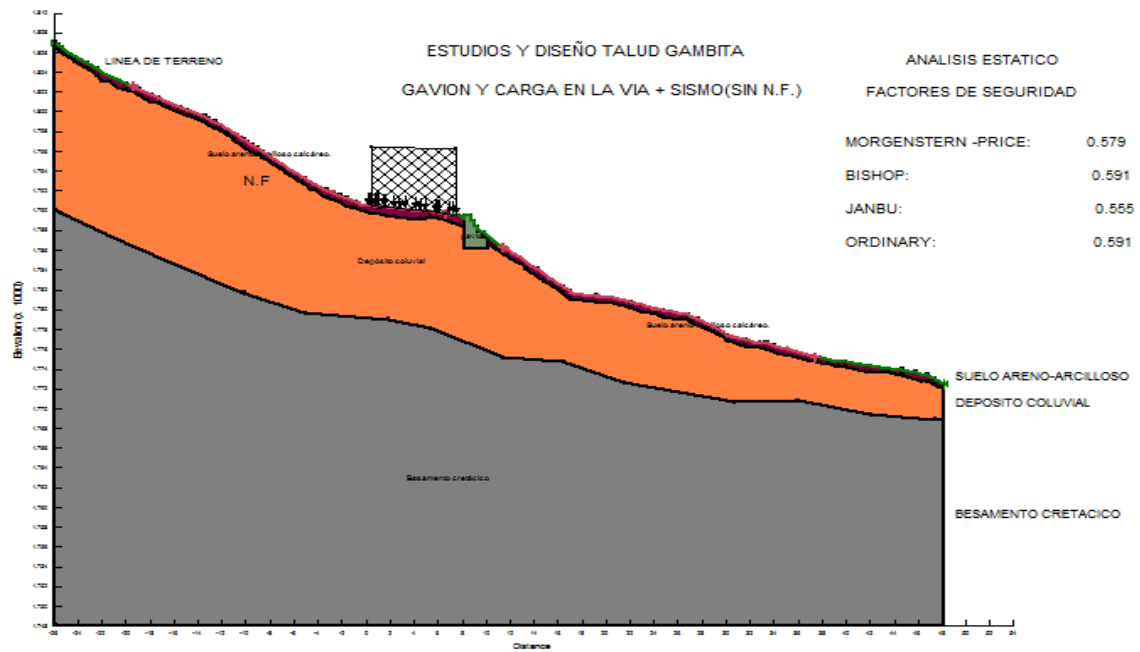
## CARGA Y SISMO (N.F. 10 metros)



Fuente: Autores



## CARGA Y SISMO (Sin N.F.)



Fuente: Autores