

**ANÁLISIS DE LA FALLA PRESENTADA EN EL TALUD DELIMITADO POR
LAS ABSCISAS K4+280 A K4+860 DEL TRAMO VIAL QUE DE PALMAR
CONDUCE AL HATO, DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

**ANDRÉS MAURICIO BUENO PIERUCCINI
DAYANN ANTONIO REYES RUIZ**

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

2012

**ANÁLISIS DE LA FALLA PRESENTADA EN EL TALUD DELIMITADO POR
LAS ABSCISAS K4+280 A K4+860 DEL TRAMO VIAL QUE DE PALMAR
CONDUCE AL HATO, DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

**ANDRÉS MAURICIO BUENO PIERUCCINI
DAYANN ANTONIO REYES RUIZ**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Directora:

Ing. Hebenly Celis Leguizamo

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

2012

A Jehová Dios, por haberme dado la vida y sus bendiciones que me han suministrado la guía y la sabiduría para alcanzar, lo que hoy es para mí, una meta.

A mi madre, Elvira Pieruccini, mujer ejemplar e intachable a quien guardo una profunda admiración y respeto, por haberme dado su amor, apoyo incondicional y los valores morales que han hecho de mí, una mejor persona y profesional.

A mi hermana, María Patricia, por su apoyo y confianza que han resultado en la satisfactoria culminación de mis estudios.

A mi familia, por el soporte y cariño brindado en toda circunstancia.

A mis amigos, por estar siempre a mi lado, compartiendo momentos alegres y cuando se atraviesan dificultades.

Andrés Bueno

A Dios por brindarme la oportunidad de vivir esta grata experiencia de pertenecer a la familia UPI y ser formado por los mejores profesionales,

A mi madre, Mary Nancy Reyes por su incondicional amor y apoyo durante toda mi vida,

A mis Abuelos, Rebeca Ruiz de Reyes y Antonio M. Reyes que gracias a su constante orientación y apoyo ayudaron para que hoy sea una realidad lo que alguna vez fue un simple ideal,

A mis Tías-Mamas, Paty, Tate, Luz y Miña que en todo momento estuvieron dispuestas a ayudarme en todo lo que yo necesitara,

A mi familia en general por depositar una confianza absoluta, y lo más importante por creer firmemente que en mí existía el profesional que ahora soy,

A mis amigos, que me han acompañado en todo este proceso, y que hoy les agradezco por cada uno de los excelentes momentos que pude experimentar a su lado.

Dayann Reyes

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A la Ingeniera Hebenly Celis Leguizamo por la participación que nos dio en la ejecución de este proyecto.

A la Ingeniera Fany Arias por su colaboración en el desarrollo de la indagación e investigación.

Al Ingeniero Edward Quintanilla por su valiosa y paciente orientación.

Y a todas las personas que de una u otra forma colaboraron para la satisfactoria culminación de este trabajo de grado.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. OBJETIVOS	20
1.1 OBJETIVO GENERAL	20
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
2. GENERALIDADES DEL PROYECTO	21
2.1 LOCALIZACIÓN	21
2.2 GEOLOGÍA	22
2.2.1 Estratigrafía	23
2.2.1.1 Formación Simití (Kis).	23
2.2.1.2 Depósitos Coluviales (Qc).	25
2.3 HIDROLOGÍA	25
2.3.1 Clima y recurso hídrico:	26
2.4 GEOMORFOLOGÍA	27
2.4.1 Geoformas Denudacionales	27
2.4.1.1 Escarpe de Corona.	28
2.4.1.2 Laderas Subhorizontales.	28
2.4.1.3 Depósito de Ladera	29
2.5 TOPOGRAFÍA	29
3. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA	31
3.1 RECONOCIMIENTO DEL TERRENO	31
3.2 ESTUDIOS REALIZADOS EN LA ZONA	32
3.2.1 Apiques	32
3.2.1.1 Granulometría y Límites de Atterberg.	33

3.2.1.2	Ensayos de Resistencia al Cortante.	34
3.2.2	Estudio Geoelectrico	35
4.	RESULTADOS DE LABORATORIO	37
4.1	GRANULOMETRÍA Y LÍMITES DE ATTERBERG	37
4.2	ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CORTANTE	38
4.3	ESTUDIO GEOELÉCTRICO	39
4.3.1	Observaciones Sondeos Eléctricos Verticales	41
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO	43
5.1	REGLA DE LAS 3σ	43
5.2	ESTRATO 1: SUPERFICIE HOMOGÉNEA	44
5.3	ESTRATO 2: DEPÓSITO COLUVIAL	46
5.4	ESTRATO 3: BASAMENTO CRETÁCICO	47
5.5	PARÁMETROS DE DISEÑO	48
5.6	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	49
6.	METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS GEOTÉCNICO	53
6.1	MÉTODO GENERALIZADO DE EQUILIBRIO LÍMITE:	53
6.2	FACTOR DE SEGURIDAD	54
7.	VALIDACIÓN DEL MODELO GEOTÉCNICO	56
7.1	ANÁLISIS PRELIMINAR	57
7.1.1	Criterio 1: Ángulo de Fricción Constante – Cohesión Variable.	58
7.1.2	Criterio 2: Cohesión Constante – Ángulo de Fricción Variable.	59
7.1.3	Criterio 3: Cohesión y Ángulo de Fricción Variable.	60
8.	ESTUDIO DE LAS CARGAS SOBRE IMPUESTAS AL TERRENO	62
8.1	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	62
8.2	TRÁNSITO SOPORTADO	63

9. SISMICIDAD Y ESTABILIDAD DINÁMICA	65
9.1 ENTORNO SEUDO-ESTÁTICO	66
10. RECOMENDACIONES PROPUESTAS	68
10.1 ESCOGENCIA DEL FACTOR DE SEGURIDAD	68
10.2 DRENAJE SUPERFICIAL	69
10.2.1 Canales de redirección de escorrentía	70
10.2.2 Zanjas de corona	70
10.2.3 Diques de corona	71
10.2.4 Torrentera	72
CONCLUSIONES	73
BIBLIOGRAFIA	75
ANEXOS	77

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Localización de los Sondeos Eléctricos Verticales	35
Tabla 2. Resumen. Resultados de Gradación y Límites Atterberg.	37
Tabla 3. Resumen. Resultados de Corte Directo, Humedad natural.	38
Tabla 4. Resumen. Resultados de Corte Directo, inalterado saturado.	38
Tabla 5. Resumen. Resultados de Corte Directo, Alterado normal.	39
Tabla 6. Interpretación de resultados SEV - 1	40
Tabla 7. Interpretación de resultados SEV - 2	40
Tabla 8. Interpretación de resultados SEV - 3	41
Tabla 9. Estratificación de los Sondeos Eléctricos Verticales	42
Tabla 10. Valores pico y residual para el estado de Humedad Natural.	45
Tabla 11. Valores Pico Residual para el estado Inalterado Saturado.	47
Tabla 12. Valores Pico y Residual para el estado Alterado Normal.	48
Tabla 13. Parámetros de diseño preliminar	48
Ilustración 22: Modelo Estático Preliminar	57
Tabla 14. Factores de seguridad con Angulo de fricción constante – cohesión variable.	58
Tabla 15. Factores de seguridad con cohesión constante – Angulo de fricción variable	59
Tabla 16. Factores de seguridad con cohesión y ángulo de fricción variable	60
Tabla 17. Cargas de Referencia.	63
Tabla 18. Coeficientes de aceleración horizontal pico efectiva.	66

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Localización vía Hato - Palmar	21
Ilustración 2. Panorámica del talud en estudio.	22
Ilustración 3. Geología Regional	24
Ilustración 4. Pisos Térmicos de Santander.	26
Ilustración 5. Clima y Recurso Hídrico de la zona en estudio.	27
Ilustración 6. Escarpe de Corona.	28
Ilustración 7. Ladera Subhorizontal.	28
Ilustración 8. Depósito de Ladera.	29
Ilustración 9. Topografía. Panorámica desde el municipio de Palmar.	30
Ilustración 10. Evidencia de infiltración de agua en el coluvión.	31
Ilustración 11. Perfil Localización de los apiques.	32
Ilustración 12. Localización de los apiques.	33
Ilustración 13. Límites de Atterberg	34
Ilustración 14. Localización de los sondeos eléctricos verticales.	36
Ilustración 15. Perfil Geoeléctrico	42
Ilustración 16. Ubicación en la Carta de Plasticidad de Casa Grande de las propiedades del suelo	45
Ilustración 17. Perfil Geotécnico del talud	49
Ilustración 18. Reptación	50
Ilustración 19. Evidencia de reptación en campo.	51
Ilustración 20. Aumento de la presión de poros en el suelo.	52
Ilustración 21. Diagrama de cuerpo libre de una dovela.	55
Ilustración 22: Modelo Estático Preliminar	57
Ilustración 23. Modelo estático calibrado para Angulo de fricción constante – cohesión variable	58

Ilustración 24. Modelo estático calibrado para cohesión constante – Ángulo de fricción variable.	59
Ilustración 25. Modelo estático calibrado para cohesión y Ángulo de fricción variable.	60
Ilustración 26. Cargas de referencia para un camión tipo C-2	63
Ilustración 27. Cargas de la infraestructura vial sobre el perfil.	64
Ilustración 28. Superficie de falla y factor de seguridad con incidencia de la sobrecarga del talud.	64
Ilustración 29. Efecto de las fuerzas sísmicas en la resistencia alcortante	65
Ilustración 30. Superficie de falla y factor de seguridad del talud en el régimen pseudoestático.	67
Ilustración 31. Factores de Seguridad sugeridos para diversos casos.	69
Ilustración 32. Esquema de las obras de mitigación	71

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	78
ANEXO B. LIMITES DE ATTERBERG	80
ANEXO C. RESISTENCIA AL CORTANTE	82
ANEXO D. RESISTIVIDAD EN SUELOS	84
ANEXO E. REGLA DE LAS 3σ	86
ANEXO F. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO	88

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS DE LA FALLA PRESENTADA EN EL TALUD DELIMITADO POR LAS ABSCISAS K4+280 A K4+860 DEL TRAMO VIAL QUE DE PALMAR CONDUCE AL HATO, DEPARTAMENTO DE SANTANDER*.

AUTORES: ANDRÉS MAURICIO BUENO PIERUCCINI
DAYANN ANTONIO REYES RUIZ**

PALABRAS CLAVES:

Talud, Geomorfología, Limites de Atterberg, Corte Directo Consolidado Drenado, Geoeléctrico, infiltración.

DESCRIPCIÓN

El proyecto se enfocó en el análisis de una zona inestable ubicada en la vía Hato – Palmar en el departamento de Santander. Para este estudio se tomaron en cuenta características locales tales como la Geología, Topografía, Geomorfología, Hidrología, entre otros, y se realizó una inspección en campo para establecer las posibles causas del problema de estabilidad.

Así mismo se extrajo muestras semi alteradas de suelo que fueron llevadas posteriormente al laboratorio para ejecutar ensayos de Granulometría, Limites de Atterberg y Corte Directo Consolidado Drenado que junto con estudios geoeléctricos realizados en campo por parte de la Gobernación de Santander permitieron la caracterización geotécnica del talud.

Se asignaron las propiedades de resistencia para cada estrato encontrado a partir de los resultados de laboratorio, teniendo así un modelo geológico geotécnico preliminar del talud estudiado. Seguidamente se realizó una validación del modelo mediante la variación de los parámetros de resistencia al cortante de uno de los estratos que conforma el talud, siendo este el principal afectado por la infiltración de la escorrentía generada en la cuenca del rio Suarez, con el fin de obtener condiciones similares a las observadas en la zona y posteriormente realizar un análisis involucrando factores externos como la construcción de infraestructura vial, su entrada en servicio y la posible ocurrencia de un sismo que incidan desfavorablemente en la estabilidad.

Por último se dan recomendaciones y posibles obras que contribuyan a mitigar el fenómeno de reptación encontrado como resultado de la investigación.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director Hebenly Celis Leguizamo

ABSTRACT

TÍTULO: ANALYSIS OF THE FAILURE PRESENTED IN THE SLOPE BOUNDED BY THE ABSCISSA K4+280 AND K4+860 OF ROAD THAT HATO LEADS TO PALMAR, SANTANDER DEPARTMENT*.

AUTHORS: ANDRÉS MAURICIO BUENO PIERUCCINI
DAYANN ANTONIO REYES RUIZ**

KEY WORDS:

Slope, Geomorphology, Limits of Atterberg, Consolidated Drained Direct Shear, Geoelectric, infiltration.

DESCRIPTION

The project focused on the analysis of an unstable area located on the road Hato - Palmar in the department of Santander. This study took local characteristics such as geology, topography, geomorphology, hydrology, etc. A Visual inspection was performed in the field to establish the possible causes of the problem of stability.

Also, samples of soil semi altered was extracted and taken to the lab for tests size distribution or granulometric, Limits of Atterberg and Consolidated Drained Direct Shear. Together with Geoelectric study made in the field by Government of Santander allowed the geotechnical characterization of slope.

Properties were assigned to each layer found from laboratory results, thus having a preliminary geotechnical model of the slope studied. Subsequently there was a validation of the model by variation of shear strength parameters of one of the layers forming the slope, Which is the most affected by the infiltration of runoff generated in the Suarez river watershed, to obtain similar conditions to those observed in the area and later perform an analysis engaging external factors such as building infrastructure, put into service and the potential occurrence of an earthquake that unfavorably affect the stability.

Finally, recommendations are given and possible works which contribute to mitigate the creeping phenomenon found as a result of the research.

* Project of grade

** Faculty of engineering physicomechanical, civil engineering Department, Director Hebenly Celis Leguizamo

INTRODUCCIÓN

La Gobernación de Santander mediante el plan vial departamental busca la adecuación de corredores viales alternos que puedan complementar las troncales principales en caso del eventual cierre de alguna de ellas, además de contribuir al desarrollo económico y social del departamento.

De este proceso se desprende el proyecto: “MEJORAMIENTO Y PAVIMENTACIÓN DE LA VÍA HATO-PALMAR, DEPARTAMENTO DE SANTANDER”, el cual comprende el acondicionamiento y la ampliación de 5730.00 m de la vía que conecta los municipios de Palmar y el Hato. Este tramo se caracteriza por tener calzadas entre 3.00 y 4.00 m y pendientes longitudinales máximas de 14.50%, condiciones que se deben optimizar, modificando la geometría de la vía en puntos críticos.

La estabilidad de la rasante, taludes y laderas es determinante para que la inversión en este proyecto no se vea afectada a corto ni a largo plazo, es por ello que el presente trabajo de grado se enfoca en la caracterización y análisis de la zona delimitada por las abscisas K4+280 a K4+860 del tramo vial, donde se observaron deformaciones en la rasante e inclinaciones considerables en la vegetación existente, características que evidencian problemas de estabilidad del sector.

Se establecerán las posibles causas a partir de la investigación de la geología, topografía, hidrología entre otros parámetros que permitan un modelamiento teórico del fenómeno acontecido y se darán unas recomendaciones para atenuar el desarrollo del mismo.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar el modelo geológico geotécnico estableciendo las posibles causas de inestabilidad del talud localizado entre las abscisas K4+280 y la K4+860 de la vía que comunica los municipios de Palmar con el Hato, Departamento de Santander.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

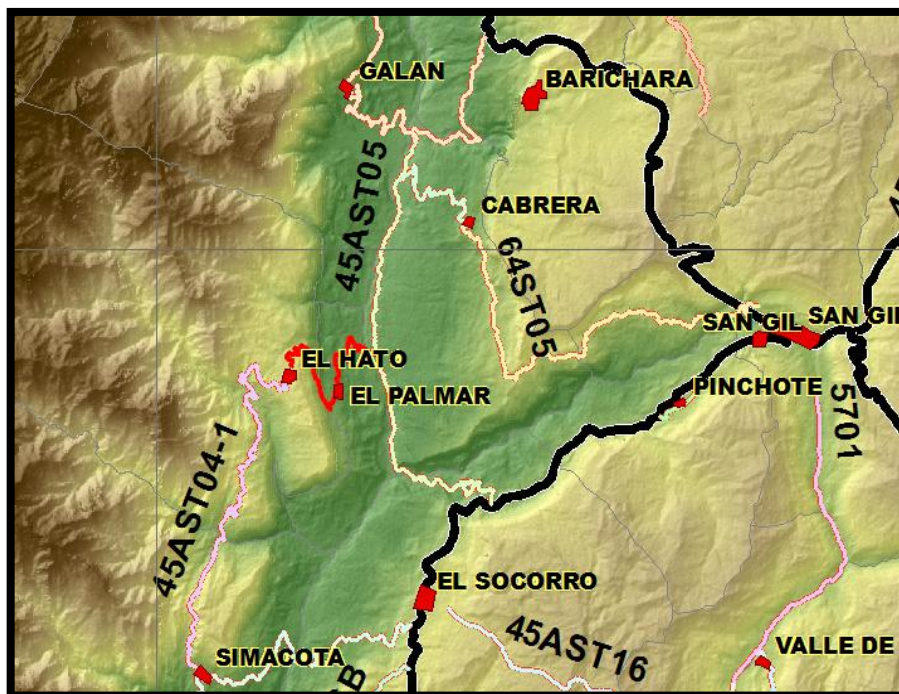
- ✓ Compilar la información existente de la zona en estudio (topografía, geología, geomorfología, clima).
- ✓ Realizar un reconocimiento de campo en donde se identifique las características de la falla presentada.
- ✓ Realizar una exploración geotécnica por medio de apiques y Sondeos Eléctricos Verticales.
- ✓ Ejecutar ensayos de laboratorio, Granulometría, Límites de Atterberg y Corte Directo.
- ✓ Evaluar por medio de software especializado las condiciones de estabilidad actuales en escenario estático y pseudo estático.
- ✓ Identificar el tipo de deslizamiento que afecta la zona en estudio.

2. GENERALIDADES DEL PROYECTO

2.1 LOCALIZACIÓN

El sector estudiado se encuentra ubicado en el departamento de Santander, al occidente de la provincia comunera, limita al norte con el municipio de Galán, al sur con el municipio de Simacota, al oriente con el municipio del palmar, y al occidente con el municipio del Carmen, esta 1370 msnm, su economía está basada en la ganadería y la agricultura de la caña de azúcar, café, yuca, cacao, maíz y millo. Productos que son comercializados en sus zonas aledañas como Berlín y el Socorro transportados inicialmente por la vía que del Hato conduce a Palmar.

Ilustración 1. Localización vía Hato - Palmar



Fuente: Informe preliminar diseño geométrico, Consorcio vial Hato-Palmar

El talud en estudio se encuentra ubicado entre las abscisas K4+280 y K4+860 afectando 580 metros lineales de la vía.

Ilustración 2. Panorámica del talud en estudio.



Fuente: Autores.

2.2 GEOLOGÍA

La zona intervenida se conforma principalmente por rocas sedimentarias, especialmente materiales arcillosos, calcáreos y arenosos, que se apoyan sobre rocas sedimentarias más antiguas que hacen parte del conjunto sedimentario del cretáceo medio superior del macizo de Santander. Las formaciones geológicas reconocidas en campo son: Rosa Blanca, Paja, Tablazo, y Simití, las cuales están parcialmente cubiertas por delgados cuerpos cuaternarios (abanicos aluviales y

Coluviones) y presentan en términos generales exposición aceptable, meteorización avanzada, parcialmente a lo largo de las vías de comunicación.¹

2.2.1 Estratigrafía

El sector hace parte de la formación Simití y está conformado por dos estratos más: suelos residuales y Depósitos Coluviales. A continuación se describirán las características más importantes.

2.2.1.1 Formación Simití (Kis). Fue descrita por geólogos de la Intercol (en MORALES, L.et al., 1958) y su localidad tipo está en la orilla sur de la ciénaga de Simití, Bolívar, la unidad consta de shales grises a negros, carbonosos, levemente calcáreos, con concreciones calcáreas de hasta 3 m y con intercalaciones de areniscas y calizas grises, localmente arcillosas y fosilíferas, en capas delgadas.

En la región centro occidental de Santander la unidad está expuesta principalmente en las áreas de Barichara, Socorro, Palmas del Socorro, Suaita y Puente Nacional. Estas sedimentitas han sido agrupadas en la formación Simití.

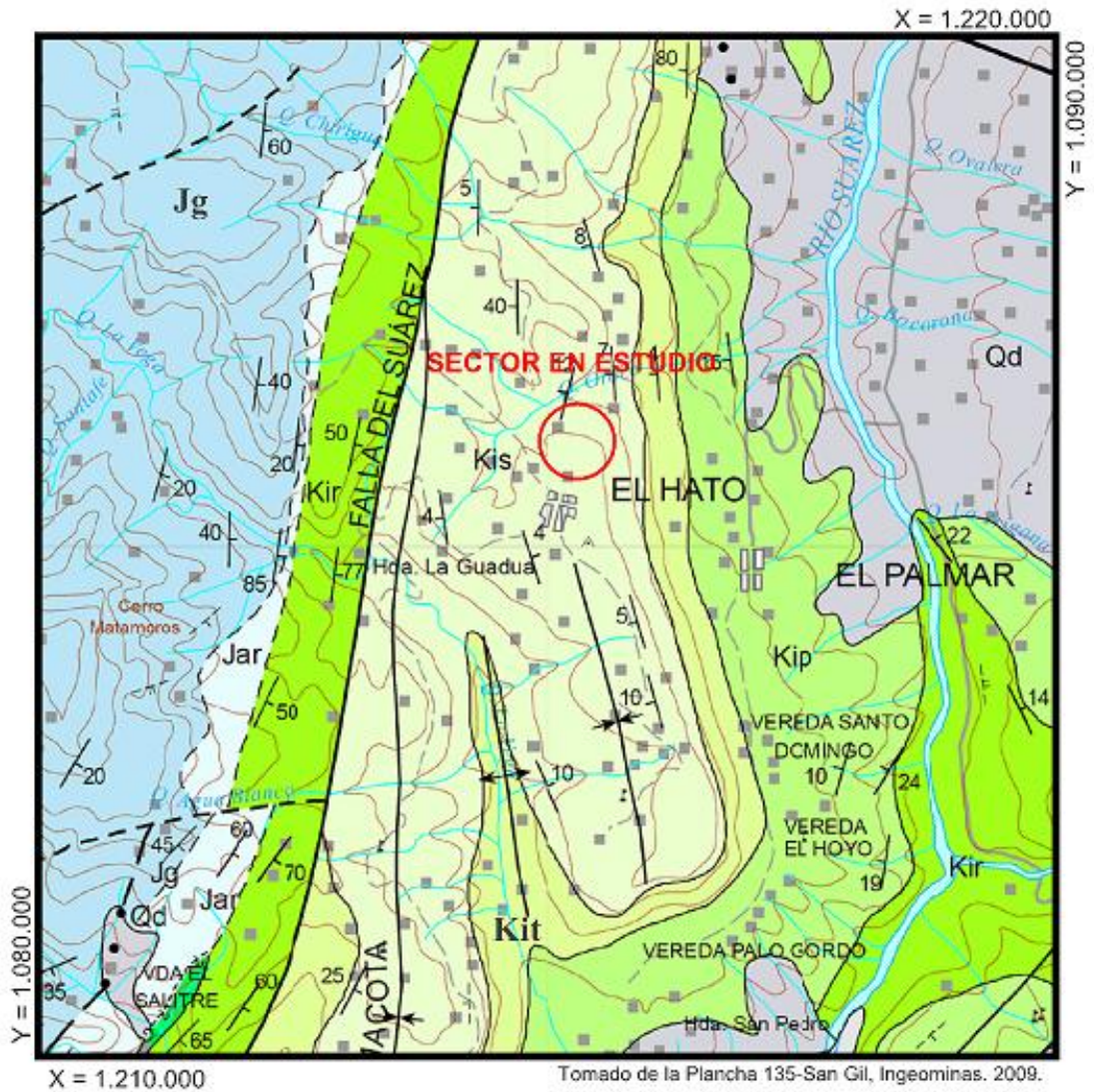
Las condiciones paleo ambientales fueron neríticas de aguas intermedias a profundas su espesor varía entre 250 y 650 m.

Los contactos de la Formación Simití son concordante con la infrayacente Formación Tablazo y en contacto fallado al occidente del sitio de interés geotécnico con la Formación Rosablanca. Su edad se ha establecido como Albiano superior - Cenomaniano. Se correlaciona con la Formación Capacho.²

¹Estudio geoelectrico realizado para el sector de la inestabilidad presentada en el PR4+290 al PR4+840 de la via Hato- Palmar, Departamento de Santander.

²Mapa Geológico Generalizado Departamento de Santander, Memoria Explicativa 2001

Ilustración 3. Geología Regional



LEYENDA

Kis	Formación Simití	Kir	Formación Rosablanca
Kit	Formación Tablazo	Jar	Formación Arcabuco
Kip	Formación Paja		Sector en Estudio

Fuente: Plancha 135 San Gil, Ingeominas. 2009

2.2.1.2 Depósitos Coluviales (Qc). El cuerpo cuaternario está constituido por un depósito coluvial medianamente espeso con materiales heterogéneos y heterométricos de areniscas y arcillolitas, embebidos en una matriz limo-arcillosa, depositados por diferentes medios de transporte en especial la gravedad y el agua subterránea. Este depósito suprayace a sedimentos del cretácico medio-superior compuesto por shales grises a negros, carbonosos, levemente calcáreos, con concreciones calcáreas hasta de 3 m y con intercalaciones de areniscas y calizas grises, localmente arcilloso y fosilífero.³

2.3 HIDROLOGÍA

Para el presente estudio se tendrán en cuenta tres factores determinantes: temperatura, clima y recurso hídrico.

El talud se encuentra aproximadamente entre las cotas 1290 y 1230, metros sobre el nivel del mar (msnm). Para calcular la temperatura promedio se utilizara la expresión que suministra el IDEAM.

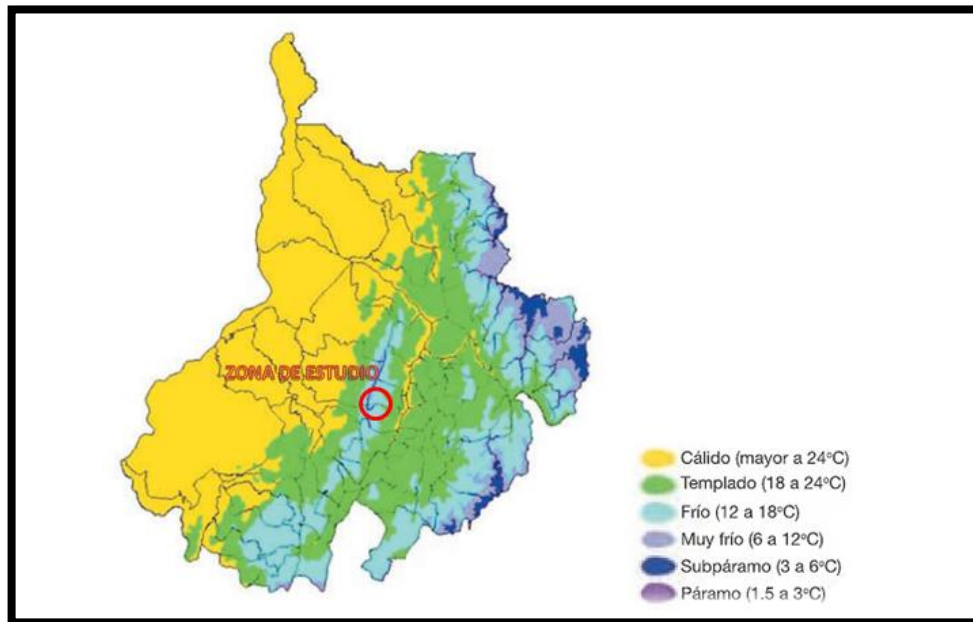
$$T = -0.0060 * X + 29,1890 \text{ [}^\circ\text{C]}$$
$$T = (-0.0060 * 1290) + 29,1890 \text{ [}^\circ\text{C]}$$
$$T_{min} = 21,44 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$T = -0.0060 * X + 29,1890 \text{ [}^\circ\text{C]}$$
$$T = (-0.0060 * 1230) + 29,1890 \text{ [}^\circ\text{C]}$$
$$T_{max} = 21,80 \text{ }^\circ\text{C}$$

Promediando los valores máximos y mínimos, se obtiene la temperatura media a la que está expuesta el talud

³Estudio geoelectrico realizado para el sector de la inestabilidad presentada en el PR4+290 al PR4+840 de la vía Hato- Palmar, Departamento de Santander.

$$T_{prom} = 21,62 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ilustración 4. Pisos Térmicos de Santander.



Fuente: Ministerio de Agricultura y desarrollo rural, Gobernación de Santander.

La ilustración anterior muestra que el sector se encuentra localizado en los pisos térmicos frío o templado, con temperaturas que oscilan entre 12 y 24 grados Celsius.

2.3.1 Clima y recurso hídrico:

Las fuertes olas invernales que se han venido presentando en Colombia desde octubre de 2010 han incrementado casi en un 60% las precipitaciones máximas anuales, con registros de hasta 3400 mm en promedio. Además este sector se encuentra dentro de los 98.230 Km² que comprende la cuenca del río Suárez, condiciones que afectan la humedad de la zona.

Ilustración 5. Clima y Recurso Hídrico de la zona en estudio.



Fuente: Google Earth.

2.4 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología es el estudio de las formas de la tierra, materiales y procesos que intervienen en el modelado del paisaje, se pueden identificar dos ramas importantes: morfodinámica y morfometría, las cuales se relacionan con los procesos que afectan el suelo.

Para la clasificación de unidades geomorfológicas se tiene en cuenta la “propuesta metodológica para el desarrollo de la cartografía geomorfológica para la zonificación geomecánica, instituto colombiano de geología y minería”.

2.4.1 Geformas Denudacionales

Corresponden a geoformas asociadas a desgaste de masa influenciadas por erosión lineal y procesos denudativos propios de las fuertes lluvias que se presentan en la zona.

2.4.1.1 Escarpe de Corona. Superficie que se desarrolla en la parte superior de los deslizamientos, se producen grietas, rasgaduras semiparalelas en la misma dirección en que se desplaza en bloque reptante.

Ilustración 6. Escarpe de Corona.



Fuente: Autores

2.4.1.2 Laderas Subhorizontales. Se caracteriza por presentar bajas pendientes y se desarrolla en suelos residuales.

Ilustración 7. Ladera Subhorizontal.



Fuente: Autores

2.4.1.3 Depósito de Ladera

Ilustración 8. Depósito de Ladera.



Fuente: Autores

Son depósitos relativamente cortos, con pendientes de suaves a moderadas, topografía ondulada y ligeramente disectados, generados en zonas con alta inestabilidad geológica, como zonas de falla y asociados a rocas lodolíticas.

2.5 TOPOGRAFÍA

Se ejecutó por medio de la Gobernación de Santander un levantamiento topográfico con curvas de nivel cada metro del lugar afectado, para detallar el relieve específico del talud.

Ilustración 9. Topografía. Panorámica desde el municipio de Palmar.



Fuente: Autores

El terreno se define como montañoso y eventualmente escarpado con pendientes medias a fuertes y cambios de nivel abruptos en algunas zonas. Sin embargo, la vía se desarrolla en ascenso hacia el municipio del ható, zona en la cual las características topográficas descritas disminuyen considerablemente.

3. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA

3.1 RECONOCIMIENTO DEL TERRENO

Inicialmente se realizó un recorrido por el sector donde se identificaron las características y posibles detonantes del problema de estabilidad y a su vez la estratificación de la ladera, la geología, las condiciones de humedad natural, la vegetación existente y los niveles de meteorización presentes en el área.

Ilustración 10. Evidencia de infiltración de agua en el coluvión.



Fuente: Autores

De manera general se encontró vegetación arbórea típica del sector, en donde se pudo apreciar claramente tallos inclinados. Por otra parte, en lugares específicos se detectó deforestación para uso de la agricultura y la ganadería. En cuanto a la rasante afectada por la zona inestable, se apreciaron deformaciones de tipo

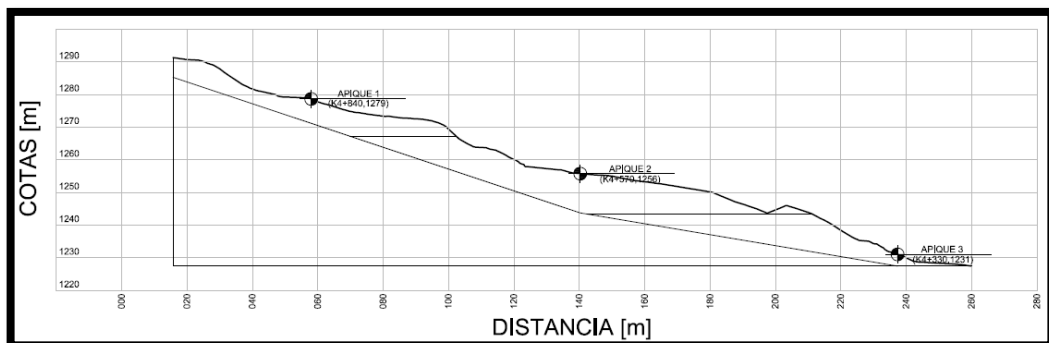
ondular de 0.5 hasta 1 m aproximadamente y a los costados, deslizamientos inducidos por la erosión que provoca el agua a través de la superficie del talud. También se encontraron bloques no descompuestos de roca lutita aflorando en la ladera, esta se encuentra meteorizada por efecto de la infiltración de la escorrentía. (Ver Ilustración 10)

3.2 ESTUDIOS REALIZADOS EN LA ZONA

3.2.1 Apiques

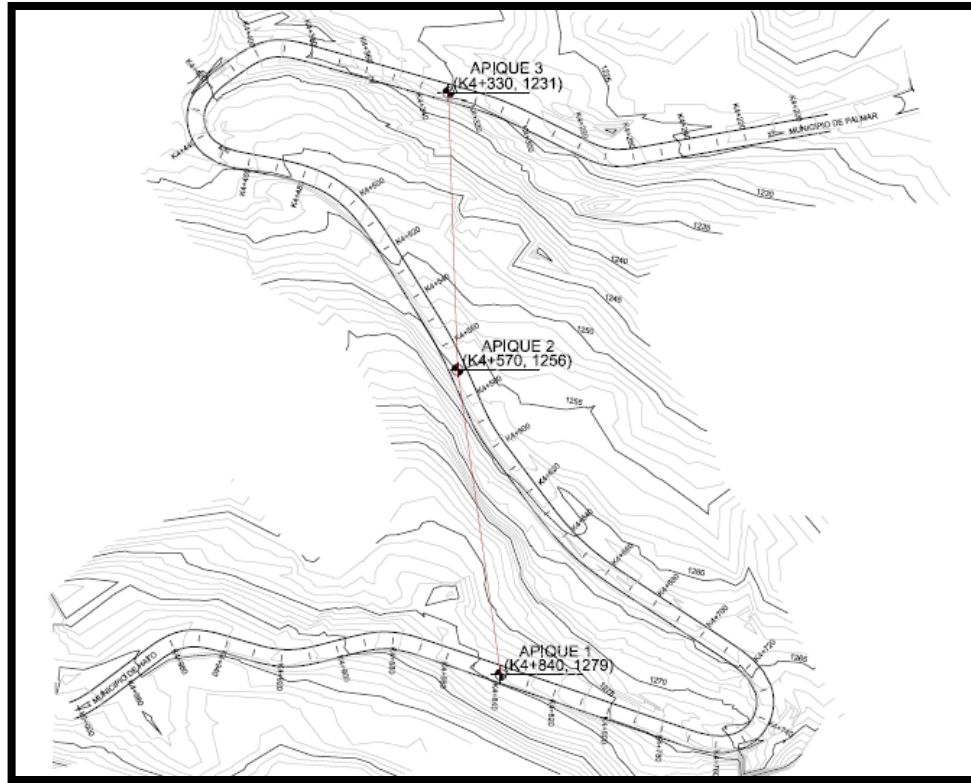
En el área en estudio se realizaron 3 apiques de 1 m de profundidad, ubicados estratégicamente en la corona, en el cuerpo y en el pie del talud (Ver ilustración 11), para así obtener una buena representación del material por el cual está compuesto. En cada uno de ellos se extrajeron 6 muestras inalteradas en tubos PVC de 12 cm forrándolos posteriormente con parafina para que su humedad y condiciones naturales no sufrieran grandes cambios. Adicionalmente se extrajeron también 10 kg de suelo suelto para realizar ensayos granulométricos y límites de Atterberg y de esta manera clasificar el suelo.

Ilustración 11. Perfil Localización de los apiques.



Fuente: Autores

Ilustración 12. Localización de los apiques.



Fuente: Informe preliminar diseño geométrico, Consorcio vial Hato-Palmar
Editado. Autores.

En el campo se clasificaron las muestras semi alteradas como M1, M2 Y M3 haciendo referencia al número del apique; y M1-A, M1-B, M2-C, entre otros, con el fin de identificar el número y el orden de extracción, para realizar posteriormente con cada una de ellas ensayos de Granulometría, Límites de Atterberg y Corte Directo Consolidado Drenado para tres estados distintos: conservando su humedad natural, saturada y compactada con porcentaje de humedad óptima.

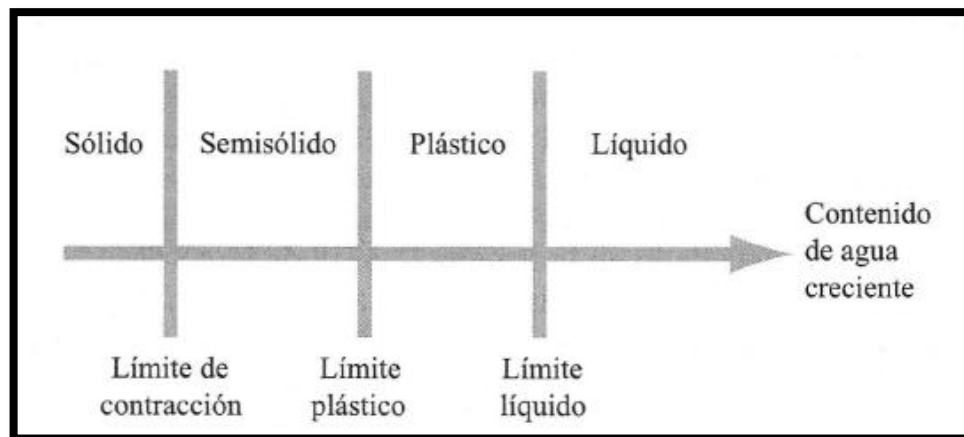
3.2.1.1 Granulometría y Límites de Atterberg. El ensayo granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas del suelo.⁴ Aporta valiosa información de las características predominantes de un

⁴ Invías, I.N.V.E-123-07, Instituto Nacional de Vías.

terreno para su futura clasificación, la cual permitirá diferenciar diversas clases de materiales independientemente de su naturaleza química. (Ver Anexo A)

A principios del año 1900 un científico sueco, Albert Mauritz Atterberg, desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos con contenidos de agua variables, a muy bajo contenido de agua, el suelo se comporta más como un sólido frágil. Cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido, por lo tanto dependiendo del contenido de agua, la naturaleza del suelo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos, denominados Sólido, Semisólido, Plástico y Líquido, como se muestra a continuación.⁵ (Ver Anexo B)

Ilustración 13.Limites de Atterberg



Fuente: Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

3.2.1.2 Ensayos de Resistencia al Cortante. El equipo consiste en una caja de corte metálica en la que se coloca el espécimen. Las muestras pueden ser cuadradas o circulares, la caja está cortada horizontalmente en dos partes. La fuerza normal sobre la muestra se aplica desde la parte superior de la caja de corte. El esfuerzo normal sobre los especímenes debe ser tan grande como

⁵ Das , Braja M. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2001

$1000 \text{ KN}/\text{m}^2$. La fuerza cortante es aplicada moviendo una mitad de la caja respecto de la otra para generar la falla en el prototipo de suelo.⁶ (Ver Anexo C)

3.2.2 Estudio Geoeléctrico

El método geoeléctrico o de resistividad fue ideado por el ingeniero francés Conrad Schlumberger, permite estudiar la constitución y posición de los sedimentos, rocas y agua subterránea. El método de resistividad eléctrica utiliza un arreglo de cuatro electrodos, de los cuales un par transmite una corriente eléctrica directa o alterna al terreno, mientras el otro par mide la potencia del campo eléctrico de la corriente que fluye por el terreno, estos sondeos generalmente, miden la resistencia de la corriente eléctrica a través de los materiales del suelo.⁷(Ver Anexo D)

Para el presente proyecto, el estudio geoeléctrico fue desarrollado por la firma “CARLOS MANUEL WANDURRAGA, ASESORÍA Y CONSULTORÍA GEOTECNICAS”, realizando tres sondeos eléctricos verticales (SEV) localizados así:

Tabla 1. Localización de los Sondeos Eléctricos Verticales

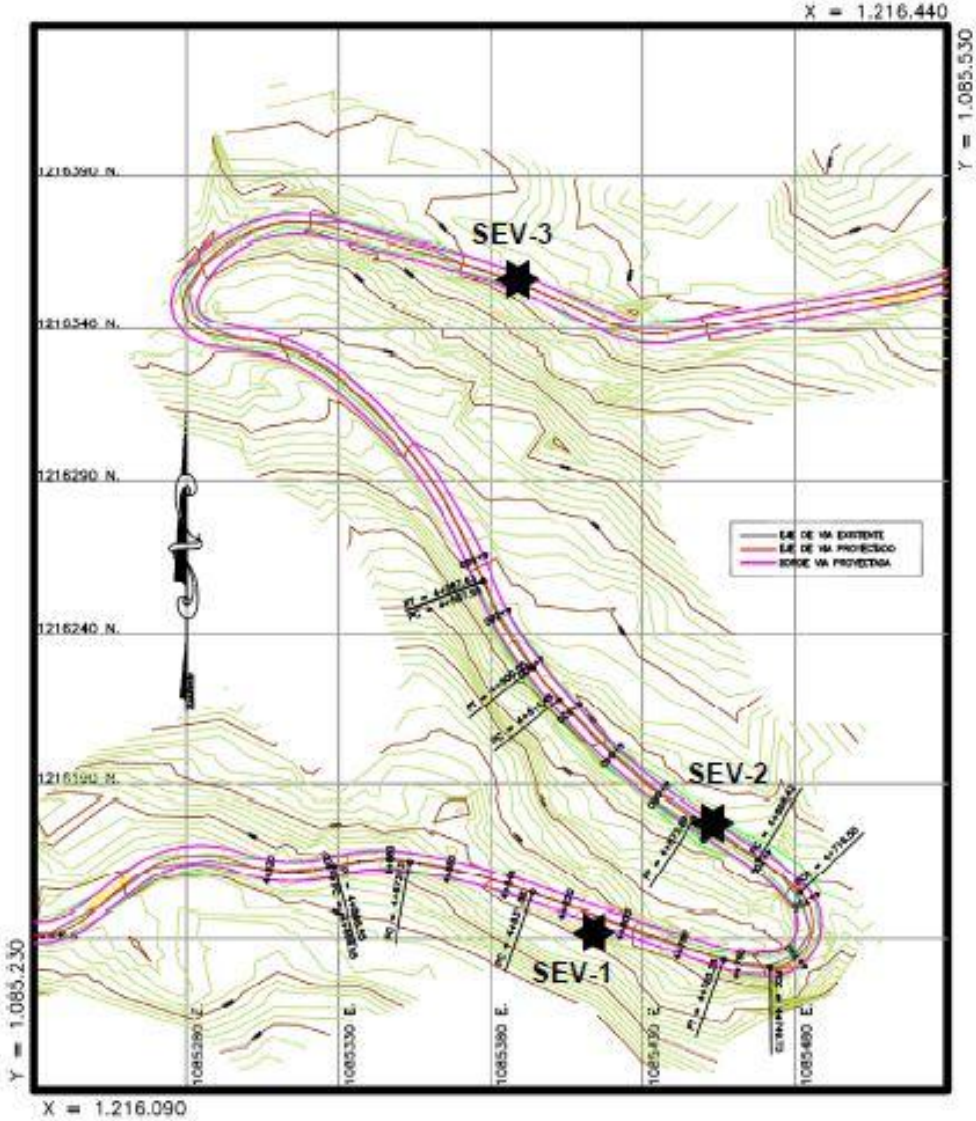
SONDEO	ABSCISA
SEV-1	K4+840
SEV-2	K4+680
SEV-3	K4+290

Fuente: Autores

⁶ Das , Braja M. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2001

⁷Suarez Díaz, Jaime. Deslizamientos 1, Análisis Geotécnico.

Ilustración 14. Localización de los sondeos eléctricos verticales.



Fuente: Estudio geoelectrico realizado para el sector de la inestabilidad.

4. RESULTADOS DE LABORATORIO

4.1 GRANULOMETRÍA Y LÍMITES DE ATTERBERG

Los ensayos se llevaron a cabo siguiendo los parámetros descritos en la normativa del Invías 2007. Norma E-123 para la gradación, norma E-125 para la determinación del límite líquido, y norma E-126 para límite plástico e índice de plasticidad.

La caracterización de las muestras se realizó mediante el sistema unificado de clasificación de suelo (SUCS). Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 2. Resumen. Resultados de Gradación y Límites Atterberg.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
% Gravas	2.40%	0.92%	3.29
% Arenas	18.83%	11.41%	18.31
% Finos	78.78%	87.66%	78.4
LL	32%	42%	42%
LP	23%	29%	25%
IP	9%	13%	17%
Clasificación	CL - ML	ML	CL
Descripción	Arcilla Limosa con algo de plasticidad	Limo Inorganico muy fino, con algo de arena fina	Arcilla de plasticidad media, con algo de grava y arena

Fuente: Autores

4.2 ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CORTANTE

Se ejecutaron ensayos de resistencia al corte en condiciones drenadas en muestras semi-alteradas siguiendo las normas E-154 del Instituto Nacional de Vías, INVIAS, y ASTM D3080 para determinar los parámetros de resistencia utilizados en el análisis de equilibrio límite. A continuación se presentan los resultados experimentales:

Tabla 3. Resumen. Resultados de Corte Directo, Humedad natural.

	Inalterado Normal (Humedad Natural)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Clasificación	CL - ML	ML	CL
H. Prom [%]	23	32	23
Y Prom [KN/m ³]	15.81	12.97	14.92
φ Pico [°]	15	20	21
C Pico [KPa]	69.2	53.5	55.6
σ [KPa]	114.28	114.28	114.28
φ Residual [°]	9	16	20
C Residual [KPa]	66.5	52.5	50.9
σ [KPa]	114.28	114.28	114.28
τ _{pico} [KPa]	99.8	95.1	99.5
τ _{residual} [KPa]	84.6	85.3	92.5

Fuente: Autores

Tabla 4. Resumen. Resultados de Corte Directo, inalterado saturado.

	Inalterado Saturado		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Clasificación	CL - ML	ML	CL
H. Prom [%]	29	36	32
Y Prom [KN/m ³]	21.3	17.2	22.5
φ Pico [°]	16	17	18
C Pico [KPa]	57.3	32.2	50.7
σ [KPa]	114.28	114.28	114.28
φ Residual [°]	18	21	18
C Residual [KPa]	42.6	10.8	40.8
σ [KPa]	114.28	114.28	114.28
τ _{pico} [KPa]	90.1	67.1	87.8
τ _{residual} [KPa]	79.7	54.7	77.9

Fuente: Autores

Tabla 5. Resumen. Resultados de Corte Directo, Alterado normal.

	Alterado Normal (Proctor)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Clasificación	CL - ML	ML	CL
H. Prom [%]	9	18	16
Y Prom [KN/m3]	15.8	14.1	15.4
ϕ Pico [°]	39	33	30
C Pico [KPa]	85.1	113.3	109.2
σ [KPa]	114.28	114.28	114.28
ϕ Residual [°]	38	33	38
C Residual [KPa]	56.6	63.9	50.5
σ [KPa]	114.28	114.28	114.28
τ pico [KPa]	177.6	187.5	175.2
τ residual [KPa]	145.9	138.1	139.8

Fuente: Autores

4.3 ESTUDIO GEOELÉCTRICO

En interpretaciones cuantitativas se debe distinguir entre interpretaciones puramente matemáticas e interpretaciones hidrogeológicas, es decir la interpretación de un levantamiento geoelectrico 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:⁸

- ❖ Profundidades, espesores y extensión de acuíferos, capas semipermeables e impermeables.
- ❖ Profundidad del basamento
- ❖ Calidad química de las aguas subterráneas
- ❖ Propiedades físicas de la roca.

⁸Estudio geoelectrico realizado para el sector de la inestabilidad presentada en el PR4+290 al PR4+840 de la via Hato- Palmar, Departamento de Santander.

Tabla 6. Interpretación de resultados SEV - 1

Sondeo Eléctrico Vertical SEV - 1			
Profundidad (m) Desde - Hasta	Unidad Geoeléctrica	Resistividad (Ohm - m)	Correlación Hidrogeológica
0.00 - 0.50	I	104	Suelo arcilloso con fragmentos arenosos
0.50 - 1.90	II	83	Deposito coluvial compuesto por fragmentos de lutitas y areniscas embebidos en una matriz arcillosa. Húmedo
1.90 - 6.30	III	35	Deposito coluvial compuesto por fragmentos de lutitas embebidos en una matriz arcillosa. Húmedo
6.30 - 17.90	IV	50	Lutitas altamente meteorizadas con presencia de lentes de areniscas y ocasionalmente calizas. Nivel fracturado con cierto grado de humedad. Formación Simití.
17.90 - 133.33	V	37	Lutitas meteorizadas. Nivel fracturado y con cierto grado de humedad. Formación Simití

Fuente: Estudio geoelectrico realizado para el sector de la inestabilidad.

Tabla 7. Interpretación de resultados SEV - 2

Sondeo Eléctrico Vertical SEV - 2			
Profundidad (m) Desde - Hasta	Unidad Geoeléctrica	Resistividad (Ohm - m)	Correlación Hidrogeológica
0.00 - 0.50	I	54	Material de Relleno de vía
0.50 - 1.70	II	41	Material de Relleno de vía
1.70 - 11.70	III	42	Deposito coluvial compuesto por fragmentos de lutitas embebidos en una matriz arcillosa. Húmedo
11.70 - 34.50	IV	51	Lutitas altamente meteorizadas con presencia de lentes de areniscas y ocasionalmente calizas. Nivel fracturado con cierto grado de humedad. Formación Simití.
34.50 - 133.33	V	39	Lutitas meteorizadas. Nivel fracturado y con cierto grado de humedad. Formación Simití

Fuente: Estudio geoelectrico realizado para el sector de la inestabilidad.

Tabla 8. Interpretación de resultados SEV - 3

Sondeo Eléctrico Vertical SEV - 3			
Profundidad (m) Desde - Hasta	Unidad Geoeléctrica	Resistividad (Ohm - m)	Correlación Hidrogeológica
0.00 - 0.90	I	85	Material de Relleno de vía
0.90 - 4.50	II	171	Lutitas altamente meteorizadas con presencia de lentes de areniscas y ocasionalmente calizas. Nivel fracturado. Formación Simití.
4.50 - 15.00	III	46	Lutitas altamente meteorizadas con presencia de lentes de areniscas y ocasionalmente calizas. Nivel fracturado con cierto grado de humedad. Formación Simití.
15.00 - 48.50	IV	29	Lutitas meteorizadas. Nivel fracturado y con cierto grado de humedad. Formación Simití
48.50 - 133.33	V	49	Lutitas altamente meteorizadas con presencia de lentes de areniscas y ocasionalmente calizas. Nivel fracturado con cierto grado de humedad. Formación Simití.

Fuente: Estudio geoelectrico realizado para el sector de la inestabilidad.

4.3.1 Observaciones Sondeos Eléctricos Verticales

La presente sección Geoeléctrica se caracteriza por presentar un depósito coluvial compuesto por fragmentos de lutitas y areniscas embebidos en una matriz arcillosa y suprayace a un basamento cretácico conformado por lutitas, lentes de areniscas y ocasionalmente calizas correlacionables con la Formación Simití.

La información de resistividad da la evidencia de una posible humedad en las unidades geoelectricas III, IV y V⁹

Finalmente se presenta a continuación un resumen Geológico-Geotécnico de la investigación Geoeléctrica realizada para los sitios donde se ejecutaron los Sondeos Eléctricos Verticales y a su vez el perfil obtenido de la investigación:

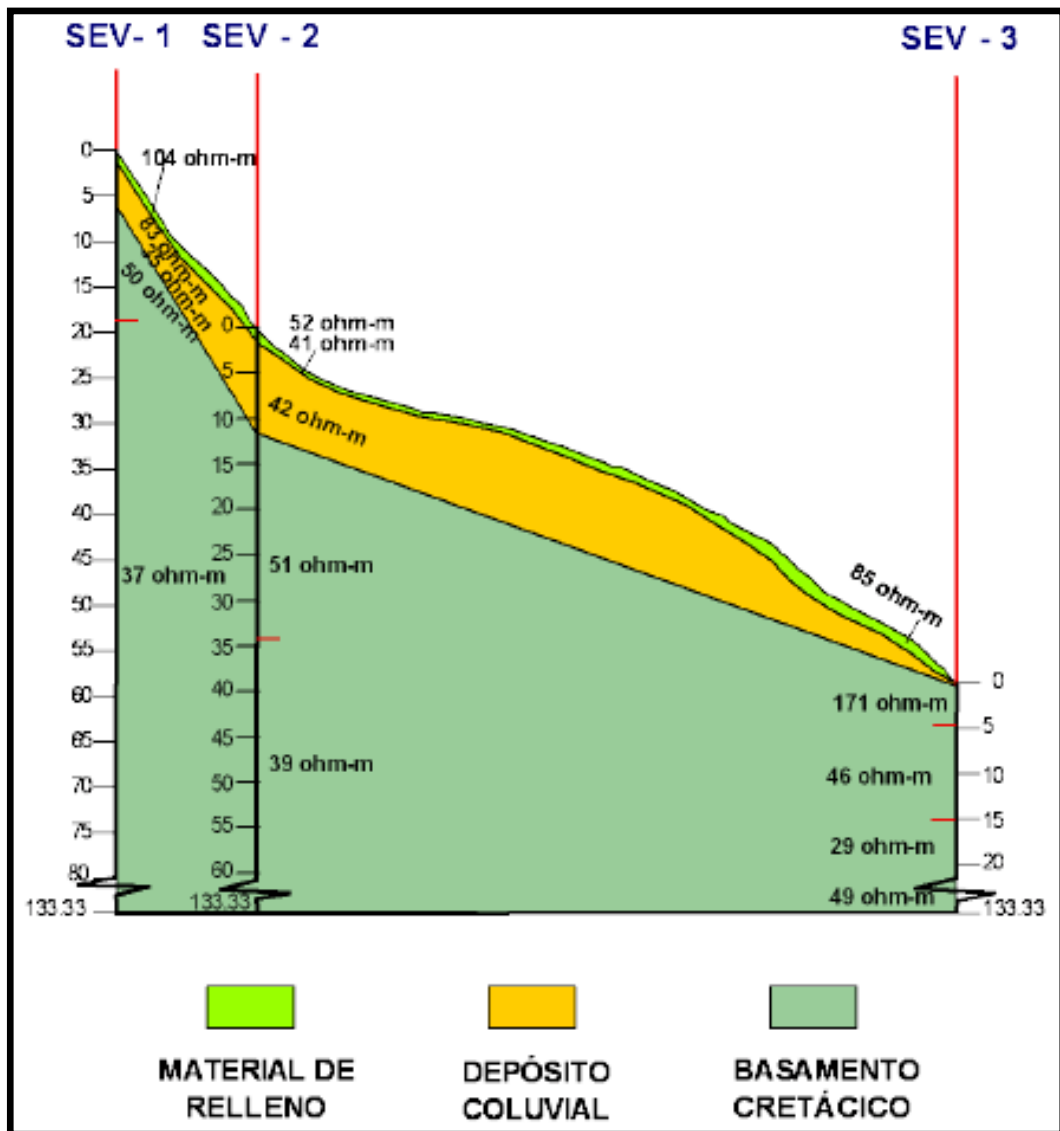
⁹Estudio geoelectrico realizado para el sector de la inestabilidad presentada en el PR4+290 al PR4+840 de la via Hato- Palmar, Departamento de Santander.

Tabla 9. Estratificación de los Sondeos Eléctricos Verticales

SITIO SONDEO	SUELO (m) Desde...Hasta	SUELO RESIDUAL (m) Desde... Hasta	COLUVION (m) Desde...Hasta	BASAMENTO(m) apartir de:
SEV-1	0.00-0.50	--	0.50-6.30	6.30
SEV-2	0.00-1.70	--	1.70-11.70	11.70
SEV-3	0.00-0.90	--	--	0.90

Fuente: Estudio geoelectrico realizado para el sector de la inestabilidad.

Ilustración 15. Perfil Geoelectrico



Fuente: Estudio geoelectrico realizado para el sector de la inestabilidad.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO

En este capítulo se resume el análisis de los resultados obtenidos en la sección anterior para definir las propiedades mecánicas de diseño del talud que se aplicarán en el modelamiento de las características geotécnicas.

5.1 REGLA DE LAS 3σ

Comúnmente en los estudios geotécnicos los valores de las propiedades de los suelos son calculados tomando como base correlaciones o datos de juicio poco confiables y no es posible calcular datos de desviación estándar o coeficientes de desviación. Estos últimos son indispensables para la seguridad del modelo y del análisis, para lo cual se hace necesario que los datos sean estimados utilizando la experiencia y el criterio del ingeniero. Existe un método que ayuda a precisarlos, llamado la regla de las 3σ , (Ver Anexo E), la cual fue descrita por Dai y Wang en 1992, esta utiliza el hecho de que el 99.73% de todos los valores de una distribución normal caen dentro de 3 desviaciones estándar en promedio, por lo tanto si HCV es el valor más alto y LCV el valor más bajo estos tienen aproximadamente 3 desviaciones estándar y la regla puede ser utilizada así:

$$\sigma = \frac{HCV - LCV}{4}$$

La experiencia del ingeniero tiene un papel importante en este método, ya que es su criterio el que permite definir los datos a utilizar, sin embargo hay que tener cuidado con los resultados que este pueda arrojar sabiendo que es un proceso de estimación matemática. Christian y Baecher (2001) exponen que los ingenieros

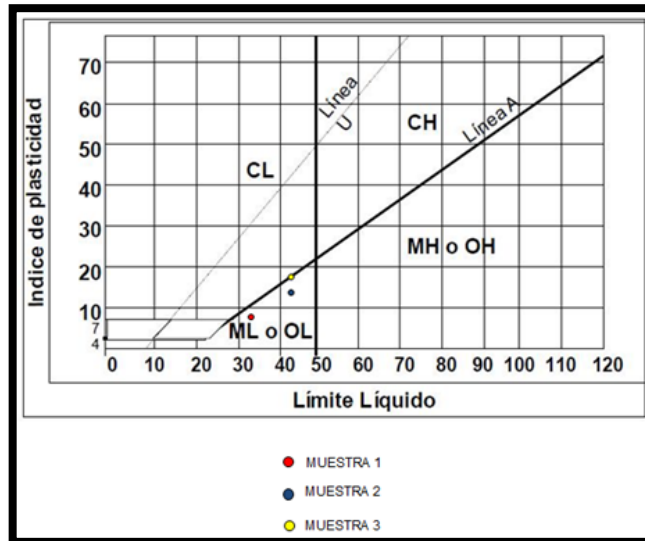
tienden a ser muy confiados con su habilidad de estimar valores y por lo tanto precisan posibles rangos de valores que están muy cerca de los rangos actuales. Si el rango entre el valor más alto concebido (HCV) y el valor más bajo (LCV) es muy pequeño, los valores de los coeficientes de variación considerados por medio de la regla de las 3σ , también serán muy pequeños, introduciendo así una tendencia poco conservativa en la confiabilidad del análisis.¹⁰

5.2 ESTRATO 1: SUPERFICIE HOMOGÉNEA

De los ensayos que se realizaron a las muestras extraídas en los apiques a lo largo de la superficie del talud, se puede observar que la gradación y los límites líquido y plástico de los tres ejemplares (Ver tabla 2), arrojan valores muy similares y que la clasificación diverge por pocos puntos en la carta de plasticidad, estando todos cercanos a la línea A (Línea A=0.73 x (LL-20))y un rango de limite liquido de 10 puntos (Ver ilustración 16).Esto puede significar que por lo menos en una capa superficial del talud las propiedades del suelo en toda su extensión serían las mismas; asumiendo este criterio se definen los parámetros de resistencia para el primer estrato.

¹⁰Duncan, J. Michael y Wright, Stephen G, Soil Strength and Slope Stability, Ed 1, 2005.

Ilustración 16. Ubicación en la Carta de Plasticidad de Casa Grande de las propiedades del suelo



Fuente: Autores

Con base en el criterio y el método de correlación de las 3σ expuestos anteriormente se calculó los parámetros de resistencia a partir de los resultados del ensayo de corte directo en las muestras inalteradas y humedad natural. (Ver tabla 11) Para el primer estrato de suelo el procedimiento realizado se muestra a continuación:

Tabla 10. Valores pico y residual para el estado de Humedad Natural.

Valores Pico y Residual para el estado Humedad Natural				
	ϕ Pico [°]	C Pico [KPa]	ϕ Residual [°]	C Residual [KPa]
Muestra 1	15	69.2	9	66.5
Muestra 2	20	53.5	16	52.5
Muestra 3	21	55.6	20	50.8

Fuente: Autores

$$HCV = 66.5 \text{ [KPa]}$$

$$LCV = 50.8 \text{ [KPa]}$$

$$\sigma = \frac{HCV - LCV}{4} = \frac{66.5 - 50.8}{4} = 3.92$$

$$\bar{m} = \frac{66.5 + 52.5 + 56.6}{3} = 56.6$$

$$C_D = 56.6 - 3.92 = 52.6 \text{ [KPa]}$$

$$HCV = 20 [^\circ]$$

$$LCV = 9 [^\circ]$$

$$\sigma = \frac{HCV - LCV}{4} = \frac{20 - 9}{4} = 2.75$$

$$\bar{m} = \frac{20 + 16 + 9}{3} = 15$$

$$\Phi_D = 15 - 2.75 = 12.25 \text{ [KPa]}$$

$$HCV = 15.81 \text{ [KN/m}^3\text{]}$$

$$LCV = 12.97 \text{ [KN/m}^3\text{]}$$

$$\sigma = \frac{HCV - LCV}{4} = \frac{15.81 - 12.97}{4} = 0.71$$

$$\bar{m} = \frac{14.92 + 15.81 + 12.97}{3} = 14.56$$

$$\Gamma_D = 14.56 - 0.71 = 13.8 \text{ [KN/m}^3\text{]}$$

5.3 ESTRATO 2: DEPÓSITO COLUVIAL

El depósito coluvial se clasifica como un estrato heterogéneo, con fragmentos de lutitas no descompuestas, en matriz arcillosa y con alto contenido de arenas, lo cual hace difícil la obtención certera y precisa de los parámetros de diseño.

El estudio geoelectrico en sus mediciones de resistividad muestra que sus valores descienden a razón de la profundidad, evidenciando la alta infiltración de la escorrentía y la saturación del terreno a nivel de la interfaz con el basamento. Simultáneamente en este estrato se esperan valores de cohesión bajos, originados por la presencia de arenas, material no cohesivo y puramente friccionante.

En consecuencia los parámetros de resistencia se asignarán de acuerdo con los resultados de los ensayos de laboratorio para el estado inalterado saturado (Ver tabla 12) de las tres muestras aplicando nuevamente el método de las 3σ .

Tabla 11. Valores Pico Residual para el estado Inalterado Saturado.

Valores Pico y Residual para el estado Inalterado Saturado				
	ϕ Pico [°]	C Pico [KPa]	ϕ Residual [°]	C Residual [KPa]
Muestra 1	16	57.3	18	42.6
Muestra 2	17	32.2	21	10.8
Muestra 3	18	50.7	18	40.8

Fuente: Autores

5.4 ESTRATO 3: BASAMENTO CRETÁCICO

Este estrato estaría conformado por rocas sedimentarias marinas del Cretáceo medio a superior, compuestas por lutitas grises oscuras a amarillentas alternando con lentes de areniscas y ocasionalmente de calizas relacionadas con la Formación Simití.

A medida que se profundiza en el terreno el nivel de meteorización iría disminuyendo hasta encontrar roca sana. Con el fin de simular estas condiciones en el estrato base, y teniendo en cuenta que el material hallado en la superficie es producto de la transformación durante años de la roca madre, se tomarán los

resultados de resistencia al corte realizados a las muestras alteradas con grado de compactación y humedad óptima. (Ver Tabla 13)

Tabla 12. Valores Pico y Residual para el estado Alterado Normal.

Valores Pico y Residual para el estado Alterado Normal (Proctor)				
	ϕ Pico [°]	C Pico [KPa]	ϕ Residual [°]	C Residual [KPa]
Muestra 1	39	85.1	38	56.6
Muestra 2	33	113.3	33	53.9
Muestra 3	30	109.2	38	50.5

Fuente: Autores

5.5 PARÁMETROS DE DISEÑO

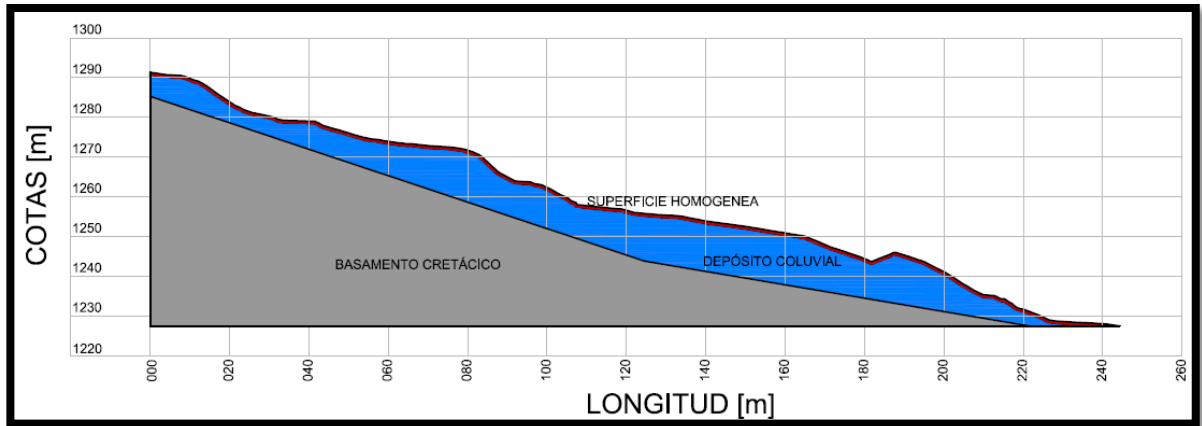
Como resultado de la interpretación expuesta anteriormente los valores de diseño iniciales para el modelamiento del talud se resumen a continuación

Tabla 13. Parámetros de diseño preliminar

PARAMETROS DE DISEÑO				
ESTRATO	DESCRIPCIÓN	γ	C	ϕ
1	Superficie Homogenea	13.80 KN/m3	52.60 KPa	12°
2	Depósito Coluvial	19.12 KN/m3	23.00 KPa	18°
3	Basamento Cretácico	14.80 KN/m3	95.40 KPa	35°

Fuente: Autores

Ilustración 17. Perfil Geotécnico del talud



Fuente: Autores

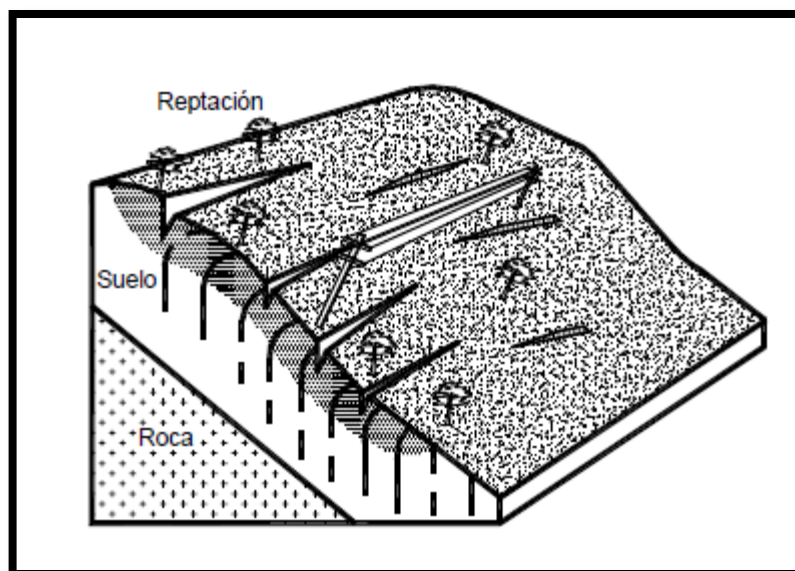
5.6 DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Se identifica una posible reptación o un deslizamiento traslacional. Este tipo de falla consiste en movimientos del suelo subsuperficial desde muy lentos a extremadamente lentos, usualmente sin una superficie definida de falla. La profundidad del movimiento puede ser desde pocos centímetros hasta varios metros. Generalmente, el desplazamiento horizontal es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno.

La reptación puede preceder a movimientos más rápidos como los flujos o deslizamientos traslacionales. Comúnmente ocurre en laderas con pendiente baja a media. Se le atribuye a las alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de humedecimiento y secado en los suelos, usualmente arcillosos, muy blandos o alterados, con características expansivas.¹¹

¹¹ Suarez Díaz, Jaime. Deslizamientos 1, Análisis Geotécnico.

Ilustración 18. Reptación



Fuente: Deslizamientos 1, Suarez Diaz, Jaime.

Los procesos de expansión y contracción afectan la reptación, pero no son un requisito para que ocurra. La evidencia de reptación consiste en la inclinación de postes y cercas y/o la inclinación o curvatura de los troncos de los árboles y arbustos.

La reptación de formaciones de roca consiste en movimientos extremadamente lentos, no acelerados, diferenciales, dentro de unidades relativamente intactas, en forma similar a un volcamiento a flexión en bloque, los movimientos pueden ser a lo largo de la superficie de cortante que aparentemente no se encuentran conectadas.

Ilustración 19. Evidencia de reptación en campo.

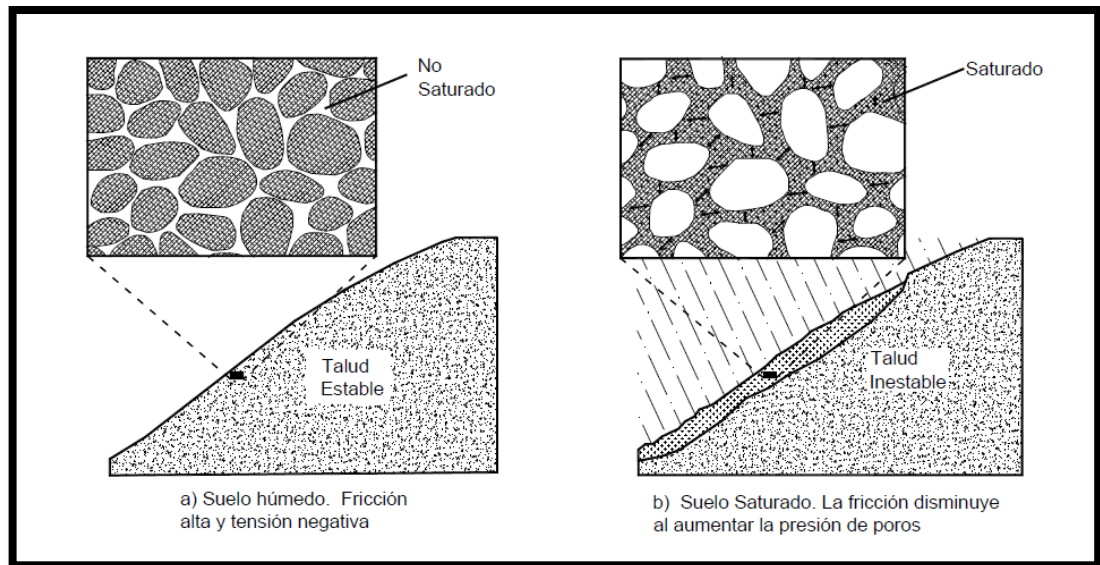


Fuente: Autores

Con base en la teoría preliminar y en el análisis de resultados de laboratorio se puede obtener una idea general de lo que está ocurriendo en el área.

La infiltración de agua en el depósito coluvial hasta la interfaz con la roca madre compuesta por Lutitas impermeables, genera un material viscoso que disminuye la resistencia entre los dos estratos. Por otro lado, la presencia de arenas en el coluvión influye considerablemente en su resistencia, ya que estos suelos trabajan principalmente por fricción, que al saturarse, genera aumento en la presión de poros separando las partículas que lo conforman.

Ilustración 20. Aumento de la presión de poros en el suelo.



Fuente: Deslizamientos 1, Suarez Diaz, Jaime

6. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Existen muchas formas para llevar a cabo un análisis de estabilidad de taludes, algunas de ellas son; Tablas o ábacos, análisis gráficos, cálculos manuales, hojas de cálculo y usos de Software avanzados.

Para el estudio se utilizó el software SLOPE/W del paquete GEOSTUDIO 2007 que modela los deslizamientos de taludes relativamente complejos basado en la teoría del equilibrio límite (expuesta a continuación), generando factores de seguridad en condiciones estáticas y pseudo-estáticas.

6.1 MÉTODO GENERALIZADO DE EQUILIBRIO LÍMITE:

Un análisis de esta naturaleza permite obtener un factor de seguridad por medio de un retro análisis basándose en parámetros de fácil obtención como el ángulo de fricción, la cohesión y el peso específico, así como también los valores de resistencia al cortante en el momento de la falla. Este análisis consiste en comprobar si existe suficiente resistencia en los estratos de suelo que conforman el talud para tolerar los esfuerzos que pueden llegar a desarrollar un deslizamiento o inestabilidad utilizando la teoría de Morh-Coulomb.

La teoría del equilibrio límite comúnmente compara las fuerzas o momentos actuantes sobre una determinada superficie de falla. La formulación general del método del límite de equilibrio está basada en dos ecuaciones de factores de seguridad y permite un rango de condiciones de cortante en la superficie de falla – fuerza normal, una ecuación da el factor de seguridad respecto al momento de equilibrio (Fm), mientras que la otra ecuación da el factor de seguridad de la

fuerza horizontal de equilibrio (Ff). La idea de usar dos factores de seguridad fue inicialmente planteada por Spencer (1967).¹²

Las fuerzas cortantes en la superficie de falla en el Método de Equilibrio Limite, son calculadas por la ecuación propuesta por Morgenstern and Price (1965). La ecuación es:

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

Donde;

$f(x)$ = Función.

λ = El porcentaje (en forma decimal) de la función usada.

E = Fuerza Normal en la superficie de falla.

X = Fuerza cortante en la superficie de falla.

6.2 FACTOR DE SEGURIDAD

El factor de seguridad se presentó como la relación entre la resistencia al corte real calculado con el material que compone el talud y los demás esfuerzos de corte crítico que tratan de producir la falla a lo largo de una superficie hipotética:

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

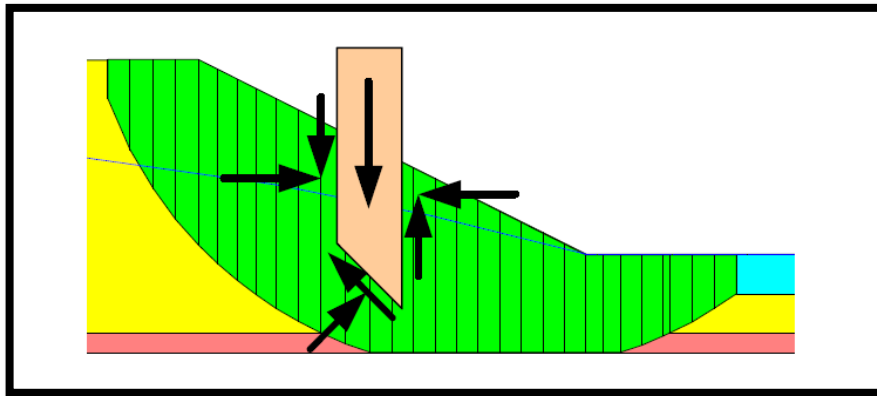
En las superficies circulares donde existe un centro de giro se calcula así:

¹²Stability Modeling with SLOPE/W, GeoSlope international Ltd, 2008

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

La mayoría de los sistemas de análisis asumen un criterio de equilibrio límite donde el criterio de falla de coulomb es satisfecho a lo largo de una determinada superficie. Se estudia un cuerpo libre en equilibrio, partiendo de las fuerzas actuantes y las fuerzas resistentes que se requieren para producir el equilibrio.¹³

Ilustración 21. Diagrama de cuerpo libre de una dovela.



Fuente: Stability Modeling with Slope/W 2007

¹³Suarez Díaz, Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales.

7. VALIDACIÓN DEL MODELO GEOTÉCNICO

Cuando un talud falla por deslizamiento, el retro cálculo o Back Analysis puede ser un recurso de información de las condiciones del mismo en el momento de la falla y también una oportunidad de validar los métodos de estabilización que se piensan proponer. Como se ha comentado en capítulos anteriores, las investigaciones realizadas en la zona demuestran que se está presentando una falla de tipo reptante, lo cual sugiere que en el análisis de Equilibrio Limite el factor de seguridad a obtener debe ser aproximado a la unidad.

Establecidos el perfil y los parámetros de diseño del talud se ajustará en el software SLOPE/W del paquete GEOSTUDIO 2007, las condiciones de inestabilidad observadas en campo.

En el estudio geoelectrico se evidencia un alto contenido de humedad en la interfaz de estratos, y a su vez se muestra que a profundidades cercanas al depósito coluvial y al nacimiento del basamento cretácico, existe alto contenido de arenas. Estas características comprometen la resistencia al esfuerzo cortante ideal para la estabilidad de la zona.

Teniendo en cuenta que las arcillas inorgánicas y los limos, son suelos de grano fino cuya resistencia depende principalmente de la cohesión entre partículas y que en las arenas obedece al grado de compactación y el ángulo de fricción interna, se variaran los parámetros de resistencia del depósito coluvial de tres formas distintas:

- Ángulo de fricción constante – Cohesión variable.
- Cohesión constante – Ángulo de fricción variable.

- Cohesión y ángulo de fricción variables.

7.1 ANÁLISIS PRELIMINAR

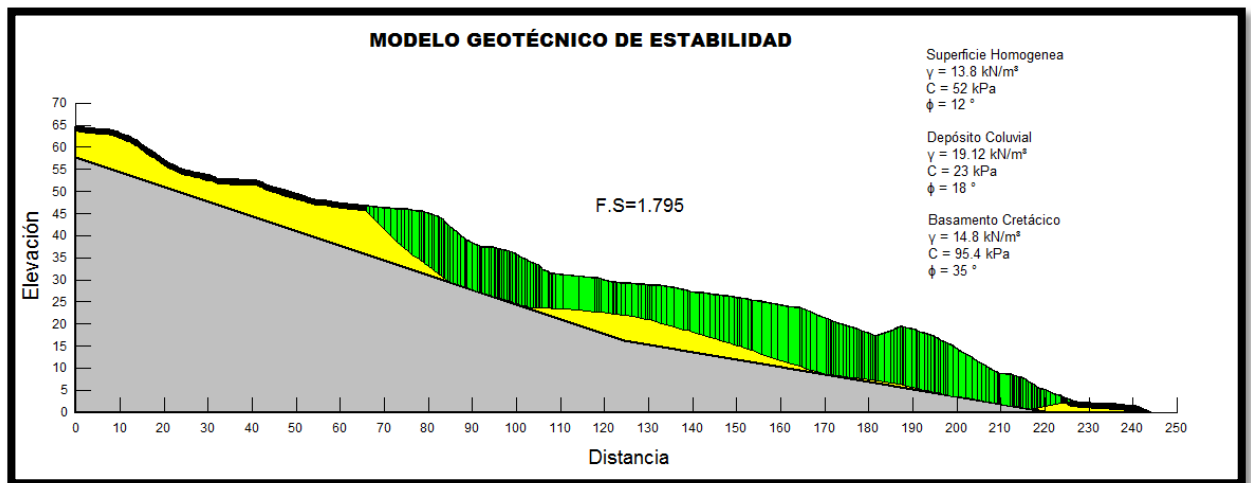
En esta sección se ajusta el talud con los parámetros de diseño mostrados en la tabla 14. Ejecutando el modelo en el contexto Estático, se obtienen los siguientes resultados.

FS = 1.739 JANBU

FS= 1.795 SPENCER

FS= 1,932 BISHOP

Ilustración 22: Modelo Estático Preliminar



Fuente: Autores

El modelo preliminar se aleja de la realidad con un factor de seguridad mayor que 1, y a pesar de que la superficie de falla es consecuente se hace necesaria su calibración.

Al ejecutar el retro cálculo se espera obtener características representativas y el hallazgo de un modelo óptimo.

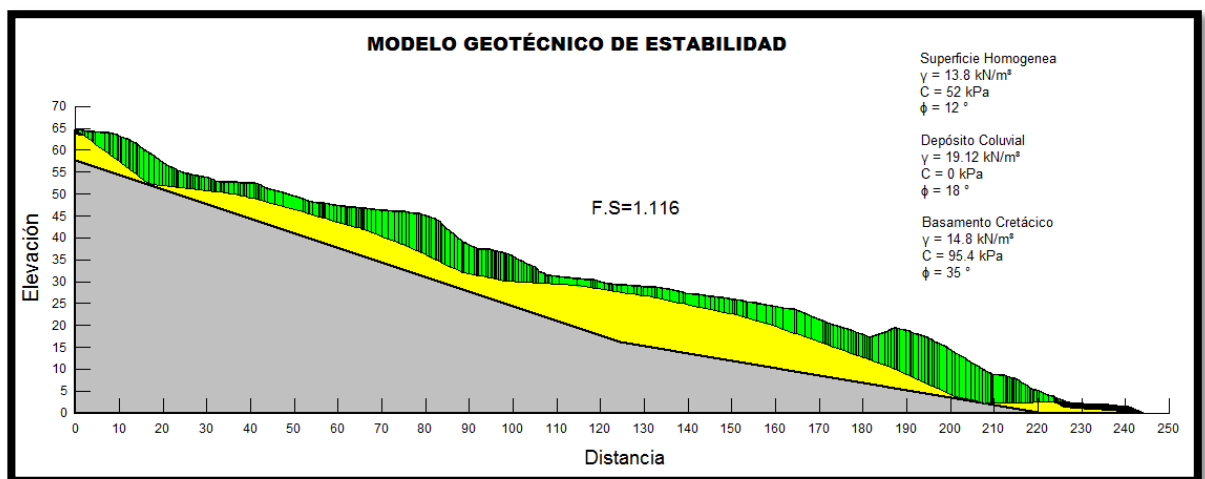
7.1.1 Criterio 1: Ángulo de Fricción Constante – Cohesión Variable.

Tabla 14. Factores de seguridad con Ángulo de fricción constante – cohesión variable.

Φ°	COHESION [Kpa]	FS (Spencer)	FS (Janbu)
18	23	1,795	1,739
	19	1,700	1,648
	15	1,603	1,552
	11	1,502	1,453
	7	1,434	1,394
	3	1,275	1,250
	0	1,116	1,090

Fuente: Autores

Ilustración 23. Modelo estático calibrado para Ángulo de fricción constante – cohesión variable



Fuente: Autores

Se observa que a medida que la cohesión disminuye en el depósito coluvial, el factor de seguridad tiene la misma tendencia acercándose a la unidad, sin embargo la superficie de falla asciende considerablemente, alejándose de la hipótesis planteada.

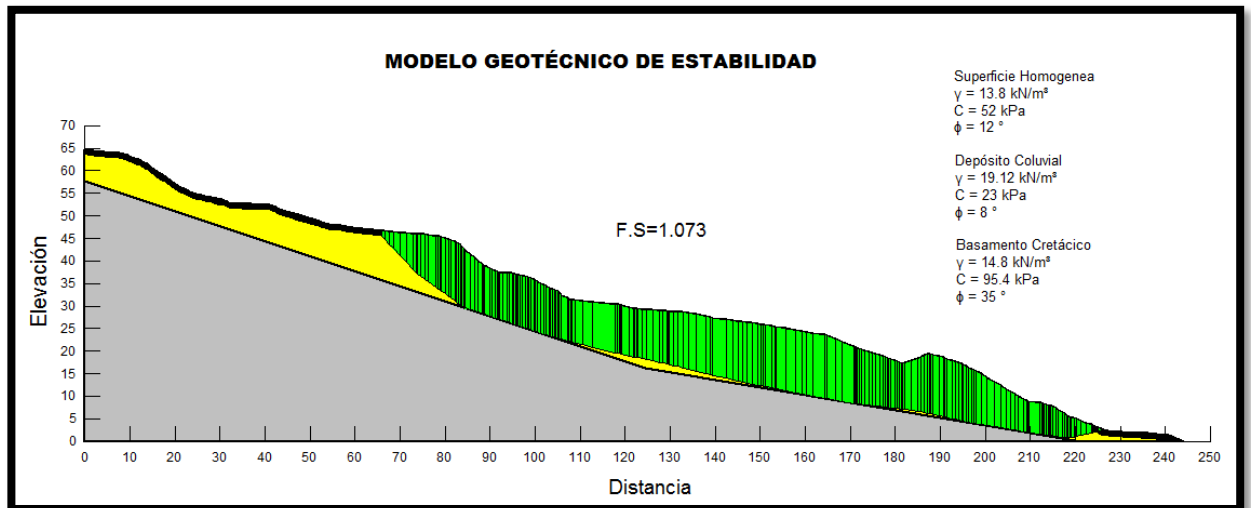
7.1.2 Criterio 2: Cohesión Constante – Ángulo de Fricción Variable.

Tabla 15. Factores de seguridad con cohesión constante – Angulo de fricción variable

COHESION [Kpa]	Φ°	FS (Spencer)	FS (Janbu)
23	18	1,795	1,739
	16	1,647	1,598
	14	1,504	1,459
	12	1,358	1,321
	10	1,215	1,184
	8	1,073	1,047

Fuente: Autores

Ilustración 24. Modelo estático calibrado para cohesión constante – Angulo de fricción variable.



Fuente: Autores

En este criterio, se hallan unas condiciones más apropiadas donde el sistema se encuentra en el estado límite de equilibrio y la superficie de falla cruza precisamente por la interfaz entre el depósito coluvial y el basamento, afianzando la hipótesis de la generación de un material viscoso que produce la reptación entre los dos estratos.

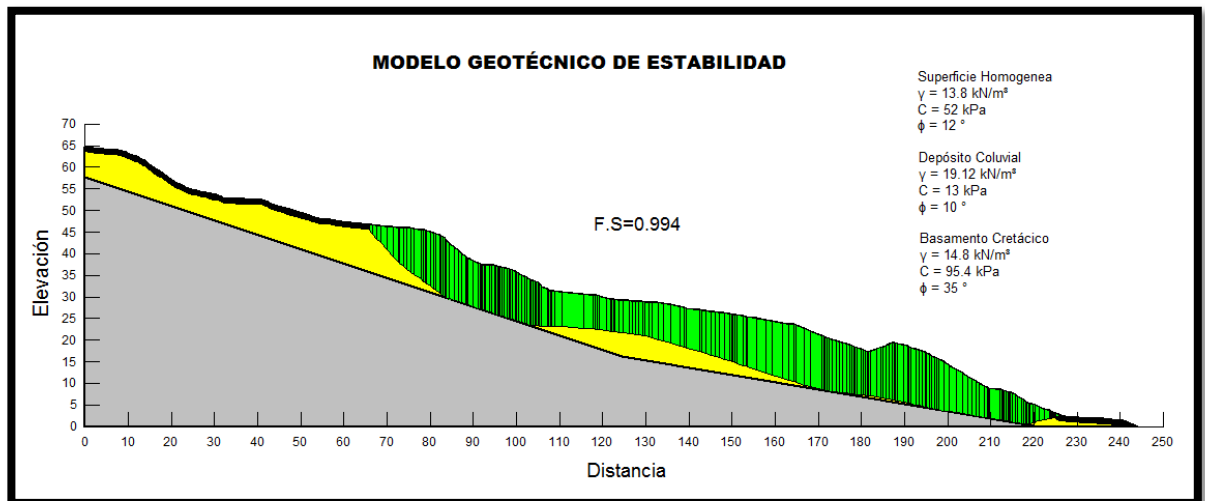
7.1.3 Criterio 3: Cohesión y Ángulo de Fricción Variable.

Tabla 16. Factores de seguridad con cohesión y ángulo de fricción variable

Φ°	COHESION [Kpa]	FS (Spencer)	FS (Janbu)
18	23	1,795	1,739
17	21	1,675	1,623
15	19	1,484	1,439
13	17	1,296	1,258
11	15	1,108	1,076
10	13	0,994	0,964

Fuente: Autores

Ilustración 25. Modelo estático calibrado para cohesión y Ángulo de fricción variable.



Fuente: Autores

Al igual que en el segundo criterio se obtienen condiciones afines con las vistas en campo, sin embargo este último criterio sería el elegido como resultado del retro análisis, ya que es de esperar que los parámetros de resistencia varíen conjuntamente y no por separado por efectos de la infiltración del agua en el terreno.

Con el modelo calibrado en el régimen estático, se realiza un análisis adicional con factores detonantes que permita conocer el incremento del riesgo en la zona.

8. ESTUDIO DE LAS CARGAS SOBRE IMPUESTAS AL TERRENO

El talud analizado involucra sobre su superficie 580 metros lineales de vía de 6 metros de banca que se construirá en pavimento flexible con carpeta asfáltica de 7cm de espesor, una base y subbase de 50cm aproximadamente. Adicionalmente el tránsito representativo esperado en la zona correspondería a camiones con ejes de transmisión simple y doble.

Se pretende a través del conocimiento de las propiedades físicas de los materiales estimar un valor aproximado de las cargas sobreimpuestas al talud producto de la construcción de la infraestructura.

8.1 ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Las densidades de los materiales que conforman el pavimento varían según el nivel de servicio de la estructura, el tránsito que se espera circule sobre ella y la capacidad de soporte de la subrasante. Como el alcance de este proyecto no abarca el conocimiento ni el estudio de la calidad de materiales a utilizar en la pavimentación, se asumirá para todas sus capas una densidad aproximada a la del concreto asfáltico igual a 23 KN/m³.

Para la aplicación de esta carga sobre el talud, el software solicita como dato de entrada carga por unidad de volumen, introduciendo para este valor la densidad supuesta para el pavimento sobre 6 metros que representa la dimensión promedio de la banca en toda la extensión de la vía, asignándolo en tres puntos del perfil del talud.

8.2 TRÁNSITO SOPORTADO

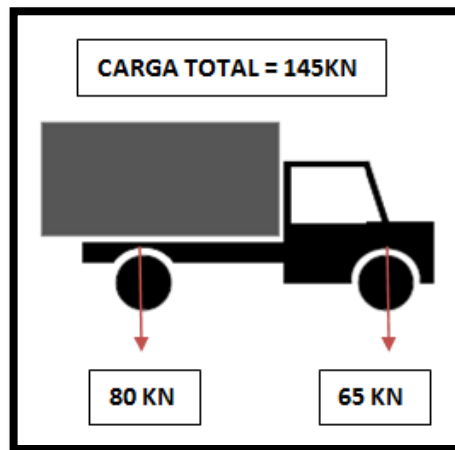
Para la simulación del tránsito soportado, se asignarán tres cargas puntuales sobre la longitud del talud equivalentes al peso de los ejes traccional de rueda doble y direccional de un camión tipo C-2. Las cargas de referencia para el diseño de pavimentos según el instituto nacional de vías (INVIAS) son:

Tabla 17. Cargas de Referencia.

Tipo de Eje	Carga de Referencia	
	KN	Ton
Eje sencillo de rueda simple	65	6.6
Eje sencillo de rueda doble	80	8.2
Eje tándem de rueda doble	146	15
Eje triple de rueda doble	225	23

Fuente: INVIAS, 2007.

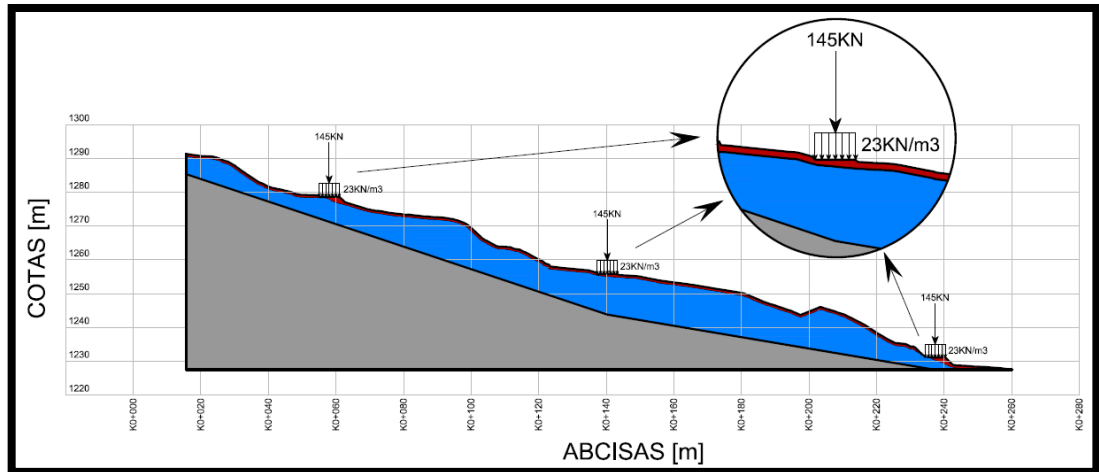
Ilustración 26. Cargas de referencia para un camión tipo C-2



Fuente: Autores.

Como resultado de la aplicación de las cargas sobre el talud, se obtiene el siguiente modelo:

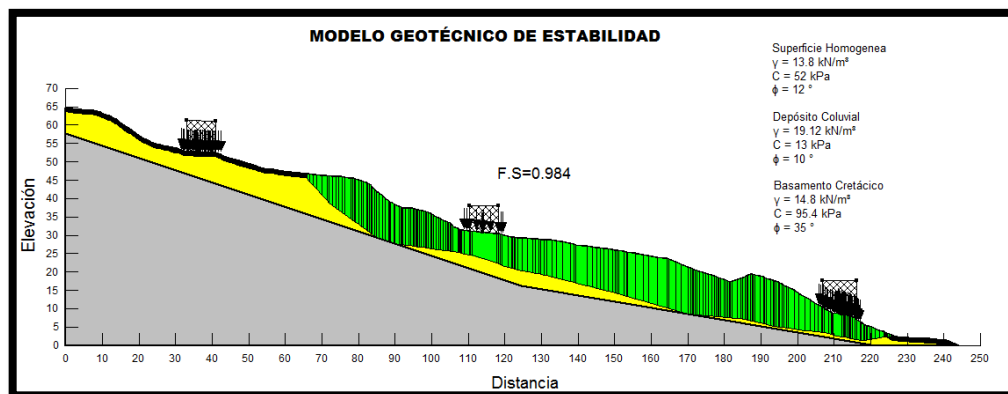
Ilustración 27. Cargas de la infraestructura vial sobre el perfil.



Fuente: Autores.

Al ejecutar el análisis en el programa, vemos que las cargas derivadas de la pavimentación de la vía, desfavorecen la estabilidad de la zona, sin embargo su incidencia no es muy representativa. Es importante reconocer que el estimativo de las cargas puede alejarse de la realidad debido a su grado de aproximación teniendo en cuenta únicamente cargas estáticas y no dinámicas como realmente sería el escenario ante el flujo de tránsito.

Ilustración 28. Superficie de falla y factor de seguridad con incidencia de la sobrecarga del talud.



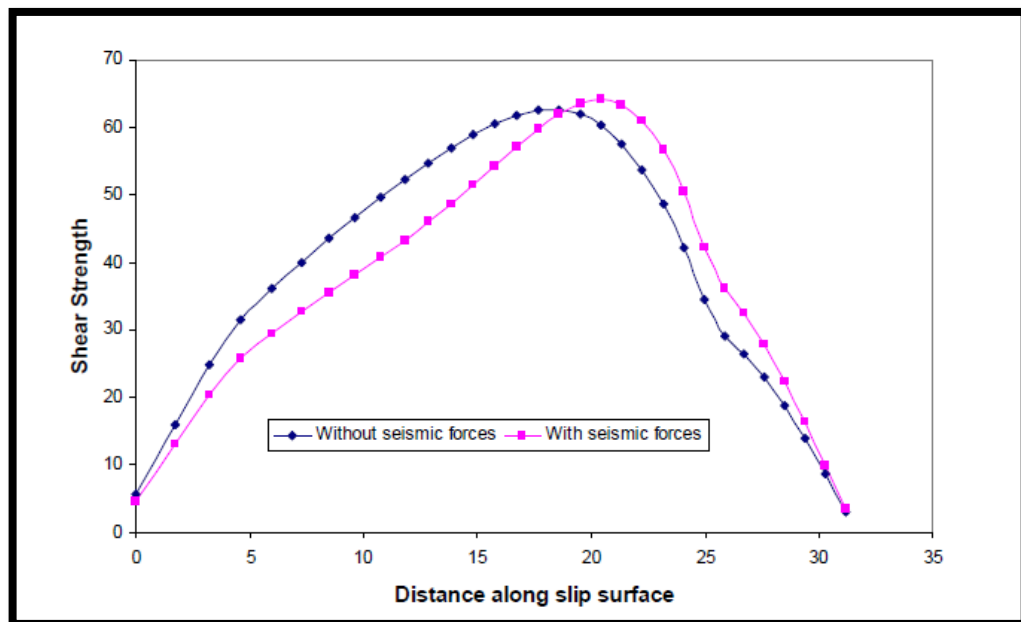
Fuente: Autores

9. SISMICIDAD Y ESTABILIDAD DINÁMICA

Usualmente las fuerzas sísmicas son, oscilatorias y multidireccionales, y actúan solamente en momentos específicos. A pesar de esta respuesta tan compleja, las fuerzas estáticas son en ocasiones utilizadas para representar las cargas dinámicas. Una consideración importante es que el talud puede no colapsar durante el sismo, pero habrá deformaciones permanentes inaceptables.

Comparando el esfuerzo cortante a lo largo de la superficie de falla con y sin fuerzas sísmicas, La aplicación de estas altera el perfil de fuerzas cortantes, debido principalmente al cambio de la distribución de los esfuerzos normales a lo largo de la superficie de falla.

Ilustración 29. Efecto de las fuerzas sísmicas en la resistencia al cortante



Fuente: Stability Modeling with Slope/W 2007

9.1 ENTORNO SEUDO-ESTÁTICO

Este análisis representa el efecto de un sismo aplicando fuerzas internas al talud. Estas fuerzas actúan en las direcciones horizontal, vertical y en el centro de masa de cada superficie.

La dificultad con el análisis seudo estático es que la aceleración sísmica solo actúa por un momento muy corto en el tiempo, mientras dura las vibraciones del sismo. El factor de seguridad en la realidad varía dramáticamente tanto para valores superiores a la unidad, como para los que están por debajo, esto no quiere decir que el talud tenga que necesariamente colapsar.

Con el fin de simular este escenario para determinar la amplificación de riesgo, se estudiará el perfil incluyendo coeficientes de aceleración horizontal pico efectiva de acuerdo con la zona de amenaza sísmica.

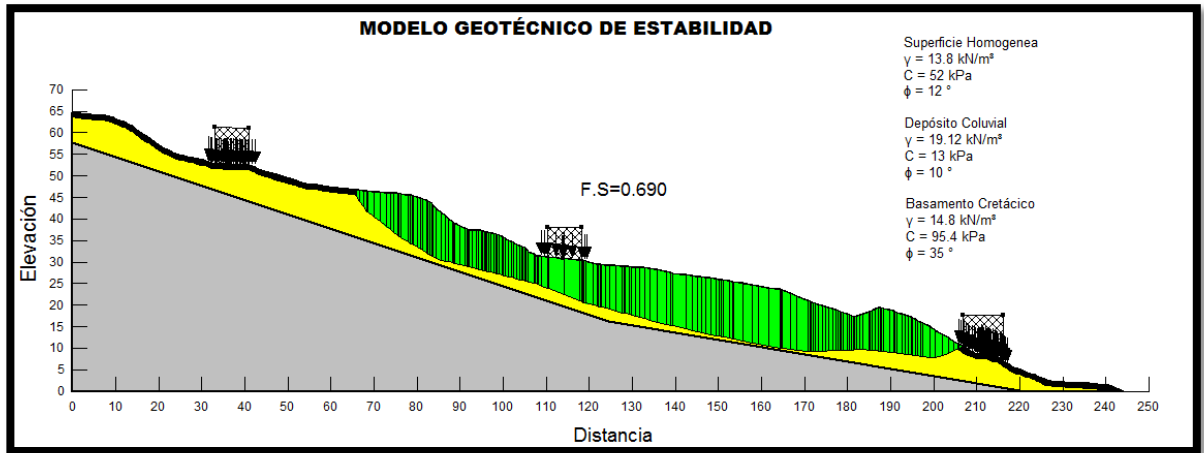
La NORMA COLOMBIANA SISMO RESISTENTE, NSR-10 en el apéndice A-4 del TÍTULO A, REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE, muestra los valores de A_a (coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva) para cada municipio del país.

Tabla 18. Coeficientes de aceleración horizontal pico efectiva.

MUNICIPIO	A_a	A_v	ZONA DE AMENAZA SISMICA
HATO	0.15	0.20	INTERMEDIA
PALMAR	0.15	0.20	INTERMEDIA

Fuente: NSR -10, Titulo A, Apéndice A-4

Ilustración 30. Superficie de falla y factor de seguridad del talud en el régimen pseudoestático.



Fuente: Autores

Observando las características de falla mostradas por el programa en este nuevo análisis, se puede observar que la imposición de cargas sísmicas incrementa aun más el problema de estabilidad que se presenta en la interfaz.

Con un factor de seguridad de 0.69 y una superficie de falla muy similar a la obtenida en el análisis estático, pero de mayor magnitud, se puede concluir que la gran pérdida de resistencia presentada en el talud se debe a la reacomodación de las partículas internas, situación provocada por la vibración inducida por el sismo, en un espacio muy corto de tiempo. Disminuyendo así la adherencia que existe entre los dos estratos.

10. RECOMENDACIONES PROPUESTAS

Comúnmente un factor determinante en la selección de un sistema de mitigación de riesgo en estabilidad de taludes es la disponibilidad de recursos con la que cuenta el proyecto, en muchas ocasiones el diseño de taludes y obras de prevención de desastres no se afrontan con la suficiente responsabilidad, causando efectos negativos en el buen desarrollo del proyecto.

10.1 ESCOGENCIA DEL FACTOR DE SEGURIDAD

La remediación de un deslizamiento o de un talud inestable, generalmente no es una estabilización total y definitiva, si no relativa, y en ciertas ocasiones, provisional. Ante esta realidad es importante determinar hasta donde se debe llegar en el proceso de remediación.¹⁴Cornforth (2005) explica que los elementos de seguridad razonables y la magnitud de la estabilización deben determinarse teniendo en cuenta los siguientes factores:

- ❖ El tamaño del deslizamiento
- ❖ El tipo de movimiento
- ❖ Magnitud de los estudios realizados
- ❖ El potencial de consecuencias
- ❖ La experiencia del profesional con los suelos
- ❖ Posibilidad de ocurrencia de eventos extremos

AASHTO 2001 propone los siguientes factores de seguridad mínimos en estabilidad de taludes.

$$FS \geq 1.3 \text{ para cargas estaticas}$$

$$FS \geq 1.1 \text{ para carga sismica con } K_h \text{ de } 0,5 A_a$$

¹⁴Suarez Díaz, Jaime. Deslizamientos 2, Técnicas de Remediación.

Ilustración 31. Factores de Seguridad sugeridos para diversos casos.

Caso	Factor de Seguridad para Cargas Estáticas	Factor de Seguridad para Cargas Dinámicas $K_h = 0.5 A$
Pérdida de vidas humanas al fallar el talud.	1.5	1.2
Pérdida de más del 30% de la inversión de la obra específica o pérdidas consideradas importantes.	1.3	1.15
Pérdidas económicas no muy importantes.	1.2	1.1
La falla del talud no causa daños.	1.1	1.0

Fuente: Suarez Díaz, Jaime. Deslizamientos 2, Técnicas de Remediación

En esta instancia, se sabe que la principal causa de inestabilidad en el talud es la infiltración de la escorrentía. Por tal motivo las recomendaciones de obras de mitigación estarán enfocadas en mecanismos de drenaje superficial y subsuperficial, los cuales además de ser económicos, reducirían considerablemente la inmersión de agua en la interfaz del suelo con la roca aumentando así sus propiedades de resistencia.

10.2 DRENAJE SUPERFICIAL

Este proceso tiene como objeto, el control de aguas en la superficie del terreno impidiendo la infiltración a estratos inferiores y evitando la erosión, es importante tener control de las aguas producto de la escorrentía que proviene de áreas aledañas impidiendo que lleguen al talud, como de las que afectan directamente

su superficie. En este orden de ideas las obras que se recomiendan implementar en la zona, serían:

Canales de redirección de escorrentía, zanjas de corona, diques de corona, torrenteras, las cuales funcionando en conjunto impedirían el arribo de aguas vecinas a la zona inestable. Por otro lado realizar la Conformación del terreno evitando el empozamiento de agua, sellado de grietas con arcilla o mortero, e imprimación de asfalto, controlando la infiltración directa sobre la superficie del talud.

Las estructuras de captación de la escorrentía tienen un orden consecuente hasta conducir estas aguas a un sitio seguro alejado de la zona afectada.

10.2.1 Canales de redirección de escorrentía

Son canales revestidos de concreto que se ubican en la parte alta del talud con el fin de captar las aguas de escorrentía y conduciéndolas hacia la zanja de corona.

10.2.2 Zanjas de corona

Tienen como objeto impedir el paso de aguas sobre la superficie del talud y se deben construir alejadas de su borde superior, para evitar que se conviertan en una nueva superficie de falla o influya en la ocurrencia de un deslizamiento.

Se recomienda que las zanjas de la corona sean totalmente impermeabilizadas; igual, se debe proveer una pendiente suficiente para garantizar un rápido drenaje del agua captada. Sin embargo, a pesar de lograrse originalmente una impermeabilización, con el tiempo se producen movimientos en el terreno, los

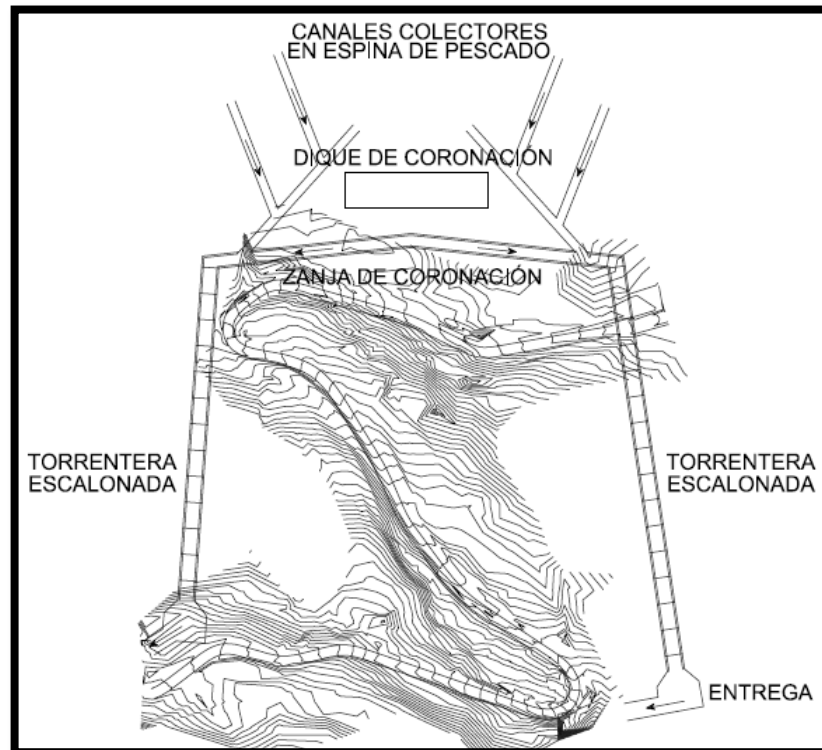
cuales causan grietas en el impermeabilizante y por lo tanto, producen infiltraciones.¹⁵

Por ello se recomienda realizar un mantenimiento preventivo extrayendo los sedimentos que impidan el flujo libre del agua sobre el canal y el relleno de las posibles grietas evitando infiltración

10.2.3 Diques de corona

Los diques funcionan como complemento de las zanjas de corona para mejorar su eficiencia. Consiste en la construcción de un obstáculo de tierra o mampostería que impida el paso del agua hacia el talud.

Ilustración 32. Esquema de las obras de mitigación



Fuente: Autores

¹⁵Suarez Díaz, Jaime. Deslizamientos 2, Técnicas de Remediación.

10.2.4 Torrentera

Finalmente la torrentera es un canal que atraviesa los costados del talud transportando el agua captada por las estructuras anteriormente descritas. El flujo de agua puede alcanzar altas velocidades, por lo que estas se caracterizan por ser disipadoras de energía. Al terminar su recorrido el agua se descarga en un sitio seguro lejos del área de influencia.

CONCLUSIONES

- ✓ El suelo residual y el depósito coluvial encontrado en la zona son altamente erosivos, además el basamento cretácico formado por lutitas es propenso a la meteorización acelerada, estas son características para clasificar el talud como inestable y considerar que factores asociados a las lluvias constantes y sismos pueden incrementar el movimiento o generar uno más acelerado como un flujo.
- ✓ A través de la validación del modelo geotécnico se obtuvieron los parámetros de resistencia en la interfaz del depósito coluvial con el basamento cretácico. Estas propiedades se asumieron para una condición de saturación total, representando un escenario crítico, sin embargo el terreno puede contar con valores más altos tanto para la cohesión como para el ángulo de fricción.
- ✓ Se encontró un proceso de reptación de manera global en la zona y deslizamientos parciales sobre el tramo de la vía, relacionado con la saturación del suelo como consecuencia de la infiltración de la escorrentía procedente de la parte alta del talud, el agua contribuye al incremento del riesgo de inestabilidad ya que actúa como lubricante de la interfaz del suelo con la roca, definiendo así la superficie de falla.
- ✓ A partir del análisis para los escenarios estático y pseudo estático se observa que las posibles superficies de falla se ajustan a las encontradas en campo.
- ✓ la reptación es un movimiento que puede comprometer altos volúmenes de tierra, dificultando una estabilidad total del terreno. No obstante las obras de remediación propuestas actúan directamente en la raíz del problema, y aunque

no lo controlan totalmente ayudan a reducir el riesgo de un futuro deslizamiento.

- ✓ El fenómeno de reptación es una falla difícil de manejar por la lentitud y variación de sus movimientos es por esta razón que además de las obras de mitigación propuestas por los autores se recomienda el uso de inclinómetros y una constante supervisión para en un futuro poder brindar una solución más acertada.
- ✓ En el proceso de investigación se encontró que es más conveniente realizar ensayos de corte directo a esfuerzo controlado, que aunque son poco comunes, son favorables al requerirse una rata de desplazamiento muy baja, simulando de forma más precisa el comportamiento de los suelos en reptación.
- ✓ La bioingeniería podría ser una buena alternativa de mitigación, pues además de que permite la recuperación de zonas que han sido deforestadas previniendo la erosión del terreno se aleja de los esquemas tradicionales de estabilización y se asume la responsabilidad que se tiene como ingeniero civil en el cuidado del medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ **ASOCIACIÓN** Colombiana de Ingeniería Sísmica (Colombia). Reglamento colombiano de Construcción Sismo resistente (NSR-10). Bogotá, 2010
- ✓ **COORPORACIÓN** de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (Colombia). Normas Geotécnicas CDMB. Bucaramanga, 2005
- ✓ **DAS**, Braja M. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Thompson Editores S.A. 2001.
- ✓ **DUNCAN**, J. Michael and **WRIGHT**, Stephen G. Soil Strength and Slope Stability, 1ra Ed. 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
- ✓ **Estudios Geológicos**. Sitio Web del Instituto Colombiano de Geología y Minería: <http://www.ingominas.gov.co>
- ✓ **INGEOMINAS**. Geología de la plancha 135-San Gil y sus memorias explicativas. 2009.
- ✓ **INGEOMINAS**. Mapa geológico generalizado de Santander. 1998.
- ✓ **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
- ✓ **INSTITUTO** Nacional de Vías (Colombia). I.N.V.E-126. Límite Plástico e índice de 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.
- ✓ **INSTITUTO** Nacional de Vías, INVIAS, Ministerio de Transporte, Manual de Estabilidad de Taludes, Santafé de Bogotá, 1998.
- ✓ **JUAREZ BADILLO**, Eulalio y **RICO RODRIGUEZ**, Alfonso. Mecánica de Suelos. Limusa. 1999-2000
- ✓ **SUAREZ DÍAZ**, Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigación sobre Erosión y Deslizamientos. 1998.
- ✓ **WANDURRAGA, CARLOS MANUEL**. Asesorías y consultorías geológicas, geotécnicas, ambientales y mineras, perforación y mantenimiento de pozos profundos, estudios geoelectrico y registro de pozos. Estudio geoelectrico realizado para el sector de la inestabilidad geológica presentada en el pr4+290 al pr4+840 de la vía el hato-palmar, departamento de Santander. Bucaramanga, 2011.

ANEXOS

ANEXO A. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

GRANULOMETRÍA:

El análisis por cribado consiste en sacudir la muestra del suelo a través de un conjunto de mallas estándar con sus tamaños de aberturas. Primero el suelo se seca en el horno, y luego todos los grumos se disgregan en partículas pequeñas antes de ser pasados por las mallas.



La figura muestra un conjunto de estas en un vibrador de mallas usado para llevar a cabo la prueba en el laboratorio. Después del periodo de vibración concluye, se determina la masa del suelo retenido en cada malla. Cuando se analizan suelos cohesivos, resulta difícil disgregar los grumos en partículas individuales. En tal caso, el suelo se mezcla con agua para formar una lechada que luego se lava a través de las mallas. Las proporciones retenidas en cada malla se recolectan por separado y se secan en el horno antes de que la masa retenida en cada malla sea determinada.

ANEXO B. LIMITES DE ATTERBERG

LIMITES DE ATTERBERG

Para medir la plasticidad de las arcillas se han desarrollado varios criterios, de los cuales se mencionara solo el procedimiento ideado por el sueco Albert Atterberg. Este científico hizo ver que, en primer lugar, la plasticidad no era una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente del contenido de agua. Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula, y esa misma, con gran contenido de agua puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido o, inclusive, las de una suspensión líquida. Entre ambos extremos, existe un intervalo de contenido de agua en que la arcilla se comporta plásticamente. En segundo lugar, Atterberg hizo ver que la plasticidad de un suelo exige, para ser expresada en forma conveniente, la utilización de dos parámetros en vez de uno solo, como hasta su época se había creído; además señalo esos parámetros y un método tentativo, hoy perfeccionado, de evaluarlos.

Según su contenido de agua en forma decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definidos por Atterberg.

1. Estado Líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
2. Estado Semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
3. Estado Plástico, en que el suelo se comporta plásticamente.
4. Estado Semisólido, en el que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aun disminuye de volumen al ser sujeto a secado.
5. Estado sólido, En que el volumen del suelo no varía con el secado.

La frontera convencional entre los estados semilíquido y plástico fue llamada por Atterberg *Limite Líquido*, nombre que hoy se conserva. Atterberg lo definió en términos de una cierta técnica de laboratorio que consistía en colocar el suelo

remodelado en una capsula, formando en él una ranura, como se muestra en la figura, y en hacer cerrar la ranura golpeado secamente la capsula contra la superficie dura; el suelo tenía el contenido de agua correspondiente al límite líquido, según Atterberg, cuando los bordes inferiores de la ranura se tocaran, sin mezclarse, al cabo de cierto número de golpes.



El procedimiento descrito resulto suficiente para Atterberg, que manejaba un laboratorio cuyo personal estaba entrenado por el mismo. Sin embargo, es de notar que muchos detalles de la prueba quedan sin especificar y la experiencia demuestra que esos detalles son de trascendencia en los resultados de la misma.

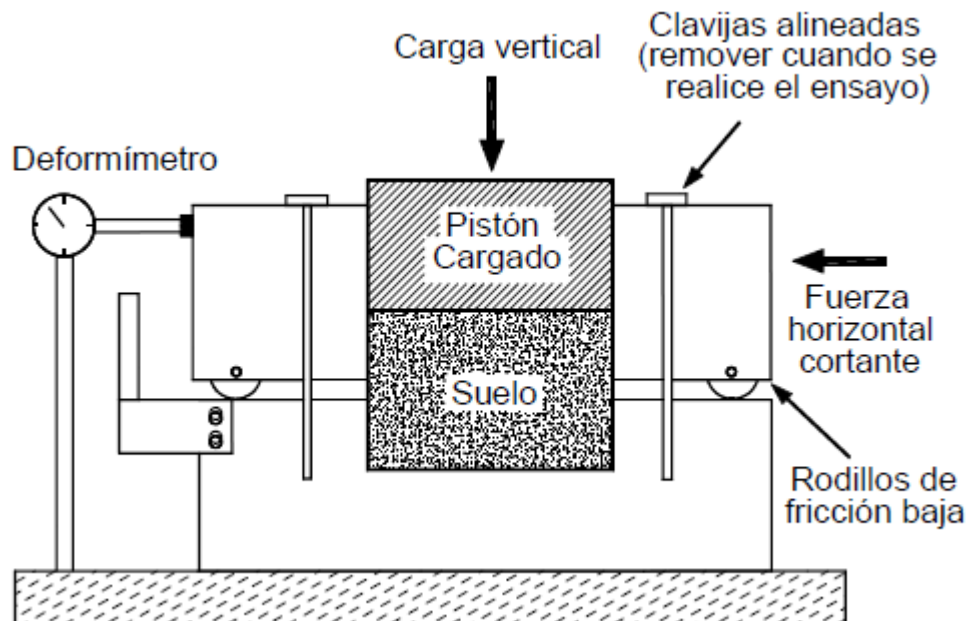
La frontera convencional entre los estados plástico y semisólido fue llamada por Atterberg *límite plástico* y definida también en términos de una manipulación del laboratorio, Atterberg rolaba un fragmento de suelo hasta convertirlo en un cilindro de espesor no especificado; el agrietamiento y desmoronamiento del rollito, en cierto momento, indicaba que se había alcanzado el límite plástico, y el contenido de agua en tal momento era la frontera deseada. ¹⁶

✓ ¹⁶ **JUAREZ BADILLO**, Eulalio y **RICO RODRIGUEZ**, Alfonso. Mecánica de Suelos. Limusa. 1999-2000.

ANEXO C. RESISTENCIA AL CORTANTE

ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CORTANTE

Durante muchos años, la prueba directa de resistencia al esfuerzo cortante fue prácticamente la única usada para la determinación de la resistencia de los suelos; hoy, aun cuando conserva el interés práctico debido a su simplicidad, ha sido sustituida en buena parte por las pruebas de compresión triaxial. Un esquema del mecanismo necesario para efectuar la prueba se muestra a continuación.



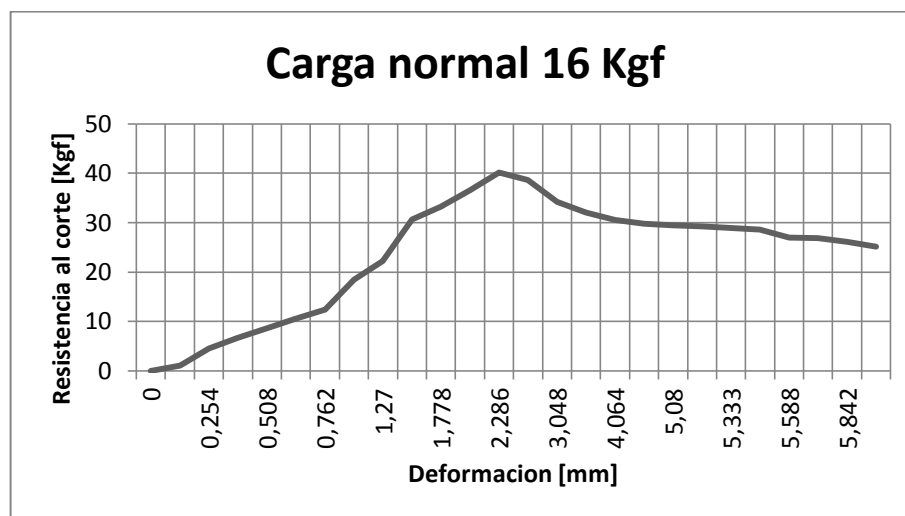
El aparato consta de dos marcos, uno fijo y otro móvil, que contienen la muestra del suelo.

Dos piedras porosas, una inferior y otra superior, proporcionan drenaje libre a muestras saturadas, cuando se desee se pueden sustituir por placas de confinamiento, al probar muestras secas.

La parte móvil tiene un aditamento, al cual es posible aplicar una fuerza rasante, que provoca la falla del espécimen a lo largo de un plano que, por la construcción

del aparato, resulta bien definido. Sobre la cara superior del conjunto se aplican cargas que proporcionan una presión normal en el plano de falla, σ , graduable a voluntad, la deformación de la muestra es medida con extensómetros, tanto en dirección horizontal, como vertical.

Los resultados de la prueba, en la cual suelen calcularse los valores de la relación τ/σ correspondientes a deformaciones sobre el plano de falla, se dibujan de forma similar a la indicada en la siguiente figura.¹⁷



✓ ¹⁷ SUAREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigación sobre Erosión y Deslizamientos. 1998.

ANEXO D. RESISTIVIDAD EN SUELOS

RESISTIVIDAD

Los sondeos eléctricos y electromagnéticos generalmente, miden la resistencia de la corriente eléctrica a través de los materiales de los suelos. La resistividad consiste en la colocación de una corriente eléctrica a través del suelo y mediciones de la resistencia.

La presencia de humedad y sales disueltas dentro de los poros del suelo o la roca, controlan generalmente, la conductividad aparente de los materiales, Por ejemplo, un granito denso con pocos vacíos y poca humedad, presenta una alta resistencia, mientras una arcilla muestra una resistencia baja. En ocasiones la superficie de falla de un deslizamiento se detecta como un área de baja resistencia por la concentración de humedad a lo largo de la superficie. Sin embargo debe tenerse en cuenta la fluctuación de la resistividad con el clima. En época de lluvias, las resistividades tienden a ser bajas y en épocas secas, aumentan.

La profundidad de la investigación de un sondeo eléctrico, es proporcional al desplazamiento de los electrodos, sin embargo, la penetración de la corriente eléctrica en la tierra depende de la resistividad individual de cada capa de suelo y su distribución.

Los ensayos de resistividad pueden utilizarse para determinar perfiles verticales y perfiles horizontales, dependiendo de la forma como se realice.

La mayor ventaja de los ensayos de resistividad es la facilidad de transporte y simplicidad de los instrumentos, y la mayor desventaja es la interpretación difícil de las medidas, especialmente en aquellas áreas donde los estratos no son horizontales y las estructuras son complejas.

Los ensayos de conductividad electromagnética utilizan un instrumento con un trasmisor y un receptor, el trasmisor utiliza una corriente eléctrica de una frecuencia específica para producir un campo magnético asociado, el cual se convierte en una corriente eléctrica en la tierra. Esta corriente induce luego una corriente secundaria en el receptor. En esta forma se obtiene una conductividad aparente de los materiales entre los dos puntos. Espaciamientos cercanos y altas frecuencias dan muy buena información del material subsuperficial. En cambio largos espaciamientos y bajas frecuencias permiten una exploración más profunda.

Los ensayos de resistividad han sido utilizados con éxito para mapear los límites de masas de deslizamiento (McGuffey, 1996). Ambos sistemas, el de sondeo horizontal y vertical, se han utilizado. Como los deslizamientos producen un cambio importante en los materiales. Se obtienen contrastes en la resistividad eléctrica asociados con estos movimientos. La resistividad permite el reconocimiento de las tablas de agua y las profundidades de saturación.¹⁸

Material	Resistividad (ohm-cm)
Arcilla o limo saturado	0-10.000
Arcilla arenosa	10.000-25.000
Arena arcillosa	25.000-50.000
Arena	50.000-150.000
Grava	150.000-500.000
Roca meteorizada	100.000-200.000
Roca sana	150.000-4.000.000

✓ ¹⁸ **SUAREZ DÍAZ**, Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigación sobre Erosión y Deslizamientos. 1998.

ANEXO E. REGLA DE LAS 3σ

Esta regla de oro, fue descrita por Dai y Wang en 1992, utiliza el hecho de que el 99.73% de todos los valores de una distribución normal caen dentro de 3 desviaciones estándar en promedio. Por lo tanto, si HCV es el valor del parámetro más alto concebible y LCV es el valor más bajo del parámetro, estos tendrían aproximadamente tres desviaciones estándar por encima y por debajo del valor promedio.

La regla de las 3σ puede ser usada para estimar el valor de la desviación estándar, primero restando al valor más alto (HCV) el valor más bajo (LCV), y después dividiendo la diferencia obtenida en seis, como se muestra a continuación.

$$\sigma = \frac{HCV - LCV}{6}$$

Christian y Baecher (2001) muestran que la gente (incluidos los ingenieros) tienden a ser muy confiados con su habilidad de estimar valores, y por lo tanto estiman posibles rangos de valores que están muy cerca de los rangos de valores actuales, si el rango entre el valor más alto concebido (HCV) y el valor más bajo (LCV), es muy pequeño, los valores de los coeficientes de variación estimados utilizando la regla de las 3σ , también será muy pequeña, introduciendo así una tendencia poco conservativa en la confiabilidad del análisis.

Basados en análisis estadísticos, Christian y Baecher (2001), mostraron que el valor esperado en un ejemplo que contiene 20 valores es 3.7 veces la desviación estándar, y el valor esperado en un ejemplo que contiene 30 valores es 4.1 veces la desviación estándar. Esta información puede ser usada para mejorar la exactitud de los valores esperados de desviación estándar modificando la regla de

las 3 σ . Si existen rangos en la muestra de hasta 30 valores, una mejor estimación de los valores de la desviación estándar se obtendría dividiendo la diferencia de HCV y LCV en 4 en vez de 6

$$\sigma = \frac{HCV - LCV}{4}$$

la regla de las 3 σ utiliza la distribución normal simple como base para estimar un rango de tres desviaciones estándar que cubra toda la población en estudio. Sin embargo, esta regla aunque aplica para otras distribuciones, no es un procedimiento que se pueda aplicar rígidamente a todas las distribuciones existentes.¹⁹

✓ ¹⁹DUNCAN, J. Michael and WRIGHT, Stephen G. Soil Strength and Slope Stability, 1ra Ed. 2005.

ANEXO F. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO



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

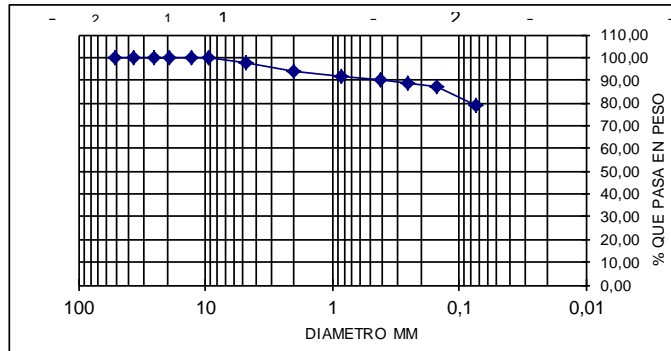
FECHA : feb-12
 PROYECTO : _____
 LOCALIZACION: Hato - Palmar / Santander

SONDEO : 1
 MUESTRA : 1
 PROFUNDIDAD : 0,8m

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: 161,33
 PORCENTAJE DE ERROR %: -0,003

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	2	25,04	3,58	94,03
1 1/2"	36,1	0,00	0,00	100,00	20	0,84	16,77	2,40	91,63
1"	25,4	0,00	0,00	100,00	40	0,42	10,78	1,54	90,09
3/4"	19,05	0,00	0,00	100,00	60	0,25	9,49	1,36	88,74
1/2"	12,7	0,00	0,00	100,00	100	0,149	9,92	1,42	87,32
3/8"	9,52	0,00	0,00	100,00	200	0,074	59,8	8,54	78,78
No 4	4,75	16,77	2,40	97,60	PASA 200	*****	551,45		
SUMA	*****	16,77	2,40		SUMA	*****	683,25	18,83	
					TOTAL		700,02		



GRAVAS= 2,40 %
 ARENAS = 18,83 %
 FINOS= 78,78 %

CLASIFICACION SUELO: CL - ML (ARCILLA LIMOSA CON ALGO DE PLASTICIDAD)

VoBo:

Ingeniera Hebenly Celis
 Directora Escuela de Ingenieria Civil



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

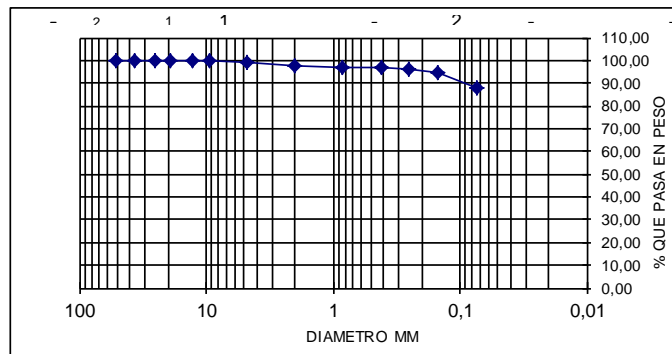
FECHA : feb-12
 PROYECTO : _____
 LOCALIZACION: Hato - Palmar / Santander

SONDEO : 1
 MUESTRA : 2
 PROFUNDIDAD : 0,8m

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: 89,05
 PORCENTAJE DE ERROR %: 0,16

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	2	7,67	1,10	97,98
1 1/2"	36,1	0,00	0,00	100,00	20	0,84	4,92	0,70	97,28
1"	25,4	0,00	0,00	100,00	40	0,42	3,52	0,50	96,77
3/4"	19,05	0,00	0,00	100,00	60	0,25	4,05	0,58	96,20
1/2"	12,7	0,00	0,00	100,00	100	0,149	9,14	1,31	94,89
3/8"	9,52	2,35	0,34	99,66	200	0,074	50,6	7,23	87,66
No 4	4,75	4,12	0,59	99,08	PASA 200	*****	612,49		
SUMA	*****	6,47	0,92		SUMA	*****	692,39	11,41	
					TOTAL		698,86		



GRAVAS= 0,92 %
 ARENAS = 11,41 %
 FINOS= 87,66 %

CLASIFICACION SUCS:

ML (LIMO INORGANICO CON ALGO DE ARENA)

VoBo:

Ingeniera Hebenly Celis
 Directora Escuela de Ingenieria Civil



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

FECHA : feb-12
 PROYECTO : _____
 LOCALIZACION: Hato - Palmar / Santander

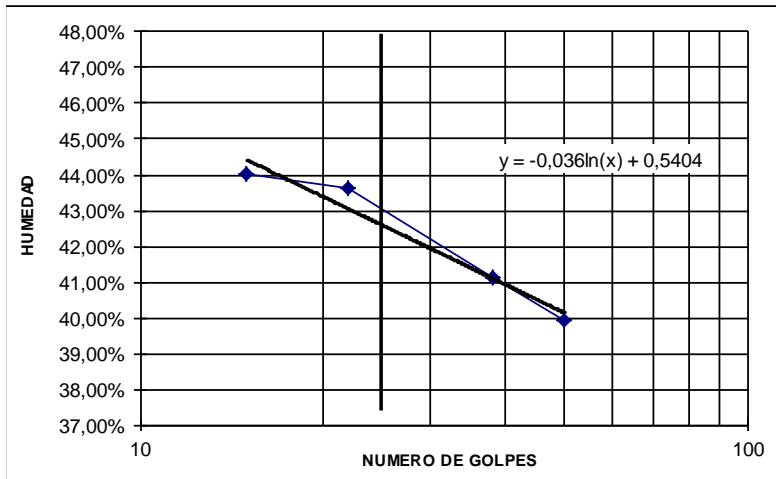
SONDEO : 1
 MUESTRA : 2
 PROFUNDIDAD : 1Metro

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUM EDC	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
19	50	7,6	32,16	25,15	7,01	17,55	39,94%
20	38	6,69	22,37	17,8	4,57	11,11	41,13%
21	22	7,20	23,93	18,85	5,08	11,65	43,61%
22	15	7,12	26,68	20,7	5,98	13,58	44,04%

LIMITE PLASTICO

1		8,58	25,30	21,40	3,9	12,82	30,42%
2		6,88	25,02	20,87	4,15	13,99	29,66%
3		7,7	25,18	21,25	3,93	13,55	29,00%
4		6,88	25,00	20,86	4,14	13,98	29,61%
5		7,7	25,09	21,23	3,86	13,53	28,53%
6		7	25,26	21,21	4,05	14,21	28,50%



LIMITE LIQUIDO : 42%
 LIM. PLASTICO : 29%
 IND. DE PLASTI. : 13%
 CLASIFICACION SUCS. : ML

VoBo:

Ingeniera Hebenly Celis
 Directora Escuela de Ingenieria Civil



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

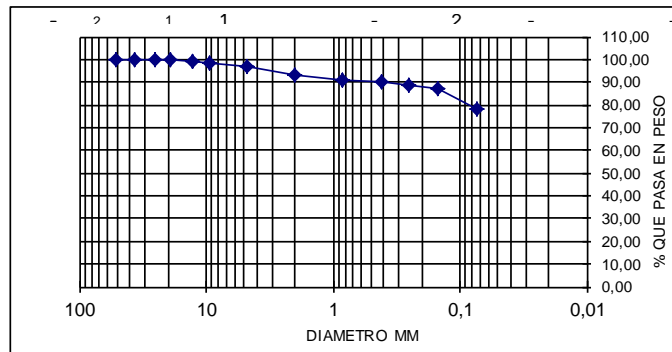
FECHA : feb-12
 PROYECTO : _____
 LOCALIZACION: Hato - Palmar / Santander

SONDEO : 1
 MUESTRA : 3
 PROFUNDIDAD : 0,8m

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: 160,85
 PORCENTAJE DE ERROR %: 0,10

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	2	22,23	3,18	93,54
1 1/2"	36,1	0,00	0,00	100,00	20	0,84	16,31	2,33	91,21
1"	25,4	0,00	0,00	100,00	40	0,42	9,29	1,33	89,88
3/4"	19,05	0,00	0,00	100,00	60	0,25	8,67	1,24	88,64
1/2"	12,7	5,83	0,83	99,17	100	0,149	10,5	1,50	87,14
3/8"	9,52	3,43	0,49	98,68	200	0,074	61,15	8,74	78,40
No 4	4,75	13,76	1,97	96,71	PASA 200	*****	548,15		
SUMA	*****	23,02	3,29		SUMA	*****	676,30	18,31	
					TOTAL		699,32		



GRAVAS= 3,29 %
 ARENAS= 18,31 %
 FINOS= 78,40 %

CLASIFICACION SUCS: CL (ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA, CON ALGO DE ARENA)

VoBo:

Ingeniera Hebenly Celis
 Directora Escuela de Ingenieria Civil



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

FECHA : feb-12
 PROYECTO : _____
 LOCALIZACION: Hato - Palmar / Santander

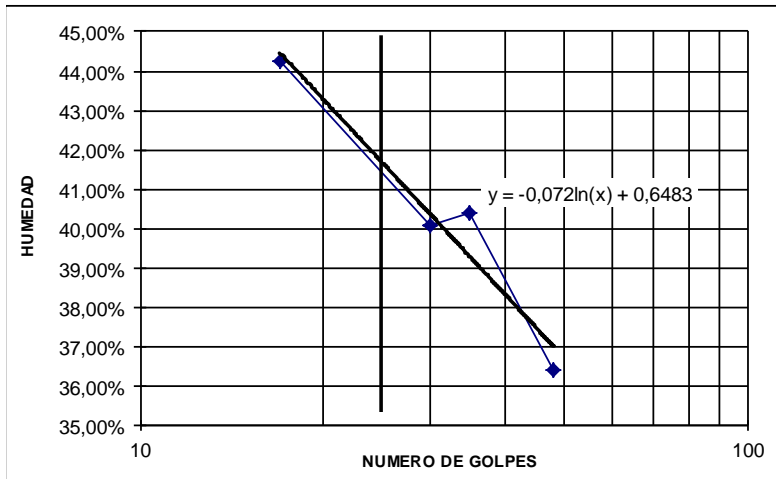
SONDEO : 1
 MUESTRA : 3
 PROFUNDIDAD : 1Metro

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUM EDG	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
30	48	7,38	23,12	18,92	4,2	11,54	36,40%
36	35	7,31	23,37	18,75	4,62	11,44	40,38%
53	30	6,87	26,06	20,57	5,49	13,7	40,07%
77	17	6,6	24,33	18,89	5,44	12,29	44,26%

LIMITE PLASTICO

7		6,88	25,08	21,47	3,61	14,59	24,74%
8		8,4	25	21,73	3,27	13,33	24,53%
10		7,05	25,07	21,48	3,59	14,43	24,88%
11		7,16	25,02	21,5	3,52	14,34	24,55%



LIMITE LIQUIDO : 42%
 LIM. PLASTICO : 25%
 IND. DE PLASTI. : 17%
 CLASIFICACION SUCS. : CL

VoBo:

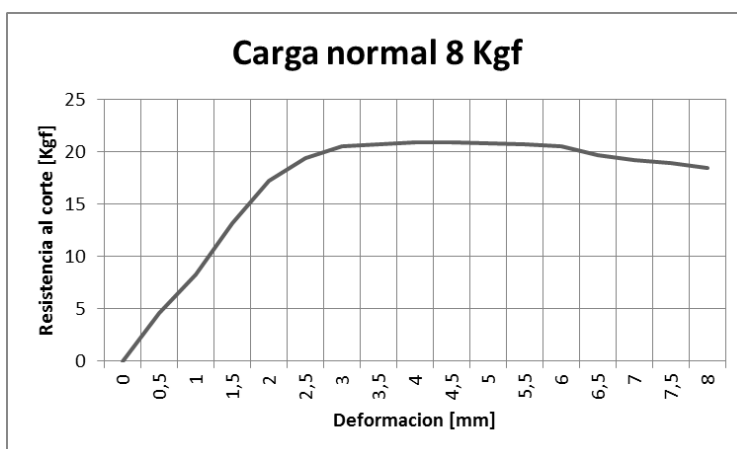
Ingeniera Hebenly Celis
 Directora Escuela de Ingenieria Civil

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO HUMEDAD NATURAL MUESTRA 1

Carga normal	8 kg
---------------------	-------------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	238,30 gr
W tara	6,90 gr
W tara + suelo humedo	56,10 gr
W tara + suelo seco	47,10 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

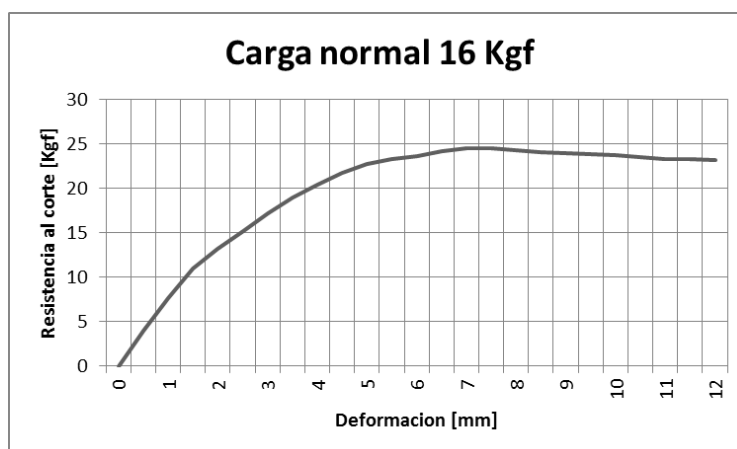
Carga normal	8 kg
Humedad	22,4 %
Densidad humeda	1,94 gr/cm ³
Densidad seca	1,58 gr/cm ³



Carga normal	16 kg
---------------------	--------------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	244,40 gr
W tara	7,30 gr
W tara + suelo humedo	48,30 gr
W tara + suelo seco	40,80 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

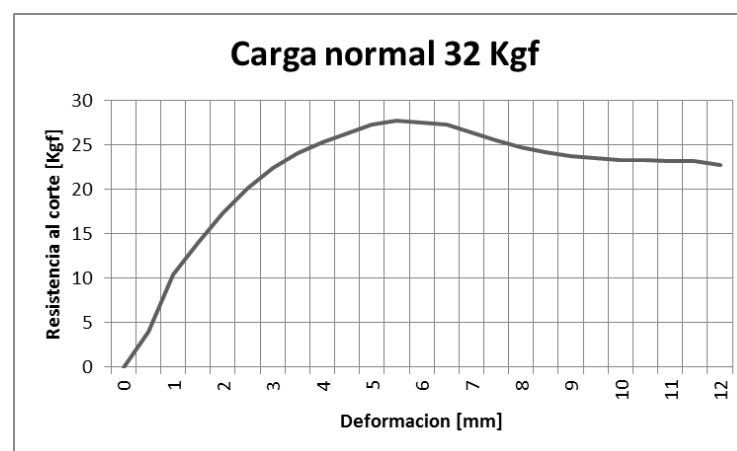
Carga normal	16 kg
Humedad	22,4 %
Densidad humeda	2,03 gr/cm ³
Densidad seca	1,66 gr/cm ³



Carga normal	32 kg
---------------------	--------------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	233,20 gr
W tara	7,10 gr
W tara + suelo humedo	44,50 gr
W tara + suelo seco	37,20 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

Carga normal	32 kg
Humedad	24,3 %
Densidad humeda	1,86 gr/cm ³
Densidad seca	1,50 gr/cm ³



Val

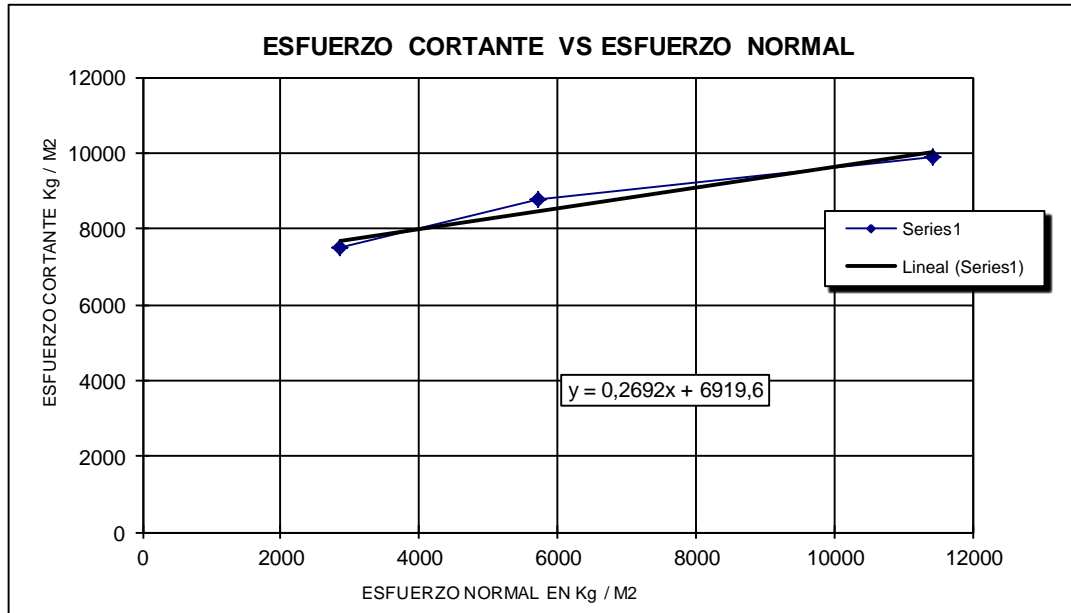
ores pico de la muestra 1



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154**

FECHA	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	1
LOCALIZACION	K4 + 840	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m2	MAXIMA EN Kg	Kg/m2	Kg/m2
8,000	0,0028	20,95	2857,14	7482,14
16,000	0,0028	24,55	5714,29	8767,86
32,000	0,0028	27,70	11428,57	9892,86



γm	1581,26	kg/m3
HUMEDAD %	23	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,2692	
ANGULO FRICCION	15	grados
COHESION	6920	kg/m2

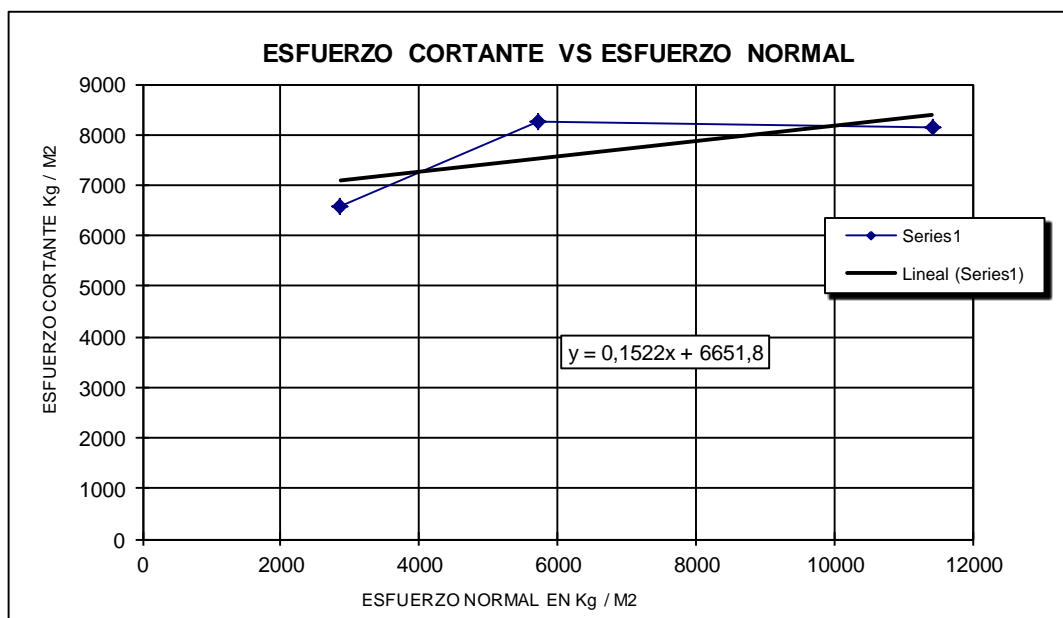
Valores residuales muestra 1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154

FECHA	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	1
LOCALIZACION	K4 + 840	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m2	MAXIMA EN Kg	Kg/m2	Kg/m2
8,000	0,0028	18,45	2857,14	6589,29
16,000	0,0028	23,15	5714,29	8267,86
32,000	0,0028	22,80	11428,57	8142,86



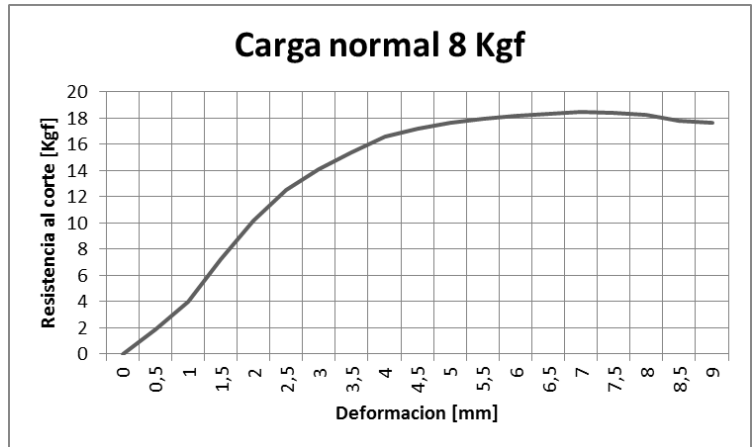
γ_m	1581,26	kg/m3
HUMEDAD %	23	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,1522	
ANGULO FRICCION	9	grados
COHESION	6652	kg/m2

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO HUMEDAD NATURAL MUESTRA 2

Carga normal	8 kg
--------------	------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	224,30 gr
W tara	6,80 gr
W tara + suelo humedo	34,70 gr
W tara + suelo seco	28,00 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

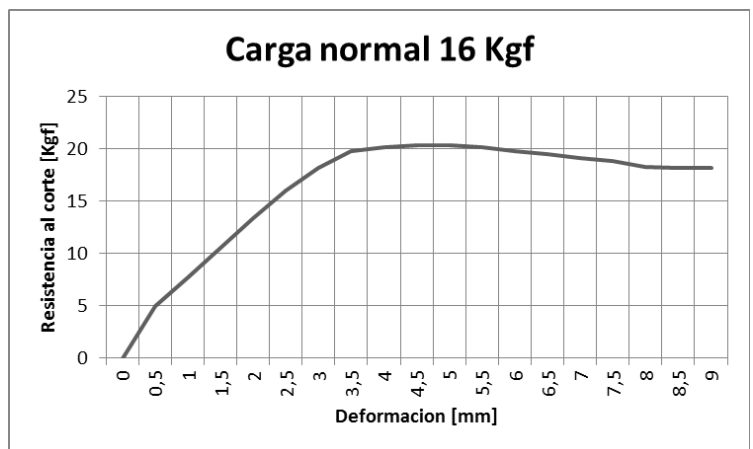
Carga normal	8 kg
Humedad	31,6 %
Densidad humeda	1,73 gr/cm ³
Densidad seca	1,31 gr/cm ³



Carga normal	16 kg
--------------	-------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	217,90 gr
W tara	7,30 gr
W tara + suelo humedo	36,30 gr
W tara + suelo seco	29,30 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

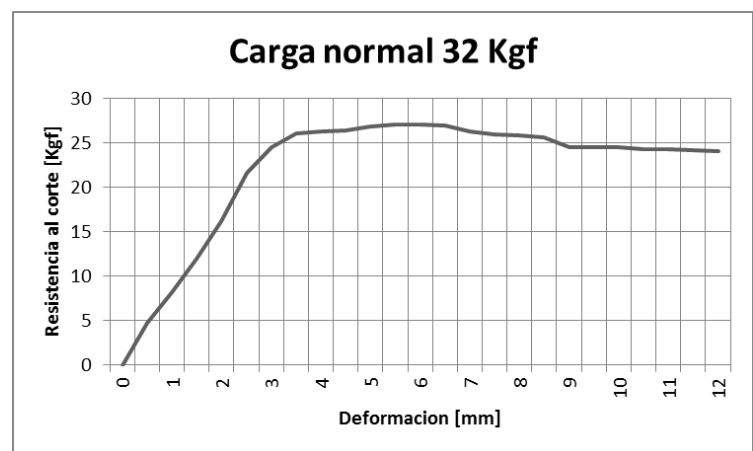
Carga normal	16 kg
Humedad	31,8 %
Densidad humeda	1,63 gr/cm ³
Densidad seca	1,23 gr/cm ³



Carga normal	32 kg
--------------	-------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	228,20 gr
W tara	7,20 gr
W tara + suelo humedo	36,60 gr
W tara + suelo seco	29,40 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

Carga normal	32 kg
Humedad	32,4 %
Densidad humeda	1,79 gr/cm ³
Densidad seca	1,35 gr/cm ³



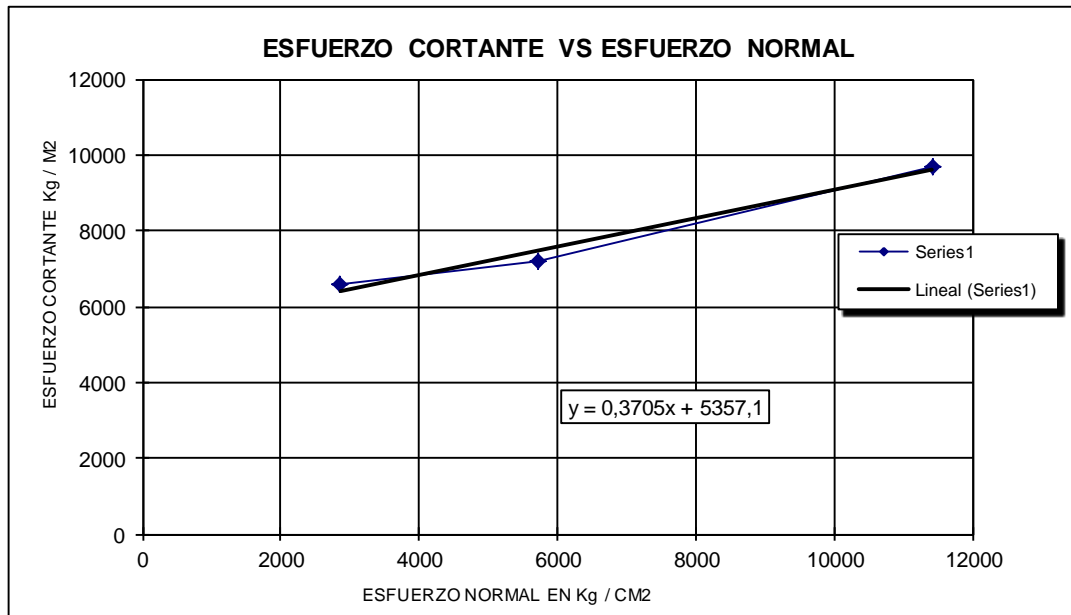
Valores pico de la muestra 2



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154

FECHA	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	2
LOCALIZACION	K4 + 570	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m ²	MAXIMA EN Kg	Kg/m ²	Kg/m ²
8,000	0,0028	18,45	2857,14	6589,29
16,000	0,0028	20,20	5714,29	7214,29
32,000	0,0028	27,10	11428,57	9678,57



γ_m	1297,83	kg/m ³
HUMEDAD %	32	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,3705	
ANGULO FRICCION	20	grados
COHESION	5357	kg/m ²

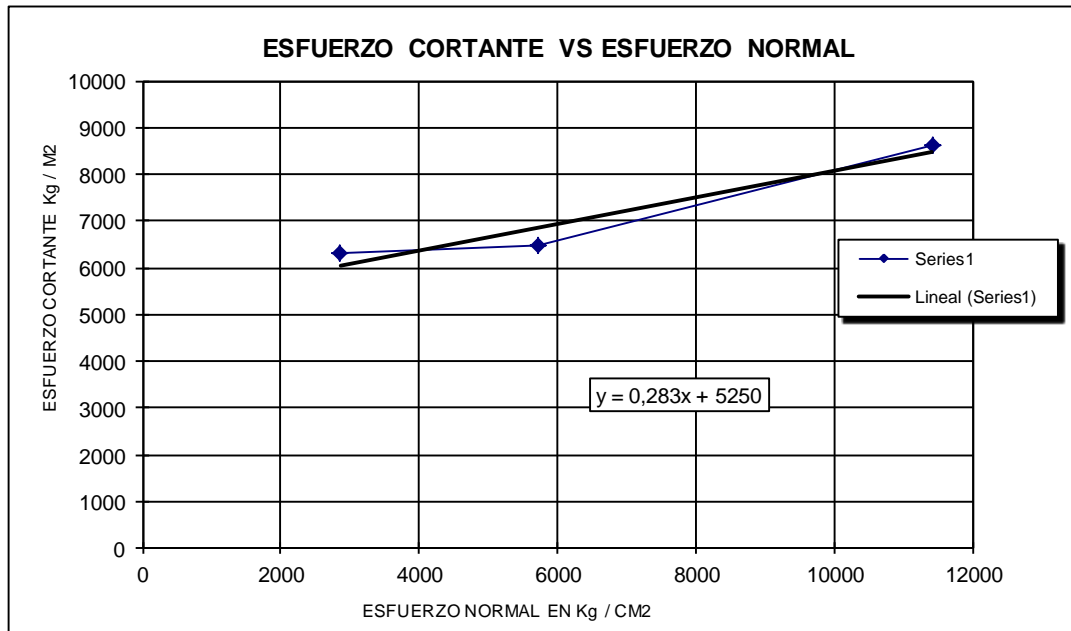
Valores residuales muestra 2 humedad natural



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154

FECHA	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	2
LOCALIZACION	K4 + 570	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m2	MAXIMA EN Kg	Kg/m2	Kg/m2
8,000	0,0028	17,65	2857,14	6303,57
16,000	0,0028	18,20	5714,29	6500,00
32,000	0,0028	24,10	11428,57	8607,14



γ_m	1297,83	kg/m3
HUMEDAD %	32	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,283	
ANGULO FRICCION	16	grados
COHESION	5250	kg/m2

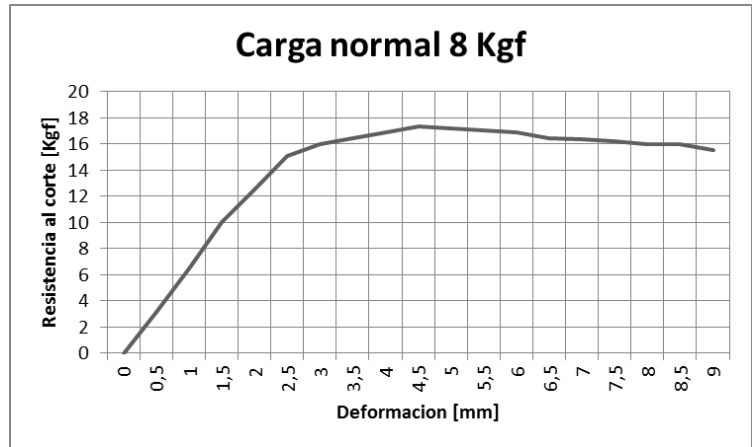
ENSAYOS DE CORTE DIRECTO HUMEDAD NATURAL MUESTRA 3

Carga normal	8 kg
---------------------	-------------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	221,10 gr
W tara	8,64 gr
W tara + suelo humedo	62,43 gr
W tara + suelo seco	53,20 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

Carga normal	8 kg
---------------------	-------------

Humedad	20,7 %
Densidad humeda	1,68 gr/cm ³
Densidad seca	1,39 gr/cm ³

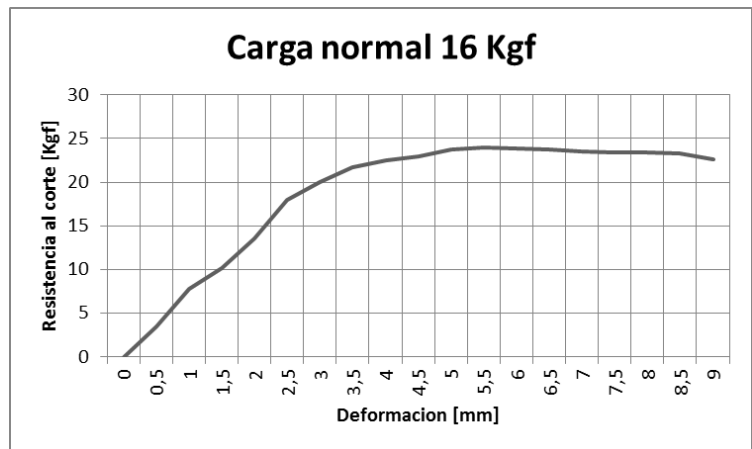


Carga normal	16 kg
---------------------	--------------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	228,10 gr
W tara	6,85 gr
W tara + suelo humedo	53,34 gr
W tara + suelo seco	45,00 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

Carga normal	16 kg
---------------------	--------------

Humedad	21,9 %
Densidad humeda	1,78 gr/cm ³
Densidad seca	1,46 gr/cm ³

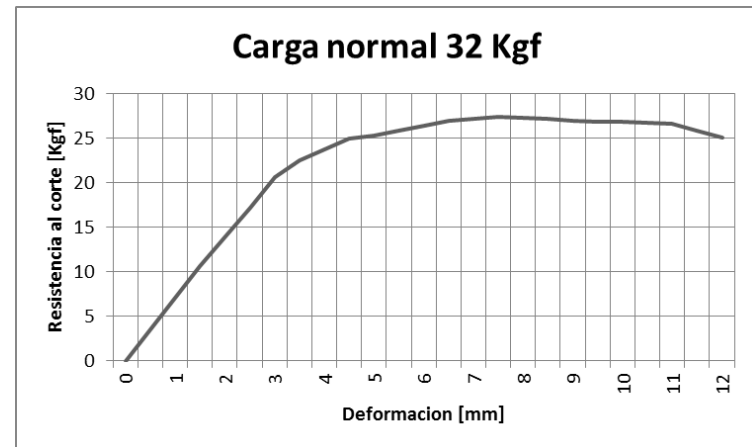


Carga normal	32 kg
---------------------	--------------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	244,70 gr
W tara	6,77 gr
W tara + suelo humedo	50,96 gr
W tara + suelo seco	42,00 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

Carga normal	32 kg
---------------------	--------------

Humedad	25,4 %
Densidad humeda	2,04 gr/cm ³
Densidad seca	1,62 gr/cm ³



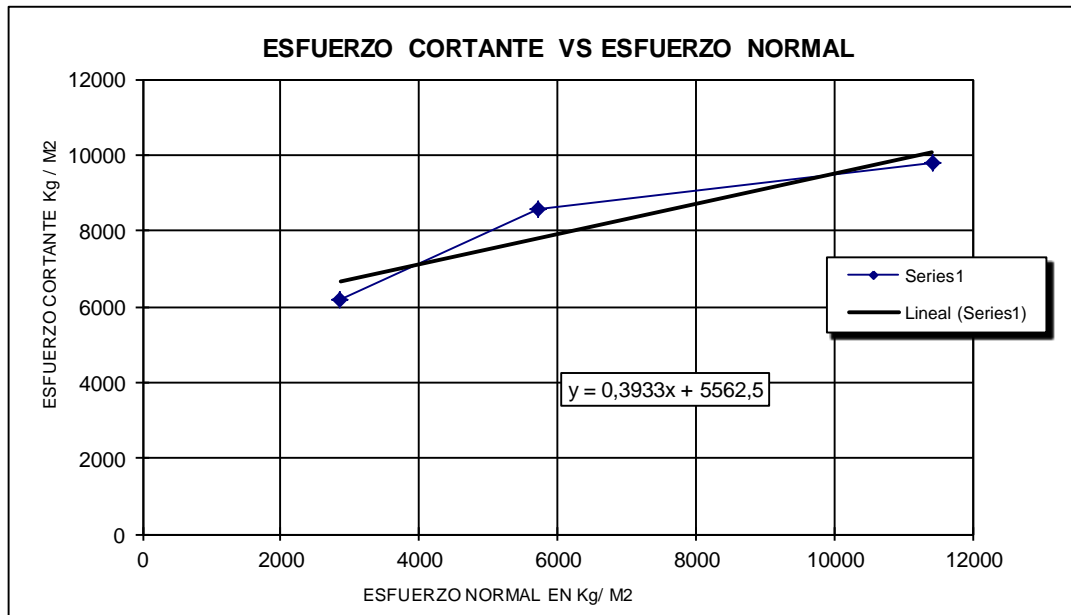
Valores pico para la muestra c humedad natural



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154**

FECHA	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	3
LOCALIZACION	K4 + 330	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m ²	MAXIMA EN Kg	Kg/m ²	Kg/m ²
8,000	0,0028	17,30	2857,14	6178,57
16,000	0,0028	24,00	5714,29	8571,43
32,000	0,0028	27,45	11428,57	9803,57



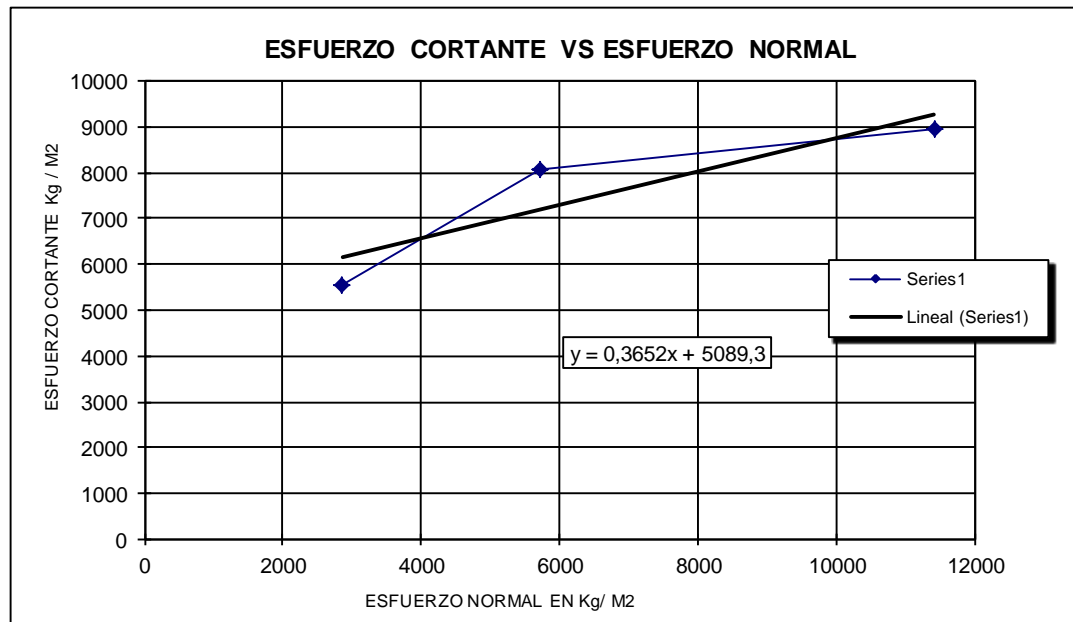
Γm	1492,19	kg/m ³
HUMEDAD %	23	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,3933	
ANGULO FRICCION	21	grados
COHESION	5563	kg/m ²



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154

FECHA	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	3
LOCALIZACION	K4 + 330	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL Kg	AREA m ²	CARGA HORIZONTAL MAXIMA EN Kg	ESFUERZO NORMAL Kg/m ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/m ²
8,000	0,0028	15,50	2857,14	5535,71
16,000	0,0028	22,60	5714,29	8071,43
32,000	0,0028	25,10	11428,57	8964,29



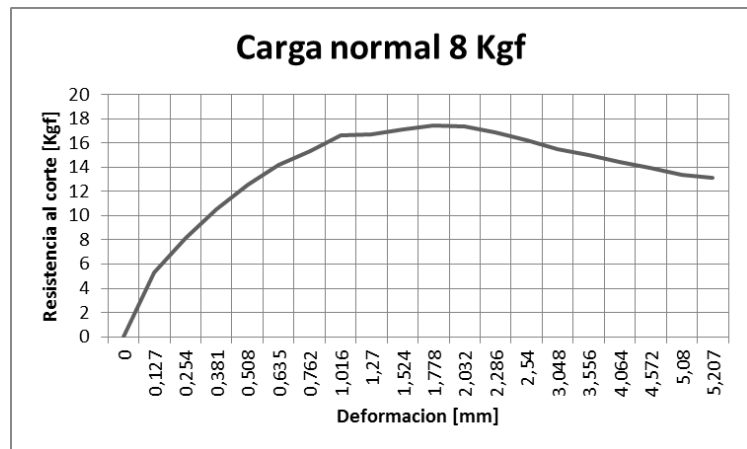
Γ_m	1492,19	kg/m ³
HUMEDAD %	23	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,3652	
ANGULO FRICCION	20	grados
COHESION	5089	kg/m ²

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO INALTERADO SATURADO MUESTRA 1

Carga normal	8 kg
---------------------	-------------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	254,96 gr
W tara	7,20 gr
W tara + suelo humedo	44,85 gr
W tara + suelo seco	36,50 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

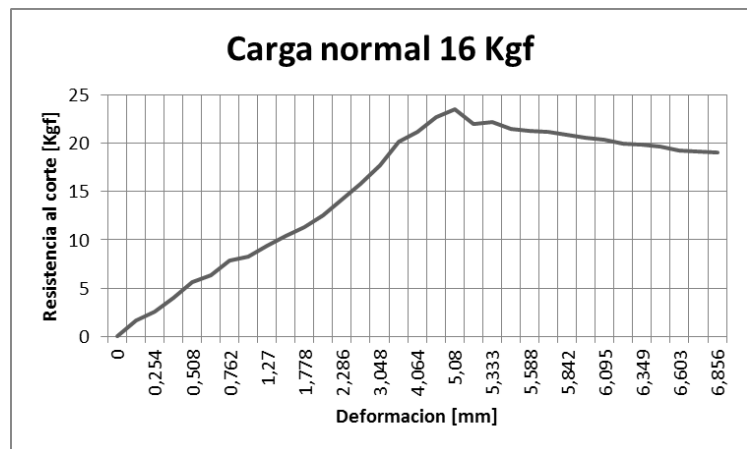
Carga normal		8 kg
Humedad		28,5 %
Densidad humeda		2,19 gr/cm ³
Densidad seca		1,71 gr/cm ³



Carga normal	16 kg
---------------------	--------------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	251,14 gr
W tara	7,30 gr
W tara + suelo humedo	44,95 gr
W tara + suelo seco	36,50 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

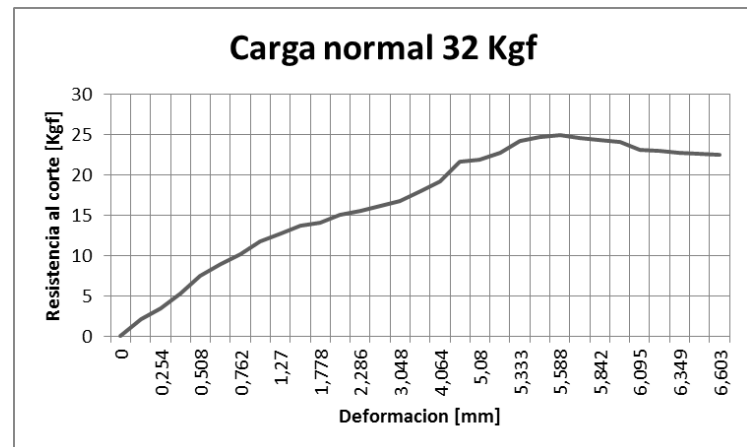
Carga normal		16 kg
Humedad		28,9 %
Densidad humeda		2,14 gr/cm ³
Densidad seca		1,66 gr/cm ³



Carga normal	32 kg
---------------------	--------------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	248,24 gr
W tara	6,90 gr
W tara + suelo humedo	53,80 gr
W tara + suelo seco	43,20 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

Carga normal		32 kg
Humedad		29,2 %
Densidad humeda		2,09 gr/cm ³
Densidad seca		1,62 gr/cm ³



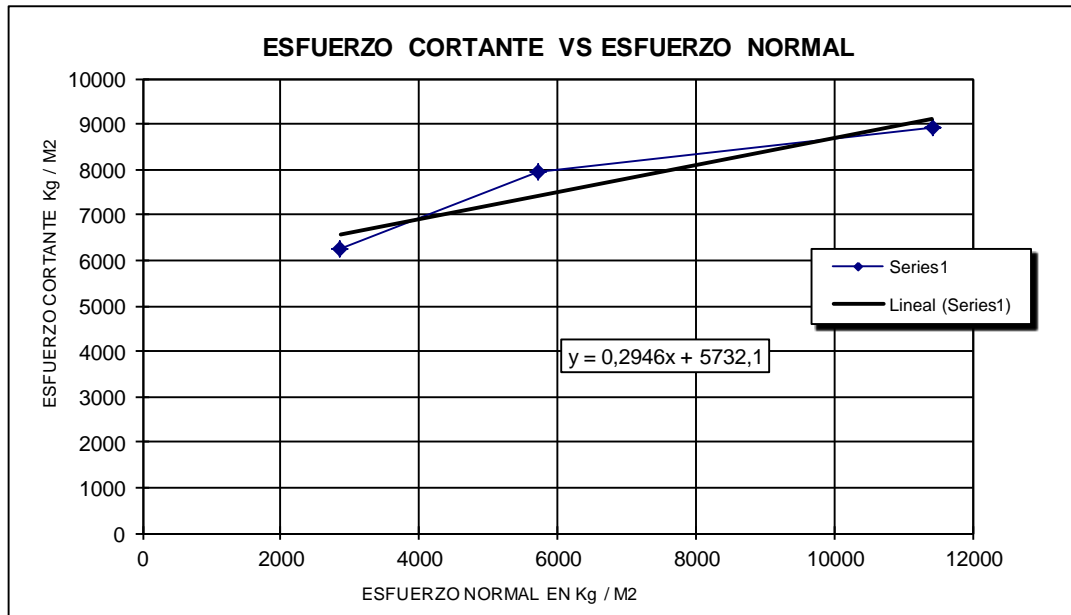
Valores pico para la muestra 1 inalterado Saturado



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154**

FECHA	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	1
LOCALIZACION	K4 + 840	PROFUNDIDAD	1

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m2	MAXIMA EN Kg	Kg/m2	Kg/m2
8,000	0,0028	17,45	2857,14	6232,14
16,000	0,0028	22,20	5714,29	7928,57
32,000	0,0028	25,00	11428,57	8928,57



τ_{sat}	2140,58	kg/m3
HUMEDAD %	29	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,2946	
ANGULO FRICCION	16	grados
COHESION	5732	kg/m2

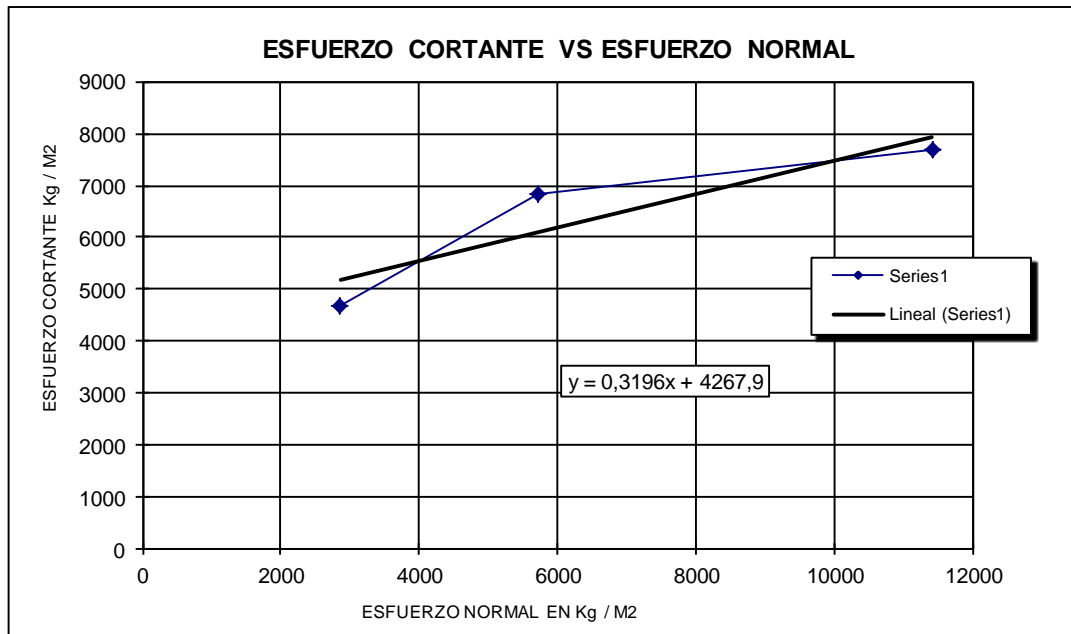
Valores Residuales para la muestra 1 inalterado Saturado



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154

FECHA	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	1
LOCALIZACION	K4 + 840	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m ²	MAXIMA EN Kg	Kg/m ²	Kg/m ²
8,000	0,0028	13,15	2857,14	4696,43
16,000	0,0028	19,10	5714,29	6821,43
32,000	0,0028	21,50	11428,57	7678,57

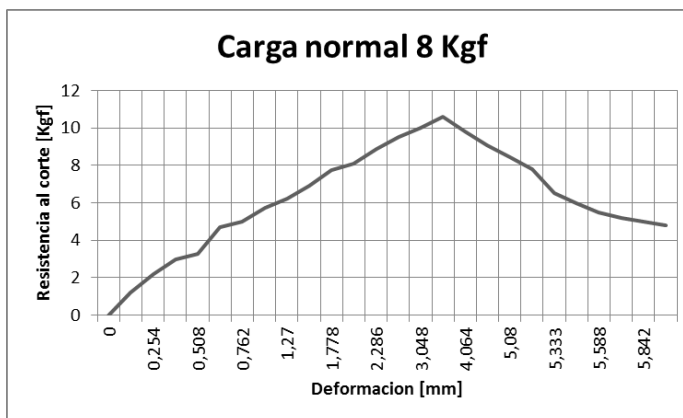


τ_{sat}	2140,58	kg/m ³
HUMEDAD %	29	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,3196	
ANGULO FRICCION	18	grados
COHESION	4268	kg/m ²

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO INALTERADO SATURADO MUESTRA 2

Carga normal 8 kg

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	216,90 gr
W tara	6,80 gr
W tara + suelo humedo	51,20 gr
W tara + suelo seco	40,20 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

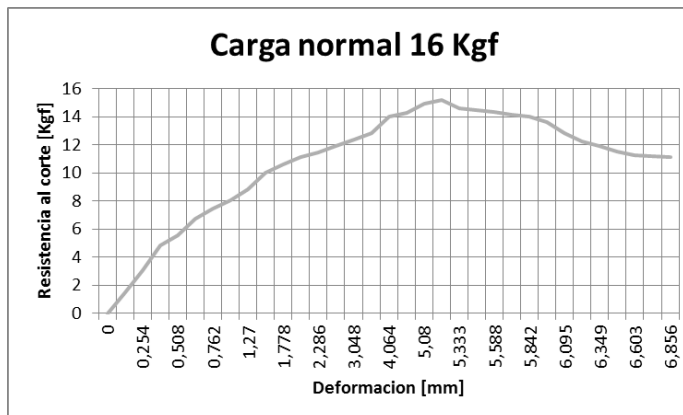


Carga normal 8 kg

Humedad	32,9 %
Densidad humeda	1,61 gr/cm ³
Densidad seca	1,21 gr/cm ³

Carga normal 16 kg

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	229,20 gr
W tara	7,20 gr
W tara + suelo humedo	51,50 gr
W tara + suelo seco	38,50 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

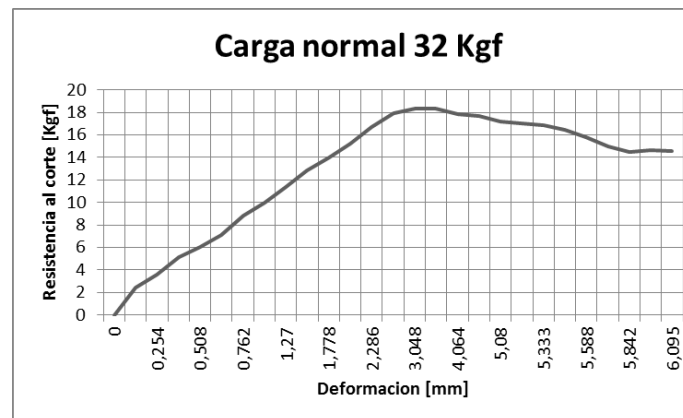


Carga normal 16 kg

Humedad	41,5 %
Densidad humeda	1,80 gr/cm ³
Densidad seca	1,27 gr/cm ³

Carga normal 32 kg

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	228,30 gr
W tara	6,90 gr
W tara + suelo humedo	55,10 gr
W tara + suelo seco	42,70 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³



Carga normal 32 kg

Humedad	34,6 %
Densidad humeda	1,79 gr/cm ³
Densidad seca	1,33 gr/cm ³

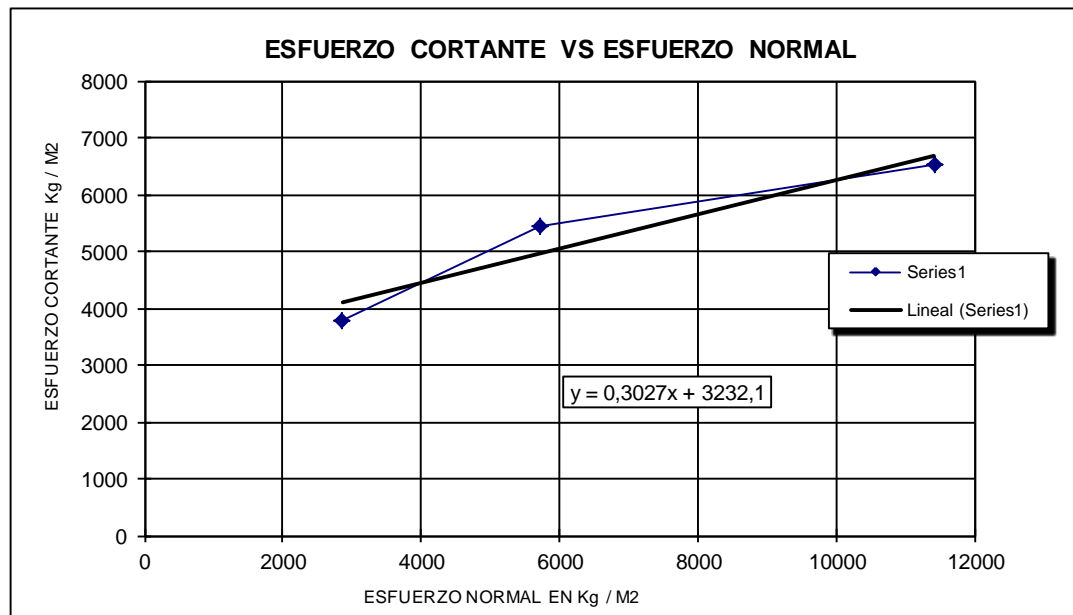
Valores pico para la muestra 2 inalterado Saturado



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154

FECHA	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	2
LOCALIZACION	K4 + 570	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m ²	MAXIMA EN Kg	Kg/m ²	Kg/m ²
8,000	0,0028	10,60	2857,14	3785,71
16,000	0,0028	15,20	5714,29	5428,57
32,000	0,0028	18,30	11428,57	6535,71



τ_{sat}	1733,00	kg/m ³
HUMEDAD %	36	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,3027	
ANGULO FRICCION	17	grados
COHESION	3232	kg/m ²

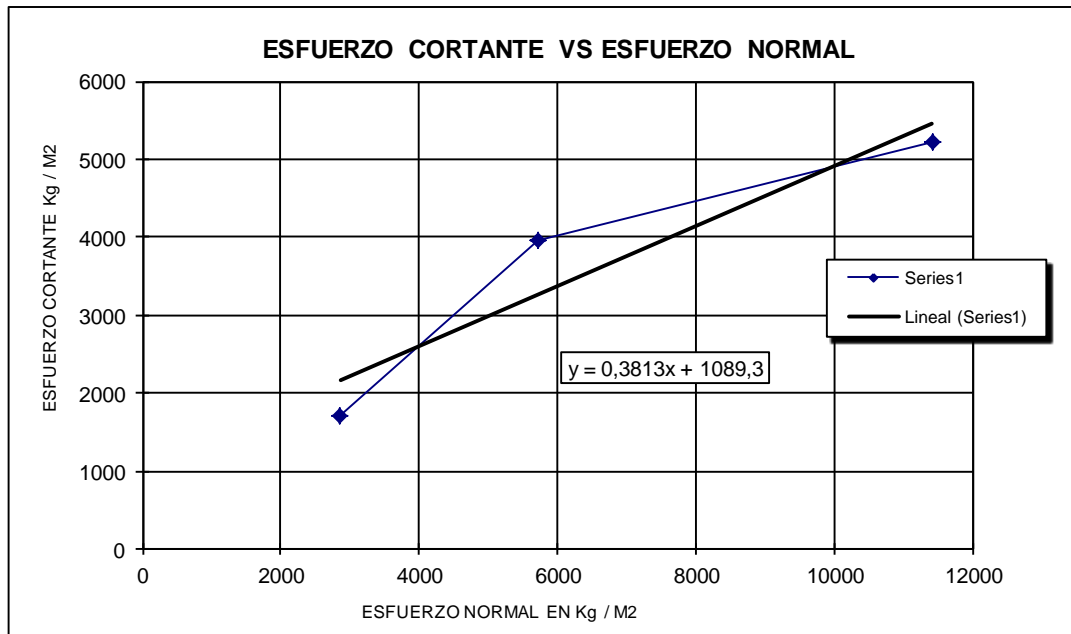
Valores Residuales para la muestra 2 inalterado Saturado



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154

C	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	2
LOCALIZACION	K4 + 570	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m2	MAXIMA EN Kg	Kg/m2	Kg/m2
8,000	0,0028	4,80	2857,14	1714,29
16,000	0,0028	11,10	5714,29	3964,29
32,000	0,0028	14,60	11428,57	5214,29



γ_{sat}	1733,00	kg/m3
HUMEDAD %	36	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,3813	
ANGULO FRICCION	21	grados
COHESION	1089	kg/m2

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO INALTERADO SATURADO MUESTRA 3

Carga normal	8 kg
---------------------	-------------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	259,60 gr
W tara	6,90 gr
W tara + suelo humedo	50,80 gr
W tara + suelo seco	39,90 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

Carga normal	8 kg
Humedad	33,0 %
Densidad humeda	2,27 gr/cm ³
Densidad seca	1,70 gr/cm ³

Carga normal	16 kg
---------------------	--------------

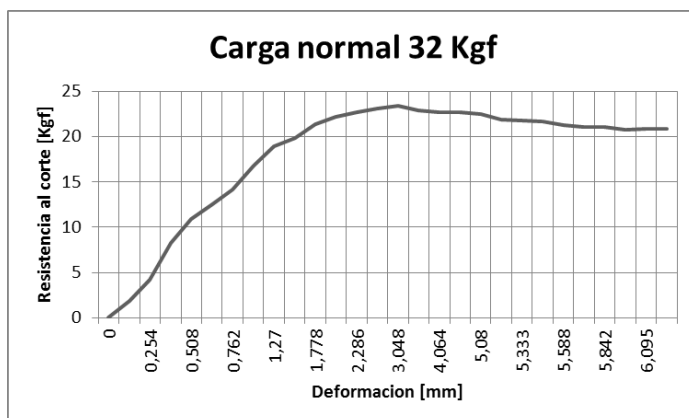
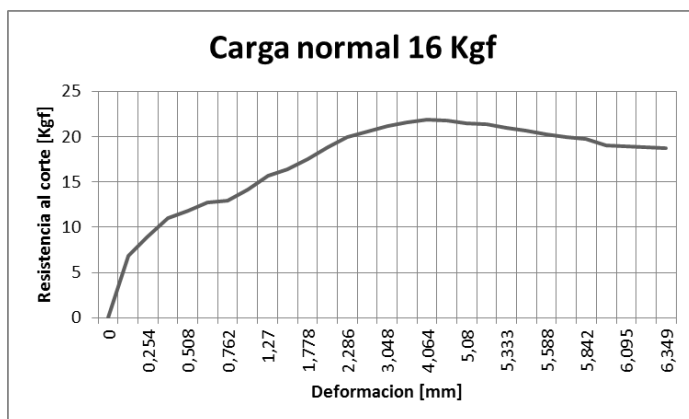
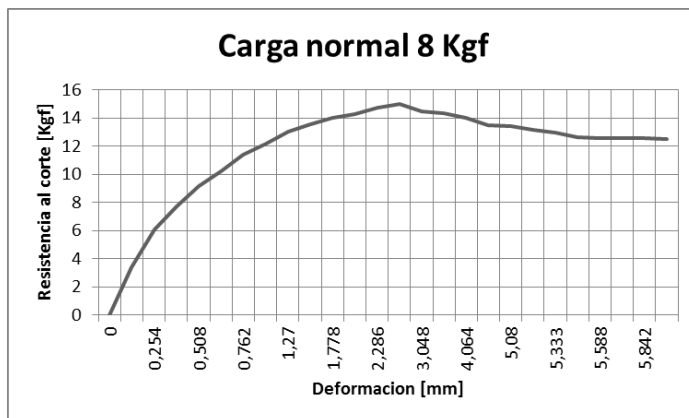
W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	265,30 gr
W tara	7,20 gr
W tara + suelo humedo	53,30 gr
W tara + suelo seco	42,30 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

Carga normal	16 kg
Humedad	31,3 %
Densidad humeda	2,35 gr/cm ³
Densidad seca	1,79 gr/cm ³

Carga normal	32 kg
---------------------	--------------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	252,48 gr
W tara	6,90 gr
W tara + suelo humedo	52,70 gr
W tara + suelo seco	41,90 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

Carga normal	32 kg
Humedad	30,9 %
Densidad humeda	2,16 gr/cm ³
Densidad seca	1,65 gr/cm ³



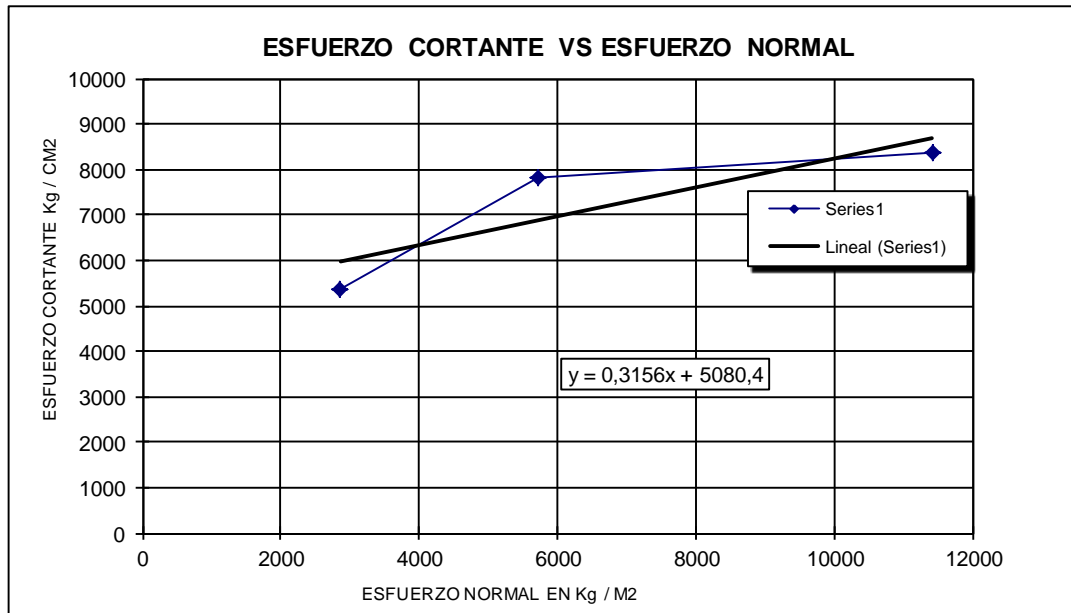
Valores Pico para la muestra 3 inalterado Saturado



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154

C	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	3
LOCALIZACION	K4 + 330	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m2	MAXIMA EN Kg	Kg/m2	Kg/m2
8,000	0,0028	15,00	2857,14	5357,14
16,000	0,0028	21,90	5714,29	7821,43
32,000	0,0028	23,45	11428,57	8375,00



γ_{sat}	2258,05	kg/m3
HUMEDAD %	32	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,3156	
ANGULO FRICCION	18	grados
COHESION	5080	kg/m2

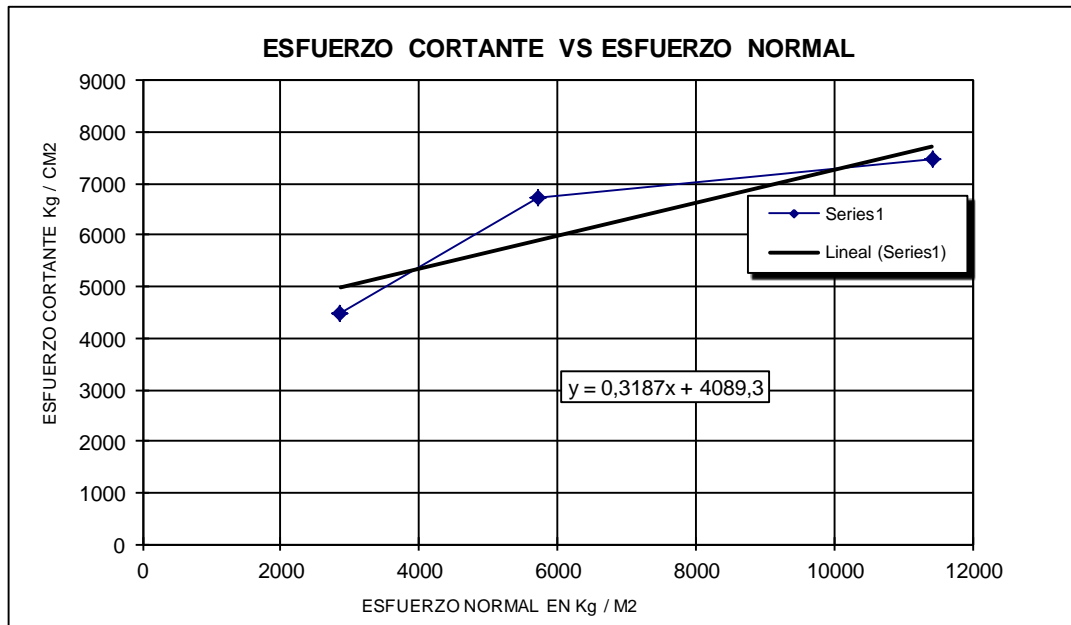
Valores Residuales para la muestra 3 inalterado Saturado



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154

FECHA	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	3
LOCALIZACION	K4 + 330	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m2	MAXIMA EN Kg	Kg/m2	Kg/m2
8,000	0,0028	12,50	2857,14	4464,29
16,000	0,0028	18,80	5714,29	6714,29
32,000	0,0028	20,90	11428,57	7464,29



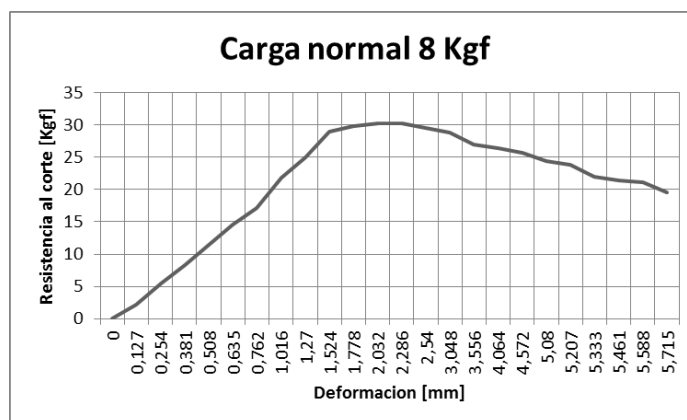
τ_{sat}	2258,05	kg/m3
HUMEDAD %	32	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,3187	
ANGULO FRICCION	18	grados
COHESION	4089	kg/m2

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO ALTERADO NORMAL MUESTRA 1

Carga normal 8 kg

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	232,50 gr
W tara	6,80 gr
W tara + suelo humedo	40,30 gr
W tara + suelo seco	37,40 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

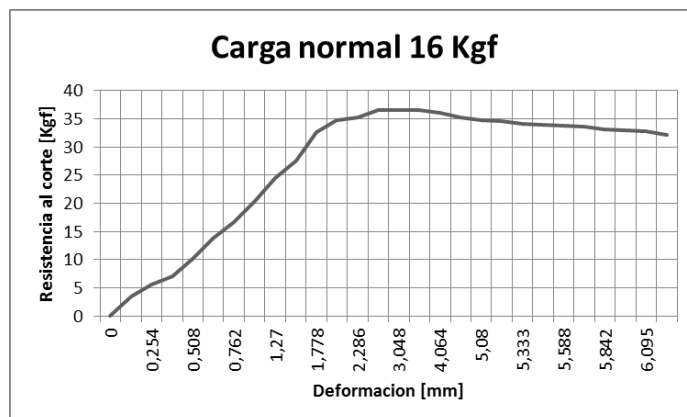
Carga normal 8 kg	
Humedad	9,5 %
Densidad humeda	1,85 gr/cm ³
Densidad seca	1,69 gr/cm ³



Carga normal 16 kg

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	219,50 gr
W tara	6,90 gr
W tara + suelo humedo	40,60 gr
W tara + suelo seco	37,70 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

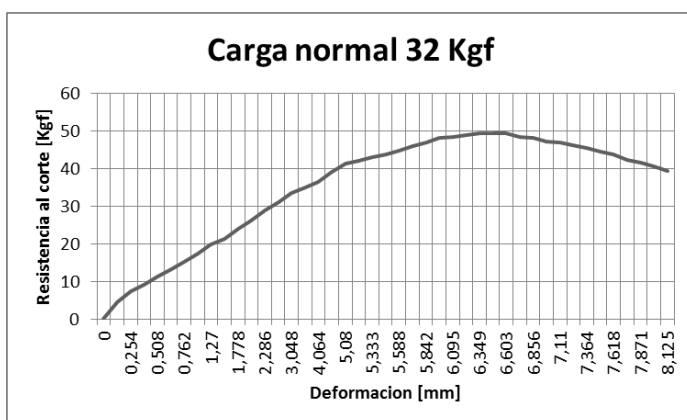
Carga normal 16 kg	
Humedad	9,4 %
Densidad humeda	1,65 gr/cm ³
Densidad seca	1,51 gr/cm ³



Carga normal 32 kg

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	222,50 gr
W tara	7,20 gr
W tara + suelo humedo	40,20 gr
W tara + suelo seco	37,40 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

Carga normal 32 kg	
Humedad	9,3 %
Densidad humeda	1,70 gr/cm ³
Densidad seca	1,55 gr/cm ³



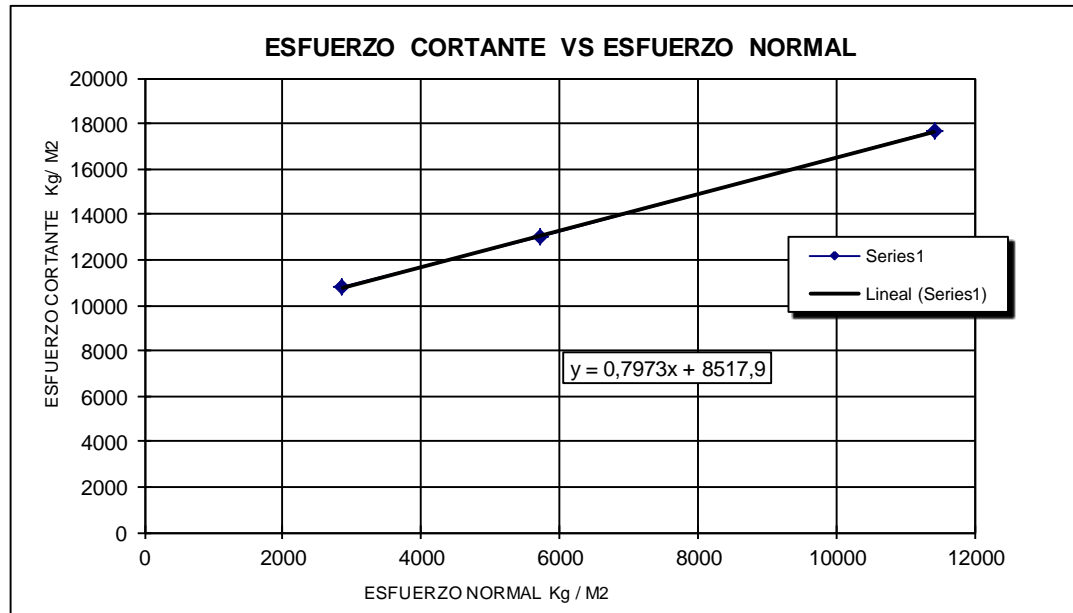
Valores pico muestra 1 Alterado Normal



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154

FECHA	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	1
LOCALIZACION	K4 + 840	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m2	MAXIMA EN Kg	Kg/m2	Kg/m2
8,000	0,0028	30,30	2857,14	10821,43
16,000	0,0028	36,50	5714,29	13035,71
32,000	0,0028	49,40	11428,57	17642,86



Y Prom	1584,70	[Kg/m3]
HUMEDAD %	9	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,7973	
ANGULO FRICCION	39	grados
COHESION	8518	kg/m2

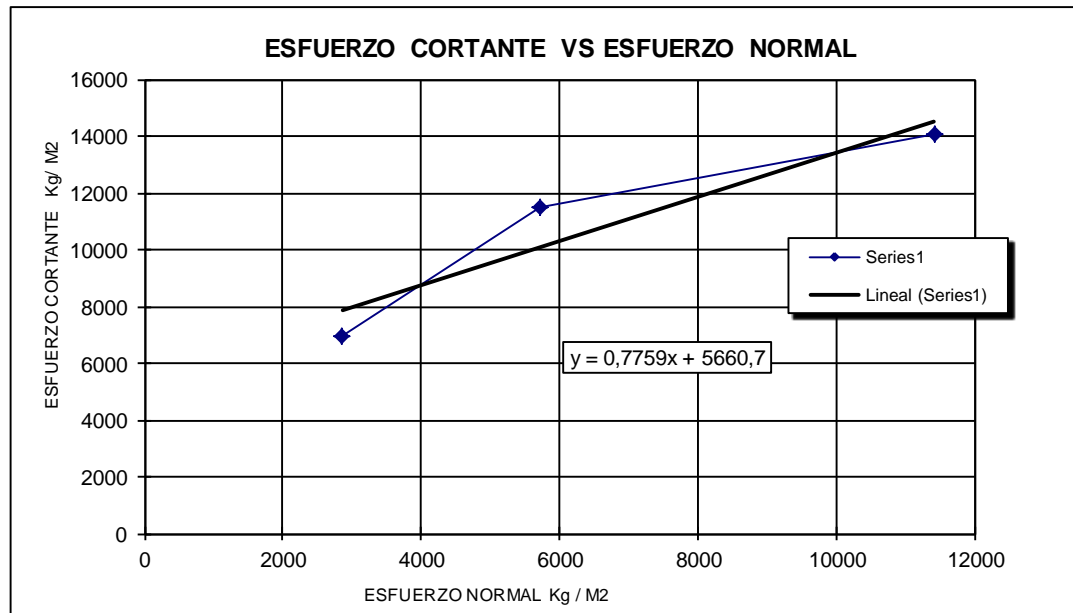
Valores residual muestra 1 Alterado Normal



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154

FECHA	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	1
LOCALIZACION	K4 + 840	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m ²	MAXIMA EN Kg	Kg/m ²	Kg/m ²
8,000	0,0028	19,50	2857,14	6964,29
16,000	0,0028	32,10	5714,29	11464,29
32,000	0,0028	39,40	11428,57	14071,43



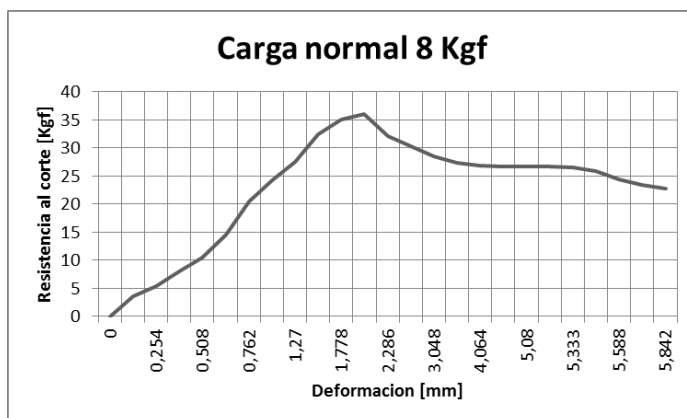
HUMEDAD %	9	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,7759	
ANGULO FRICCION	38	grados
COHESION	5661	kg/m ²

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO ALTERADO NORMAL MUESTRA 2

Carga normal	8 kg
---------------------	-------------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	219,50 gr
W tara	7,20 gr
W tara + suelo humedo	40,80 gr
W tara + suelo seco	35,80 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

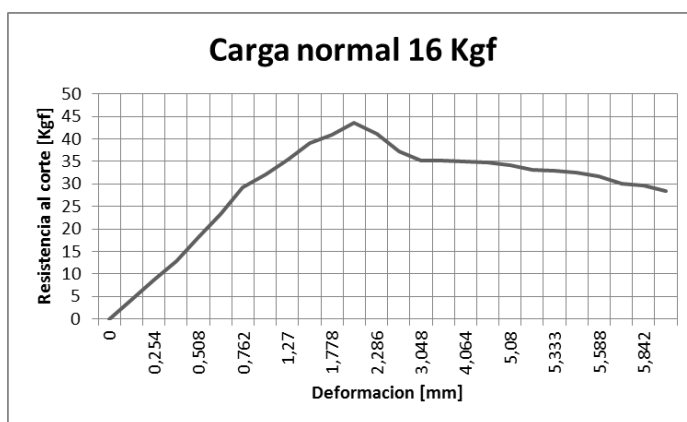
Carga normal	8 kg
Humedad	17,5 %
Densidad humeda	1,65 gr/cm ³
Densidad seca	1,41 gr/cm ³



Carga normal	16 kg
---------------------	--------------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	228,00 gr
W tara	7,20 gr
W tara + suelo humedo	40,10 gr
W tara + suelo seco	35,20 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

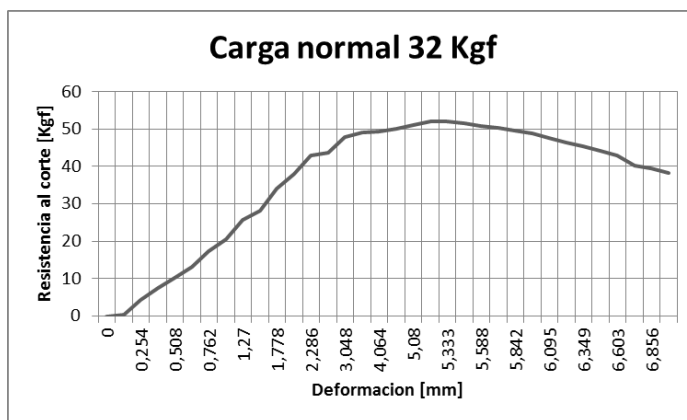
Carga normal	16 kg
Humedad	17,5 %
Densidad humeda	1,78 gr/cm ³
Densidad seca	1,52 gr/cm ³



Carga normal	32 kg
---------------------	--------------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	214,00 gr
W tara	7,40 gr
W tara + suelo humedo	40,30 gr
W tara + suelo seco	35,30 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

Carga normal	32 kg
Humedad	17,9 %
Densidad humeda	1,57 gr/cm ³
Densidad seca	1,33 gr/cm ³



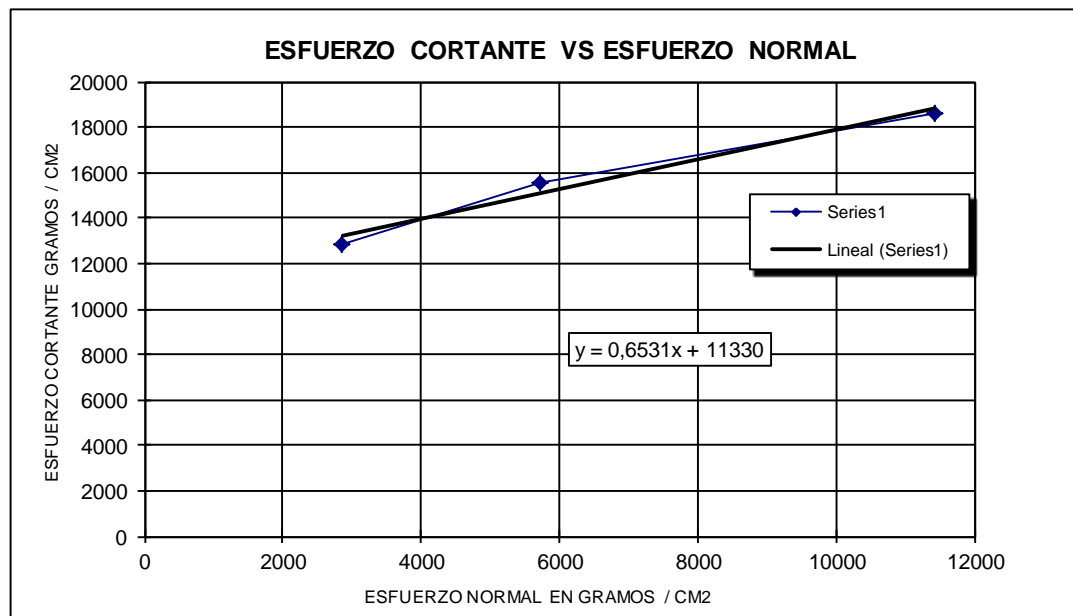
Valores pico muestra 2 Alterado Normal



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154**

FECHA	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	2
LOCALIZACION	K4 + 570	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m2	MAXIMA EN Kg	Kg/m2	Kg/m2
8,000	0,0028	36,00	2857,14	12857,14
16,000	0,0028	43,60	5714,29	15571,43
32,000	0,0028	52,15	11428,57	18625,00



	1417,3987	
HUMEDAD %	18	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,6531	
ANGULO FRICCION	33	grados
COHESION	11330	kg/m2

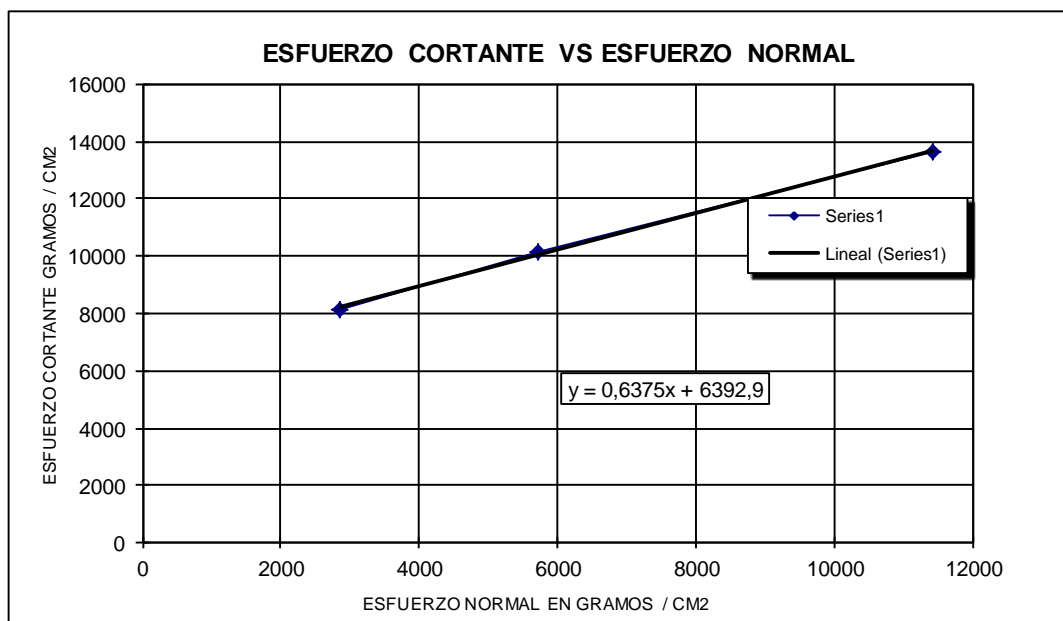
Valores Residual muestra 2 Alterado Normal



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154

FECHA	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	2
LOCALIZACION	K4 + 570	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m2	MAXIMA EN Kg	Kg/m2	Kg/m2
8,000	0,0028	22,80	2857,14	8142,86
16,000	0,0028	28,40	5714,29	10142,86
32,000	0,0028	38,20	11428,57	13642,86



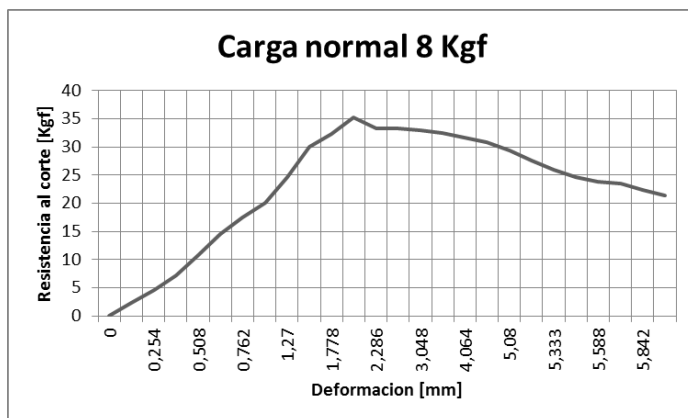
HUMEDAD %	18	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,6375	
ANGULO FRICCION	33	grados
COHESION	6393	kg/m2

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO ALTERADO NORMAL MUESTRA 3

Carga normal	8 kg
---------------------	-------------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	226,50 gr
W tara	7,10 gr
W tara + suelo humedo	40,50 gr
W tara + suelo seco	35,90 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

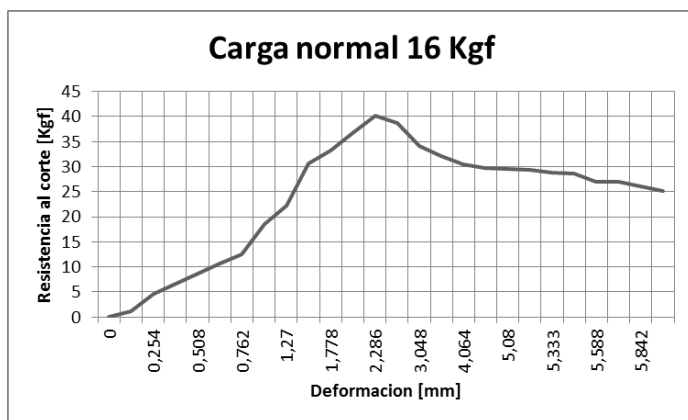
Carga normal	8 kg
Humedad	16,0 %
Densidad humeda	1,76 gr/cm ³
Densidad seca	1,52 gr/cm ³



Carga normal	16 kg
---------------------	--------------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	237,00 gr
W tara	6,70 gr
W tara + suelo humedo	40,20 gr
W tara + suelo seco	35,50 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

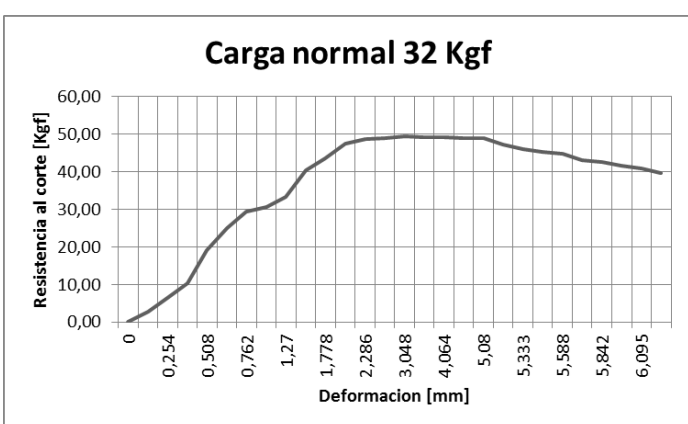
Carga normal	16 kg
Humedad	16,3 %
Densidad humeda	1,92 gr/cm ³
Densidad seca	1,65 gr/cm ³



Carga normal	32 kg
---------------------	--------------

W del anillo	111,50 gr
W muestra + anillo	221,50 gr
W tara	6,90 gr
W tara + suelo humedo	40,30 gr
W tara + suelo seco	35,90 gr
D	5,99 cm
h	2,32 cm
Volumen muestra	65,38 cm ³

Carga normal	32 kg
Humedad	15,2 %
Densidad humeda	1,68 gr/cm ³
Densidad seca	1,46 gr/cm ³



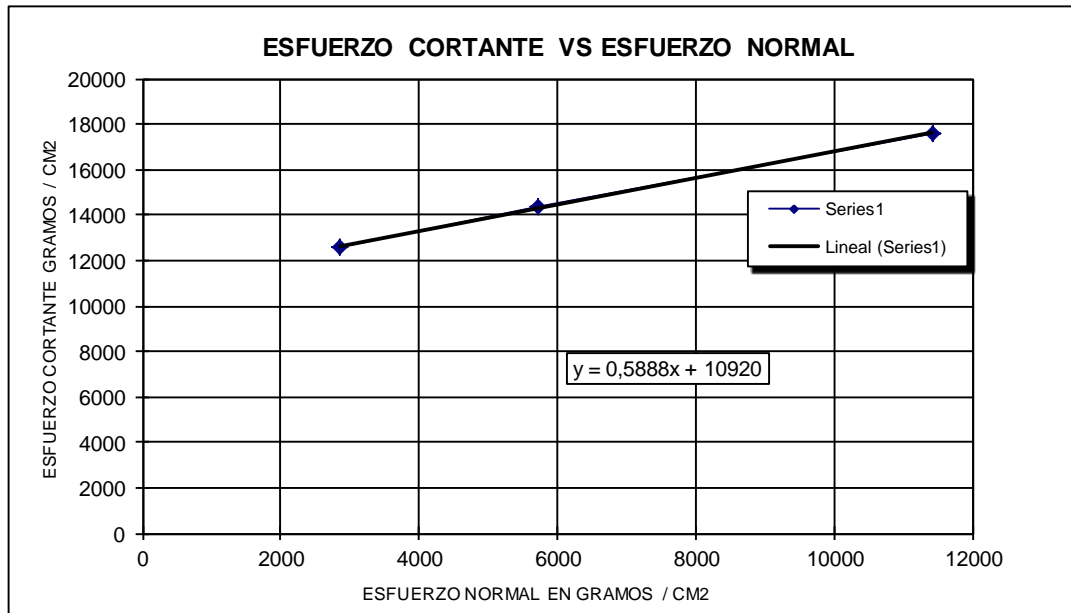
Valores pico muestra 3 Alterado Normal



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154**

FECHA	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	3
LOCALIZACION	K4 + 330	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m2	MAXIMA EN Kg	Kg/m2	Kg/m2
8,000	0,0028	35,15	2857,14	12553,57
16,000	0,0028	40,20	5714,29	14357,14
32,000	0,0028	49,35	11428,57	17625,00



HUMEDAD %	1542,635542	[Kg/m3]
	16	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,5888	
ANGULO FRICCION	30	grados
COHESION	10920	kg/m2

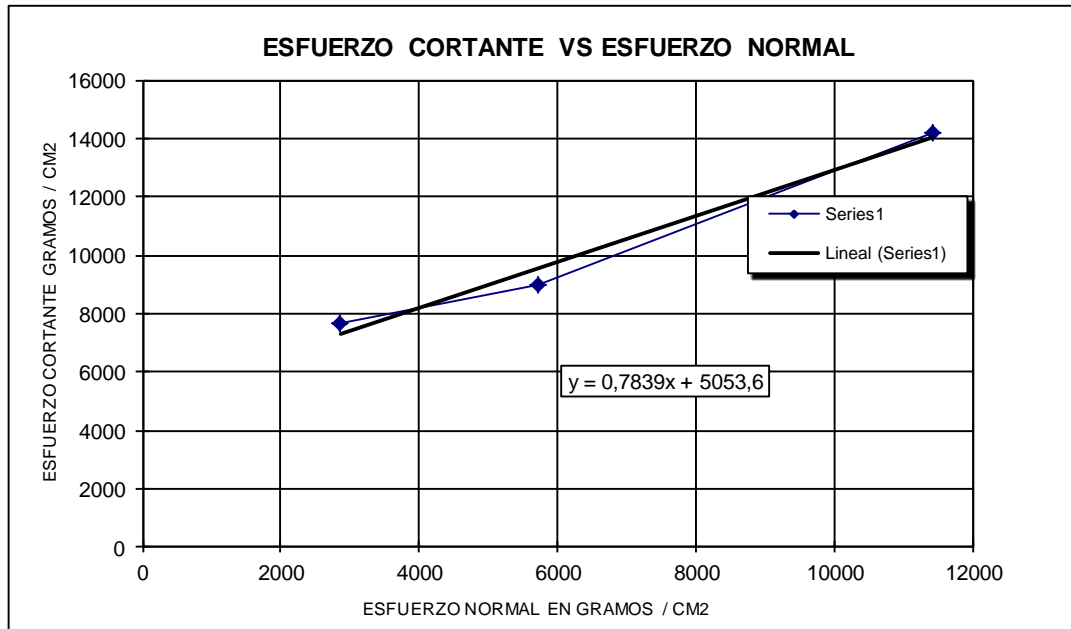
Valores Residual muestra 3 Alterado Normal



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154

FECHA	abr-12	SONDEO	1
PROYECTO	Estabilizacion Hato - Palmar	MUESTRA	3
LOCALIZACION	K4 + 330	PROFUNDIDAD	1 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m2	MAXIMA EN Kg	Kg/m2	Kg/m2
8,000	0,0028	21,45	2857,14	7660,71
16,000	0,0028	25,15	5714,29	8982,14
32,000	0,0028	39,75	11428,57	14196,43



HUMEDAD %	16	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,7839	
ANGULO FRICCION	38	grados
COHESION	5054	kg/m2