

**EVALUACION GEOTECNICA DEL DERECHO DE VIA DEL GASODUCTO
GIBRALTAR – BUCARAMANGA.
SECTOR Pk 101+500**

GERMAN PALENCIA GUALDRON

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS ELECTROMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
MAESTRIA EN GEOTECNIA
BUCARAMANGA
2012.**

**EVALUACION GEOTECNICA DEL DERECHO DE VIA DEL GASODUCTO
GIBRALTAR – BUCARAMANGA.
SECTOR Pk 101+500**

GERMAN PALENCIA GUALDRON

Proyecto de grado para optar al titulo de Magister en geotecnia

**DIRECTOR
ING. WILFREDO DEL TORO**

**ASESOR
ING JAIME SUAREZ DIAZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS ELECTROMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
MAESTRIA EN GEOTECNIA
BUCARAMANGA**

2012

AGRADECIMIENTOS

Mis mas sinceros agradecimientos al doctor Cesar Augusto Torres Macias y a la Ingeniera Isabel Cristina Galvez Gómez, por todo el apoyo para la realización de la Maestría. En TRANSORIENTE siempre he recibido las más altas consideraciones y por ello no puedo menos que hacer este reconocimiento.

Para el Profesor Jaime Suarez Diaz, por su invaluable dedicación, por el conocimiento trasmitido, pero por sobre todo por su confianza y su permanente interés y desprendimiento hacia sus estudiantes.

TABLA DE CONTENIDO.

	Pág.
INTRODUCCION	20
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
2. JUSTIFICACION.....	24
3. OBJETIVOS.....	25
3.1 OBJETIVO GENERAL	25
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	25
4. ESTADO DEL ARTE Y ASPECTOS TEORICOS EN ESTABILIDAD DE TALUDES	26
4.1 TALUD	26
4.2 PARTES DEL TALUD.....	26
4.2.1 Pie, pata o base.....	27
4.2.2 Cabeza, cresta, cima o escarpe.....	27
4.2.3 Altura.....	27
4.2.4 Pendiente.....	27
4.3 DESLIZAMIENTO	28
4.3.1 Cabeza.....	28
4.3.2 Cima.....	29
4.3.3 Corona.....	29
4.3.4 Escarpe principal.....	29
4.3.5 Escarpe secundario.....	29
4.3.6 Superficie de falla.....	29

4.3.7 Pie de la superficie de falla	30
4.3.8 Base.....	30
4.3.9 Punta o uña.....	30
4.3.10 Cuerpo principal del deslizamiento	30
4.3.11 Superficie original del terreno.	30
4.3.12 Costado o flanco.	30
4.3.12.1 Dimensiones de los movimientos.....	30
4.3.13 Ancho de la masa desplazada W_d	31
4.3.14 Ancho de la superficie de falla W_r	31
4.3.15 Longitud de la masa deslizada L_d	31
4.3.16 Longitud de la superficie de falla L_r	31
4.3.17 Profundidad de la masa desplazada D_d	32
4.3.18 Profundidad de la superficie de falla D_r	32
4.3.19 Longitud total L	32
4.3.20 Longitud de la línea central L_c	32
4.4 CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS	32
4.4.1 Clasificación de Acuerdo con el Tipo de Movimiento	32
4.4.1.1 Caído.	32
4.4.2 Inclinación o Volcamiento	33
4.4.3. Reptación (“Creep”)	34
4.4.4 Deslizamientos en masa (Traslacionales y rotacionales)	34
4.4.5 Deslizamiento Rotacional.....	35
4.4.6 Deslizamiento de traslación	36
4.4.7 Deslizamientos compuestos de traslación y rotación.....	36
4.4.8 Extensión lateral	36
4.4.9 Hundimientos	37
4.4.10 Flujos	37
4.5 CLASIFICACIÓN DE LOS DESLIZAMIENTOS CUANDO EXISTEN VARIOS TIPOS DE MOVIMIENTO	37
4.5.1 Complejo.....	37

4.5.2 Compuesto.....	38
4.5.3 Múltiple.....	38
4.5.4 Sencillo.	38
4.6 CLASIFICACIÓN DEL DESLIZAMIENTO DE ACUERDO CON EL ESTADO DE ACTIVIDAD.....	38
4.6.1 Activo.	38
4.6.2 Reactivado.	38
4.6.3 Suspendido.	39
4.6.4 Relicto.	39
4.7 CLASIFICACIÓN DEL DESLIZAMIENTO DE ACUERDO SECUENCIA DE REPETICIÓN.....	39
4.7.1 Progresivo.....	39
4.7.2 Retrogresivo o sucesivo.....	39
4.7.3 Ampliándose.	39
4.7.4 Alargándose.....	40
4.7.5 Confinado.....	40
4.7.6 Disminuyendo.	40
4.8 MECANISMO DE FALLA DE TALUD	40
4.8.1 Condiciones originales del talud: Susceptibilidad.	40
4.8.2 Equilibrio o desequilibrio de fuerzas: Factor de Seguridad	41
4.8.3 El deterioro: Modificación de lascondiciones originales.	41
4.9 METODOLOGÍAS PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	41
4.9.1 Métodos de equilibrio limite.....	42
4.9.2 Método Superficiesde falla Equilibrio Características	42
4.10 HERRAMIENTAS DISPONIBLES EN ESTABILIDAD DE TALUDES	44
4.10.1 Tablas o ábacos.....	44
4.10.2 Análisis gráficos	44
4.10.3 Cálculos manuales.....	44
4.10.4 Hojas de cálculo.....	44
4.10.5 Uso de “Software”	44

4.11 TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN.....	45
4.11.1 Modificación de la geometría del talud.....	45
4.11.2 Abatimiento en taludes por relleno.....	46
4.11.3 Abatimiento de taludes por corte.	46
4.11.4 Escalonamiento del talud.	48
Figura 10. Detalle de la conformación del talud, mediante abatimiento de la pendiente	48
4.11.5 Empleo de contrapesos al pie de talud.	49
4.11.6 Sistemas de drenaje superficial	50
4.11.6.1 Tipos de obra de drenaje superficial.	51
4.11.7 Métodos de sub-drenaje	52
4.11.7.1 Cortinas impermeables subterráneas.	52
4.11.7.2 Subdrenes de zanja.	52
4.11.7.3 Subdrenes de penetración.	53
4.11.7.4. Colchones de drenaje.	53
4.11.7.5 Drenes verticales de alivio.	53
4.11.7.6 Galerías de drenaje.....	53
4.11.7.7 Drenes de pantalla.....	54
4.12 PROTECCIÓN DE LA SUPERFICIE.	54
4.12.1 Concreto lanzado.....	54
4.12.2 Mortero.....	55
4.12.3 Barreras vivas.	55
4.12.4 Barreras muertas.	55
4.12.5 Estructuras de retención.	56
4.12.6 Muros rígidos de concreto armado.	56
4.12.7 Muros rígidos de concreto simple.	56
4.12.9 Muros rígidos de piedra.	57
4.12.10 Muros flexibles de gaviones.....	58
4.12.11 Muros flexibles de llantas.....	58
4.12.12 Muros de tierra armada.....	58

4.12.13 SoilNailing	59
4.13 ELABORACIÓN DE MODELOS CONCEPTUALES	60
4.14 DEFINICIÓN E INVESTIGACIÓN DEL DESLIZAMIENTO	61
5. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO	68
5.1 LOCALIZACION.....	68
5.2 CLIMA Y VEGETACIÓN	69
5.3 TOPOGRAFIA	70
5.4 GEOLOGIA REGIONAL.....	70
5.5 ESTRATIGRAFÍA	72
5.5.1 Precámbrico.....	73
5.5.1.1 Neis de Bucaramanga (Pem).....	73
5.5.1.2 Ortoneis de Berlín (PEpa).....	74
5.5.2 Paleozoico	74
5.5.2.1 Formación Silgará (Pzm).	74
5.5.2.2 Ordovícico - Silúrico (Pzms).....	75
5.5.2.3 Silúrico-Devónico (Pzpa).....	75
5.5.3 Rocas Ígneas.....	76
5.5.3.1 Diorita del Río Guaca y Río Suratá(Jdg, Jds).	76
5.5.3.2 Plutón de Páramo Rico y Cuarzomonzonita de La Corcova (Jgd, Jcg).	76
5.5.3.3 Batolito de Santa Bárbara (Jcs).	77
5.5.3.4 Batolito de Río Negro (Jc).....	77
5.5.4 Rocas Sedimentarias.....	78
5.5.4.1 Formación Girón Jg.	78
5.5.4.2 Formación Tablazo.	78
5.5.4.3 Formación Simití.	79
5.5.5 Depósitos inconsolidados	79
5.5.5.1 Depósitos cuaternarios Terrazas coluvio-aluviales (Qtf-Qtcol).	79
5.5.6 Depósitos de Vertiente (Qdv).....	80
5.5.7 Rasgos Tectónicos Sobresalientes.....	80

5.5.8 Estructuras	80
5.5.8.1 Falla de Romeral-Cucutilla.....	80
5.5.8.2 Falla de Bucaramanga.....	80
5.5.8.3 Falla de Servitá.....	81
5.5.8.4 Falla del Suárez.....	81
6. METODOLOGIA	83
6.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	83
6.2 INVESTIGACION DEL SUBSUELO	83
6.2.1.1 Levantamiento topográfico.....	84
6.2.1.2 Sondeos geo eléctricos.....	85
6.2.1.3 Sondeos mecánicos.....	86
6.2.1.4 Ensayos de laboratorio.....	88
6.3 ELABORACION DE MODELOS DE ESTABILIZACION	89
6.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	89
7. RESULTADOS.....	90
7.1 ESTUDIO DEL SUBSUELO.....	90
7.1.1 Levantamiento topográfico.....	90
7.1.2 Sondeos geo eléctricos.....	90
7.1.2.1 Sondeo eléctrico vertical SEV -1.....	91
7.1.2.2 Sondeo eléctrico vertical SEV -2.....	93
7.1.3 Sondeos mecánicos.....	97
7.1.4 Ensayos de laboratorio	105
7.2 ANALISIS DE ESTABILIDAD.....	107
7.2.1 Terreno sin la aplicación de ningún tipo de medidas para el control de deslizamiento.....	107
7.2.2 Modelo con talud conformado y bermas.....	114
7.2.3 Modelo con talud conformado – bermas y subdrenes de penetración.....	115
7.2.4 Modelo sin coluvión.....	116

7.2.5 Modelo sin coluvión y subdrenes de penetración.	117
7.2.6 Modelo con conformación taludes y anclajes.....	118
7.2.7 Modelo con conformación taludes – anclajes y subdrenes.....	119
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	122
BIBLIOGRAFIA.....	124
ANEXOS.....	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica del gasoducto Gibraltar – Bucaramanga.	21
Figura 2. Nomenclatura de taludes y laderas. Procesos de depositación.....	27
Figura 3. Nomenclatura de taludes y laderas. Procesos de depositación.....	28
Figura 4. Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG	31
Figura 5. Tipos de caídos según el material.	33
Figura 6. Proceso de falla por volcamiento	34
Figura 7. Detalle de un movimiento rotacional	35
Figura 8. Detalle de movimiento traslacional	36
Figura 9. <i>Modificación de la geometría del talud</i>	45
Figura 10. Detalle de la conformación del talud, mediante abatimiento de la pendiente	48
Figura 11. Empleo de contrapesos para la aumentar estabilidad en un talud.	49
Figura 12. Configuración de un sistema de drenaje superficial.....	53
Figura 13. Ejemplo de la aplicación de concreto ciclopeo	57
Figura 14. Ejemplo de conformación de muros de tierra armada	59
Figura 15. Esquema de formulación de Modelos Conceptuales.....	62
Figura 16 Exploración como herramienta de investigación del subsuelo. Tomado de Ojeda 2010	65
Figura 17. Flujograma del Análisis e Investigación de Deslizamientos.....	67
Figura 18. Localización del sitio objeto de investigación.....	68
Figura 19 .Geología de la Zona en Estudio (Silos)	71
Figura 20. Geología de la Zona en Estudio (Silos)	72
Figura 21. Perfil del sondeo No 1.....	99
Figura 22, Perfil del sondeo No 2.....	100
Figura 23. Perfil del sondeo No 3.....	101

Figura 24. Perfil del sondeo No 4.....	102
Figura 25. Perfil del sondeo No 5.....	103
Figura 26. Perfil del sondeo No 6.....	104
Figura 27. Modelo del perfil 1: Estático – sin obras	108
Figura 28. Modelo del perfil : Dinámico - sin obras.....	108
Figura 29. Modelo del perfil 2: Estático – sin obras	109
Figura 30 Modelo del perfil 2: Dinámico – sin obras	109
Figura 31. Modelo del perfil 3: Estático – sin obras	110
Figura 32. Modelo del perfil 3: Dinámico – sin obras	110
Figura 33. Modelo del perfil 4: Estático – sin obras.	111
Figura 34. Modelo del perfil 4: Dinámico – sin obras.	111
Figura 35. Modelo del perfil 5: Estático – sin obras.	112
Figura 36. Modelo del perfil 1: Dinámico– sin obras.	112
Figura 37. Modelo del perfil 6: Estático – sin obras.	113
Figura 38. Modelo del perfil 6: Dinámico – sin obras.	113
Figura 39. Análisis de estabilidad del talud con taludes y bermas.....	114
Figura 40. Análisis con conformación de talud – bermas y subdrenes de penetración.	115
Figura 41. Análisis de estabilidad del talud sin coluvión.	116
Figura 42. Análisis estático de estabilidad para talud sin coluvión y subdrenes de penetración.	117
Figura 43. Análisis dinámico de estabilidad para talud sin coluvión y subdrenes de penetración.	118
Figura 44. Análisis de estabilidad con taludes y anclajes.	119
Figura 45. Análisis de estabilidad para talud – anclajes y subdrenes.	120
Figura 46. Análisis dinámico para talud – anclajes y subdrenes.....	121

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Principales características de los métodos de equilibrio limite.....	43
Tabla 2. Clasificación de fallas según Grases y otros.....	63
Tabla 3. Características de los sondeos geotécnicos	87
Tabla 4. Relación de ensayos de laboratorio ejecutados.....	88
Tabla 5. Resultados de sondeo geoelectrico SEV – 1.....	92
Tabla 6. Resultados de sondeo geoelectrico SEV – 2.....	94
Tabla 7. Resultados de golpes/sondeos.	97
Tabla 8. Criterios aplicados para descripción de muestras de suelo.	105
Tabla 9 Resultados de laboratorio para corte directo	106
Tabla 10. Resumen de resultados para análisis de estabilidad del terreno sin obras.....	107

Lista de Fotografías

Fotografía 1. Deslizamiento de Pk 101+500. Gasoducto Gibraltar – Bucaramanga.	23
Fotografía 2. Detalle de la cobertura vegetal del sector.....	69
Fotografía 3. Detalle del levantamiento del sector afectado por el deslizamiento.	85
Fotografía 4. Detalle de la ejecución de los sondeos geoelectricos.....	86
Fotografía 5. Detalle de la ejecución de los sondeos mecánicos.....	87

Lista de Anexos

Anexo A. Levantamiento topográfico	127
Anexo B. Resultados de laboratorio.....	132

RESUMEN

TITULO*EVALUACIÓN GEOTECNICA DEL DERECHO DE VIA DEL GASODUCTO GIBRALTAR – BUCARAMANGA, SECTOR PK 101+500*

AUTOR: Germán Palencia Gualdrón**

Palabras clave – Estabilidad, talud, condiciones geotécnicas.

La geotecnia como técnica para el mejoramiento de la estabilidad de los suelos; es la rama de la ingeniería civil e ingeniería geológica que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la Tierra. Los estudios geotécnicos investigan e indagan el suelo y las rocas por debajo de la superficie para determinar sus propiedades y diseñar las cimentaciones para estructuras tales como edificios, puentes, centrales hidroeléctricas, estabilizar taludes, construir túneles y carreteras, etc. Es por esto que en presente trabajo de grado consiste en hacer un estudio geotécnico que permita aplicar las técnicas de remediación existentes al talud ubicado en el Gasoducto Gibraltar- Bucaramanga, Sector PK 101+500, con base en la experiencia, en la técnica y en todo el desarrollo que en mecánica de suelos y estabilización de taludes se tiene se pretende realizar un estudio para escoger el método que más se adapte a las condiciones del sector en mención.

Una vez culminado el proyecto se podrá realizar obras de remediación y mitigación en la zona de estudio; ya que la inestabilidad que se presenta genera riesgos y causa demoras en una prestación óptima del servicio.

Con la ejecución del presente trabajo se busca conocer el comportamiento geotécnico del derecho de vía del gasoducto en el sector del Pk 101+500, partiendo de las condiciones particulares que pueden afectarlo y a partir de la información obtenida diseñar estrategias para minimizar y controlar todos los factores que amenazan la integridad del gasoducto y la estabilidad de la banca en este sector crítico del trazado.

* Trabajo de Aplicación

** Facultad de Ingenierías Electromecánicas Escuela de Ingeniería Civil , Maestría de Geotecnia, Director Wilfredo del toro Asesor Jaime Suarez Diaz

ABSTRACT

TITLE GEOTECHNICAL EVALUATION OF THE RIGTH-PF-WAY OF PIPELINE GIBALTAR-BUCARAMANGA, SECTOR PK 101+500*

AUTHOR: *Germán Palencia Gualdrón* **

Key Words – Estabilidad, talud, condiciones geotécnicas.

Geotechnics as a technique for improving the stability of the soil; It is the branch of civil engineering and geological engineering deals with the study of mechanical, hydraulic and engineering properties of materials from the Earth. Geotechnical studies inquire and investigate the soil and rocks beneath the surface to determine its properties and designing foundations for structures such as buildings, bridges, Central hydroelectric, stabilize embankments, build tunnels and roads, etc. That's why in this degree work consists of making a geotechnical study that allows to apply existing slope located in the Gibraltar - Bucaramanga pipeline remediation techniques, Sector PK 101 + 500, based on the experience, technique and all development having in soil mechanics and slope stabilization is intended to carry out a study to choose the method that best suits the conditions of...

Once completed the project will be remedial and mitigating works in the study area; Since the instability that occurs generates risks and causes delays in providing optimum service.

The implementation of the present work seeks to know the Geotechnical behavior of the right of way of the pipeline in the sector of the Pk 101 + 500, starting from the specific conditions that can affect it and from the obtained information design strategies to minimize and control all the factors that threaten the integrity of the pipeline and the stability of the banking system in this critical sector of the path

.

* Project of grade

** Faculty of Ingenierias electromecánicas School of Civil Engineering, master of Geotechnics, Director Wilfredo Toro Adviser Jaime Suárez Díaz

INTRODUCCION

Las obras lineales, en especial los gasoductos, demandan del ejercicio de gestión de integridad, que garantice el cumplimiento de los requisitos de confiabilidad del servicio público que se presta con este tipo de proyectos.

Por otro lado, el cumplimiento de obligaciones de tipo ambiental y la presencia de zonas de exclusión que no permiten la intervención y construcción de líneas de conducción en este tipo de terrenos, impide que las obras cuenten con trazados óptimos desde el punto de vista geotécnico, ante la necesidad de ajustar los derechos de vía a las exigencias de norma y de la misma comunidad.

El gasoducto Gibraltar – Bucaramanga, no escapa de esta realidad, el 75% de su trazado discurre sobre terrenos con algún tipo de restricción ambiental. Tal circunstancia obligo a presentar más de 8 alternativas de trazado, que no obstante parecen suficientes, la realidad es que el trazado final seleccionado a pesar de cumplir con los requisitos ambientales, presenta grandes problemas de tipo geotécnico que se deben suplir con obras y medidas de control de los fenómenos de estabilidad que amenazan el proyecto.

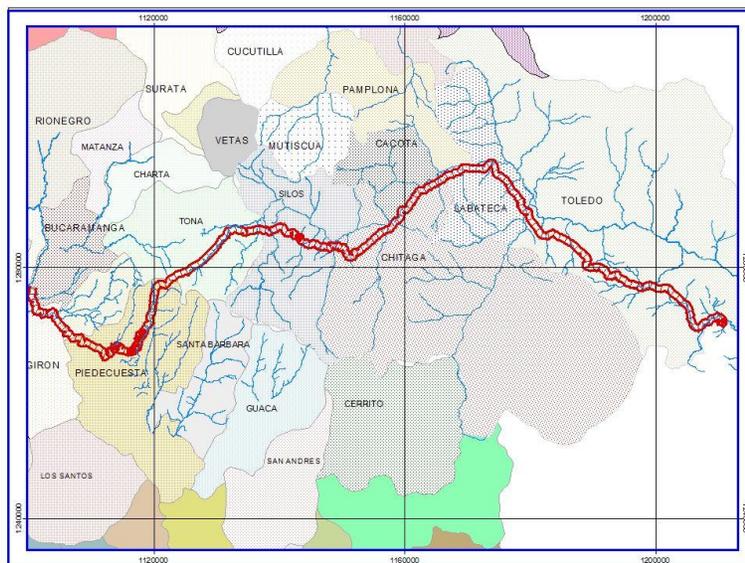
El presente trabajo se desarrolla sobre uno de los puntos críticos del proyecto y surge de la necesidad de estudiar y proponer alternativas de manejo geotécnico de cada una de las situaciones que de alguna manera amenazan la estabilidad del gasoducto y ponen en riesgo el abastecimiento de gas natural para el Área Metropolitana de Bucaramanga. Incluye el análisis de las condiciones geotécnicas del sitio y el estudio de alternativas de estabilización y se constituye en una herramienta para la toma de decisiones y aplicación medidas que permitan mantener la funcionalidad de la línea.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A partir del año 2006, la empresa TRANSORIENTE inició el proceso técnico y legal para la construcción del gasoducto Gibraltar – Bucaramanga, cuyo objetivo es el de transportar el gas producido en el campo Gibraltar hacia la ciudad de Bucaramanga, donde se utilizará una parte del gas para el consumo de esta ciudad y el sobrante se llevará a través del gasoducto Barranca-Payoa-Bucaramanga hasta Barrancabermeja, donde se conectará al Sistema Nacional de Transporte (SNT).

El gasoducto inicia en la estación Gibraltar de ECOPEPETROL S.A ubicada en la vereda el Cedeño del municipio de Toledo en Norte de Santander y finaliza en la estación el Palenque de Transoriente, ubicada en la zona industrial del municipio de Bucaramanga y donde actualmente llega el gasoducto Payoa-Bucaramanga.

Figura 1. Localización geográfica del gasoducto Gibraltar – Bucaramanga.



Fuente: Transoriente 2011.

El proyecto tiene una longitud de 178.5 kilómetros e interviene los municipios de Toledo, Labateca, Chitagá y Silos del departamento de Norte de Santander y Tona, Piedecuesta, Floridablanca, Girón y Bucaramanga del departamento de Santander.

Atraviesa la cordillera oriental y desde el punto de vista morfológico se caracteriza por geoformas de cumbres montañosas y pendientes escarpadas y moderadas asociadas a montañas estructurales, denudadas; generando formas redondeadas y con un predominio de pendientes altas a moderadas, asociadas a unidades de roca precámbricas, paleozoicas, mesozoicas y cenozoicas de orígenes variados desde ígneas, metamórficas a sedimentarias incluido sedimentos.

Dadas las condiciones extremas del trazado del gasoducto, una vez terminada la etapa de construcción del proyecto, se han presentado problemas de estabilidad de la banca en diferentes puntos que obligan a la intervención para la prevención y mantenimiento del servicio de gas natural para el Área Metropolitana de Bucaramanga. El sector del Pk 101+500 presentó los primeros indicios de falla en el mes de junio de 2011 y la situación se agravó hasta el punto de afectar cultivos, viviendas del predio y el corredor del gasoducto, generando la consecuente emergencia a partir de la cual se inicia el proceso de tratamiento de problema geotécnico. Ver fotografía No 1.

Fotografía 1. Deslizamiento dePk 101+500. Gasoducto Gibraltar – Bucaramanga.



2. JUSTIFICACION

Con la entrada en operación de la línea, en el mes de agosto de 2011, TRANSORIENTE debe implementar un Plan de Manejo geotécnico para el control y/o mitigación de los fenómenos erosivos que puedan afectar la estabilidad de la banca y por consiguiente pongan en riesgo el suministro de gas natural para el Área Metropolitana de Bucaramanga.

La prestación de servicios públicos domiciliarios exige la continuidad del servicio y por tanto se hace indispensable el control de los factores que de alguna manera puedan poner en riesgo la operación de este tipo de proyecto.

En el caso particular del gasoducto Gibraltar – Bucaramanga existen zonas críticas en su trazado, dadas las condiciones de pendiente, cobertura del suelo, precipitación, tipo de suelos, entre otros factores, que obligan a implementar modelos de gestión y control de los factores de riesgo geotécnico para garantizar la disponibilidad en el servicio y la estabilidad de la banca del proyecto.

Con la ejecución del presente trabajo se busca conocer el comportamiento geotécnico del derecho de vía del gasoducto en el sector del Pk 101+500, partiendo de las condiciones particulares que pueden afectarlo y a partir de la información obtenida diseñar estrategias para minimizar y controlar todos los factores que amenazan la integridad del gasoducto y la estabilidad de la banca en este sector crítico del trazado.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Efectuar el análisis geotécnico e impacto para la operación y mantenimiento del gasoducto Gibraltar – Bucaramanga en el sector Pk 101+500 y estableciendo los mecanismos de seguimiento y control de los procesos erosivos que pueden afectar la operación del proyecto.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar las condiciones de estabilidad del terreno del sector Pk 101+500, bajo las condiciones actuales.
- Efectuar la investigación y establecer los parámetros geotécnicos de los suelos del sector.
- Modelar el terreno con fundamento en los parámetros geotécnicos obtenidos.
- Analizar las alternativas de estabilización y/o manejo del deslizamiento.
- Recomendar el diseño de obras a ejecutar en el sector, para la solución del problema.

4. ESTADO DEL ARTE Y ASPECTOS TEORICOS EN ESTABILIDAD DE TALUDES

4.1 TALUD

Según Suarez 2009, un “talud” o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos.

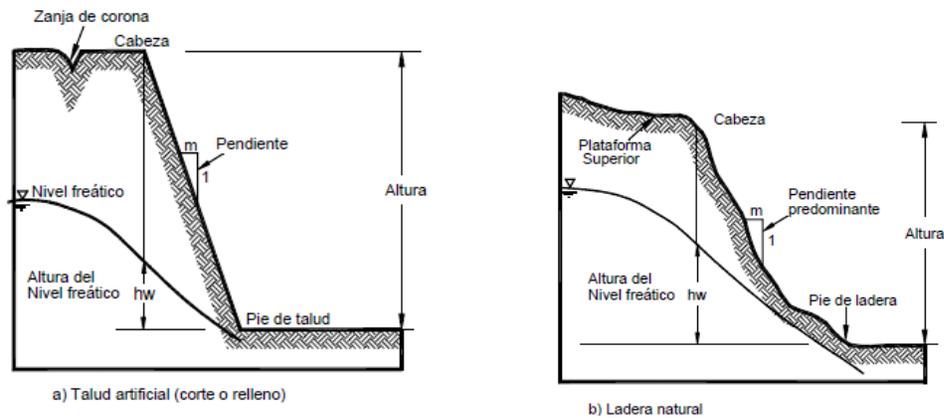
En la literatura se define como cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que adopte una masa de tierra de manera permanente.. Cuando un talud se forma de manera natural se denomina ladera, cuando tiene origen en actividades humanas se denominan cortes o taludes artificiales.

4.2 PARTES DEL TALUD

Existen unos términos o palabras para definir las partes de un talud. El talud comprende una parte alta o superior convexa con una cabeza, cima, cresta o escarpe, en la cual ocurren procesos de denudación o erosión, una parte intermedia semi recta y una parte baja o inferior cóncava con un pie, pata o base, en la cual ocurren principalmente

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

Figura 2. Nomenclatura de taludes y laderas. Procesos de depositación



4.2.1 Pie, pata o base.

El pie corresponde al sitio de cambio brusco dependiente en la parte inferior del talud o ladera. La forma del pie de una ladera es generalmente cóncava.

4.2.2 Cabeza, cresta, cima o escarpe

Cabeza se refiere al sitio de cambio brusco dependiente en la parte superior del talud o ladera. Cuando la pendiente hacia abajo de este punto es semi-vertical o de alta pendiente se le denomina "escarpe".

4.2.3 Altura

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

4.2.4 Pendiente

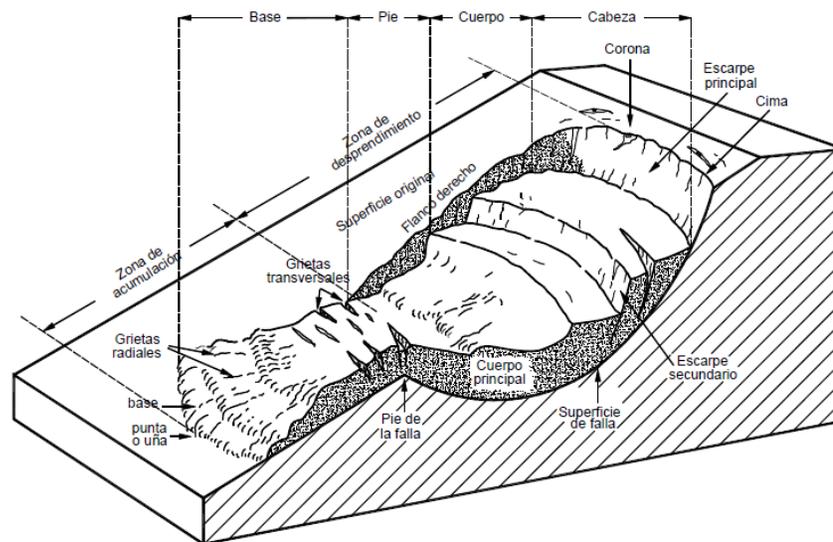
Es la medida de la inclinación de la superficie del talud o ladera.

4.3 DESLIZAMIENTO

Los deslizamientos (“Landslides”) consisten en el “movimiento de masas de roca, residuo o tierra hacia abajo de un talud” (Cruden 1991). En el término deslizamiento se incluyen tanto los procesos de erosión como los procesos denudacionales.

Partes de un deslizamiento

Figura 3. Nomenclatura de taludes y laderas. Procesos de depositación



4.3.1 Cabeza.

Parte superior de la masa de material que se mueve. La cabeza del deslizamiento no corresponde necesariamente a la cabeza del talud. Arriba de la cabeza está la corona.

4.3.2 Cima.

El punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal se le denomina “cima”

4.3.3 Corona.

El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta, arriba del escarpe principal, por encima de la cabeza.

4.3.4 Escarpe principal.

Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material conforma la superficie de falla.

4.3.5 Escarpe secundario.

Superficie muy inclinada producida por desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios.

4.3.6 Superficie de falla.

Área por debajo del movimiento, la cual delimita el volumen de material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de falla no se mueve, mientras el que encuentra por encima de esta se desplaza. En algunos tipos de movimientos no hay superficie de falla.

4.3.7 Pie de la superficie de falla.

La línea de intersección (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

4.3.8 Base.

El área cubierta por el material perturbado debajo del pie de la superficie de falla.

4.3.9 Punta o uña.

El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

4.3.10 Cuerpo principal del deslizamiento

El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Pueden presentarse varios cuerpos en movimiento.

4.3.11 Superficie original del terreno.

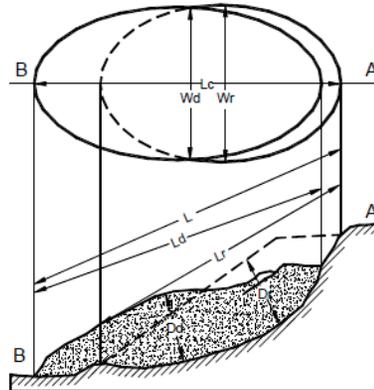
La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

4.3.12 Costado o flanco.

Un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo.

4.3.12.1 Dimensiones de los movimientos. Para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la terminología recomendada por el IAEG Commission on Landslides (1990).

Figura 4. Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG



4.3.13 Ancho de la masa desplazada W_d .

Ancho máximo de la masa desplazada perpendicular a la longitud L_d .

4.3.14 Ancho de la superficie de falla W_r .

Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud L_r .

4.3.15 Longitud de la masa desplazada L_d .

Distancia mínima entre la punta y la cabeza.

4.3.16 Longitud de la superficie de falla L_r .

Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.

4.3.17 Profundidad de la masa desplazada Dd

Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por Wd y Ld .

4.3.18 Profundidad de la superficie de falla Dr.

Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por Wr y Lr .

4.3.19 Longitud total L.

Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.

4.3.20 Longitud de la línea central Lc.

Distancia desde la punta o uña hasta la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes laterales o flancos.

4.4 CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS

Los deslizamientos poseen varios tipos de clasificaciones de acuerdo al movimiento, si está activo o no de acuerdo a la forma de la superficie de falla

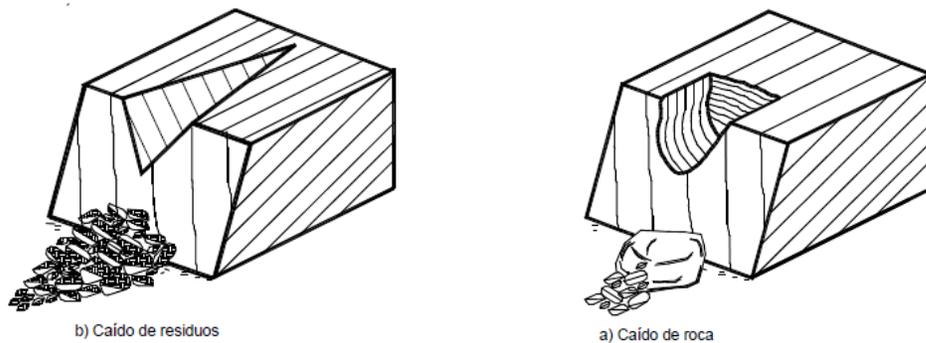
4.4.1 Clasificación de Acuerdo con el Tipo de Movimiento

4.11.1 Caído. Es el desprendimiento y caída de materiales del talud. En los caídos una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente fuerte, a lo largo de una superficie, en la cual ocurre ningún o muy poco desplazamiento de

corte, y desciende principalmente a través del aire por caída libre, a saltos o rodando

Los caídos de suelo en escarpes semi-verticales representan un riesgo importante para los elementos abajo del talud

Figura 5. Tipos de caídos según el material.



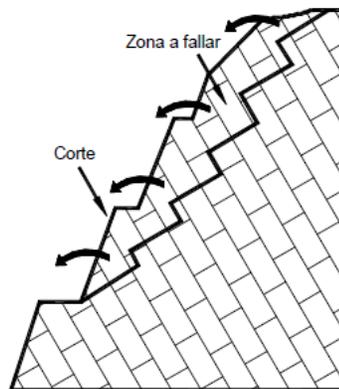
Los caídos pueden incluir desde suelo y partículas relativamente pequeñas hasta bloques de varios metros cúbicos. Los fragmentos son de diferentes tamaños y generalmente se rompen en el proceso de caída.

4.4.2 Inclinación o Volcamiento

Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material férreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad.

Generalmente, los volcamientos ocurren en las formaciones rocosas, pero también se presentan en suelos cohesivos secos y en suelos residuales. La inclinación puede abarcar zonas muy pequeñas o incluir volúmenes grandes hasta de varios millones de metros cúbicos.

Figura 6. Proceso de falla por volcamiento



4.4.3. Reptación (“Creep”)

La reptación o “creep” consiste en movimientos muy lentos a extremadamente lentos del suelo subsuperficial sin una superficie de falla definida. La profundidad del movimiento puede ser desde pocos centímetros a varios metros. Generalmente, el desplazamiento horizontal es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno.

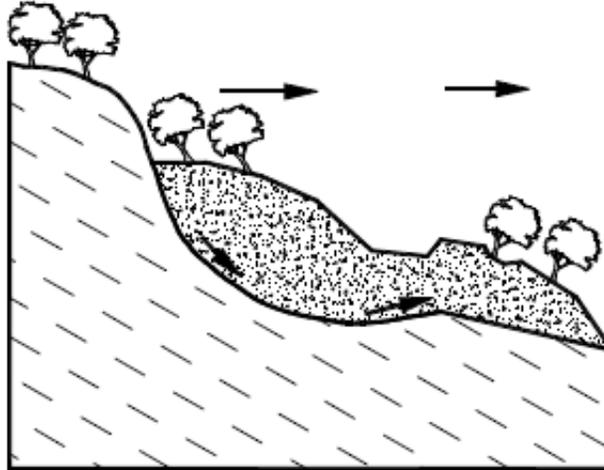
La reptación puede preceder a movimientos más rápidos como los flujos o deslizamientos traslacionales. La reptación comúnmente ocurre en laderas con pendiente baja a media. Se le atribuye a las alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de humedecimiento y secado en suelos, usualmente arcillosos,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

4.4.4 Deslizamientos en masa (Traslacionales y rotacionales)

El deslizamiento en masa consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente dentro de una zona relativamente delgada (Figura 7). Los deslizamientos en masa pueden ser de una

sola masa coherente que se mueve o pueden comprender varias unidades o masas semiindependientes.

Figura 7. Detalle de un movimiento rotacional



4.4.5 Deslizamiento Rotacional

En un desplazamiento rotacional la superficie de falla es cóncava hacia arriba y el movimiento es rotacional con respecto a un eje paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento.

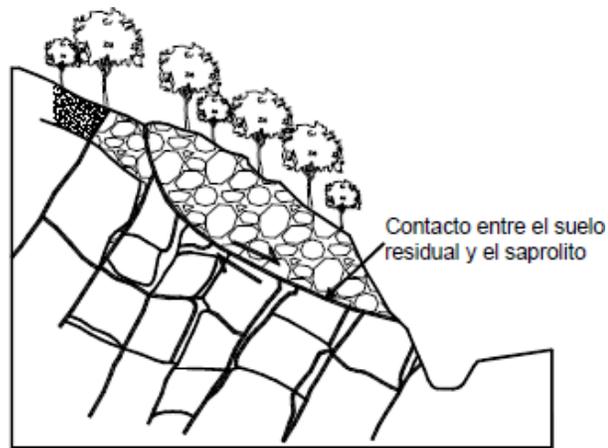
El centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. Visto en planta, el deslizamiento de rotación posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento.

El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento, generándose comúnmente flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento (Figura 8). La cabeza del movimiento bascula hacia atrás y los árboles se inclinan de forma diferente en la cabeza y en el pie del deslizamiento.

4.4.6 Deslizamiento de traslación

En el desplazamiento de traslación la masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nulo movimiento de rotación o volteo

Figura 8. Detalle de movimiento traslacional



4.4.7 Deslizamientos compuestos de traslación y rotación

Con frecuencia se presentan movimientos que incluyen dentro del patrón de desplazamiento general movimientos de traslación y de rotación. Estos movimientos se les conoce como "compuestos". Igualmente se pueden presentar hundimientos o extensiones laterales en forma conjunta. La mayoría de los movimientos incluyen varios tipos de desplazamiento, aunque uno predomina.

4.4.8 Extensión lateral

Se denomina extensión o esparcimiento lateral a los movimientos con componentes principalmente laterales, en taludes de baja pendiente. En los esparcimientos laterales el modo de movimiento dominante es la extensión

lateral acomodada por fracturas de corte y tensión, sobre roca o sobresuelos plásticos

4.4.9 Hundimientos

Los hundimientos son movimientos generalmente verticales de masas de suelo, en las cuales ocurre una disminución del volumen general del terreno. Los procesos de hundimiento de gran magnitud se clasifican dentro de movimientos en masa o deslizamientos, aunque para su ocurrencia, la presencia de un talud no es necesariamente un pre-requisito. Pueden ser de gran magnitud relativamente pequeños. Los hundimientos obedecen a diferentes causas naturales.

4.4.10 Flujos

En un “flujo” ocurren movimientos relativos de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie.

Las deformaciones relativas internas son muy grandes y fluye en forma similar a un líquido viscoso. El flujo puede ser laminar a turbulento. Al aumentar la densidad y la viscosidad, el flujo puede transportar grandes bloques hacia la parte superior

4.5 CLASIFICACIÓN DE LOS DESLIZAMIENTOS CUANDO EXISTEN VARIOS TIPOS DE MOVIMIENTO

4.5.1 Complejo.

Un deslizamiento complejo es aquel que tiene al menos dos tipos de movimiento, por ejemplo, inclinación y desplazamiento.

4.5.2 Compuesto.

El término compuesto corresponde al caso en el cual ocurren simultáneamente varios tipos de movimiento en diferentes áreas de la masa desplazada.

4.5.3 Múltiple.

Se denomina como múltiple un deslizamiento que muestra movimientos repetidos del mismo tipo, generalmente, ampliando la superficie de falla. Un movimiento sucesivo corresponde a movimientos repetidos, pero que no comparten la misma superficie de falla.

4.5.4 Sencillo.

Se presenta un solo tipo de movimiento.

4.6 CLASIFICACIÓN DEL DESLIZAMIENTO DE ACUERDO CON EL ESTADO DE ACTIVIDAD

De acuerdo a su estado actual de actividad, los deslizamientos pueden clasificarse de la forma siguiente

4.6.1 Activo.

Deslizamiento que se está moviendo en los actuales momentos.

4.6.2 Reactivado.

Movimiento que está nuevamente activo, después de haber estado inactivo. Por ejemplo, deslizamientos reactivados sobre antiguas superficies de falla.

4.6.3 Suspendido.

Deslizamientos que han estado activos durante los últimos ciclos estacionales, pero que no se están moviendo en la actualidad.

4.6.4 Relicto.

Deslizamientos que ocurrieron posiblemente, hace varios miles de años se pueden llamar deslizamientos Relictos

4.7 CLASIFICACIÓN DEL DESLIZAMIENTO DE ACUERDO SECUENCIA DE REPETICIÓN

La secuencia se refiere a movimientos que inician en un área local y progresan o se repiten en una determinada dirección. Varnes (1978) recomienda utilizar la siguiente terminología:

4.7.1 Progresivo.

La superficie de falla se extiende en la misma dirección del movimiento.

4.7.2 Retrogresivo o sucesivo.

La superficie de falla se extiende en dirección opuesta al movimiento.

4.7.3 Ampliándose.

La superficie de falla se extiende hacia una u otra de las márgenes laterales.

4.7.4 Alargándose.

La superficie de falla se alarga agregando continuamente volumen de material desplazado. La superficie de falla puede alargarse en una o más direcciones. El término "alargándose" puede utilizarse indistintamente con el término progresivo.

4.7.5 Confinado.

Se refiere a movimientos que tienen un escarpe visible, pero no tienen superficie de falla visible en el pie de la masa desplazada.

4.7.6 Disminuyendo.

El volumen de material siendo desplazado, disminuye con el tiempo.

4.8 MECANISMO DE FALLA DE TALUD

La ocurrencia de una falla obedece a un proceso, el cual comprende una gran cantidad de factores, en el espacio y en el tiempo.

4.8.1 Condiciones originales del talud: Susceptibilidad.

Todo talud tiene unas propiedades o características físicas como son el relieve, geología, propiedades mecánicas de los materiales y perfiles, condiciones ambientales, cobertura vegetal, etc. Estas condiciones determinan una susceptibilidad al deterioro, a la acción de los factores detonantes y al fallamiento.

4.8.2 Equilibrio o desequilibrio de fuerzas: Factor de Seguridad

En un talud estable hay un equilibrio entre las fuerzas actuantes y las fuerzas resistentes, entre las cuales la fuerza de gravedad es determinante. Algunas fuerzas tratan de producir el movimiento y otras tratan de contrarrestarla. Si se colocan cargas adicionales en la parte superior del talud o se remueven en el pie, se puede producir inestabilidad. Igualmente, la inestabilidad puede ocurrir por el aumento de la pendiente del talud.

4.8.3 El deterioro: Modificación de las condiciones originales.

El deterioro comprende la alteración física y química de los materiales y su subsecuente desprendimiento o remoción. Este incluye la alteración mineral, los efectos de relajación y la abrasión. Los efectos del deterioro pueden ser lentos o rápidos y se pueden acumular hasta producir la falla en forma progresiva.

4.9 METODOLOGÍAS PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Dentro de las metodologías disponibles se encuentran los métodos de equilibrio límite, los métodos numéricos y los métodos dinámicos para análisis de caídas de roca y flujos, entre otros.

Los métodos numéricos son la técnica que muestra la mejor aproximación al detalle de las condiciones de estabilidad en la mayoría de casos de evaluación de estabilidad de taludes.

Sin embargo, los métodos de límite de equilibrio, son más sencillos de utilizar y permiten analizar los casos de falla trasnacional y de falla rotacional, así como fallas de inclinación ("Toppling") y fallas en cuña.

4.9.1 Métodos de equilibrio límite

El análisis de los movimientos de los taludes o laderas durante muchos años se ha realizado utilizando las técnicas del límite de equilibrio. El sistema de límite de equilibrio supone que en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0.

El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. Cada día se han mejorado los sistemas de dovelas desarrollados por Petterson y Fellenius (1936). Algunos métodos son precisos y otros solamente aproximados (Figura 4.6). Los métodos de Bishop (1955) y Janbú (1954) han sido muy utilizados en los últimos 50 años y se han desarrollado métodos de análisis más precisos y complejos como los de Morgenstern y Price (1965) y Spencer (1967), ayudados por programas de software, los cuales permiten realizar análisis muy rigurosos. Generalmente los métodos son de iteración y cada uno de los métodos posee un cierto grado de precisión.

4.9.2 Método Superficies de falla Equilibrio Características

En la tabla No 1 se presentan las principales características de los métodos de equilibrio límite.

Tabla 1. Principales características de los métodos de equilibrio limite

Método	Superficies de falla	Equilibrio	Características
Talud infinito	Rectas	Fuerzas	Bloque delgado con nivel freático, falla paralela a la superficie.
Bloques o cuñas	Cuñas con tramos rectos	Fuerzas	Cuñas simples, dobles o triples analizando las fuerzas que actúan sobre cada cuña.
Espiral logarítmica (Frohlich, 1953)	Espiral logarítmica	Fuerzas y momentos	Superficie de falla en espiral logarítmica. El radio de la espiral varía con el ángulo de rotación.
Arco circular, (Fellenius, 1922)	Circulares	Momentos	Círculo de falla, el cual se analiza como un solo bloque. Se requiere que el suelo sea cohesivo ($\phi = 0$).
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	Fuerzas	No tiene en cuenta las fuerzas entre dovelas.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma	Fuerzas	Asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas.
Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas tienen la misma dirección que la superficie del terreno.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas están inclinadas a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas.
Spencer (1967)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Las fuerzas entre dovelas sea asume que varían de acuerdo a una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla.

4.10 HERRAMIENTAS DISPONIBLES EN ESTABILIDAD DE TALUDES

Para el análisis de estabilidad de taludes se dispone de varias herramientas así:

4.10.1 Tablas o ábacos

Se han elaborado tablas y ábacos para calcular en forma rápida y sencilla los factores de seguridad para una variedad de condiciones.

4.10.2 Análisis gráficos

Históricamente se han utilizado procedimientos gráficos o de polígonos de fuerzas para calcular las condiciones de estabilidad de los taludes. Estos sistemas gráficos son poco usados actualmente.

4.10.3 Cálculos manuales

La mayoría de métodos de análisis se desarrollaron para cálculos matemáticos manuales o con calculadora, de acuerdo a fórmulas simplificadas.

4.10.4 Hojas de cálculo

Algunos autores han desarrollado hojas de cálculo, las cuales pueden utilizarse para análisis de taludes sencillos o con bajo nivel de complejidad.

4.10.5 Uso de “Software”

La técnica de análisis que se escoja depende de las características de los sitios y del modo potencial de falla, dando especial consideración a las fortalezas, las debilidades y las limitaciones de cada metodología de análisis

4.11 TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN

A continuación se exponen varias técnicas para reducir el riesgo de amenaza por deslizamiento

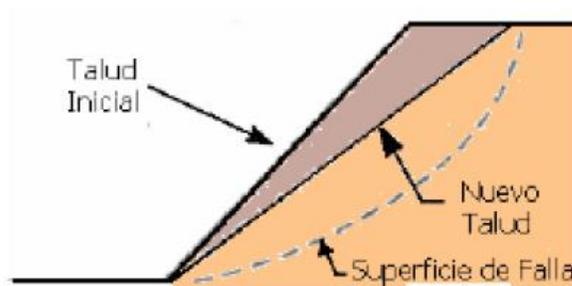
4.11.1 Modificación de la geometría del talud.

Esta medida es ampliamente recomendable en esta zona y específicamente en los lugares donde las viviendas se encuentran al pie de grandes masas de suelo.

Mediante la modificación de la geometría de los taludes se logra redistribuir las fuerzas debidas al peso de los materiales, obteniéndose una nueva configuración más estable.

El abatimiento de taludes es la modificación de su pendiente con el fin de lograr que ésta sea menor para aumentar su estabilidad.

Figura 9. Modificación de la geometría del talud



La conformación de un talud puede incluir los siguientes procedimientos:

- Tender el talud para disminuir la pendiente.
- Darle forma a la superficie del talud incluyendo pendientes, bermas, curvatura, etc.

- Construir bermas o gradas para generar varios niveles de talud.
- Remover material de la parte alta del talud para reducir la altura del talud.
- Construir bermas en relleno en el pie del talud.
- Muros y obras de control geotécnico que se requieran para garantizar la estabilidad del talud.
- Manejo de las aguas de escorrentía incluyendo cunetas, torrenteras y estructuras de entrega de las aguas recolectadas.
- Protección de la superficie del terreno mediante vegetación o recubrimientos.

Cuando se conforma un talud, se debe garantizar que:

- La forma asegure el equilibrio de masas o de volúmenes aumentando los factores de seguridad acorde con los requerimientos de estabilidad de los materiales componentes del talud.
- Control del agua presente en el talud. Se debe asegurar la velocidad baja de la escorrentía para impedir que el agua pueda causar arrastre de los suelos superficiales afectando la estabilidad de la masa.

4.11.2 Abatimiento en taludes por relleno.

El abatimiento de la pendiente del talud es económicamente posible en taludes de poca altura, pero no ocurre lo mismo en taludes de gran altura, debido al aumento exagerado de volumen de tierra de corte con el aumento de la altura, y en ocasiones el abatimiento por relleno no es posible por falta de espacio en el pie del talud.

4.11.3 Abatimiento de taludes por corte.

El abatimiento o disminución de la pendiente de los taludes es uno de los métodos más utilizados para mejorar su estabilidad y en ocasiones es la primera opción a

considerar. Al igual que con otros métodos, éste no es de uso universal y su efectividad puede variar de un sitio a otro.

El abatimiento de la pendiente puede ser efectivo en deslizamientos rotacionales, pero generalmente tiene muy poco efecto o puede tener un efecto negativo en deslizamientos de traslación

La operación de abatir taludes por medio de cortes es una labor difícil y costosa, por lo que para su ejecución deberá estudiarse a fondo el problema; datos como la frecuencia, número y volumen de los derrumbes, pueden normar el criterio para proceder a la ejecución.

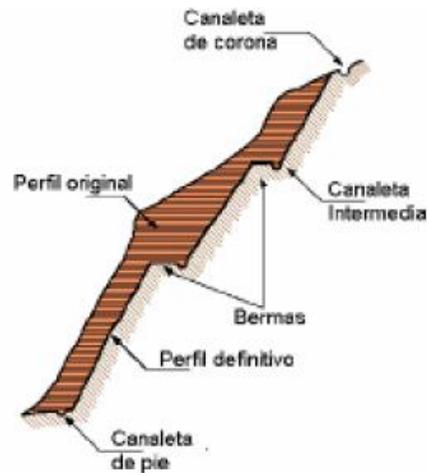
Este método es aplicado con mayor éxito en deslizamientos en el cuerpo del talud, aunque su eficiencia no es de alcance universal, ya que se debe tener presente que el comportamiento del talud abatido es diferente al original, por lo que con los resultados del factor de seguridad determinado se deberá hacer un nuevo análisis de estabilidad del talud abatido

Al disminuir la pendiente del talud, se disminuyen las fuerzas actuantes y adicionalmente el círculo crítico de falla se hace más largo y más profundo aumentándose en esta forma el factor de seguridad. El abatimiento se puede lograr por corte o por relleno.

Al disminuir la pendiente del talud debe analizarse si al bajar la pendiente no se está facilitando la activación o reactivación de fallas profundas. En todos los casos es conveniente la realización de análisis de estabilidad para determinar los efectos reales de la disminución de la pendiente.

4.11.4 Escalonamiento del talud.

Figura 10. Detalle de la conformación del talud, mediante abatimiento de la pendiente



El escalonamiento de taludes consiste en la construcción de descansos planos en las zonas medias de los taludes conocidas con el nombre de “bermas”. Se llama berma a las masas de tierra que se cortan o compactan adecuadamente en el lado exterior del talud, con el fin de mejorar su estabilidad; para su construcción generalmente se usan materiales similares a los del talud que se trata de mejorar.

La berma ayuda a la estabilización de un talud en base a su propio peso. Para su diseño no existen reglas fijas en cuanto a sus dimensiones, sino que estas se calculan por medio de aproximaciones sucesivas.

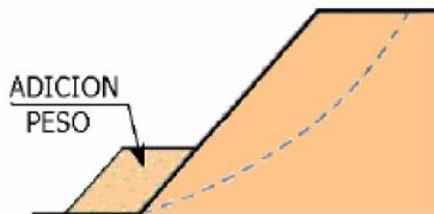
Este tipo de medida suele decidirse antes de la conformación del talud; dado que las bermas sirven para retener bloques que se desprendan y roturas locales del talud, para instalación de medidas de drenaje y acceso para las obras de saneamiento y control del talud. Además el escalonamiento del talud, con la

construcción de bancos y bermas, contribuye a evitar que se produzcan roturas superficiales que afecten a todo el frente del talud

4.11.5 Empleo de contrapesos al pie de talud.

Al colocarle carga adicional a la base de un talud con una inestabilidad de deslizamiento de tipo rotacional se genera un momento en dirección contraria al movimiento, el cual produce un aumento en el factor de seguridad. Ver figura 11.

Figura 11. Empleo de contrapesos para la aumentar estabilidad en un talud.



El efecto del sistema de contrapeso es el de hacer que el círculo crítico en la parte inferior del talud se haga más largo. Los contrapesos pueden ser estructuras con un muro de contención o rellenos de tierra armada, llantas, etc

Se modifica el momento neto que puede producir una falla circular. Dependiendo de la localización del contrapeso con relación al centro de rotación de la superficie crítica de falla, se obtiene un efecto mayor o menor. En ocasiones se puede generar un efecto negativo para la estabilidad del talud (Simons y otros, 2001).

- Se aumenta el esfuerzo efectivo sobre la parte inferior de la superficie de falla. Para que esto ocurra se requiere que las condiciones del suelo sean drenadas y en el caso de que las condiciones sean no-drenadas (por ejemplo en arcillas saturadas), inicialmente se puede producir un efecto de aumento de las

presiones de poros, lo cual puede generar efectos desestabilizantes, y a mediano o largo plazo se aumentan los esfuerzos efectivos al disiparse las presiones de poros en exceso.

- Se mejora la resistencia total del cortante obligando a la superficie de falla crítica a pasar por debajo del contrapeso (Cornforth, 2005).

4.11.6 Sistemas de drenaje superficial

El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud reduciendo la infiltración y evitando la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro lejos del talud a proteger.

El agua de escorrentía debe en lo posible, desviarse antes de que penetre el área del deslizamiento o se infiltre en dirección al talud. Por otro lado, el agua que cae por lluvias directamente sobre la superficie del talud, debe ser evacuada lo más rápidamente posible, evitando al mismo tiempo que su paso cause daños al talud por erosión, almacenamiento e infiltración.

Las medidas de drenaje tienen por finalidad eliminar o disminuir el agua presente en el talud y, portanto, las presiones intersticiales que actúan como factor desestabilizador en las superficies de rotura y grietas de tracción. Estas medidas son generalmente las más efectivas, ya que el agua es el principal agente desencadenante de los problemas de inestabilidad en taludes, aumentando el peso de la masa inestable, elevando el nivel freático y las presiones intersticiales, creando empujes hidrostáticos, reblandeciendo el terreno, erosionándolo. Los drenajes superficiales deben ser diseñados para evitar la llegada y acumulación de agua en el talud, sobre todo en la zona de la cabecera y en el caso de taludes

escalonados, en las bermas, ya que es frecuente que se produzcan encharcamientos en la época de lluvia en estas zonas planas.

4.11.6.1 Tipos de obra de drenaje superficial. Las obras de drenaje generalmente consisten en:

- ***Canales para re-direccionar el agua de escorrentía.***

Se debe impedir que el agua de escorrentía se dirija hacia la zona inestable.

- ***Zanjas de corona.***

Son zanjas interceptoras de la escorrentía en la parte alta del talud.

- ***Diques en la corona del talud.***

Son diques en relleno, colocados arriba de la corona con el objeto de desviar hacia los lados las aguas de escorrentía.

- ***Drenes franceses.***

Son zanjas rellenas de material granular grueso que tienen por objetivo captar y conducir las aguas de escorrentía.

- ***Trinchos o Cortacorrientes.***

Consisten en diques a través del talud para desviar lateralmente las aguas de escorrentía.

- ***Torrenteras.***

Son estructuras que recogen las aguas de los canales, diques o cortacorrientes y las conducen hacia abajo del talud. Generalmente incluyen elementos para disipar la energía del flujo de agua.

- ***Sellado de grietas con arcilla o mortero.***

El objeto es impedir la infiltración de agua hacia el deslizamiento.

- ***Imprimación del talud con asfalto o impermeabilización con mortero.***

La impermeabilización tiene por objeto evitar los cambios de humedad en el suelo.

- ***Recubrimiento con plásticos.***

Aunque el recubrimiento no impide la infiltración, sí protege contra el impacto de las gotas de lluvia

- ***Conformación y nivelación del terreno.***

El objetivo es evitar o eliminar depresiones y empozamientos de agua superficiales para disminuir los volúmenes de infiltración.

No se recomienda en problemas de taludes, la utilización de conducciones en tubería por la alta susceptibilidad a agrietarse o a taponarse, generando problemas de infiltración masiva concentrada

4.11.7 Métodos de sub-drenaje

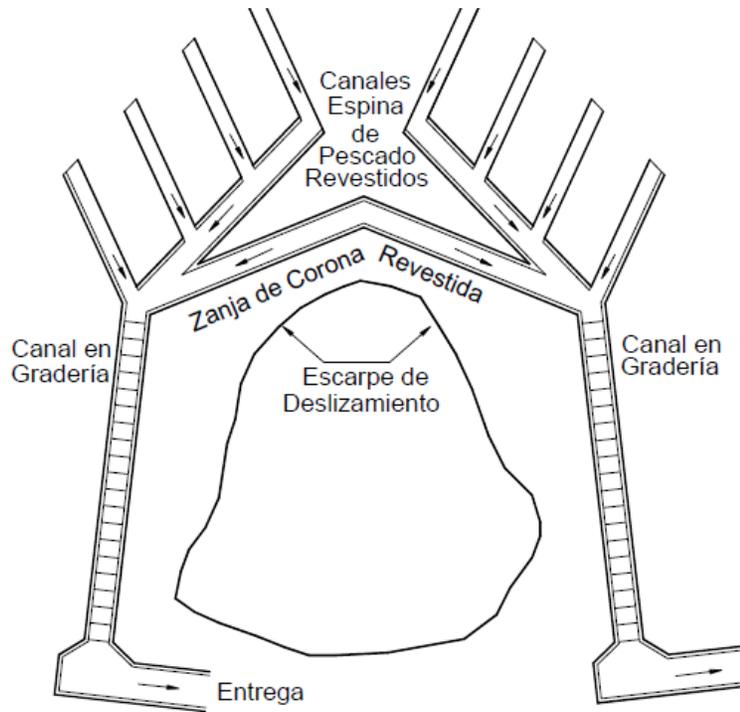
Entre los tipos de obra utilizadas para subdrenaje se encuentran las siguientes:

4.11.7.1 Cortinas impermeables subterráneas. El objetivo es evitar el paso interno de agua hacia las zonas inestables

4.11.7.2 Subdrenes de zanja. Los subdrenes de zanja tienen por objeto abatir los niveles freáticos.

4.11.7.3 Subdrenes de penetración. Son subdrenes horizontales profundos para lograr grandes abatimientos de los niveles freáticos.

Figura 12. Configuración de un sistema de drenaje superficial.



4.11.7.4. Colchones de drenaje. Se colocan debajo de terraplenes o llaves de cortante para impedir el ascenso de los niveles de agua.

4.11.7.5 Drenes verticales de alivio. Consiste en perforaciones verticales de drenaje para disipar presiones de poros.

4.11.7.6 Galerías de drenaje. Son túneles con objeto de disipar las presiones de poros y disminuir los niveles freáticos.

4.11.7.7 Drenes de pantalla. Son colchones inclinados de drenaje para evitar que en los afloramientos de agua subterránea se formen cárcavas de erosión

4.12 PROTECCIÓN DE LA SUPERFICIE.

Las técnicas de protección de la superficie o revestimiento de taludes, es utilizada para la prevención y protección de erosión en los mismos, protegiendo sus zonas críticas y cumpliendo las funciones de disminución de la infiltración y mantenimiento del suelo en condiciones estables de humedad. Estas estructuras de revestimiento son aplicables a taludes geotécnicamente estables.

Las obras para el control de la erosión buscan la adecuada evacuación de las aguas de escorrentía, un mejoramiento de la infiltración, la disminución de la velocidad de escurrimiento, la protección de los suelos al impacto de la lluvia y el restablecimiento de coberturas vegetales

4.12.1 Concreto lanzado.

Esta medida es aplicable en la zona y se recomienda en lugares donde la pendiente del talud es muy inclinada, casi vertical.

Esta práctica tiene como objetivo revestir la superficie del talud ya conformado con una capa delgada de concreto a presión, o más bien dicho, mortero a presión, ya que la mezcla está compuesta básicamente por cemento y arena, con resistencia a la compresión de hasta 210 kg/m². Esta mezcla tiene un revenimiento igual a cero, y se puede aplicar ya sea por vía seca o por vía húmeda, en función de la bomba que se utilice. Para este tipo de recubrimiento no se utiliza ningún tipo de anclaje, ya que previamente se ha considerado que el talud debe ser

geotécnicamente estable, por lo que la capa que se aplica es exclusivamente para evitar la erosión.

4.12.2 Mortero.

Esta técnica es una de las más utilizadas por las personas, aunque su implementación, por lo general no toma en cuenta ningún conocimiento más que la experiencia. El objetivo que tiene esta práctica, es el mismo que el del concreto lanzado, con la única diferencia que el espesor es menor, además no es necesario ningún equipo en especial, basta con las herramientas de un albañil.

4.12.3 Barreras vivas.

Son prácticas utilizadas para evitar o disminuir la velocidad de la escorrentía sobre laderas y por tanto, la erosión y desestabilización de la misma. Estas prácticas son utilizadas por los agricultores para proteger sus propiedades; pero constituyen medidas preventivas de mucha ayuda. Las barreras vivas son hileras simples, dobles o triples de especies vegetales preferiblemente

4.12.4 Barreras muertas.

Las barreras muertas son barreras de piedra, broza, troncos u otros materiales. Son efectivas para reducir la erosión, ya que frenan la fuerza de la escorrentía del agua lluvia. Entre menor sea la velocidad de la escorrentía, menor es la cantidad de suelo que puede ser arrastrado.

Por este motivo, al topar la escorrentía con la barrera muerta, mucho suelo es detenido en la parte de arriba de la misma y el nivel del suelo detrás de la barrera va subiendo formando una pequeña terraza de crecimiento denso, establecidas en curvas a nivel y a distancias cortas

4.12.5 Estructuras de retención.

La principal aplicación de este método es la prevención de deslizamientos, pero para que éstas estructuras cumplan con su objetivo, es necesario que la superficie de falla formada o por formarse sea contenida por la estructura de retención; el efecto de éste será nulo si no se aplica éste concepto, que en muchos casos lleva a muros muy altos los cuales necesitan de una cimentación

4.12.6 Muros rígidos de concreto armado.

Estos pueden ser utilizados en grandes alturas (superiores a 10 metros) previo su diseño estructural y estabilidad. Utiliza métodos de construcción convencionales por lo que no necesita de grandes conocimientos para llevarlo a cabo. Este tipo de muros requiere de un buen piso de cimentación y de formaletas especiales, lo que hace que sus costos sean altos. Debido a su poca pesa no son muy efectivos en casos de estabilización de deslizamientos de masas grandes de suelo.

4.12.7 Muros rígidos de concreto simple.

Éste tipo de muros requiere de una buena fundación y no permite deformaciones importantes; también se requiere de grandes cantidades de concreto y de un tiempo de curado antes de que pueda trabajar de manera efectiva. Por todo esto, se considera que estos muros son totalmente antieconómicos para alturas mayores de 3 metros.

4.12.8 Muros rígidos de concreto ciclópeo.

Éstos son similares a los muros de concreto simple, a diferencia que éstos utilizan bloques o cantos de roca como material embebido, lo que disminuye los volúmenes de concreto a utilizar.

Estos muros no pueden soportar esfuerzos grandes de flexión. Los muros de concreto ciclópeo actúan como estructuras de peso o gravedad, por lo que no se recomienda su uso para alturas mayores a 4 metros, debido no solamente al aumento de costos, sino también a la presencia de esfuerzos de flexión que no pueden ser resistidos por las rocas y el concreto, pudiéndose presentar roturas por flexión en la parte inferior del muro o dentro del cimiento.

Figura 13. Ejemplo de la aplicación de concreto ciclópeo



4.12.9 Muros rígidos de piedra.

Este tipo de muros se puede utilizar para contener cualquier tipo de suelos, sin embargo su uso es recomendable para alturas menores a 4 metros, ya que no resiste grandes esfuerzos de flexión, y en lugares en donde el material sea abundante, lo que permite reducir sus costos de transporte y lo que además facilita su colocación.

4.12.10 Muros flexibles de gaviones.

Los gaviones² consisten en una caja de forma prismática regular, fabricada con malla metálica de triple torsión de alambre galvanizado, la cual tiene la rigidez necesaria para facilitar la instalación del gavión y para rellenarla de piedras.

Este tipo de estructura trabaja por gravedad y no necesita de cimentaciones profundas. En nuestro medio este tipo de muros es muy utilizado, ya que se puede implementar en cualquier tipo de material que conforme un corte o talud, ya sean suelos o rocas; aunque en el caso de rocas, la función de los gaviones se reduce a la protección ante un posible desprendimiento.

4.12.11 Muros flexibles de llantas.

Este tipo de muros está conformado por neumáticos rellenos con suelo compactado unidos entre sí por medio de sogas de polímero. Aunque no hay estudios que comprueben la eficacia estructural de este tipo de muros, o que especifiquen los criterios necesarios para su diseño, estos son muy utilizados por brindar una alternativa económica y ambientalmente benéfica, debido a la reutilización de las llantas en lugar de desecharlas o quemarlas.

La implementación de este tipo de muros no es recomendada sobre suelos demasiado compresibles y con alto contenido de humedad, ya que no proporcionan una buena superficie de cimentación.

4.12.12 Muros de tierra armada.

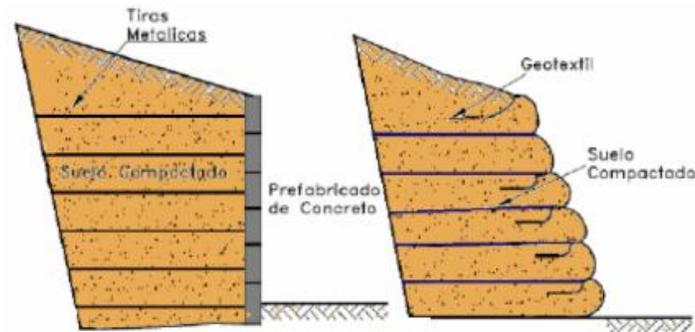
El sistema de tierra armada es la combinación de elementos de concreto armado prefabricados o geotextiles, suelo compactado y refuerzos con geomallas, y está

²Tomado de estado del arte de la ingeniería geotécnica en estabilidad de taludes"

basado en el principio fundamental de la fricción generada entre el suelo y los elementos de refuerzo, debido a que las fuerzas de tensión desarrolladas dentro de la masa de suelo se transmiten a los refuerzos por medio de la fricción producida en las interfaces.

La tierra armada es una técnica constructiva de menor costo comparada con las técnicas regulares de contención, retención y cimentación, además se ejecuta en menor tiempo y con mayor seguridad. Los sistemas de tierra armada con elementos prefabricados de concreto permiten paredes verticales que habilitan el 100% del área a ser construida, y permiten la construcción de casi todo tipo de estructura directamente sobre la zona del relleno reforzado

Figura 14. Ejemplo de conformación de muros de tierra armada



Tipos de muros de tierra armada utilizando elementos prefabricados y geotextiles.

4.12.13 SoilNailing.

El concepto fundamental del soilnailing consiste en reforzar el terreno mediante inclusiones pasivas, cercanamente espaciadas, para crear en el terreno una estructura de gravedad coherente que permita incrementar la resistencia global del suelo in situ y que la fricción entre el nail y el suelo restrinja los desplazamientos del mismo.

El sistema soilnailing está compuesto básicamente por tres elementos principales: el terreno a estabilizar, los nails resistentes a tensión y el revestimiento

4.13 ELABORACIÓN DE MODELOS CONCEPTUALES

Un modelo conceptual es una representación del comportamiento de la ladera o talud. El modelo puede incluir gráficas de planta y perfiles con sus respectivos textos o memorias descriptivas del efecto de todos y cada uno de los elementos fundamentales que afectan la estabilidad del talud específico

El modelo debe ser lógico y fácilmente entendible y no debe incluir información que no sea relevante y determinante en el proceso de inestabilidad. Ver figura 15.

Procedimiento para la elaboración de modelos conceptuales

Los modelos conceptuales involucran las siguientes actividades principales:

- Caracterización de todos y cada uno de los elementos fundamentales.
- Se deben caracterizar los factores que afectan tanto la susceptibilidad como la amenaza incluyendo los factores detonantes.
- Representación gráfica y descripción escrita de las características de cada uno de los elementos.
- Elaboración de un modelo gráfico en planta y en perfil de todos los elementos, incluyendo la interacción entre ellos.
- El modelo debe indicar el comportamiento futuro del talud y las características de los movimientos esperados.
- Instrumentación del talud para validar en campo los resultados de los modelos.
- Elaboración de los modelos determinísticos para calibrar tanto el modelo conceptual como los parámetros del modelo determinístico.
- Calibración del modelo en campo analizando deslizamientos existentes.

4.14 DEFINICIÓN E INVESTIGACIÓN DEL DESLIZAMIENTO

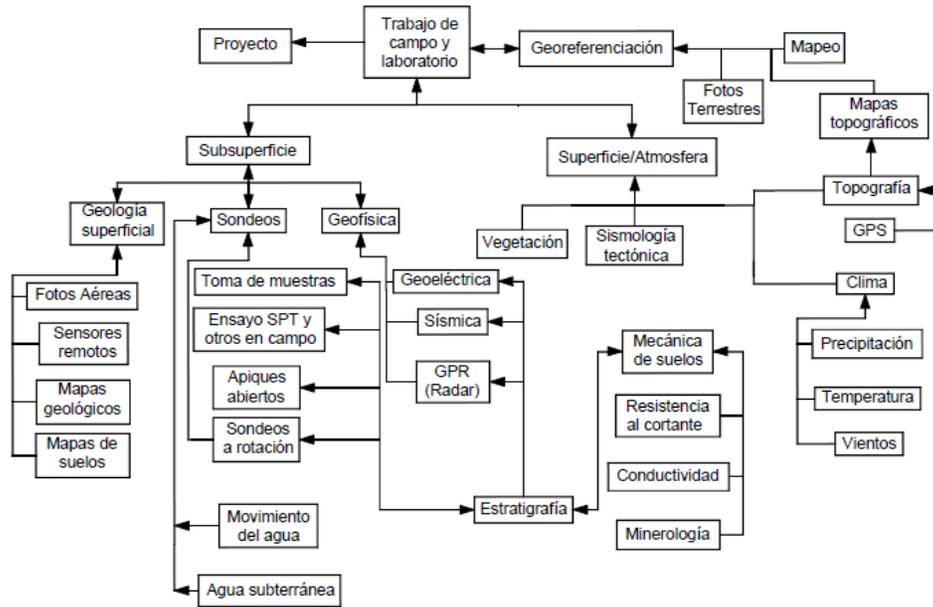
En primera instancia, para establecer un concepto deslizamiento podemos citar a diferentes autores. Westen (ITC), define un deslizamiento como un movimiento de una masa de roca, detritos o tierra pendiente abajo bajo la acción de la gravedad, cuando el esfuerzo de corte excede el esfuerzo de resistencia del material.

Esta definición coincide con la de Cruden, citado por Suarez (2009), quien agrega que en el término deslizamiento se incluyen tanto los procesos de erosión como los procesos denudacionales.

Grases y otros 1997, establecen una guía para la identificación de problemas de deslizamientos, partiendo de 3 aspectos:

- La identificación de los mecanismos de falla más comunes en los distintos tipos de materiales geológicos;
- El establecimiento de criterios para la recolección de información;
- La búsqueda e interpretación de efectos claves para identificar la posible inestabilidad de los taludes.

Figura 15. Esquema de formulación de Modelos Conceptuales.



En general los deslizamientos, bajo condiciones propicias, se pueden presentar en cualquier tipo de terreno; no obstante existen algunas condiciones que favorecen la formación de un deslizamiento:

- Topografía: Los deslizamientos son más comunes en terrenos empinados, escarpados o en acantilados, en donde el contacto con estratos débiles o por infiltración que genera disminución en la cohesión de los elementos del suelo.
- Fracturas en el macizo rocoso: Macizos muy fracturados tienen a aumentar el riesgo de deslizamiento. Las discontinuidades (fallas, diaclasas, foliaciones) que interceptan con la superficie del talud suelen generar falla del talud.
- Condiciones Climáticas: Las lluvias intensas son una de las condiciones desencadenantes de grandes deslizamientos y masas de terreno.
- Tipo de suelos: Terrenos arcillosos localizados en climas en donde se alternan periodos secos con otros húmedos suelen provocando deslizamientos y desprendimientos.

- Sismicidad: Si bien no es común que se tenga en cuenta este factor como generador de deslizamientos, los procesos cosismicos son muy importantes en terrenos altamente fracturados, y de alta pendiente.

En la siguiente tabla se presenta la caracterización de tipos de falla en taludes, ajustada por estos autores:

Tabla 2. Clasificación de fallas según Grases y otros

TIPOS DE FALLA	FORMA	DEFINICION
Desprendimientos	Caída libre	Desprendimiento repentino de uno o más bloques de suelo o roca que descienden en caída libre.
	Volcadura	Caída de un bloque de roca con respecto a un pivote ubicado debajo de su centro de gravedad.
Derrumbes	Planar	Movimiento lento o rápido de un bloque de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana.
	Rotacional	Movimiento relativamente lento de una masa de suelo, roca o una combinación de los dos a lo largo de una superficie curva de falla bien definida.
	Desparramamiento lateral	Movimiento de diferentes bloques de suelo con desplazamientos distintos.
	Deslizamiento de escombros	Mezcla de suelo y pedazos de roca moviéndose a lo largo de una superficie de roca planar.

TIPOS DE FALLA	FORMA	DEFINICION
Avalanchas	De roca o escombros	Movimiento rápido de una masa incoherente de escombros de roca o suelo-roca donde no se distingue la estructura original del material.
Flujo	De escombros	Suelo o suelo-roca moviéndose como un fluido viscoso, desplazándose usualmente hasta distancias mucho mayores de la falla. Usualmente originado por exceso de presiones de poros.

Tomado de: Grases y otros 1997.

En el análisis del comportamiento de estabilidad del terreno, se deben tener en cuenta las características del subsuelo, las cuales se deben establecer a través de la una investigación del subsuelo.

Según Ojeda 2010, esta comprende la determinación del perfil del sub-suelo como el comportamiento del suelo, de tal manera que la investigación tiene una connotación amplia que incluye la exploración. Ver figura No 16.

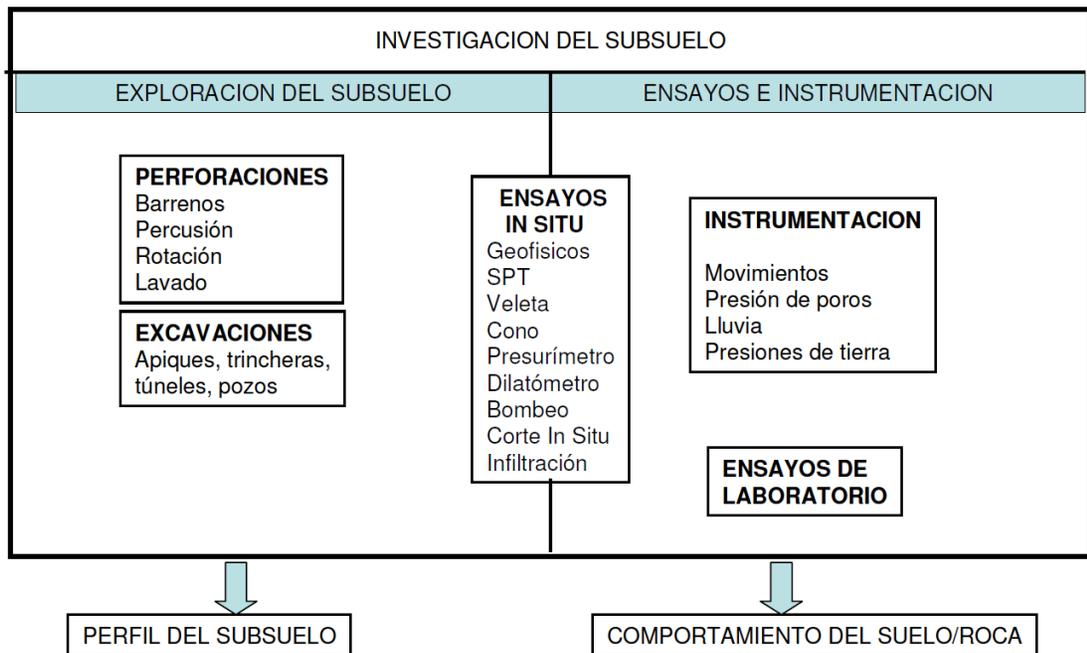
A partir de la investigación efectuada, es posible determinar las características del suelo y las condiciones que influyen en el comportamiento y estabilidad del terreno; es decir permite establecer la línea base de la información para el análisis específico de la situación.

Suarez 2009, para poder cuantificar los parámetros que afectan la estabilidad de un talud, diagnosticar y diseñar las obras de estabilización, recomienda efectuar un estudio que incluya las siguientes etapas:

- Reconocimiento e identificación del sitio.

- Análisis de la información existente.
- Estudio de las características superficiales del sitio que permitan la caracterización topográfica y geotécnica.
- Investigación de campo que incluya sondeos, toma de muestras y ensayos “in situ” para cuantificar los parámetros del suelo.
- Investigación de laboratorio.
- Elaboración del modelo conceptual de los mecanismos de las fallas actuales o potenciales.
- Modelación matemática utilizando software.
- Instrumentación y monitoreo.
- Elaboración del plan de manejo y diseño de obras de remediación

Figura 16 Exploración como herramienta de investigación del subsuelo.
Tomado de Ojeda 2010



En la figura No 17, se presenta el diagrama de flujo definido por Suarez para la investigación y análisis de deslizamientos.

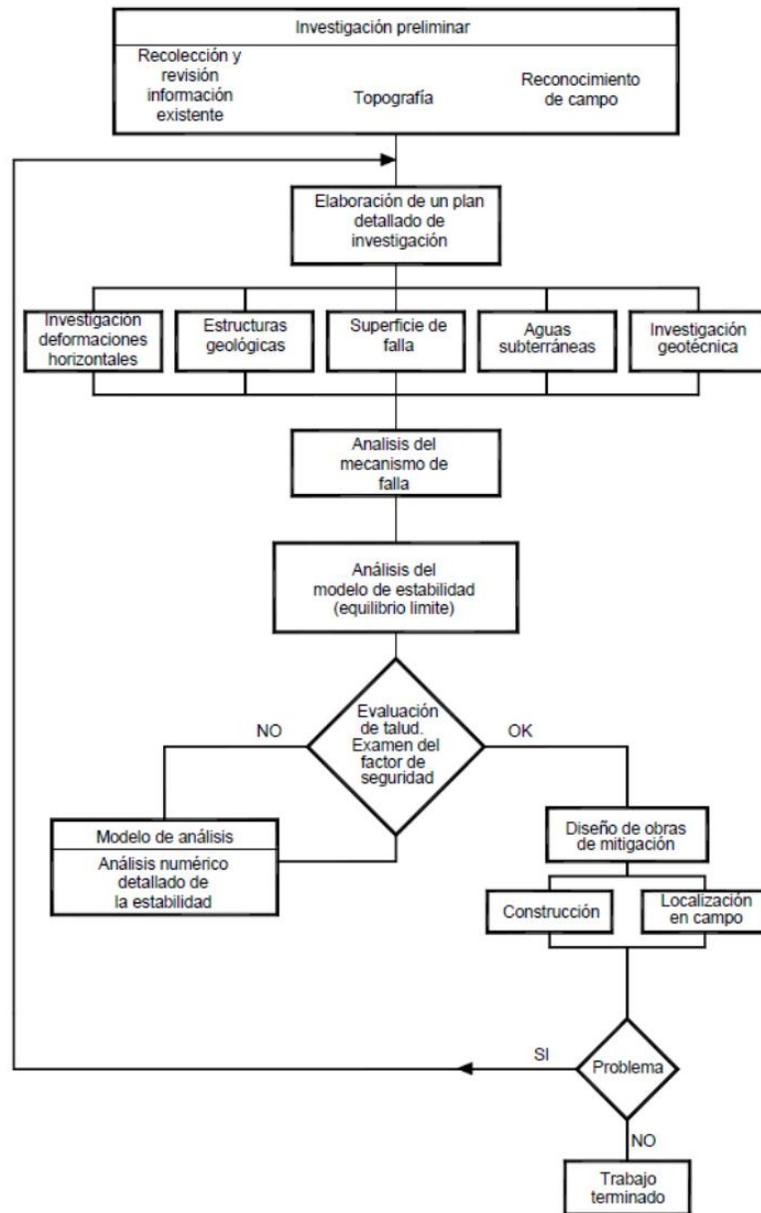
Aunque un esquema general no puede ser aplicado de manera indistinta a cada problema geotécnico que se aborde, si es importante anotar que dependiendo de factores como magnitud, tipo de infraestructura afectada y los costos de las obras recomendadas para la solución del problema el análisis debe ser abordado con menor o mayor profundidad.

Lo anterior coincide con lo expuesto por Muelas 2008: “la elección del método de reconocimiento más adecuado en cada caso, la posición de los puntos en los que efectuar los trabajos de campo, profundidad a alcanzar con los reconocimientos, ensayos especiales, etc., será competencia de los técnicos responsables del trabajo al que está destinado el reconocimiento”.

En cuanto a métodos de análisis, González 2001, establece dos tipos de análisis para la estabilidad de taludes:

- Globales: Estudian el equilibrio, en general en equilibrio límite, de toda la masa deslizando. Por ejemplo método.
- Parciales: Estudian el equilibrio de partes o subdivisiones de la posible masa deslizando, por ejemplo, equilibrio de fajas.

Figura 17. Flujograma del Análisis e Investigación de Deslizamientos



5. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

5.1 LOCALIZACION

La zona objeto de estudio se encuentra localizada en el Pk101+500 del gasoducto Gibraltar – Bucaramanga.

Geográficamente se ubica en el Municipio de Silos Norte de Santander que se encuentra ubicado al Nororiente de Colombia y esta situado a los 7° 13' de latitud Norte y 72° 46 de longitud Occidental, formando parte del Área Territorial del Departamento Norte de Santander. Ver figura 18.

Figura 18. Localización del sitio objeto de investigación.



Una característica sobresaliente de su posición geográfica es su ubicación en el llamado Nudo de Santurbán sobre la Cordillera Oriental, lo que le permite poseer

una gran parte de su extensión en páramos y una gran oferta hídrica que confluye a las cuencas del Catatumbo y el Orinoco.

5.2 CLIMA Y VEGETACIÓN

La región hace parte del macizo de Santander, que presenta variadas características de vegetación, las cuales según la clasificación de Holdridge corresponden a formaciones de Bosque húmedo montano (b-hm) y en las partes mas altas se presentan formaciones de sub - páramo y páramo.

Las temperaturas en estas zonas de vida oscilan entre los 6 a 12 °C, con excepción del clima de Paramo subandino que varia entre 3 y 6°C.

Aunque en algunos sectores se observan relictos de vegetación protectora, las actividades agrícolas y pecuarias que se llevan a cabo en la zona exponen el suelo a factores ambientales que afectan el grado de estabilidad de los suelos. Ver fotografías N 2.

Fotografía 2. Detalle de la cobertura vegetal del sector.



5.3 TOPOGRAFIA

El sector se encuentra ubicado en la cordillera oriental en el nudo de San Turban, caracterizado por la presencia de zonas de ladera de pendiente media a muy alta.

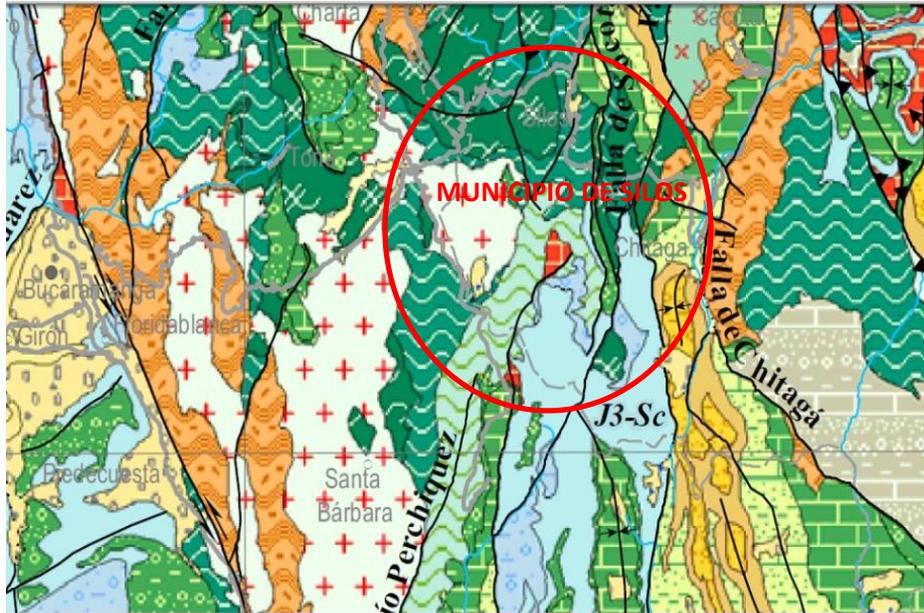
El sector estudiado presenta problemas locales de estabilidad debido a la activación de deslizamientos por niveles freáticos altos y suelos sueltos, que afectan las vías del sector y en el caso de estudio, amenaza la estabilidad de la banca del derecho de vía del gasoducto Gibraltar – Bucaramanga, que transporta el gas natural de consumo del área metropolitana de Bucaramanga.

5.4 GEOLOGIA REGIONAL

La zona geográfica donde se encuentra la zona inestable en estudio, es el sector del Pk101+500, ubicado en el municipio de Silos Norte de Santander esta zona corresponde a una zona de alta montaña, caracterizada por fuertes pendientes, relieve ondulado, alta disección de drenaje, erosión severa en algunos casos, limitada por las fallas de Bucaramanga, Morrorrico y al este por la falla de Chitagà, El municipio se encuentra dentro del denominado Macizo de Santander, dentro de este macizo se presentan rocas ígneas, metamórficas y en menor proporción rocas sedimentarias. Ver figura 19.

Las rocas ígneas desarrollan suelos residuales espesos que a su vez son denudados por procesos erosivos, los suelos formados a partir de las rocas que conforman el Macizo Ígneo – Metamórfico de Santander y algunas rocas calcáreas, dan origen a suelos con estructura granular, bien drenados donde se presentan frecuentemente escurrimientos superficiales y en algunos casos se observan algunos cuerpos con erosión química por disolución

Figura 19 .Geología de la Zona en Estudio (Silos)



El principal rasgo geológico en el área de influencia indirecta lo constituyen los cerros de composición ígneo metamórfica y el sistemas de fallas de dirección sur norte que los separan y afectan principalmente a las rocas ígneo metamórficas del macizo de Santander. Los procesos geomorfológicos antiguos principales corresponden a los flujos de escombros y lodos producto de los deshielos procedentes del páramo de Berlín, que conformaron los depósitos de morrenas y las terrazas fluvio glaciares y/o coluvio aluviales, colgadas, que se encuentran en las zonas altas de las quebradas Angosturas, Páez, Móngora y El Salado y que se extienden en las márgenes de las quebradas La Baja, Móngora y del río Vetás principalmente en la confluencia de las quebradas. 3

Las rocas más antiguas cartografiadas en este sector de la subcuenta del río Vetás pertenecen a las formaciones neis de Bucaramanga y Silgará que conforman el llamado Macizo de Santander y su edad se remonta al Precámbrico, y afloran en toda el área de influencia. La erosión de estas unidades en las

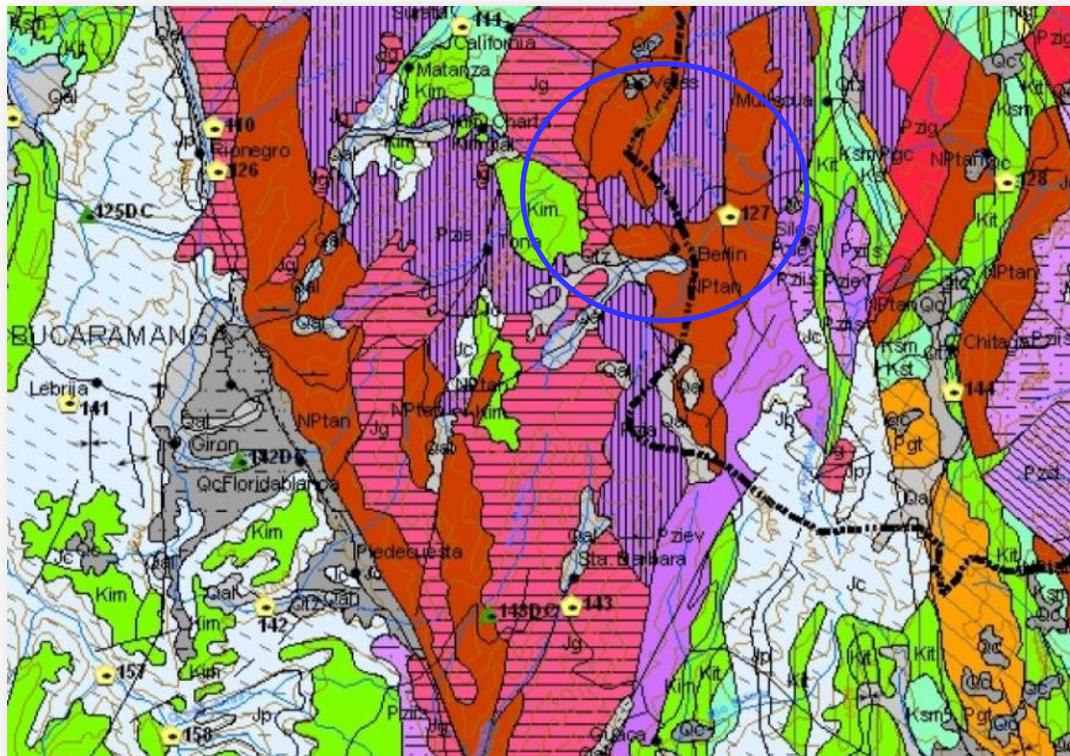
³Tomado de Memoria Explicativa Plancha 111 Toledo

orogénias jurásicas originó los depósitos molásicos que conformaron finalmente las rocas de las formaciones Jordán y Girón. Ver figura 20.

5.5 ESTRATIGRAFÍA

Cada unidad litológica se describe teniendo en cuenta su nomenclatura, distribución litológica, relación estratigráfica, ambiente depositacional, edad y correlaciones con las unidades estudiadas del Macizo de Santander. Las diferentes unidades lito estratigráficas presentes se describen de la mas antigua a la mas joven

Figura 20. Geología de la Zona en Estudio (Silos)



Para la descripción de las diferentes unidades se empleará la nomenclatura utilizada en Santander y la simbología se toma del Mapa Geológico Generalizado de Santander, versión 1997 y la del Mapa Preliminar Geológico Generalizado de Norte de Santander

5.5.1 Precámbrico

Las rocas consideradas de edad precámbrica que afloran en el área son metamórficas de alto y medio grado. Por su litología y relaciones estratigráficas están correlacionadas con el Neis de Bucaramanga, unidad de gran extensión en el Macizo de Santander y que constituye el basamento de la Cordillera oriental

5.5.1.1 Neis de Bucaramanga (Pem). Dentro del Macizo de Santander la roca más antigua corresponde a una secuencia de metamorfitas de origen sedimentario, que incluye neis de alto grado, esquistos y migmatitas, que caracterizan a la Formación Bucaramanga, que ha sido considerada por dataciones radiométricas como del Precámbrico. En general este cuerpo se presenta al este de la Falla de Bucaramanga, en la vecindad de la ciudad del mismo nombre hasta cerca de la localidad de Cepitá y en forma aislada hacia Mogotes. Igualmente se observa hacia Berlín – California – Mutiscua y un poco hacia las localidades de Chitagá – Pamplona.

Litológicamente la unidad se encuentra constituida por neis cuarzofeldespáticos, neises anfibolíticos, anfibolitas y migmatitas; neises cuarzofeldespáticos con granates y cuarcitas con sillimanita.

Esta unidad se encuentra en contacto discordante con rocas de la Formación Girón del Jurásico y en contacto fallado con rocas cretácicas y terciarias.

5.5.1.2 Ortoneis de Berlín (PEpa). Se presentan otras metamorfitas de alto grado, de origen ígneo, con una composición que varía entre granito y cuarzomonzonita y que se conoce como Ortoneis de Berlín, también considerado como Precámbrico. Estas rocas son en general masivas, pero contiene restos de rocas metasedimentarias foliadas y cortinas delgadas de neis hornbléndico y anfibolita, algunos de los cuales parecen diques. Este cuerpo está distribuido principalmente en los alrededores de Berlín y algunas cuñas que se extienden hacia Chitagá, Silos y Pamplona.

El Ortoneis de Berlín intruye el Complejo de Bucaramanga y está cubierto discordantemente por sedimentitas del Devónico medio. Con base en observaciones y relaciones estratigráficas de campo, esta unidad puede abarcar edades del Proterozoico superior al Paleozoico inferior

5.5.2 Paleozoico

Tanto las rocas datadas así como las consideradas del Paleozoico, están representadas por metamorfitas, sedimentitas y plutonitas

Cámbrico-Ordovícico (Pzm)

Es una unidad constituida por metamorfitas de origen sedimentario, de grado medio y bajo metamorfismo regional, cuya edad es considerada del Cámbrico-Ordovícico, Estas rocas han sido agrupadas en la denominada Formación Silgará.

5.5.2.1 Formación Silgará (Pzm). Rocas metamórficas de bajo a medio grado, constituidas por filitas, esquistos, mármoles, localmente metaconglomerados y metavolcánicos son considerados como pertenecientes a la Formación Silgará de edad Cámbrico-Ordovícico. Una secuencia de metamorfitas de mas bajo grado que incluye metaareniscas, metalimolitas, metalutitas, metaconglomerados y filitas

e incluidas en la Formación Floresta Metamorfoseada, son consideradas por Ward et. al., (1973) como del Devoniano. Royero et. al., (1997) las considera de forma interrogada como del Ordoviciano al Siluriano. Los efectos del metamorfismo dinamo-térmico regional del Permiano superior y del Triásico que afectó a la Formación Floresta, también causó recristalización a las rocas que constituyen el Grupo Surata, especialmente en las calizas de la Formación Diamante, considerada del Permiano al Carbonífero.

La Formación Silgará aflora hacia la zona de Berlín que envuelve en parte al Neis de Bucaramanga y el Ortoneis y se extiende desde el sur de Berlín, pasando por Silos, Mutiscua, hasta fuera de los límites del área propuesta. Algunos remanentes de esta formación se presentan hacia Pamplona, donde esta afectada por el Granito de Durania y el Ortoneis

5.5.2.2 Ordovícico - Silúrico (Pzms). Esta unidad se encuentra conformada por metasedimentitas, de grado bajo a muy bajo de metamorfismo regional, consideradas del Ordovícico-Silúrico, que afloran en el sector oriental del departamento, donde ocupan una gran franja a lo largo del borde oriental de los batolitos de Santa Bárbara y Mogotes

Esta unidad está constituida por filitas, cuarcitas, metareniscas, metaconglomerados, metalimolitas calcáreas, y filitas limosas; localmente se encuentran algunos horizontes fosilíferos en mármoles gris oscuros y filitas negras. Algunas cuarcitas y metaconglomerados localizados al suroccidente de San Andrés y Molagavita pueden representar su parte basal. El metamorfismo de estas rocas alcanza la facies esquisto verde.

5.5.2.3 Silúrico-Devónico (Pzpa). Unidad conformada por rocas ígneas plutónicas félsicas a intermedias, de composición predominantemente monzonítica, tonalítica

y diorítica, que han sido datadas del Silúrico-Devónico. Rocas de composición monzonítica forman pequeños plutones

5.5.3 Rocas Ígneas.

El Macizo de Santander también incluye una serie de cuerpos ígneos considerados como batolitos, plutones y stocks, que varían en composición desde dioritas hasta granitos. Los datos de edad radiométrica muestran que en general pertenecen a un mismo intervalo de plutonismo, al que se le ha asignado edades entre el Triásico-Jurásico y Jurásicos. Dentro de esta variación Ward et. al., (1973) presenta la siguiente distribución de acuerdo con su composición:

5.5.3.1 Diorita del Río Guaca y Río Suratá(Jdg, Jds).La Diorita del Río Guaca, básicamente es un pequeño stock de diorita hornblendico que aflorahacia los ríos Guaca y Chicamocha. Este cuerpo esta intruído por la cuarzomonzonita del Batolito de Mogotes, el cual ha sido considerado como Tría-Jurásico. La roca es equigranular y de color verde grisáceo. A estos cuerpos no se les ha podido establecer una edad correcta, se piensa que pueden ser del Triásico o más antiguos, hasta del Ordoviciano, por su parecido con la Metadiorita de Ocaña que dio edad radiométrica de 410 m.a.

5.5.3.2 Plutón de Páramo Rico y Cuarzomonzonita de La Corcova (Jgd, Jcg).Existe un cuerpo granodirítico y tonalítico conocido como Plutón de Páramo Rico, localizado un poco al este de Vetas y California, donde se presenta de grano grueso, equigranular, de color gris y no está foliado. Este cuerpo se ha considerado un poco más antiguo que la Cuarzomonzonita de la Corcova, pero más joven que la fase principal de metamorfismo regional considerado como del Ordovícico. Con seguridad si es pre-Girón. Con referencia a la Cuarzomonzonita de la Corcova, es un cuerpo de grano fino a medio, de color gris, que aflora sobre la carretera Bucaramanga- Pamplona, cerca de la localidad del mismo nombre y

que se extiende hasta cerca de los Curos, al sureste de Piedecuesta. Una edad K/Ar en moscovita de la Corcova es muy similar a edades K/Ar en biotita de los principales batolitos del Macizo y se calculó en 195 ± 7 m.a.

5.5.3.3 Batolito de Santa Bárbara (Jcs). El Batolito de Santa Bárbara, es una cuarzomonzonita rica en biotita y que toma su nombre por aflorar en jurisdicción de la localidad del mismo nombre, sobre la carretera que conduce de Piedecuesta a Málaga y se extiende en una faja alargada hacia el norte hasta cerca al caserío de Berlín y hacia el sur hasta la Falla de Bucaramanga, cerca de la confluencia de los ríos Chicamocha y Guaca. En general este cuerpo es de grano grueso, algo equigranular, de color rosado, anaranjado a gris violáceo, con feldespatos rosados y plagioclasa blanca. En algunos sitios esta roca presenta colores más oscuros que indican una composición más máfica, como ⁴se observa entre los sitios de Guaca-Los Curos. Algunos conglomerados, de la Formación Girón, incluyen detritos de esta cuarzomonzonita, lo cual indica que este cuerpo sufrió erosión fuerte antes del mismo Girón. Datos radiométricos de K/Ar en biotita dieron edades de 192 ± 7 a 194 ± 7 m.a.

5.5.3.4 Batolito de Río Negro (Jc). Aflora al oriente de la Falla de Bucaramanga, en jurisdicción del municipio de Río Negro, de donde deriva su nombre. Se constituye básicamente de granodioritas con variaciones a cuarzomonzonitas.

En general son de color gris, a gris rosada, porfirítica, la primera y la segunda más biotítica, de grano medio, rosada a gris claro. Cerca de la localidad de Santa Cruz, Ward, et. al., (1973), realizaron dataciones para dos muestras mediante K/Ar en biotita, para edades de 172 y 177 ± 6 m.a., es decir del Jurásico inferior a medio. A pesar que relativamente es más joven que los

⁴ Tomado de Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto Angostura Diciembre 2009 GreystarResources Ltd. Capítulo 3. Descripción y Caracterización Ambiental

Existen otros cuerpos de composiciones félsicas a intermedias, predominantemente riolíticas, afaníticas a porfiríticas, que se han considerado del Jurásico superior

5.5.4 Rocas Sedimentarias

En el área objeto del presente muestreo, afloran rocas sedimentarias del, Jurásico, Cretáceo, Terciario hasta los Depósitos Recientes. A continuación se hará una breve reseña de cada una, de más antiguas a más recientes:

5.5.4.1 Formación Girón Jg. Está compuesta por areniscas de grano medio, grueso a ligeramente conglomerático, de color rojo violáceo, rojo grisáceo y gris verdoso, estratificación cruzada, encapas gruesas, con interestratificaciones de limolitas y lodolitas, de color rojo violeta, grisáceo y algunos niveles delgados de conglomerados con guijos de cuarzo hasta de 4 cm.

Localmente se encuentra constituida por areniscas lodosas, grisverdosas y rojas, micaceas, localmente feldespáticas, de grano fino, medio, grueso a conglomeráticas, en capas medianas y con intercalaciones de lodolitas y limolitas rojas y rojo parduscas en capas delgadas. Se estima que el espesor local de la formación Girón está entre 200 y 250 mts.

La base de la formación Girón es discordante con las formaciones Silgara y con el cuerpos ígneos

5.5.4.2 Formación Tablazo. La secuencia de esta unidad consiste en calizas gris a negras, fosilíferas, localmente glauconíticas y arcillosas de color negro, con niveles intercalados de arcillolitas grises a gris azulado, calcáreas, fosilíferas, en capas medianas a gruesas, con intercalaciones de areniscas grises, grano fino a medio, arcillosas, levemente calcáreas, en capas delgadas. El ambiente de

depósito parece corresponder a condiciones neríticas, poco profundas. El espesor varía entre 150 y 325 m. Se considera con base en su contenido faunístico como de edad Aptiano superior – Albiano inferior

5.5.4.3 Formación Simití. La unidad consta de shales grises a negros, carbonosos, levemente calcáreos, con concreciones calcáreas hasta de 3 m y con intercalaciones de areniscas y calizas grises, localmente arcillosas y fosilíferas, en capas delgadas. Las condiciones paleoambientales fueron neríticas de aguas intermedias a profundas. Su espesor varía entre 250 y 650 m. Los contactos de la Formación Simití son concordantes con la infrayacente Formación Tablazo y suprayacente Formación La Luna. Su edad se ha establecido como Albiano superior - Cenomaniano. Se correlaciona con la Formación Capacho.

5.5.5 Depósitos inconsolidados

Depósitos cuaternarios Morrenas –Depósitos Fluvio Glaciares (Q_{tf}) Las morrenas laterales y frontales se encuentran en las cabeceras de las quebradas: El Salado, Las Morrenas están compuestas por bloques, guijarros y gravas muy angulares, de esfericidad media a baja y espesores de hasta 15 metros en su parte frontal, la proporción de bloques y matriz varia de una zona a otra y va desde depósitos clasto soportados a matriz soportados, en otras áreas solo se observan los cantos lavados y sin matriz.

5.5.5.1 Depósitos cuaternarios Terrazas coluvio-aluviales (Q_{tf}-Q_{tc}ol). Estos depósitos están asociados a flujos de escombros, producto de los deshielos en las partes altas de las quebradas afluentes. Están conformadas por fragmentos de areniscas y ortoneisestereométricos (cantos, guijos, guijarros y gravas) angulares y de esfericidad media, embebidos en una matriz areno – limosa su espesor varía entre 3 y 10 metros.

5.5.6 Depósitos de Vertiente (Qdv)

Estos depósitos en forma de abanico que están ubicados en la margen de la quebrada La Baja consisten en bloques, cantos y guijarros subredondeados a redondeados en una matriz arcilloarenosa. La distribución de los cantos es caótica, ya que por la alta pendiente de las laderas y la rapidez del flujo no alcanza a existir una selección de los materiales, que por génesis indican que su transporte ha ocurrido más como flujos producto de la saturación. Se incluyen también los depósitos producto de desprendimientos recientes especialmente en las bocas de antiguas minas.

5.5.7 Rasgos Tectónicos Sobresalientes

5.5.8 Estructuras

5.5.8.1 Falla de Romeral-Cucutilla. Mediante análisis de imágenes satelitales y fotografías aéreas, se puede definir como un lineamiento subvertical con una tendencia general Nor-Noreste, siendo la mayor estructura presente en el área correspondiente al proyecto Angostura, enmarcando el sector de interés en su flanco Este. Afecta principalmente las rocas ígneas y metamórficas, siendo correlacionable con el patrón estructural que presenta el neis de Bucaramanga, como son la esquistosidad, la foliación, y los pliegues presentes dentro de esta unidad, e inclusive alineamiento de minerales en las intrusiones graníticas.

5.5.8.2 Falla de Bucaramanga. Origina una expresión de dirección aproximada N20oW y se extiende por 600 km de longitud desde el sistema inverso de las Fallas de Boyacá y Soapaga, al sur, hasta la ciudad de Santa Marta, al norte, en la Costa del Caribe, donde se le ha asignado el nombre de Falla de Santa Marta. El rasgo más notorio de esta falla en el área del Macizo de Santander, es su aspecto topográfico, ya que define un lineamiento más o menos recto, expresados en

valles y diferencias de las unidades geológicas a cada lado. Su buzamiento es de alto grado, lo cual ha inducido a plantear que se trata de una falla de rumbo con desplazamiento lateral izquierdo, mayor que 100 km (Ward et. al., 1973). Hacia el sur se evidencia una combinación de movimientos inversos y de rumbo. Se creó que su mayor actividad ocurrió durante el Mioceno superior y el Plioceno, tiempo en que se emplazó la cordillera (Carrillo et. al, 1998).

5.5.8.3 Falla de Servitá. Estructura que en el Departamento de Norte de Santander aparece a la altura del corregimiento de Bábegeas truncada por la Falla del mismo nombre. De esta localidad hacia el sur pone en contacto rocas del Girón, al oeste, con el Terciario, al este, en el Páramo del Almorzadero, con un salto importante y más al sur, alrededores de Málaga, afecta a ambos lados estratos del Cretáceo, disminuyendo su desplazamiento vertical, con un trazo bastante rectilíneo. De Málaga hacia el sur la traza es más curvilínea, demostrando una cierta inclinación hacia el oeste. Hacia el sur del Municipio de Miranda esta falla parece ramificarse en dos, una al este que pone en contacto el Terciario con el Cretáceo y la occidental que sirve de límite del Macizo de Santander y la secuencia sedimentaria (Vargas et. al., 1981).

Dentro del Macizo de Santander existe un sin número de fallas, unas satélites de las dos anteriores y otras menores que afectan tanto las rocas precretáceas como las del cretáceo. Entre ellas se menciona las fallas del Chicamocha, Suratá, Tona, Umpalá, Manco, Perchiquez, Bábegea, y Chitagá.

5.5.8.4 Falla del Suárez. Accidente estructural importante que se orienta en forma paralela al cauce del río del mismo nombre, con dirección aproximada de N30oE, se prolonga desde el sur en área del cuadrángulo I-11 y termina al norte contra la Falla de Bucaramanga, un poco al norte de la ciudad del mismo nombre. Esta falla no se comporta igualmente a lo largo de su trazo; Hacia la parte media el buzamiento es muy pronunciado, mientras que hacia el extremo sur alcanza los

20o, sin reflejar importancia estructural alguna. Al norte se hace más evidente y cerca al Río Sogamoso pone en contacto estratos rojos del Girón con rocas del Cretáceo inferior, donde se calcula un desplazamiento vertical de unos 1700 a 2300 m., mientras que cerca de la localidad de Girón se estima en unos 1000 m.

6. METODOLOGIA

Se desarrolló una investigación de estabilidad geotécnica para un sector crítico del Derecho de Vía del gasoducto Gibraltar - Bucaramanga, basada principalmente en las características topográficas, geológicas y de análisis puntuales, a partir de los cuales se dan las recomendaciones para el manejo del deslizamiento del sector.

6.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Durante la ejecución de esta actividad se consultó la bibliografía y se recopiló la información relevante y concerniente a los métodos de diseño Estabilización y técnicas de remediación en taludes

6.2 INVESTIGACION DEL SUBSUELO

Para el desarrollo del proyecto se llevó a cabo una investigación del subsuelo de acuerdo con el alcance del estudio, con el fin de establecer los tipos de suelo, la estratigrafía, geología y litología, y también con el fin de tener un panorama claro de la caracterización del perfil para la aplicación de modelos geotécnicos a través de los cuales se proponen las alternativas de solución para el manejo del deslizamiento.

La investigación de subsuelo cumplió con los siguientes objetivos:

- Determinar la topografía del sector, incluidos los perfiles del terreno sobre los cuales se aplicó el modelamiento geotécnico.
- Investigar la estratigrafía de las unidades geológicas presentes en el sitio.

- Describir la estratigrafía, la geología estructural y los elementos hidrológicos en la zona donde se encuentra el talud analizado.
- Toma de muestras de suelo y su posterior análisis en laboratorio.

6.2.1 Alcance de la investigación geotécnica

Dentro de la investigación se llevaron a cabo las siguientes actividades:

6.2.1.1 Levantamiento topográfico. Se llevó a cabo el levantamiento topográfico del sector utilizando una estación total marca Topcon GTS-212 con precisión alsegundo, con trípode en aluminio, prismas, brújula BRUNTON, navegador GPs, GARMIN, cintas métricas, porras, estacas, etc.

En el levantamiento topográfico se utilizó el método de una poligonal abierta y levantamiento de detalles por radiación o nube de puntos. Se armó el equipo en diferentes deltas, e iniciando en el E-1 de la poligonal, radiando todos los detalles de la topografía del terreno, además de la vía, cunetas, alcantarillas, muros, obras existentes, etc. La información obtenida del levantamiento se procesó en el programa Civil Survey, generando las respectivas curvas de nivel cada un metro. Ver fotografía No 4.

Fotografía 3. Detalle del levantamiento del sector afectado por el deslizamiento.



6.2.1.2 Sondeos geo eléctricos. Durante el estudio para la exploración geológica se ejecutaron dos (2) Sondeos Eléctricos Verticales SEV's, para definir la profundidad en la cual aparece basamento rocoso y los niveles de agua subterránea, para lo cual se utilizó un equipo de resistividad GESS-2000, compuesto por un Trasmisor y un Receptor con las siguientes características:

- Potencia 1500 W
- Máximo Voltaje de Salida 400V
- AB/2 Máxima de 1000 m de profundidad,
- Electrodo en Acero enchaquetados en Cobre de Alta Conductividad
- Corriente de salida: continua DC.
- Precisión en la corriente de salida 0.5% en 100mA
- Tiempo de pulsación de 1 a 4 segundos, Lecturas en auto-rango
- Precisión V/I de 0.1%, Impedancia de entrada 1 M mínimo.
- Fuente de entrada 12V
- Operación de temperaturas entre -5°C a +50°C
- Accesorios.

Para la localización de los SEV's se utilizó un GPS (Global Positioning System) Magellan, determinando la posición geográfica en coordenadas planas con una precisión de 3 m. Ver fotografía No 4.

Fotografía 4. Detalle de la ejecución de los sondeos geoelectricos.



6.2.1.3 Sondeos mecánicos. Se realizaron sondeos mecánicos realizando Ensayos de Penetración Estándar SPT: Norma AS TM D 1586, I.N.V.E. 111. Para este tipo de ensayo se utilizó un equipo operado por un motor de 16 HP, polea y pesa sobre una guía tubular. Ver fotografía No 5.

En total se llevaron a cabo seis (6) sondeos, obteniendo además muestras en tubo partido, cuyas características se presentan en la tabla 4.

Fotografía 5. Detalle de la ejecución de los sondeos mecánicos.



Tabla 3. Características de los sondeos geotécnicos

PERFORACION	EQUIPO	PROFUNDIDAD (mts)
1	Percusión continuo	7
2	Percusión continuo	4,5
3	Percusión continuo	7,5
4	Percusión continuo	7
5	Percusión continuo	7
6	Percusión continuo	8

A continuación se relacionan los parámetros de los Ensayos de Penetración Estandar:

- Peso del martillo: 140 libras
- Altura de caída: 76 centímetros
- Penetración: 3 intervalos de 15 centímetros cada uno (6")
- N de diseño: Sumatoria de los golpes de los últimos 30 centímetros (12")
- Diámetro exterior del tubo: 50.8 mm
- Diámetro interior del muestreador en la punta: 34.93 mm

- Longitud del tubo: 75 centímetros
- Sistema de hincado: Malacate y polea
- Motor del equipo: B & S 16 HP
- Rechazo: Más de 50 golpes para 15 centímetros (6”).

6.2.1.4 Ensayos de laboratorio. Con las muestras tomadas en campo, en total se ejecutaron 51 ensayos de laboratorio, los cuales fueron llevados a cabo en el laboratorio de GEOTECNOLOGIA S.A.S en la ciudad de Bucaramanga.

En la tabla No 5 se presentan los ensayos de laboratorio efectuados durante la etapa de investigación de subsuelo

Tabla 4. Relación de ensayos de laboratorio ejecutados.

ENSAYO	NORMA	No DE ENSAYOS
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D422-65 - AASHTO T88 INV - E. 123	12
Determinación del contenido de humedad en el suelo, roca y mezcla de suelo - roca.	ASTM D 2216 INV-E-122	12
Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	ASTM D 4318 - AASHTO T 89-90 INV - E. 126	12
Clasificación de suelos	ASTM D 2487	12
Corte directo drenado	ASTM D 3080 - AASHTO T 236 - INV - E 154	3

6.3 ELABORACION DE MODELOS DE ESTABILIZACION

Con base en los resultados del análisis geotécnico se llevaron a cabo los análisis de estabilidad usando el software SLOPE 2007 de GEOSTUDIO.

Se modelaron diferentes escenarios y tipos de obras de control, buscando factores de suficientes para garantizar la estabilidad del gasoducto. Entre otros se efectuaron los siguientes modelos:

- Modelo del terreno sin la aplicación de ningún tipo de medidas para el control de deslizamiento.
- Modelo retirando sin coluvión. Retirando la capa de terreno de coluvión.
- Modelo con conformación de taludes: Bermas.
- Modelo con taludes-bermas, subrenes.
- Modelo con taludes-bermas, subrenes y anclajes.

Con fundamento en los resultados obtenidos se pueden establecer las alternativas para el manejo geotécnico del sector.

6.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Con base en los modelos realizados, con la experiencia y conocimiento de la zona se propone el método mas eficiente y viable económicamente para la remediación de la zona en movimiento a través de obras u otro tipo de alternativas.

7. RESULTADOS

7.1 ESTUDIO DEL SUBSUELO

Teniendo como objetivo investigar estratigrafía de las unidades geológicas presentes en el sitio y describirla, incluyendo los aspectos estructurales e hidrológicos, el estudio geotécnico, con fundamento en los ensayos de campo y laboratorio realizados, permitió la obtención de los siguientes resultados:

7.1.1 Levantamiento topográfico

En primera instancia se obtuvo la planta general del sector con curvas de nivel cada metro, a partir de la cual se definieron seis (6) perfiles de terreno, sobre los cuales se puede modelar el terreno afectado por el deslizamiento.

En el anexo 1 se presentan la información del levantamiento topográfico, que incluye:

- Planta general
- Perfiles del terreno

7.1.2 Sondeos geo eléctricos

Se realizaron interpretaciones tanto matemáticas como hidrogeológicas. En la interpretación de los Sondeos Eléctricos Verticales las resistividades aparentes, obtenidas por medio de un SEV con el dispositivo Schlumberger, se representan en función de las distancias $AB/2$ en un gráfico de papel doblemente logarítmico, en el cual las ordenadas representan profundidades y las abscisas resistividad aparente.

El sistema computarizado recibe las aperturas y la resistividad aparente, lo cual permite interpretar las unidades geoelectricas con resistividad, espesor y profundidad del techo, para que manualmente se determine la litología correspondiente.

Los anteriores datos son incluidos en otro programa de computador, denominado Curteo, en el cual se procede, independientemente del programa inicial, en forma totalmente inversa, obteniendo así la curva teórica, la cual indica el grado de confiabilidad de los datos obtenidos en el campo.

Para ambos casos se emplea un error relativo de 0,10, lo cual muestra la precisión con la cual se maneja la información a ser comparada.

Para la interpretación de los datos de campo y del curteo se usó el programa desarrollado por Otto Koeffoed y modificado por Ariel Solano Borrego.

7.1.2.1 Sondeo eléctrico vertical SEV -1.

- LOCALIZACIÓN: Sobre derecho de vía del gasoducto.
- PROFUNDIDAD INVESTIGADA: $AB/2 = 133.33$ m.
- TERRENO: inclinado
- RUMBO: N 70 E
- COORDENADAS: X = 1'283.729, Y = 1'144.160
- Z = 2790 msnm
- ERROR RELATIVO: 0.0086

En la siguiente tabla se resumen los resultados de correlación de resistividad y profundidad para el SEV – 1.

Tabla 5. Resultados de sondeo geoelectrico SEV – 1.

PROFUNDIDAD DESDE HASTA (Mts)	UNIDAD GEOELECTRIC A	RESISTIVIDAD (Ohm – m)	CORRELACION HIDROGEOLOGICA
0.00 - 1.2	I	602	Suelo arcillo-arenoso con fragmentos.
1.2 - 4.5	II	342	Depósito Coluvial compuesto por fragmentos heterométricos de rocas metamórficas embebidos en una matriz arcillo-arenosa.
4.5 - 11.6	III	511	Depósito Coluvial compuesto por fragmentos heterométricos de rocas metamórficas embebidos en una matriz arcillo-arenosa.
11.6 - 36.4	IV	235	Basamento metamórfico muy fracturado, compuesto por filitas, esquistos y pizarras. Cierta grado de humedad. Fm Silgará
36.4 - 133.3	V	242	Basamento metamórfico muy fracturado, compuesto por filitas, esquistos y

PROFUNDIDAD DESDE HASTA (Mts)	UNIDAD GEOELECTRIC A	RESISTIVIDAD (Ohm – m)	CORRELACION HIDROGEOLOGICA
			pizarras. Cierta grado de humedad. Fm Silgará

En este sondeo, se observa un depósito coluvial compuesto por bloques heterométricos de rocas metamórficas en matriz areno-arcillosa suprayaciendo a una secuencia de rocas clásticas metamorizadas de estratificación delgada, compuesta por filitas, cuarcitas, esquistos, metareniscas y menores cantidades de pizarra y filita calcárea correlacionables con la Formación Silgará.

Las unidades geoelectricas IV y V se encuentran con cierto grado de humedad en sus diaclasas y fracturas del basamento metamórfico de la Formación Silgará.

7.1.2.2 Sondeo eléctrico vertical SEV -2.

- LOCALIZACIÓN: Sobre derecho de vía del gasoducto.
- PROFUNDIDAD INVESTIGADA: $AB/2 = 133.33$ m.
- TERRENO: inclinado
- RUMBO: NS
- COORDENADAS: X = 1'283.700, Y = 1'144.245,
- Z = 2812 msnm
- ERROR RELATIVO: 0.0094

En la siguiente tabla se resumen los resultados de correlación de resistividad y profundidad para el SEV – 2.

Tabla 6. Resultados de sondeo geoelectrico SEV – 2.

PROFUNDIDAD DESDE HASTA (Mts)	UNIDAD GEOELECTRICA	RESISTIVIDAD (Ohm – m)	CORRELACION HIDROGEOLOGICA
0.00 - 0.70	I	780	Suelo arcillo-arenoso con fragmentos.
0.70 - 2.70	II	470	Depósito Coluvial compuesto por fragmentos heterométricos de rocas metamórficas embebidos en una matriz arcillo-arenosa..
2.70 - 10.20	III	2328	Depósito Coluvial compuesto por fragmentos heterométricos de rocas metamórficas embebidos en una matriz arcillo-arenosa.
10.20 - 19.20	IV	111	Basamento metamórfico muy fracturado, compuesto por filitas, esquistos y pizarras. Húmedo. Fm Silgará
19.20 - 107.60	VI	200	Basamento metamórfico muy fracturado, compuesto por filitas, esquistos y pizarras. Cierta grado de humedad. Fm Silgará
107.60 - 133.33	VI	184	Basamento metamórfico muy fracturado, compuesto por filitas, esquistos y pizarras.

PROFUNDIDAD D DESDE HASTA (Mts)	UNIDAD GEOELECTRICA A	RESISTIVIDAD D (Ohm – m)	CORRELACION HIDROGEOLOGICA
			Cierto grado de humedad. Fm Silgará

La sección geoelectrica presenta un depósito coluvial compuesto por bloques heterométricos de rocas metamórficas en matriz arenosa-arcillosa suprayaciendo a una secuencia de rocas clásticas metamorizadas de estratificación delgada, compuesta por filitas, cuarcitas, esquistos, metareniscas y menores cantidades de pizarra y filita calcárea correlacionables con la Formación Silgará.

Las unidades geoelectricas IV, V y VI se encuentran con cierto grado de humedad en sus diaclasas y fracturas del basamento metamórfico de la Formación Silgará, especialmente en la unidad III que presenta mayor humedad.

De acuerdo con los resultados de los sondeos, se puede establecer:

- En general esta región genera una expresión Geomorfológica de origen tectónico-estructural de pendientes fuertes a moderadas.
- Las secciones Geoelectricas de los Sondeos Eléctricos Verticales presentan un depósito coluvial compuesto principalmente por fragmentos de rocas metamórficas, embebidos en una matriz arcillo-arenosa suelta suprayaciendo a rocas clásticas metamorizadas de estratificación delgada, compuesta por filitas, cuarcitas, esquistos, metareniscas y menores cantidades de pizarra y filita calcárea correlacionables con la Formación Silgará.
- Las unidades geoelectricas en general se encuentran con cierto grado de humedad especialmente en las unidades del basamento metamórfico.

- La zona principal de recarga parece ser el resultado de la infiltración directa de las precipitaciones que ocurren en el área, el aporte de las aguas precipitadas en la zona montañosa durante la estación lluviosa, las aguas provenientes de la infiltración de las corrientes superficiales existentes. La escorrentía superficial fluye sobre una topografía de pendientes empinadas a fuertes, que permiten una elevada infiltración hacia zonas más profundas; en la mayoría de los casos fluye por gravedad a través de fracturas para resurgir en los materiales aluviales en las partes bajas de la pendiente.
- En general en los sitios investigados se puede observar una alta meteorización y fracturamiento en el basamento metamórfico debido al tectonismo presente en la zona.
- En el sitio denominado como SEV-1, las unidades geoelectricas IV y V se encuentran con cierto grado de humedad en sus diaclasas y fracturas del basamento metamórfico de la Formación Silgará.
- En el sitio denominado como SEV-2, las unidades geoelectricas IV, V y VI se encuentran con cierto grado de humedad en sus diaclasas y fracturas del basamento metamórfico de la Formación Silgará, especialmente en la unidad III que presenta mayor humedad.

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

Tabla 7 Resumen Geológico-Geotécnico de la Investigación Geo eléctrica

SONDEO	SUELO Desde - Hasta	SUELO RESIDUAL Desde - Hasta	COLUVION Desde - Hasta	BASAMENTO A partir de
SEV - 1	-	-	0.00 - 11.60	11,6
SEV - 2	-	-	0.00 - 10.20	10,2

7.1.3 Sondeos mecánicos

A cada uno de los sondeos efectuados se le realizó la descripción detallada de las muestras obtenidas de acuerdo a los siguientes criterios:

- Litología
- Textura
- Tamaño de los granos
- Minerales presentes
- Estructura y color
- Presencia de materiales orgánicos y raíces
- Porosidad
- Consistencia o resistencia

Para la descripción de los perfiles de los sondeos se utilizó el Software GeotechnicalGraphics versión 5.0, el cual permite presentar en gráficas la información de los sondeos incluyendo los resultados de los ensayos de campo y laboratorio, la formación geológica y la localización de los niveles freáticos. Ver figuras 21 a 26.

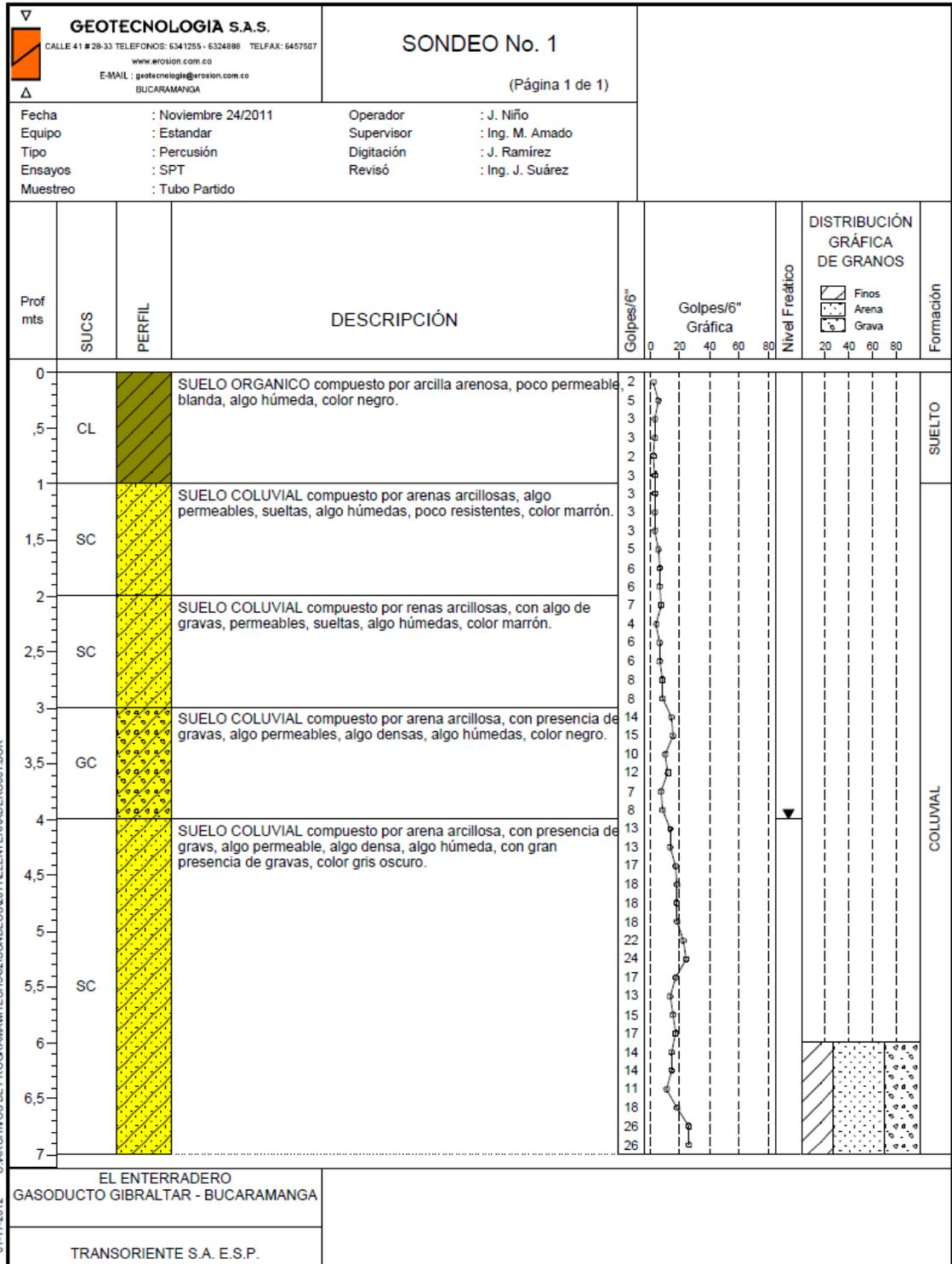
El resumen de resultados de golpes de los sondeos se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 7. Resultados de golpes/sondeos.

PROFUNDIDAD DESDE HASTA (Mts)	SONDEO : N GOLPES/PIE					
	1	2	3	4	5	6
00 - 0-5	8	3	3	4	10	8
0.5 - 1.0	5	5	2	4	12	21

PROFUNDIDAD DESDE HASTA (Mts)	SONDEO : N GOLPES/PIE					
	1	2	3	4	5	6
1.0 - 1.5	6	10	5	5	14	17
1.5 - 2.0	12	8	6	11	12	13
2.0 - 2.5	10	12	13	28	28	9
2.5 - 3.0	16	20	5	22	8	4
3.0 - 3.5	25	19	14	20	14	10
3.5 - 4.0	15	11	13	33	59	9
4.0 - 4.5	30	82	20	29	10	19
4.5 - 5.0	36		37	21	12	21
5.0 - 5.5	41		26	23	19	11
5.5 - 6.0	32		39	29	17	22
6.0 - 6.5	25		20	32	26	29
6.5 - 7.0	52		24	22	32	16
7.0 - 7.5			96			24
7.5 - 8.0						32
8.0 - 8.5						33

Figura 21. Perfil del sondeo No 1



01-17-2012 C:\ARCHIVOS DE PROGRAMA\TECH532\SONDEOS\2011\EL ENTERRADERO\001.BOR

Figura 22, Perfil del sondeo No 2

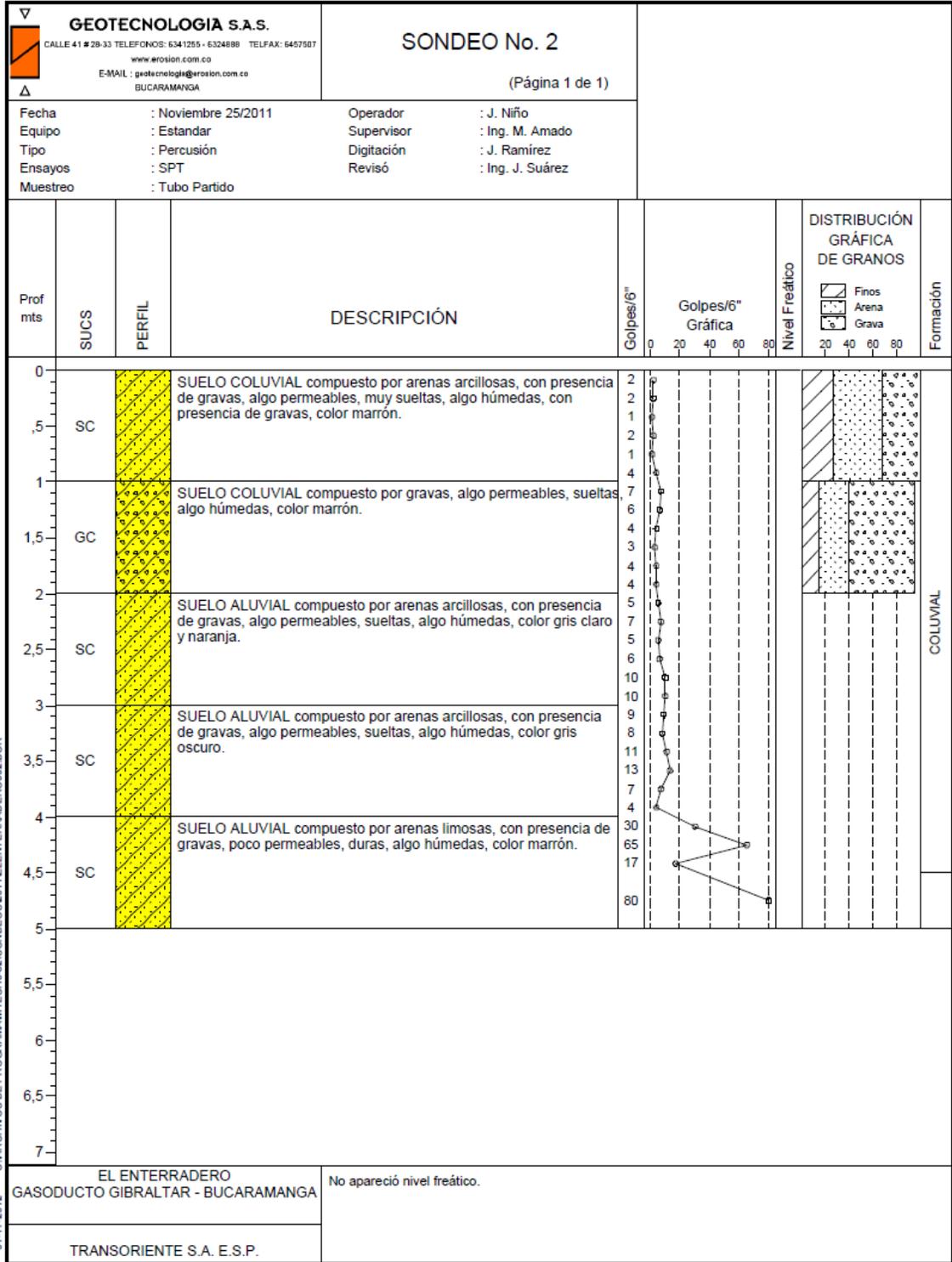


Figura 23. Perfil del sondeo No 3

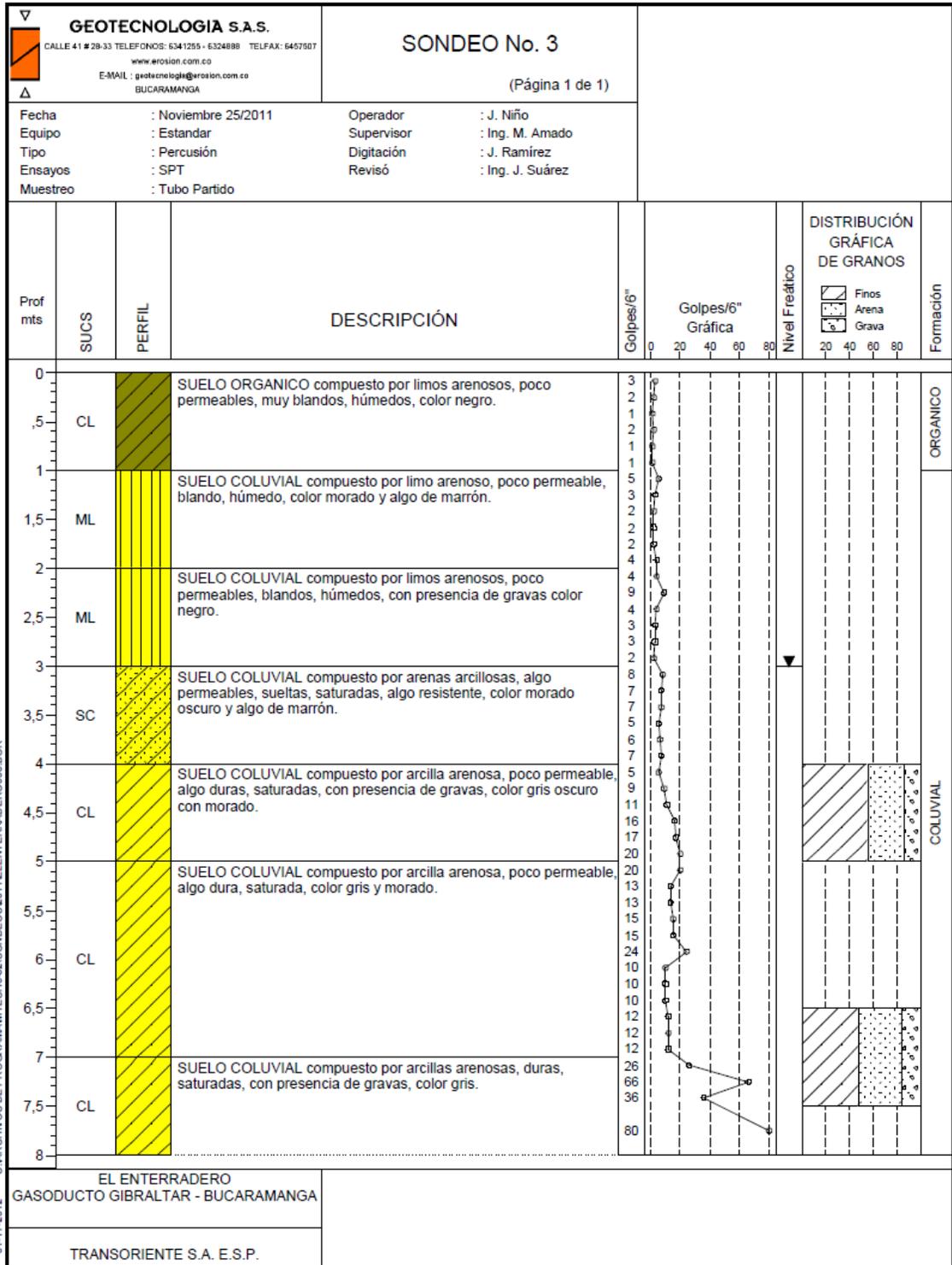
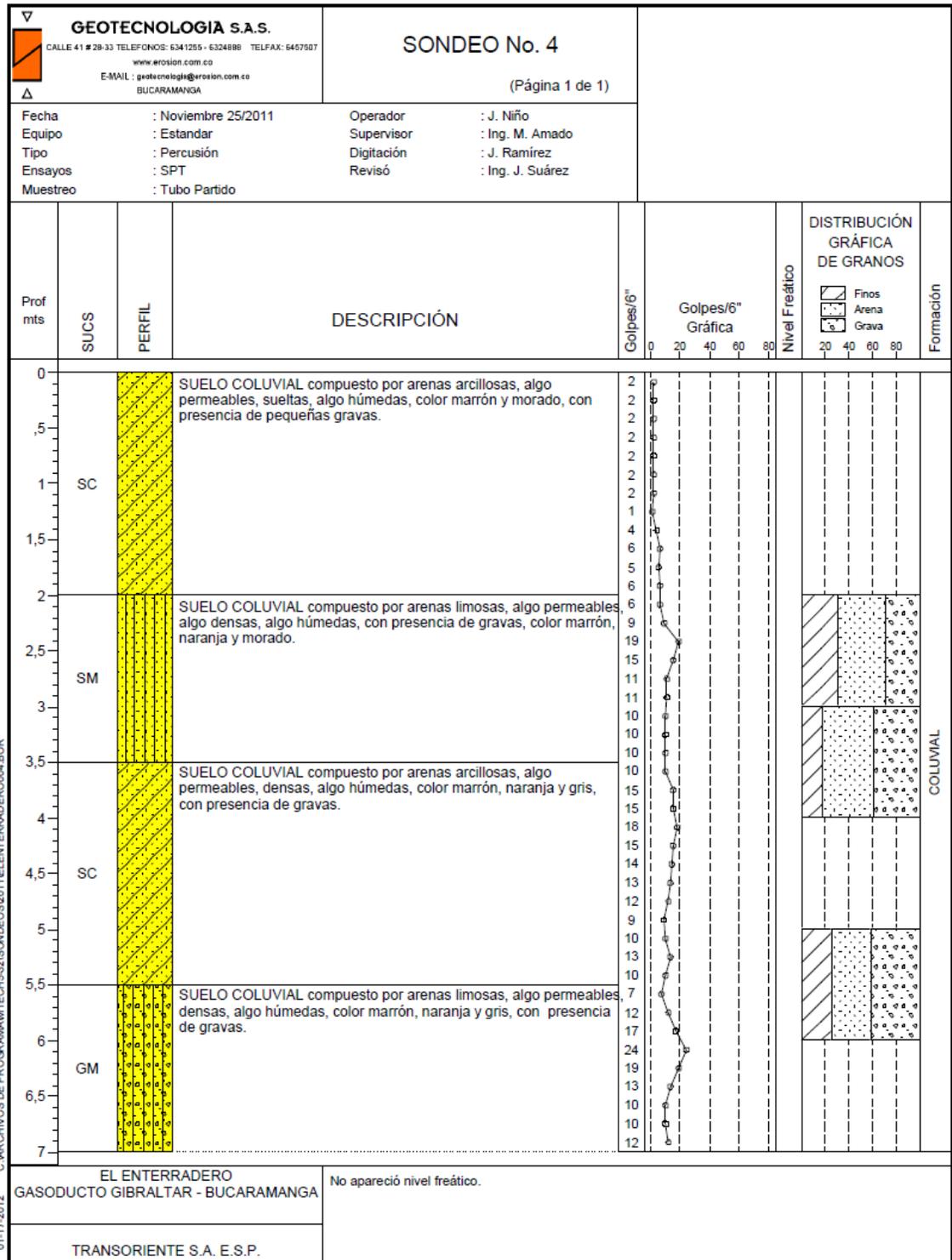
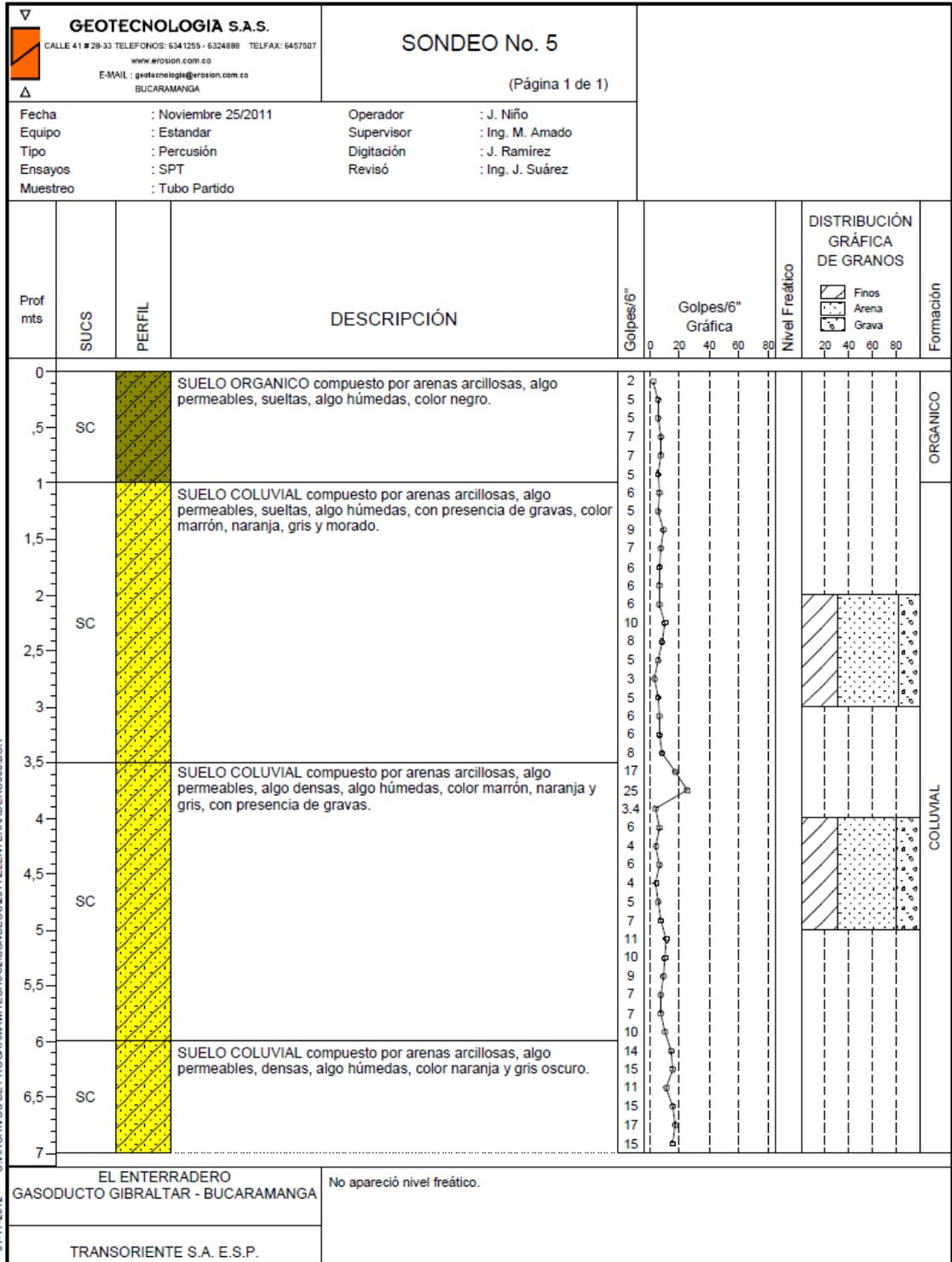


Figura 24. Perfil del sondeo No 4



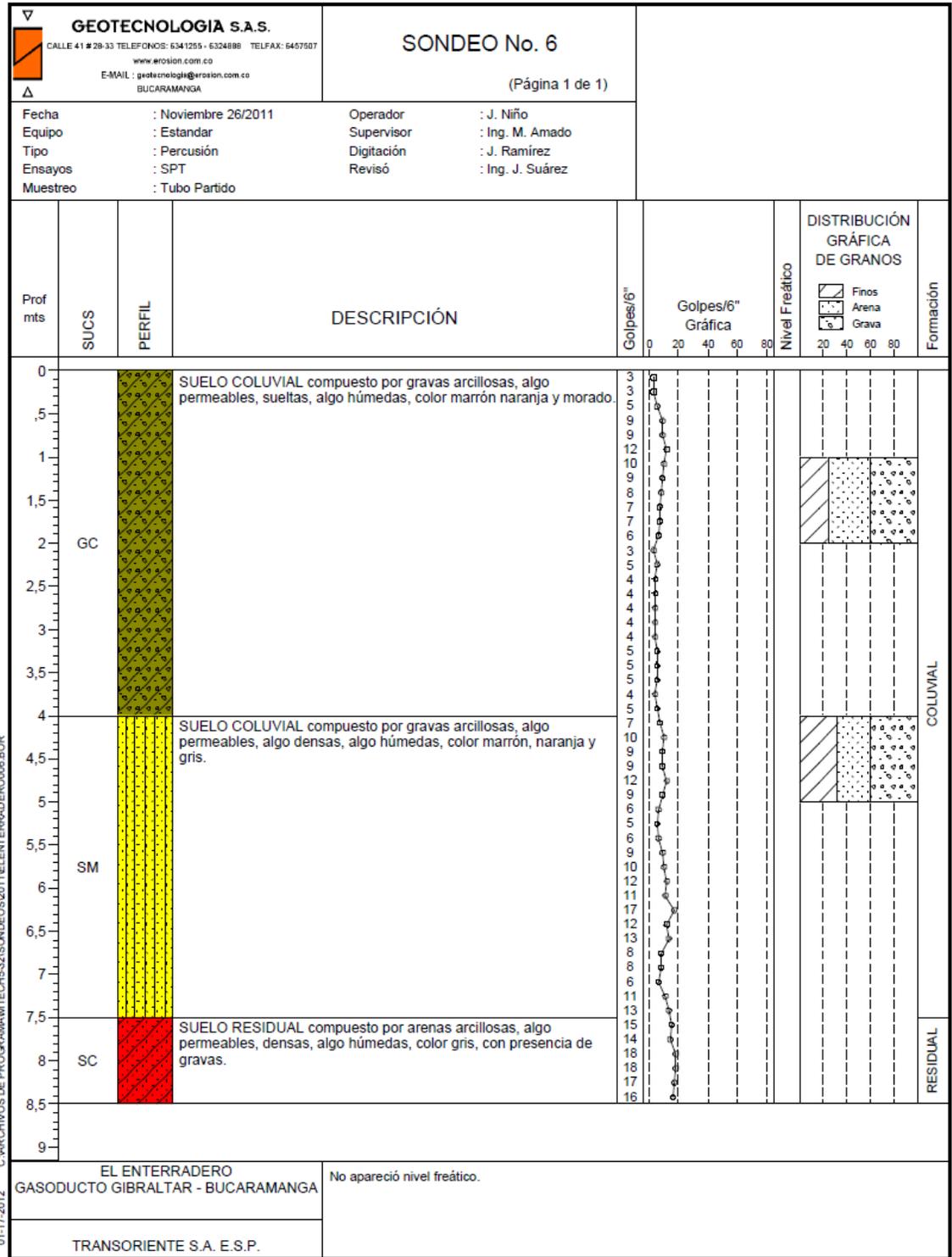
C:\ARCHIVOS DE PROGRAMA\TECH\532\SONDEOS\2011\EL ENTERRADERO\004.BOR
 01-17-2012

Figura 25. Perfil del sondeo No 5



C:\ARCHIVOS DE PROGRAMA\WITECH\532\SONDEOS\2011\EL ENTERRADERO005.BOR 01-17-2012

Figura 26. Perfil del sondeo No 6



C:\ARCHIVOS DE PROGRAMA\TECH532\SONDEOS\2011\EL ENTERRADERO\006.BOR

7.1.4 Ensayos de laboratorio

A cada uno de los sondeos efectuados se le realizó la descripción detallada de las muestras obtenidas de acuerdo a los criterios establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 8. Criterios aplicados para descripción de muestras de suelo.

SONDEO	PROF Mts	W %	FINOS %	LL %	LP %	IP %	CLASIFICACION S.U.C.S.
1	4,0			24,06	15,1	8,96	SC
1	5,0	4,57	19,37				GC
1	6,0			24,68	15,6	9,08	GC
1	7,0	6,9	26,96				SC
2	1,0	11,31	26,45				SC
2	2,0	9,51	14,86				GC
2	4,5			28,65	18,63	9,92	SC
3	1,0			32,8	19,73	13,07	CL
3	5,0	14,5	55,99	25,18	15,48	9,71	CL
3	6,0			24,65	15,88	8,77	CL
3	7,0			25,72	15,79	9,93	CL
3	7,5	13,43	48,04				CL
4	3,0	9,59	31,29				SM
4	4,0	6,55	18,28				SC
4	6,0	8,33	25,16				GM
5	3,0	8,85	31,26				SC
5	5,0	11,79	31,3				SC
5	6,0			22,62	14,9	7,72	SC
5	7,0			28,68	17,11	11,58	SC
6	2,0	12,84	24,23	30,04	17,22	12,82	GC
6	5,0	14,22	32,36				GC

SONDEO	PROF Mts	W %	FINOS %	LL %	LP %	IP %	CLASIFICACION S.U.C.S.
6	6,0			24,35	14,55	9,8	GC
6	8,0			24,86	14,49	10,37	SC

Convenciones:

W = humedad

% Finos = pasantes del tamiz ASTM 200

L.L. = Límite Líquido

L.P. = Límite Plástico

I.P. = Índice Plástico

S.U.C.S. = Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

En cuanto a los ensayos de corte directo, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 9 Resultados de laboratorio para corte directo

SONDEO	PROF Mts	COHESION (Kg / cm ²)	ANGULO DE FRICCION (°)
1	2	32.408	0.342
2	4	35.432	0.145
3	4	41.338	0.215

Los resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el anexo 2.

Una vez obtenidos los parámetros geotécnicos necesarios para la caracterización de sector y con los parámetros establecidos a través de los ensayos, se procedió a efectuar el proceso de modelamiento.

7.2 ANALISIS DE ESTABILIDAD

A nivel de estabilidad los resultados obtenidos para las diferentes opciones analizadas son:

7.2.1 Terreno sin la aplicación de ningún tipo de medidas para el control de deslizamiento.

El primer paso en la investigación fue la elaboración de análisis de estabilidad para cada uno de los perfiles levantados topográficamente, usando el Software SLOPE-W.

Se llevaron a cabo tanto análisis estáticos como dinámicos, según se muestra en las figuras 27 a 38.

Para cada uno de los perfiles se obtuvieron los resultados que se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 10. Resumen de resultados para análisis de estabilidad del terreno sin obras.

PERFIL	ANALISIS ESTADISTICO- FS				ANALISIS DINAMICO- FS			
	JAMB	BISH	FELLENI	SPENC	JAMB	BISH	FELLENI	SPENC
	U	OP	US	ER	U	OP	US	ER
1	0,482	0,503	0,483	0,504	0,370	0,394	0,370	0,391
2	0,406	0,424	0,405	0,420	0,406	0,424	0,405	0,420
3	0,416	0,436	0,414	0,432	0,319	0,339	0,319	0,337
4	0,428	0,441	0,427	0,440	0,326	0,342	0,326	0,339
5	0,643	0,658	0,646	0,657	0,501	0,515	0,504	0,514
6	0,588	0,601	0,589	0,600	0,448	0,462	0,450	0,461

Figura 27. Modelo del perfil 1: Estático – sin obras

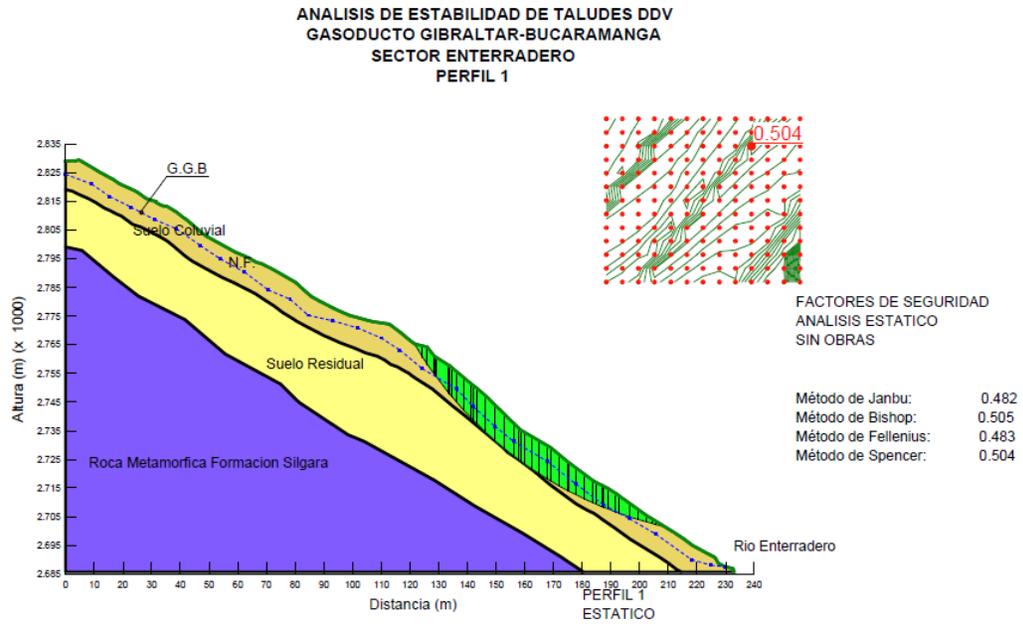


Figura 28. Modelo del perfil : Dinámico - sin obras.

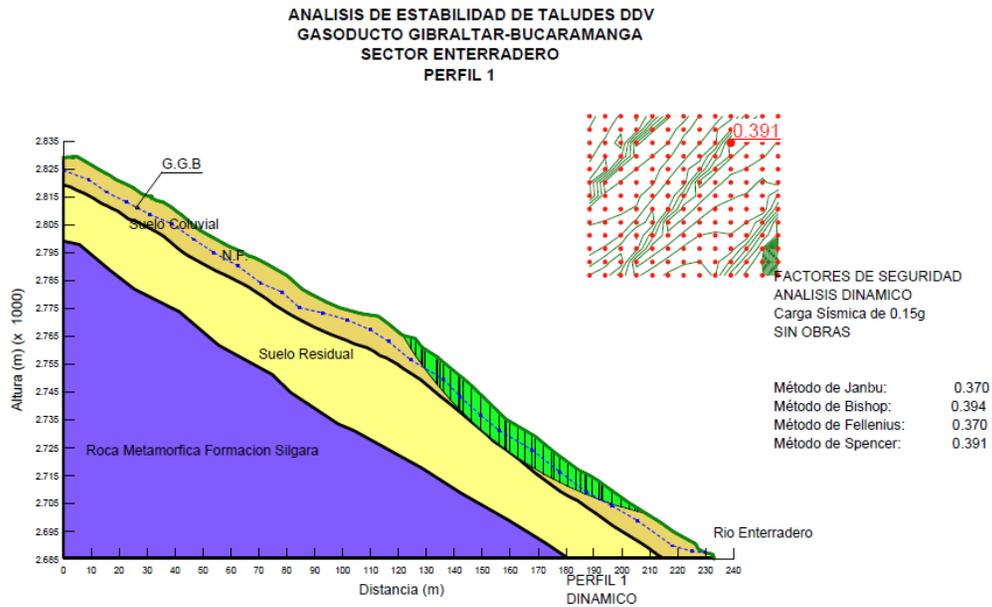


Figura 29. Modelo del perfil 2: Estático – sin obras

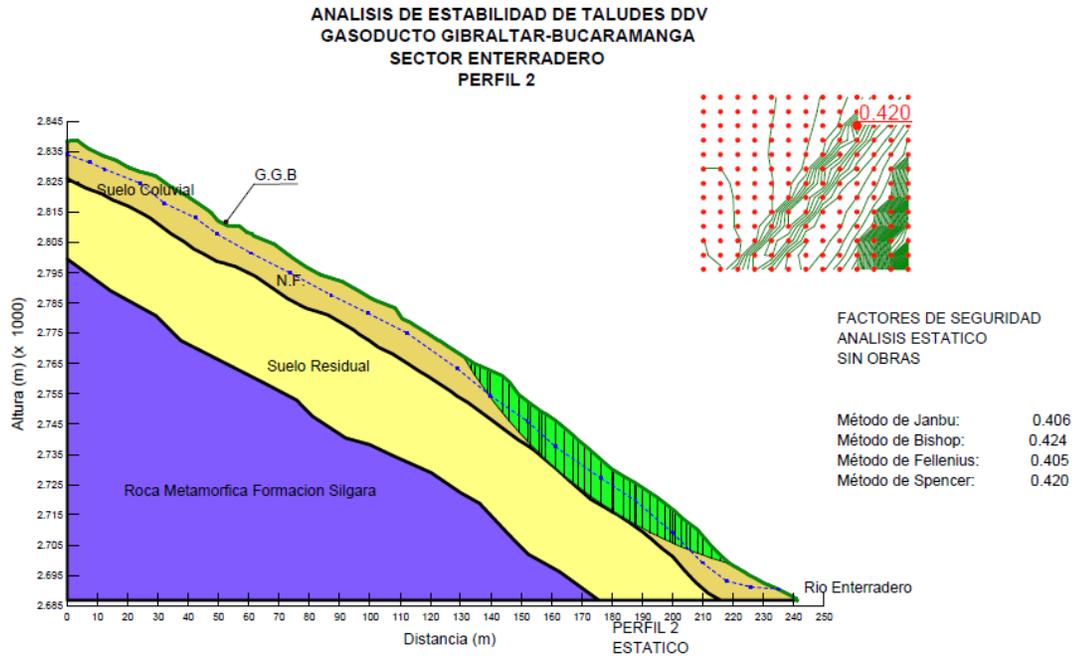


Figura 30 Modelo del perfil 2: Dinámico – sin obras

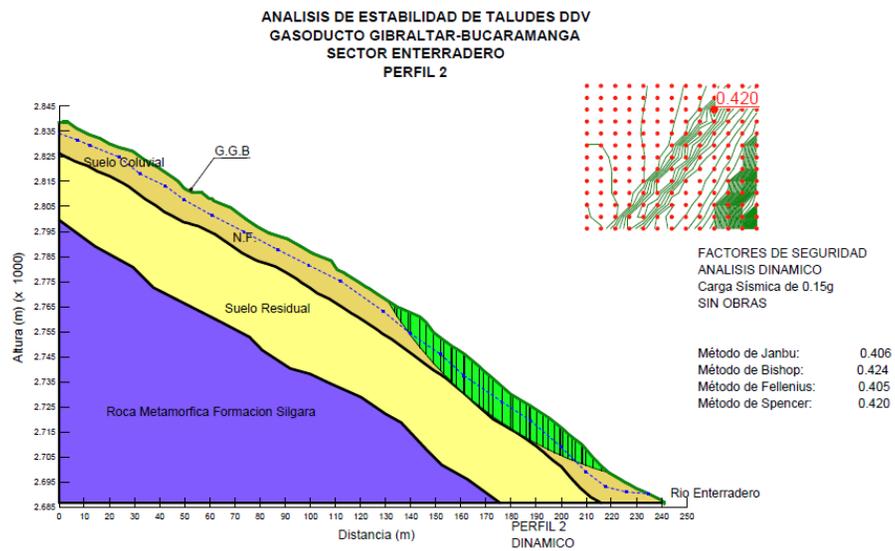


Figura 31. Modelo del perfil 3: Estático – sin obras

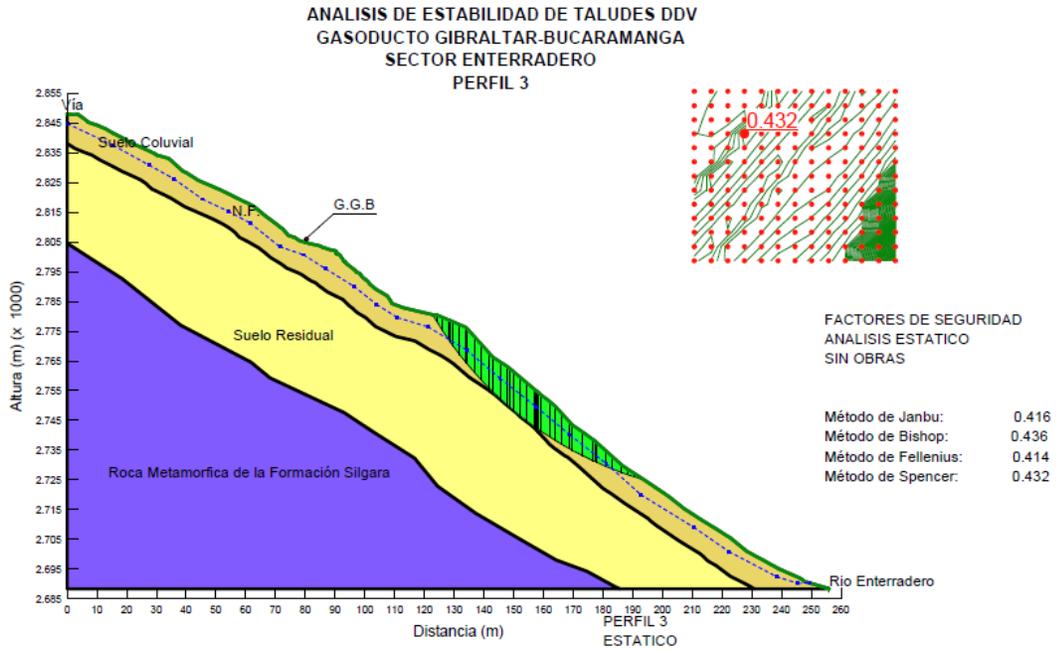


Figura 32. Modelo del perfil 3: Dinámico – sin obras

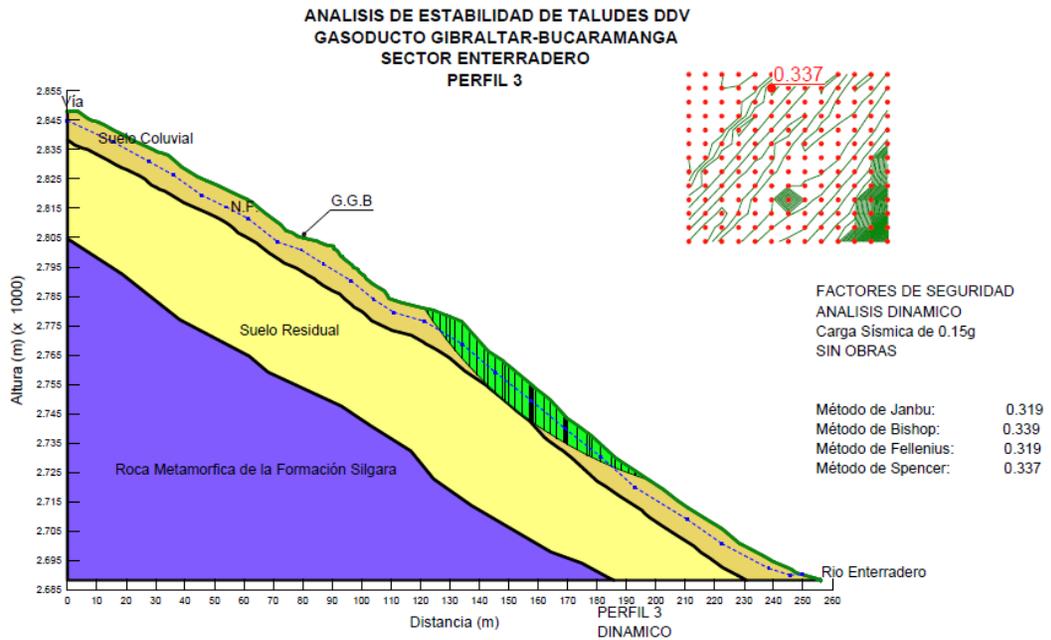


Figura 33. Modelo del perfil 4: Estático – sin obras.

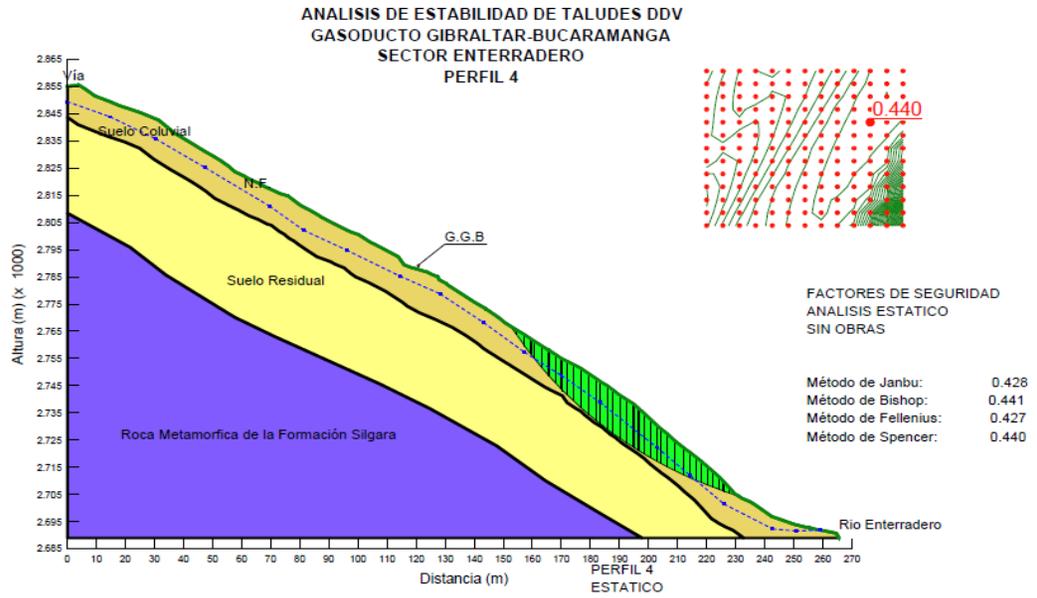


Figura 34. Modelo del perfil 4: Dinámico – sin obras.

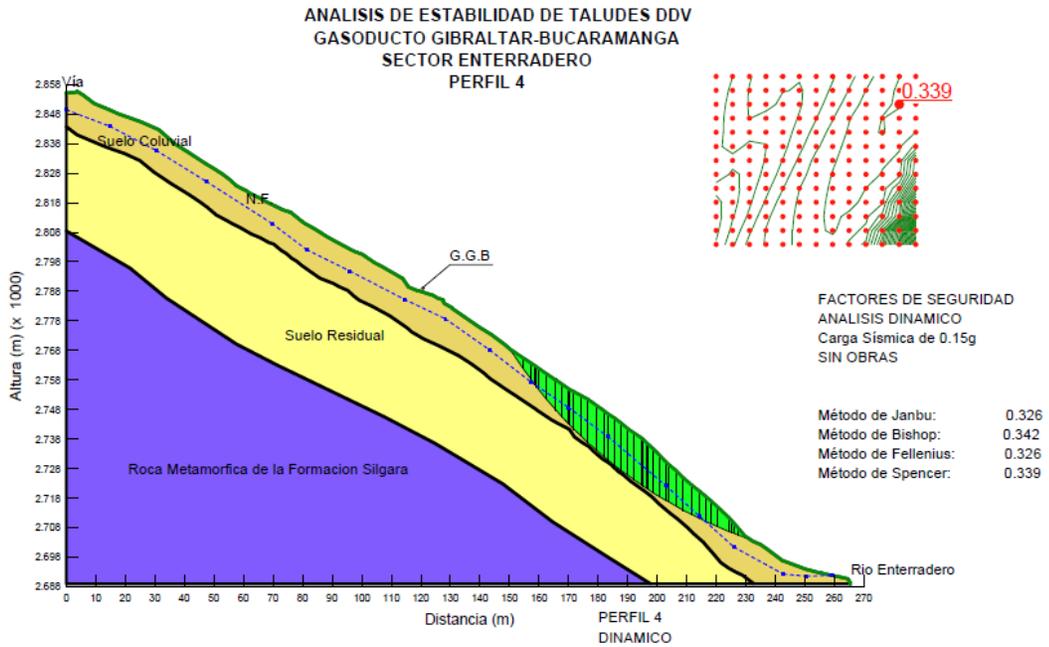


Figura 35. Modelo del perfil 5: Estático – sin obras.

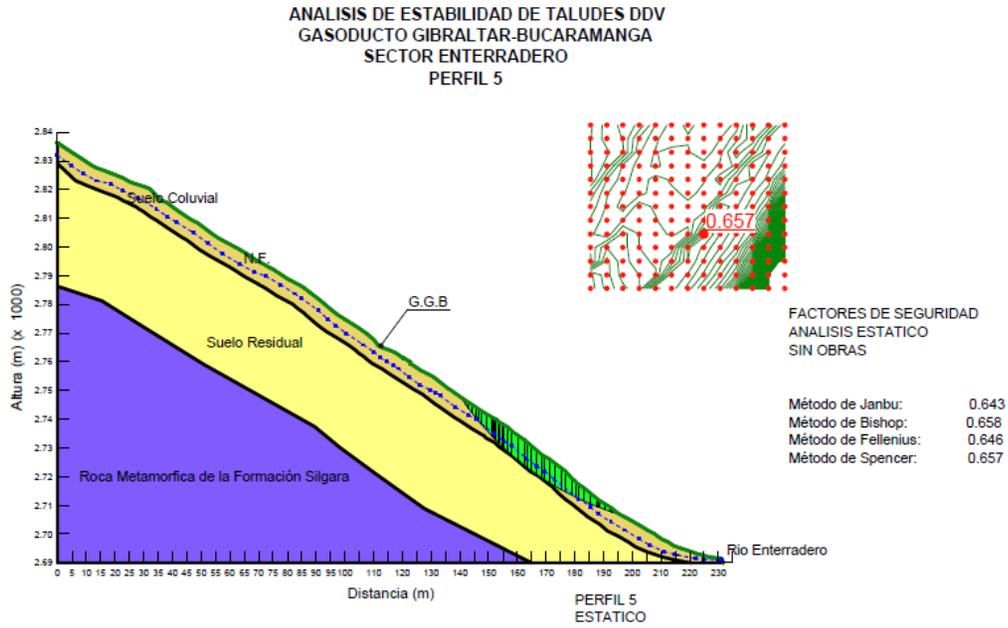


Figura 36. Modelo del perfil 1: Dinámico– sin obras.

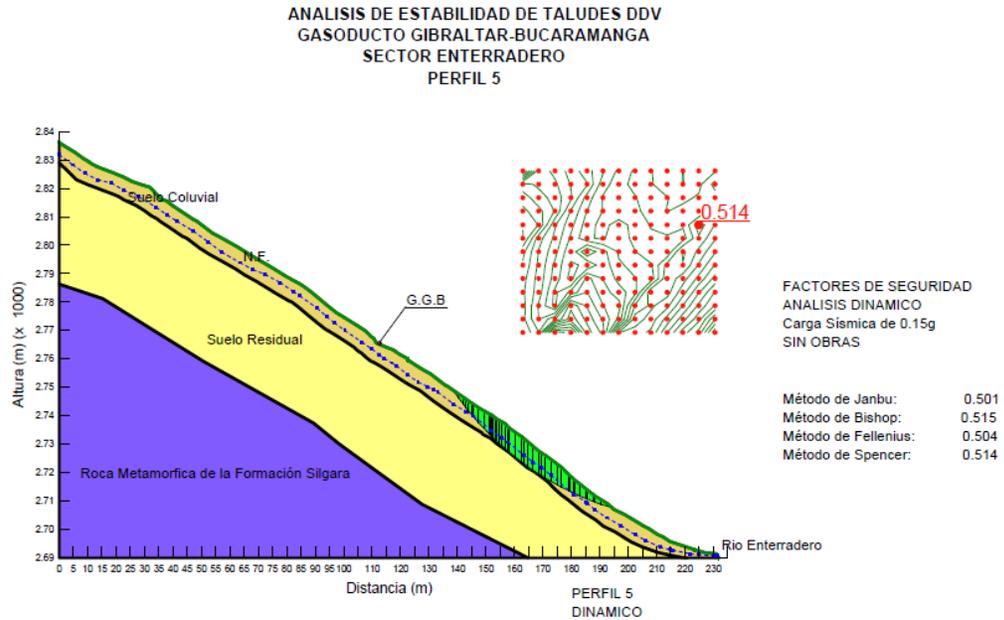


Figura 37. Modelo del perfil 6: Estático – sin obras.

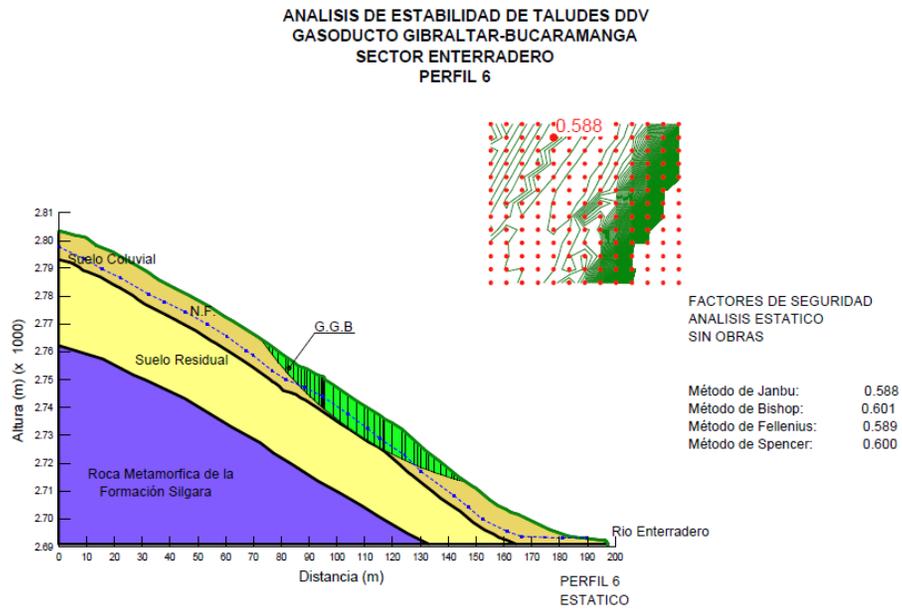
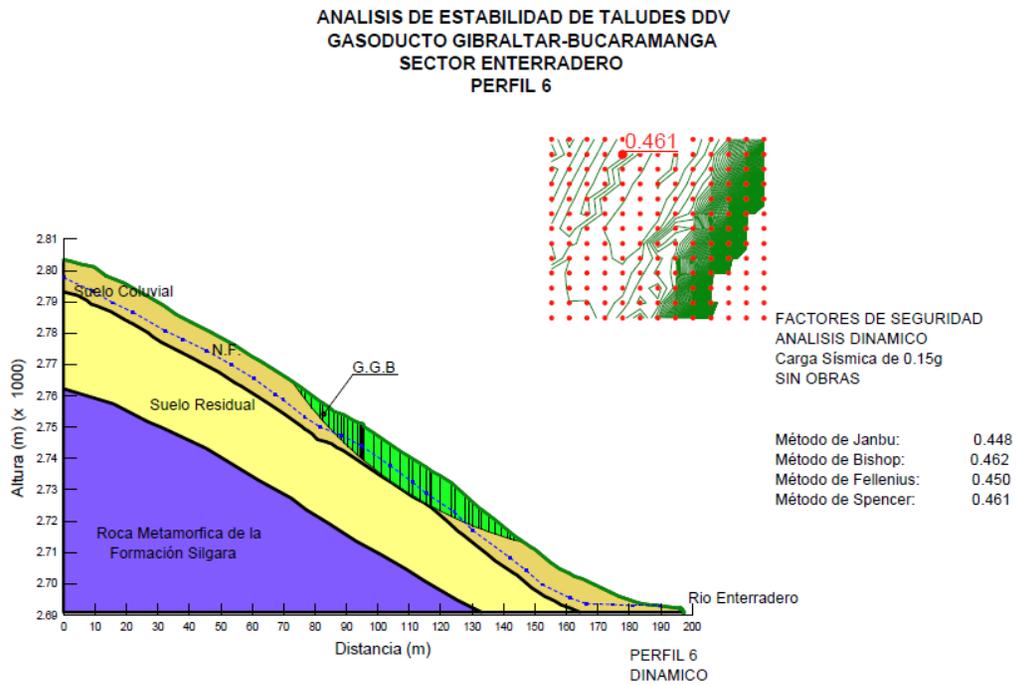


Figura 38. Modelo del perfil 6: Dinámico – sin obras.



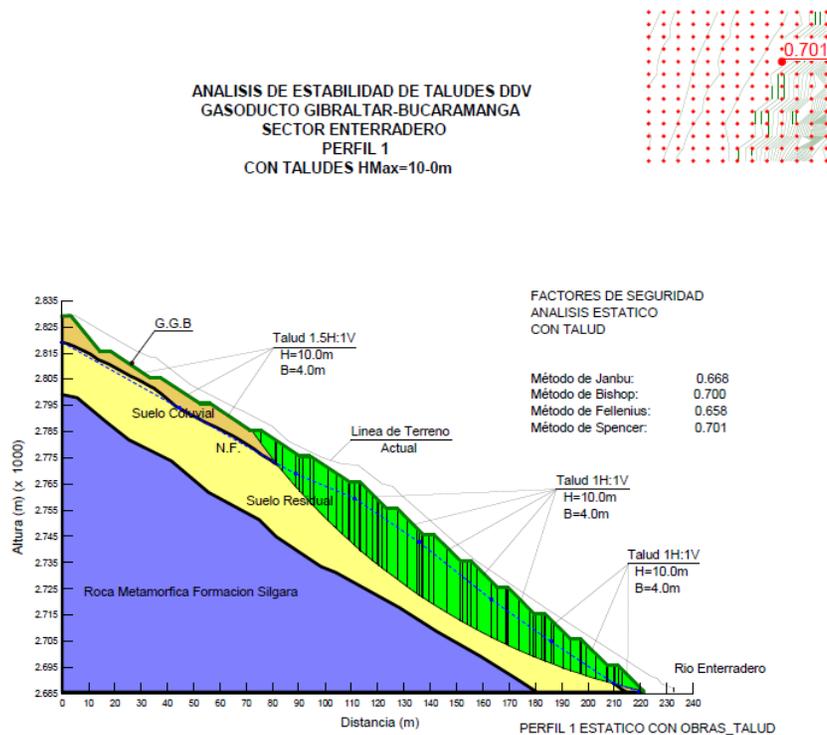
Del modelamiento efectuado con SLOPE-W para cada uno de los seis (6) perfiles de terreno se obtuvieron factores de seguridad entre 0.405 a 0.601 para condiciones estáticas y entre 0.326 a 0.515 para condiciones dinámicas.

Con estos factores de seguridad tan bajos no se garantiza la estabilidad del terreno, condición crítica para el gasoducto, por lo cual se procedió a proponer diferentes tipos de obras para alcanzar factores de seguridad acordes con las necesidades del proyecto.

7.2.2 Modelo con talud conformado y bermas.

En este modelo se propone la conformación de taludes y bermas a lo largo de toda la pendiente. El factor de seguridad no alcanza los niveles de confiabilidad necesarios para el proyecto. Ver figura 39.

Figura 39. Análisis de estabilidad del talud con taludes y bermas.

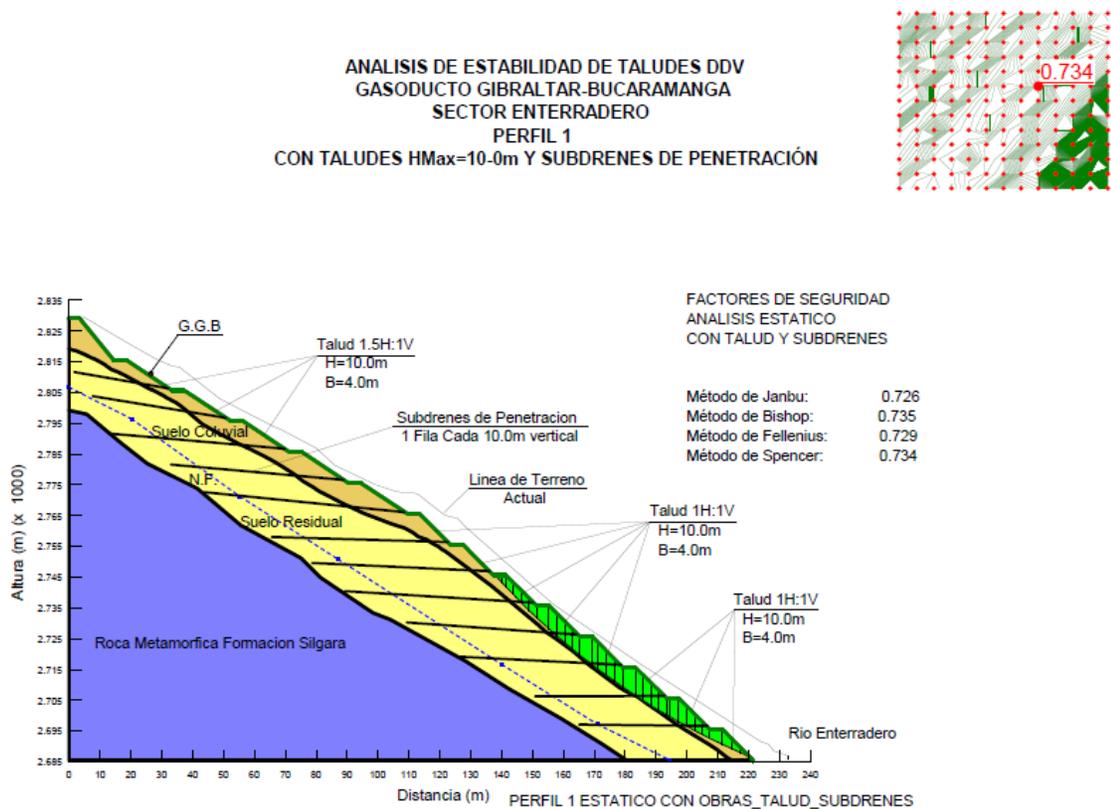


Bajo las condiciones del modelo y teniendo en cuenta los resultados de los factores de seguridad se descarta este tipo de intervención.

7.2.3 Modelo con talud conformado – bermas y subdrenes de penetración.

En este modelo se propone la conformación de taludes y bermas a las cuales se adicionan subdrenes de penetración para el control del nivel freático. El factor de seguridad no alcanza los niveles de confiabilidad necesarios para el proyecto. Ver figura 40.

Figura 40. Análisis con conformación de talud – bermas y subdrenes de penetración.

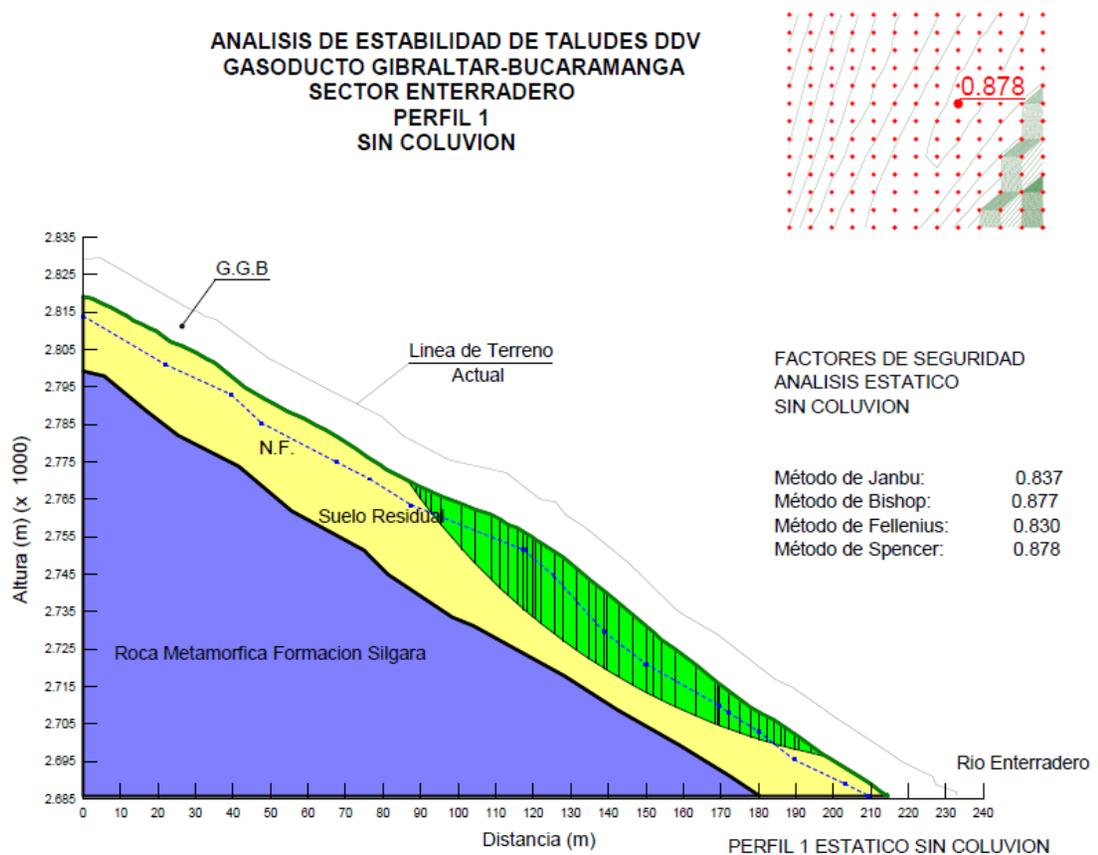


Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con este tipo de obra, y bajo las condiciones del modelo se descarta este tipo de intervención.

7.2.4 Modelo sin coluvión.

En este modelo se propone la eliminación de la capa superficial del coluvión. Si bien es cierto el factor de seguridad aumentó, no alcanzó niveles suficientes para garantizar la estabilidad del derecho de vía. Ver figura 41.

Figura 41. Análisis de estabilidad del talud sin coluvión.



Bajo las condiciones del modelo y dados los resultados se descarta este tipo de intervención.

7.2.5 Modelo sin coluvión y subdrenes de penetración.

En esta alternativa se adicionaron subdrenes de penetración al modelo aumentando considerablemente los factores de seguridad para el análisis estático. Ver figura 42.

Al efectuar el análisis dinámico al modelo los factores de seguridad no alcanzan el mínimo necesario para garantizar la estabilidad del gasoducto. Ver figura 43.

Dados los resultados de factores de seguridad y bajos las condiciones del modelo se descarta este tipo de intervención.

Figura 42. Análisis estático de estabilidad para talud sin coluvión y subdrenes de penetración.

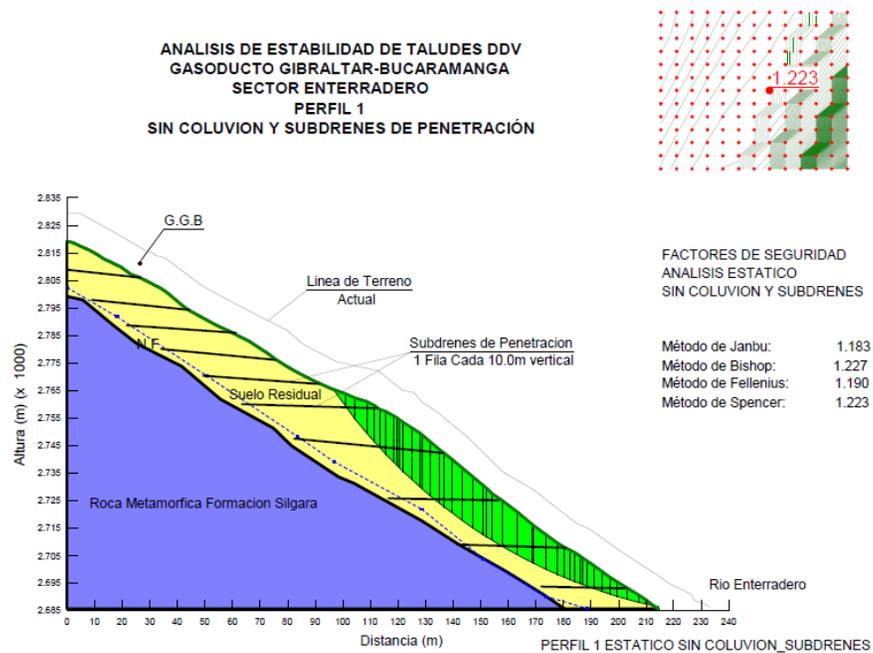
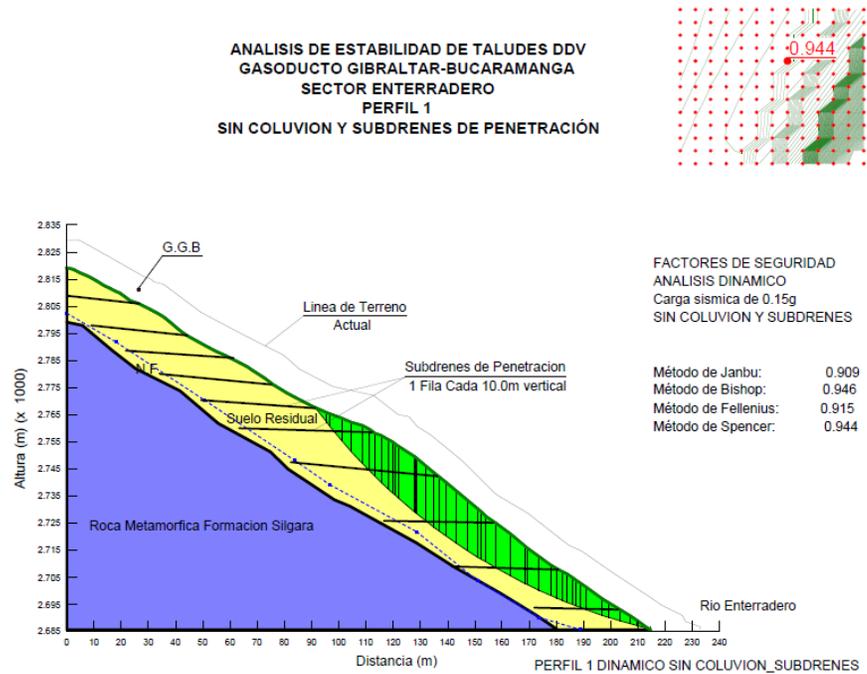


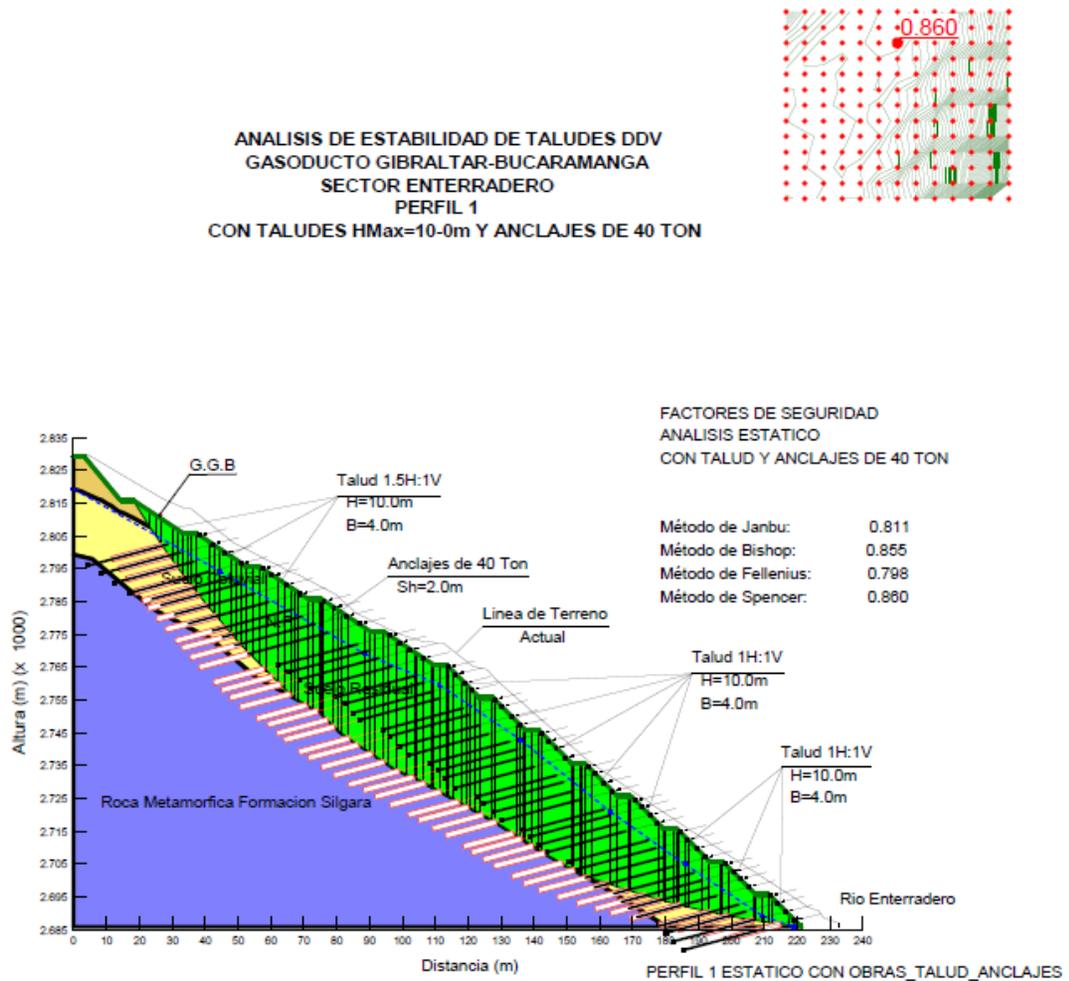
Figura 43. Análisis dinámico de estabilidad para talud sin coluvión y subdrenes de penetración.



7.2.6 Modelo con conformación taludes y anclajes.

En esta alternativa se considera una combinación de medidas que incluye la conformación de taludes y la instalación de anclajes de 40 Toneladas. Ver figura 44.

Figura 44. Análisis de estabilidad con taludes y anclajes.

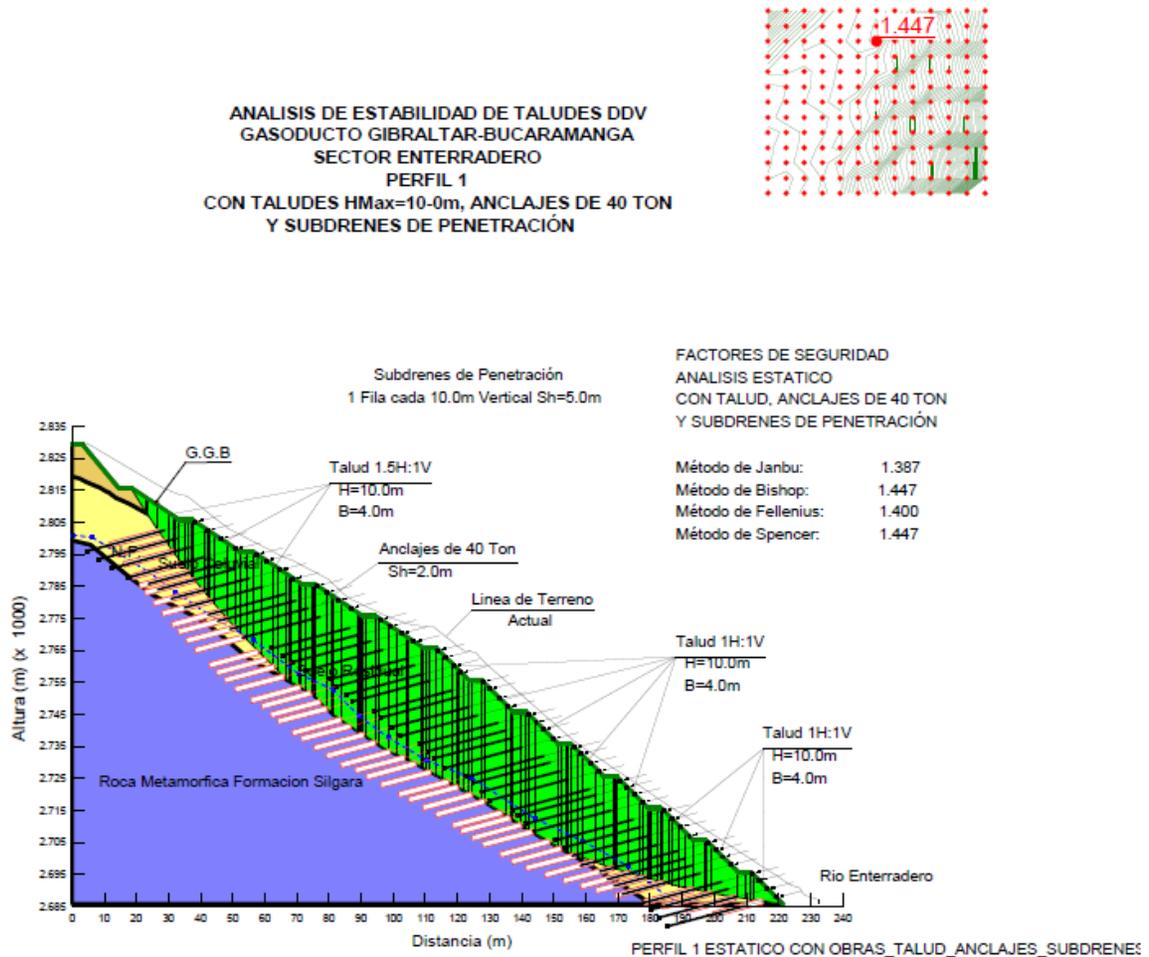


Los resultados obtenidos para los factores de seguridad no garantizan la estabilidad del proyecto y por tanto se descarta este tipo de intervención.

7.2.7 Modelo con conformación taludes – anclajes y subdrenes

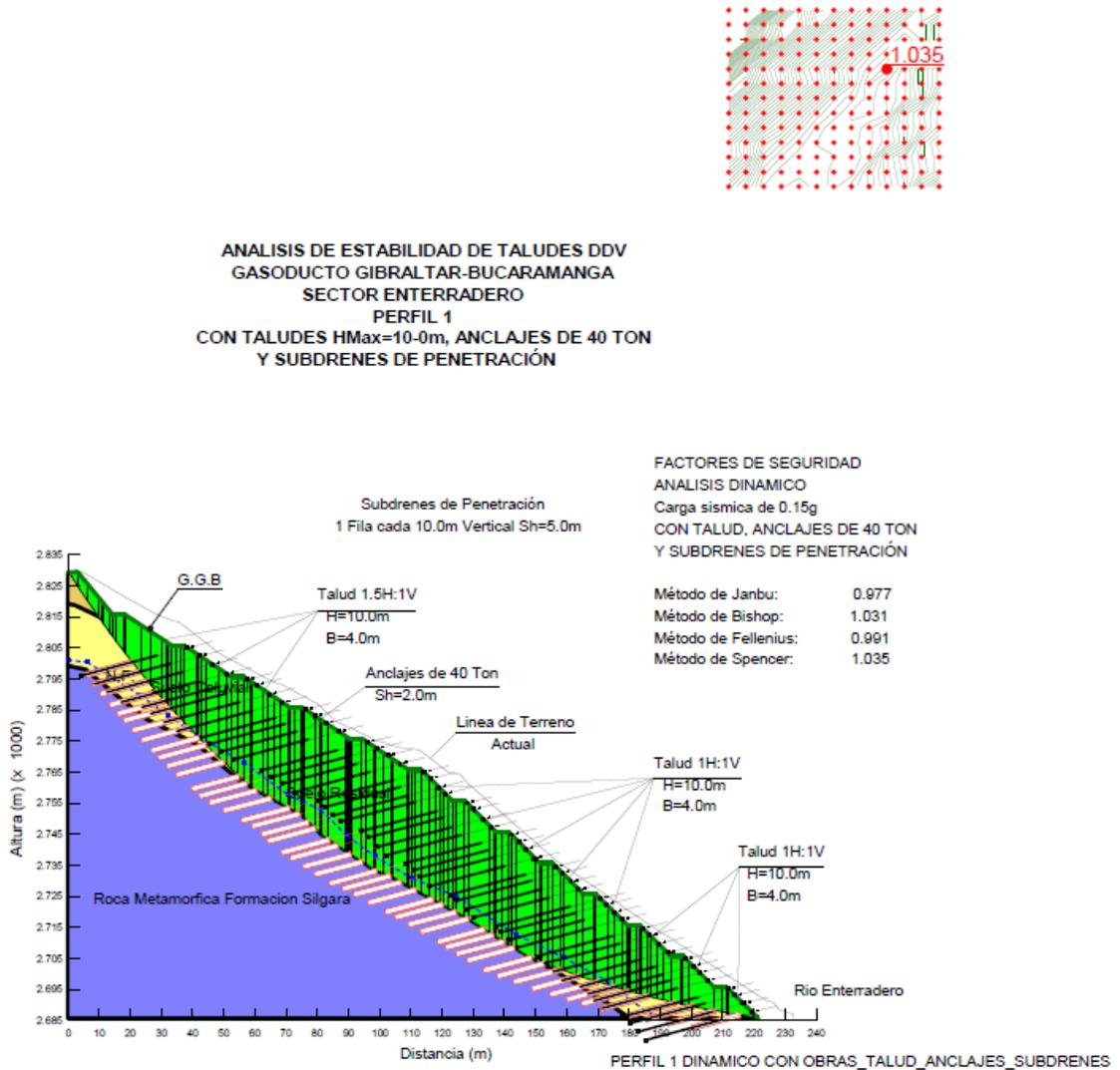
En este modelo se suman subdrenes a la anterior alternativa que consideraba una combinación de medidas que incluye la conformación de taludes y la instalación de anclajes de 40 Toneladas. Ver figura 45.

Figura 45. Análisis de estabilidad para talud – anclajes y subdrenes.



Con la alternativa propuesta los factores de seguridad para el análisis estático alcanzan niveles aceptables para garantizar la estabilidad del proyecto. Se procede a efectuar el análisis dinámico ara corroborar la viabilidad de las obras planteadas para el manejo del talud. Ver figura 46.

Figura 46. Análisis dinámico para talud – anclajes y subdrenes.



Efectuado el análisis de estabilidad para la combinación de obras propuestas: Conformación del talud, instalación de anclajes y construcción de subdrenes, se encuentra que los factores de seguridad calculados permiten garantizar la estabilidad del gasoducto y por tanto desde el punto de vista geotécnico es viable como alternativa para el control del deslizamiento.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De acuerdo con los resultados obtenidos en los diferentes modelos de estabilidad planteados para el Derecho de Vía del Gasoducto Gibraltar – Bucaramanga en el punto PK 101+500, la conformación del talud con construcción de anclajes y construcción de subdrenes, arroja factores de seguridad que permiten garantizar la estabilidad del gasoducto.
- Desde el punto de vista geotécnico la alternativa de conformación del talud con construcción de anclajes y construcción de subdrenes viable, no obstante se destaca la dificultad de acceso a la zona como factor limitante para la aplicación de este modelo.
- Teniendo en cuenta la dificultad constructiva y la repercusión de esta en los costos de implementación de la alternativa de estabilización, es recomendable evaluar la construcción de una variante (Método de Elusión) que permita el tránsito del gasoducto en terrenos con mejores condiciones geotécnicas y de estabilidad.
- Las condiciones geológicas del sector y la altura del talud no permiten la aplicación de otras técnicas de técnicas de estabilización, como la conformación de bermas. De acuerdo con los resultados obtenidos del modelamiento, los factores de seguridad son muy bajos, tanto para condiciones estáticas como dinámicas y por tanto se descarta este tipo de alternativa.
- Se recomienda la instalación de un sistema de monitoreo (Inclinómetros – mojones) para el monitoreo permanente del movimiento. La toma de datos

deberá efectuarse cada 8 días para verificar la condición de estabilidad de la banca del gasoducto.

BIBLIOGRAFIA

ALVA HURTADO JORGE E. análisis de estabilidad de taludes. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil. Sección de Postgrado. www.jorgealvahurtado.com.

BELANDRIA NORLY. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Geológica y Geotecnia. Mérida 2010. 27p

CEES VAN WESTEN. Introducción a los deslizamientos: Tipos y Causas. Presentación disponible en <http://www.itc.nl/external/unesco-rapca>.

C&MA LTDA. Estudio de Impacto Ambiental para la construcción y operación del Gasoducto Gibraltar – Bucaramanga. Bucaramanga 2008.

GONZALEZ CABALLERO MATILDE. El terreno, 316p, Ediciones UPC.BARCELONA, ESPAÑA, 2001

GRASES JOSÉ, CONTRERAS IVÁN Y GRASES GABRIEL. Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado frente a deslizamientos, sismos y otras amenazas naturales - caso estudio. Organización Panamericana de la Salud. 106p. Caracas 1997.

GUTIERREZ VILLEGAS, JOSUE. Reflexiones sobre el ejercicio de la geotecnia en nuestro medio. IX Congreso Colombiano de Geotecnia. Medellín 2002.

<http://www.promigas.com/wps/wcm/connect/Promigas/Otros+Vinculos/El+Sector+Gas+Natural/>. El Sector Gas Natural.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas Colombianas para la presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. BOGOTA DC: ICONTEC, 2008, 41p. NTC 1486. Sexta revisión.

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. Manual de Taludes. 1986, 455p.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Ley 99 de 1993.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Decreto 1753 de 1994.

MUELAS RODRIGUEZ ANGEL. Manual de mecánica del suelo y cimentaciones. 2208. Documento disponible en www.uned.es/dpto-icf/mecanica.../mecansueloycimentacionescap_3.pdf.

NACE-ACICOR. Memorias Corrosión Show. Bogotá D.C. Mayo de 2011.

OJEDA Jacobo. Diseño de Cimentaciones en Suelos. Capítulo 2. 2010, 30p.

RICO RODRIGUEZ ALFONSO – HERMILO DEL CASTILLO. La ingeniería de los suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas. México. Limusa 2003. 460p.

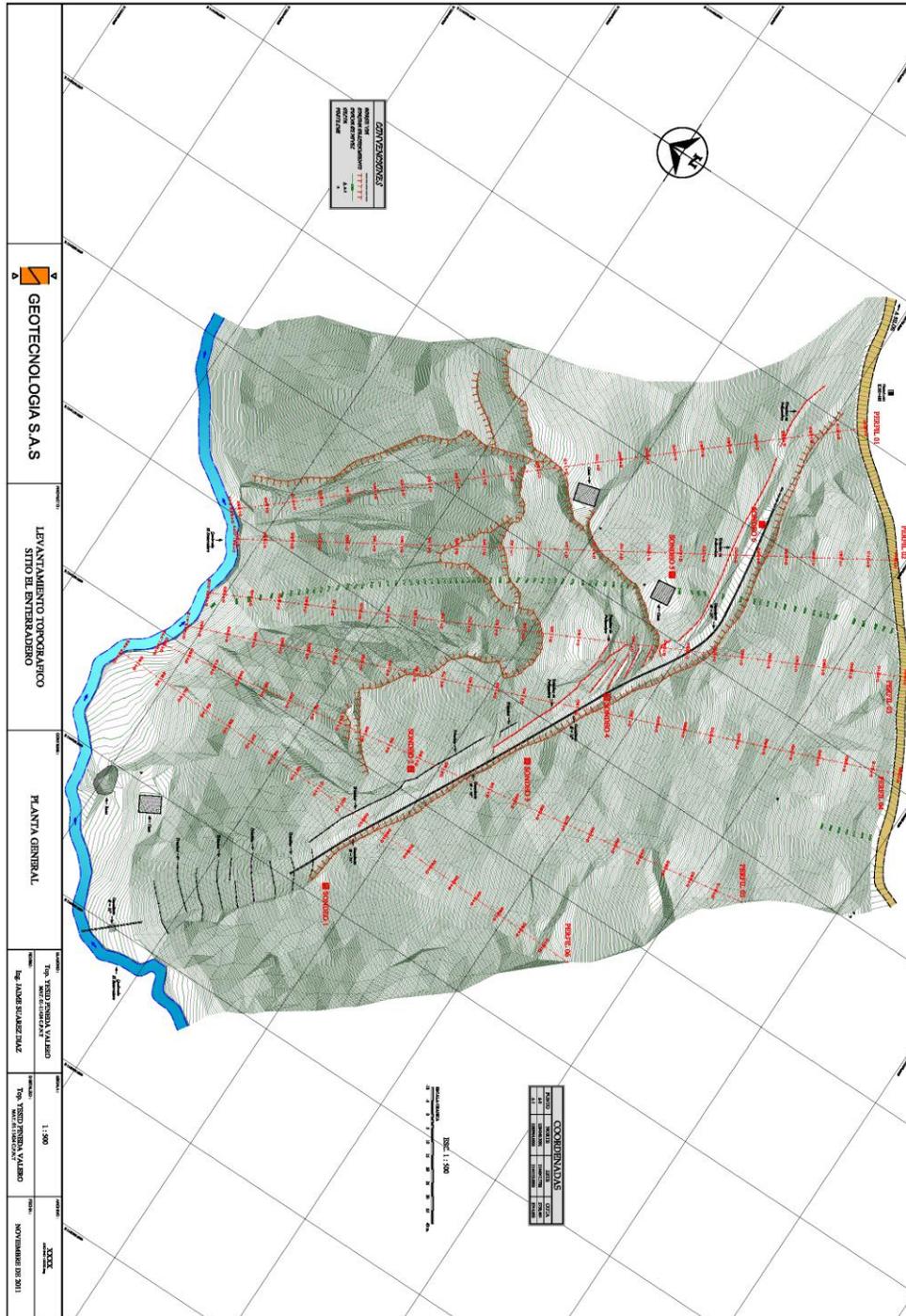
SUAREZ DIAZ JAIME. Deslizamiento Volumen 1. BUCARAMANGA, 2009. Primera edición.

SUAREZ DIAZ JAIME. Deslizamiento Volumen 2. BUCARAMANGA, 2009. Primera edición.

SUAREZ DIAZ JAIME, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Publicaciones UIS. 1998.

ANEXOS

Anexo A. Levantamiento topográfico



GEOTECNOLOGIA S.A.S

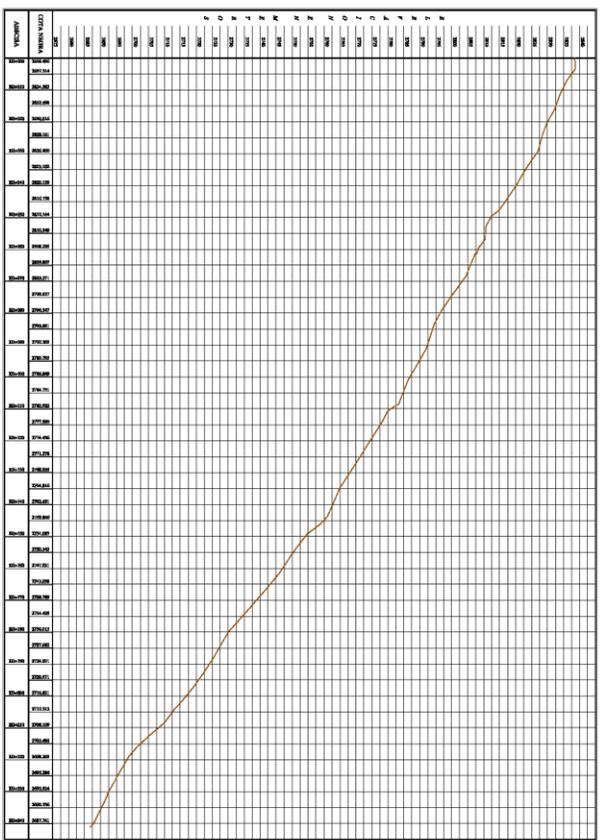
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO
SITIO EL ENTERRADERO

PERFIL 02

Ing. JUAN SUAREZ JIMÉZ

1:200

NOVIEMBRE DE 2011



PERFIL 02



GEOTECNOLOGIA S.A.S

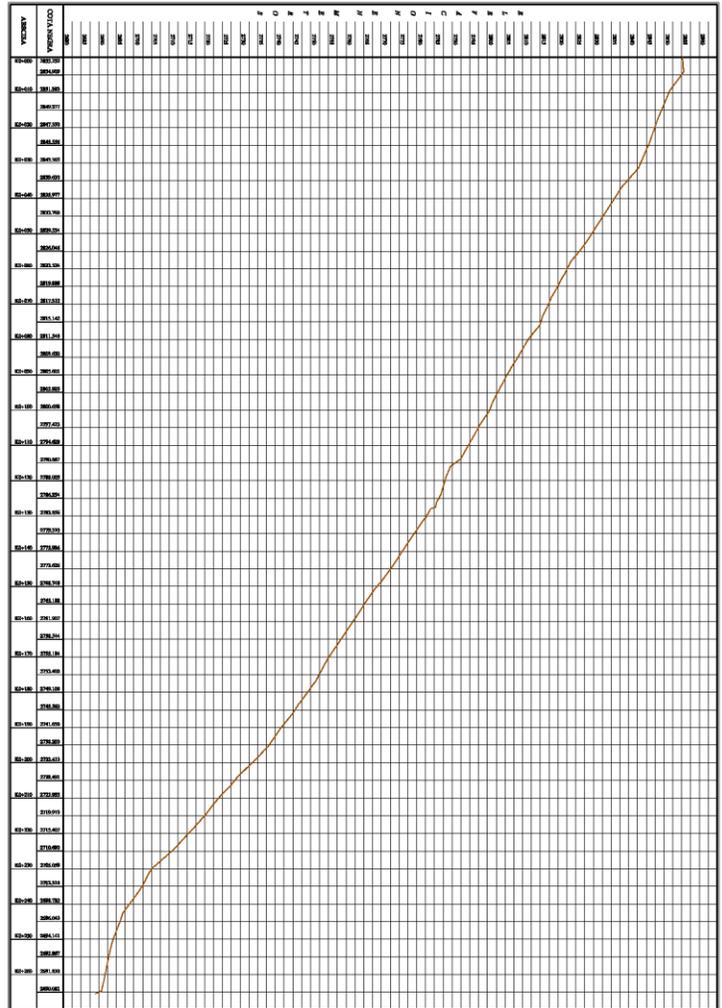
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO
SITIO EL ENTERABERO

PERFIL 04

Reg. JAMES SUAREZ DIAZ

1:500

NOVIEMBRE DE 2011



PERFIL 04



GEOTECNOLOGIA S.A.S

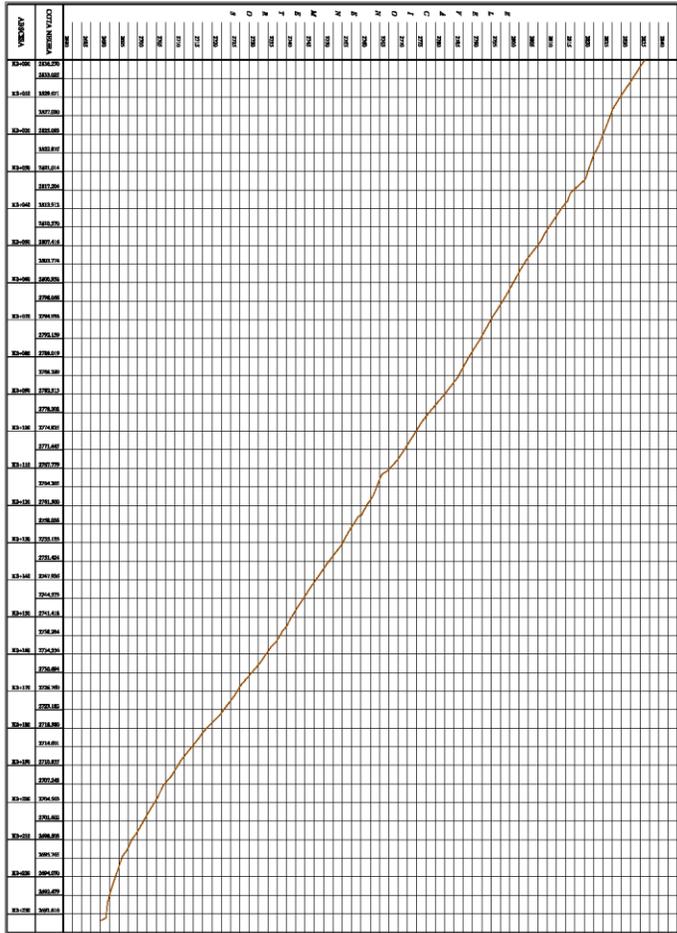
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO
SITIO EL ENTERRADERO

PERFIL 05

Top. YESSY PEREDA VALERO
MATEO SANCHEZ
Ing. JADIE SANCHEZ DIAZ

Top. YESSY PEREDA VALERO
MATEO SANCHEZ DIAZ
1:500

XXXX
NOVIEMBRE DE 2011



PERFIL 05

Anexo B. Resultados de laboratorio.

PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE
ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
Equipo WYKEHAM FARRANCE Modelo No. 25401 Serie No. 105705-0
Normas INV-E 154 - ASTM D3080 - AASHTO T236

EMPRESA	TRANSORIENTE
LOCALIZACIÓN	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

SONDEO	4	Muestra	4	Profundidad	4 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	-------

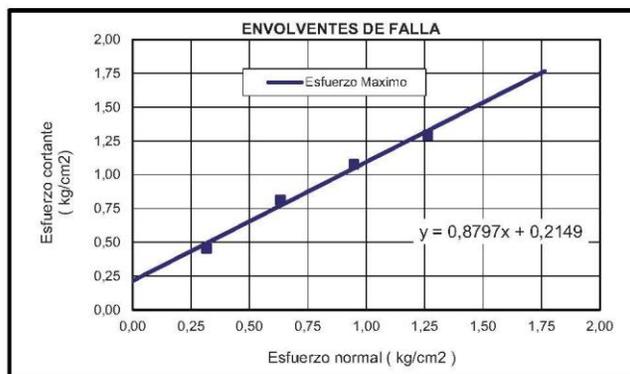
descripcion de la muestra: Arenas arcillosas algo permeables, densas, algo humedas, color marron, naranja y gris, con presencia de gravas

Estado de la muestra Alterada Humeda
 Inalterada Saturada

Fecha Ensayo: DICIEMBRE DE 2011

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

Prueba Numero	Esfuerzo Normal Kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo Kg/cm ²
1	0,316	0,4561
2	0,632	0,8114
3	0,947	1,0776
4	1,263	1,2928



Parámetros	Máximos
Angulo de fricción interna	41,338
Cohesión kg/cm ²	0,215

 JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0
 Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888
 E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co
 Bucaramanga - Colombia

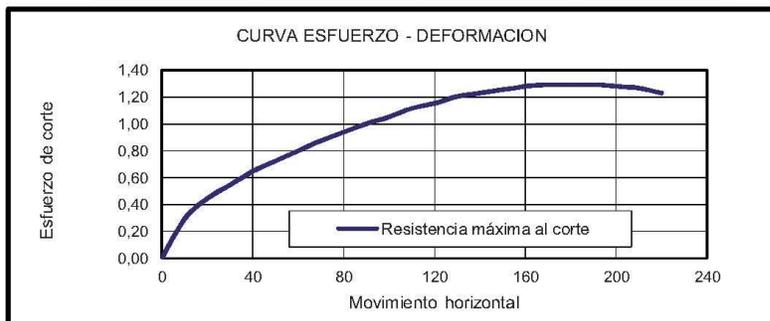
DEFORMACION HORIZONTAL ,VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE

Localizacion : ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

Carga :	40	kg	Punto No :	4
Esfuerzo vertical :	1,263	kg/cm ²	Velocidad Corte:	1,2

RESISTENCIA MAXIMA AL CORTANTE

DEFORMACION		LECTURA DIAL	ESFUERZO
HORIZONTAL	VERTICAL	DE	DE CORTE
1E-3 pulg	2E-3 mm	CARGA	kg/cm ²
0	0	0	0
10	17	24	0,2909
20	50	36	0,4434
30	79	44	0,5450
40	100	52	0,6465
50	117	58	0,7226
60	135	64	0,7987
70	152	70	0,8748
80	166	75	0,9382
90	177	80	1,0016
100	184	84	1,0522
110	191	89	1,1156
120	193	92	1,1536
130	192	96	1,2042
140	188	98	1,2295
150	185	100	1,2548
160	181	102	1,2801
170	177	103	1,2928
180	175	103	1,2928
190	173	103	1,2928
200	170	102	1,2801
210	164	101	1,2675
220	159	98	1,2295



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

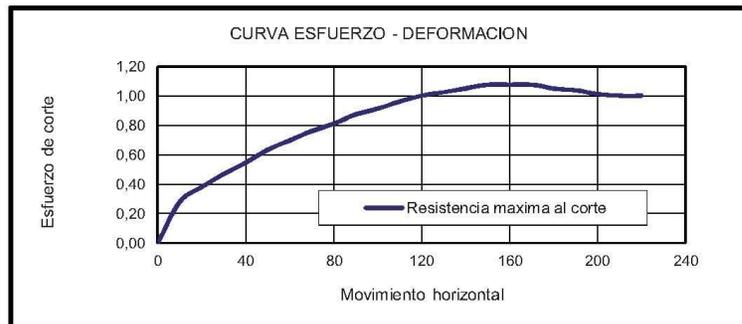
DEFORMACION HORIZONTAL ,VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE

Localizacion : ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

Carga :	30	kg	Punto No :	3
Esfuerzo vertical :	0,947	kg/cm ²	Velocidad Corte:	1,2

RESISTENCIA MAXIMA AL CORTANTE

DEFORMACION		LECTURA DIAL DE CARGA	ESFUERZO DE CORTE kg/cm ²
HORIZONTAL 1E-3 pulg	VERTICAL 2E-3 mm		
0	0	0	0
10	19	23	0,2782
20	51	31	0,3799
30	78	38	0,4688
40	102	44	0,5450
50	123	51	0,6338
60	137	56	0,6973
70	151	61	0,7607
80	161	65	0,8114
90	173	70	0,8748
100	181	73	0,9128
110	187	77	0,9635
120	190	80	1,0016
130	190	82	1,0269
140	188	84	1,0522
150	182	86	1,0776
160	178	86	1,0776
170	173	86	1,0776
180	168	84	1,0522
190	167	83	1,0396
200	165	81	1,0142
210	168	80	1,0016
220	168	80	1,0016



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

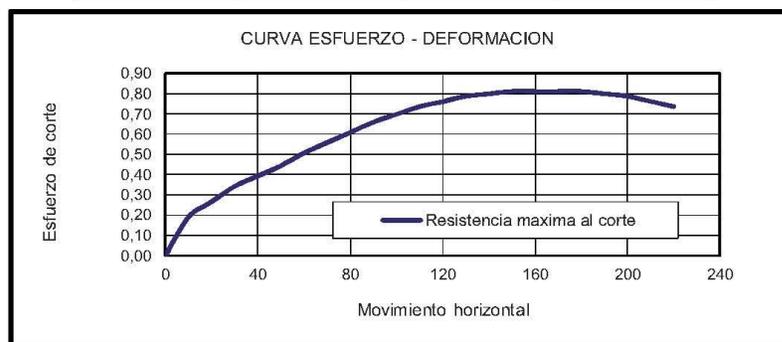
DEFORMACION HORIZONTAL ,VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE

Localizacion : ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

Carga :	20	kg	Punto No :	2
Esfuerzo vertical :	0,632	kg/cm ²	Velocidad Corte:	1,2

RESISTENCIA MAXIMA AL CORTANTE

DEFORMACION		LECTURA DIAL DE CARGA	ESFUERZO DE CORTE kg/cm ²
HORIZONTAL 1E-3 pulg	VERTICAL 2E-3 mm		
0	0	0	0
10	29	16	0,1892
20	55	22	0,2655
30	74	28	0,3417
40	88	32	0,3926
50	99	36	0,4434
60	107	41	0,5069
70	115	45	0,5577
80	122	49	0,6084
90	126	53	0,6592
100	126	56	0,6973
110	128	59	0,7353
120	129	61	0,7607
130	124	63	0,7861
140	114	64	0,7987
150	103	65	0,8114
160	92	65	0,8114
170	82	65	0,8114
180	76	65	0,8114
190	70	64	0,7987
200	63	63	0,7861
210	57	61	0,7607
220	51	59	0,7353



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

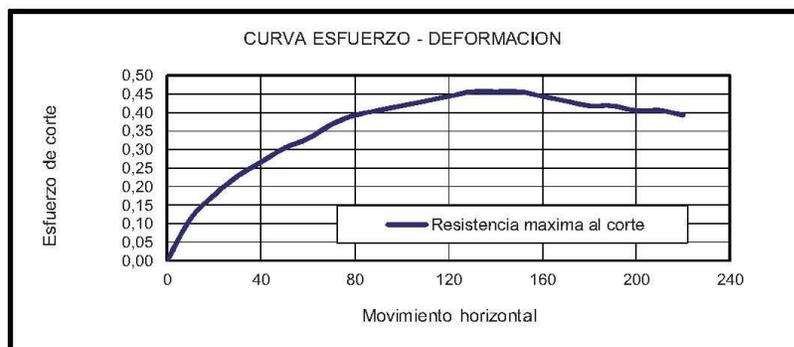
DEFORMACION HORIZONTAL ,VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE

Localizacion : ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

Carga :	10	kg	Punto No :	1
Esfuerzo vertical :	0,316	kg/cm ²	Velocidad Corte:	1,2

RESISTENCIA MAXIMA AL CORTANTE

DEFORMACION		LECTURA DIAL DE CARGA	ESFUERZO DE CORTE kg/cm ²
HORIZONTAL 1E-3 pulg	VERTICAL 2E-3 mm		
0	0	0	0
10	28	10	0,1129
20	53	15	0,1765
30	75	19	0,2274
40	95	22	0,2655
50	111	25	0,3036
60	124	27	0,3290
70	137	30	0,3672
80	148	32	0,3926
90	157	33	0,4053
100	163	34	0,4180
110	168	35	0,4307
120	175	36	0,4434
130	177	37	0,4561
140	177	37	0,4561
150	177	37	0,4561
160	174	36	0,4434
170	173	35	0,4307
180	173	34	0,4180
190	173	34	0,4180
200	173	33	0,4053
210	172	33	0,4053
220	170	32	0,3926



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

MEMORIA ENSAYO DE CORTE DIRECTO DRENADO
Normas INV-E 154 - ASTM D3080 - AASHTO T236

EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

SONDEO	4	Muestra	4	Profundidad	4,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

Dimensiones de la Muestra					
Diámetro :	6,35	cm	Area :	31,67	cm ²
Altura :	2,40	cm	Volumen :	76,01	cm ³

DENSIDAD HUMEDA			HUMEDAD DE LA MUESTRA		
Peso muestra + anillo :	253,70	grs	Peso suelo húmedo + tara :	29,00	grs
Peso anillo :	104,20	grs	Peso suelo seco + tara :	26,80	grs
Peso muestra :	149,50	grs	Peso tara :	11,30	grs
Densidad Húmeda :	1,97	grs/cm ³	Humedad :	14,19	%

Descripción del Ensayo

En el laboratorio de Geotecnia S.A.S. se realizó el ensayo de corte directo a las muestras suelo de referencia :

- Se ensayaron cuatro muestras del mismo suelo a diferentes presiones de consolidación.
- Previamente al ensayo se saturaron totalmente las muestras.
- Cuando la consolidación primaria se completó se dio inicio a cada ensayo.
- Cada muestra de suelo se sometió a esfuerzos de corte a lo largo de un plano horizontal hasta producir la falla.
- Se obtuvieron los datos de esfuerzos horizontales y deformaciones horizontales y verticales para cada punto.
- Finalmente se elaboró una gráfica con los valores de esfuerzo normal y cortante a la falla y se obtuvieron los parámetros cohesión y ángulo de fricción interna del suelo.

Ensayado : JOHAN GALVIS Revisado : DIANA CAROLINA BECERRA

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/CORTEDIRECTO-3.XLS.



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE
ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
 Equipo WYKEHAM FARRANCE Modelo No. 25401 Serie No. 105705-0
 Normas INV-E 154 - ASTM D3080 - AASHTO T236

EMPRESA	TRANSORIENTE
LOCALIZACIÓN	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

SONDEO	3	Muestra	4	Profundidad	4 mts
--------	---	---------	---	-------------	-------

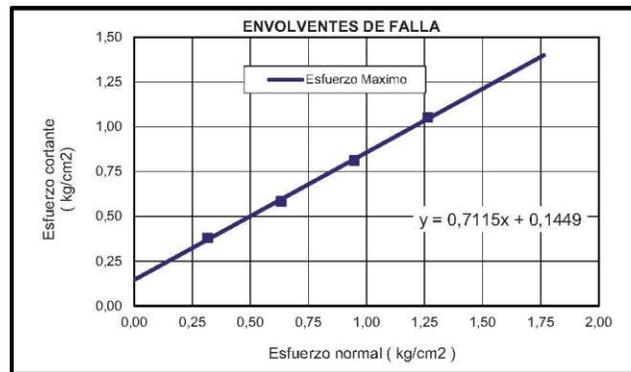
descripcion de la muestra: Arenas arcillosas algo permeables, sueltas, saturadas, color morado oscuro y algo de marron

Estado de la muestra Alterada Humeda
 Inalterada Saturada

Fecha Ensayo: DICIEMBRE DE 2011

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

Prueba Numero	Esfuerzo Normal Kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo Kg/cm ²
1	0,316	0,3799
2	0,632	0,5830
3	0,947	0,8114
4	1,263	1,0522



Parámetros	Máximos
Angulo de fricción interna	35,432
Cohesión kg/cm ²	0,145

 JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0
 Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888
 E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co
 Bucaramanga - Colombia

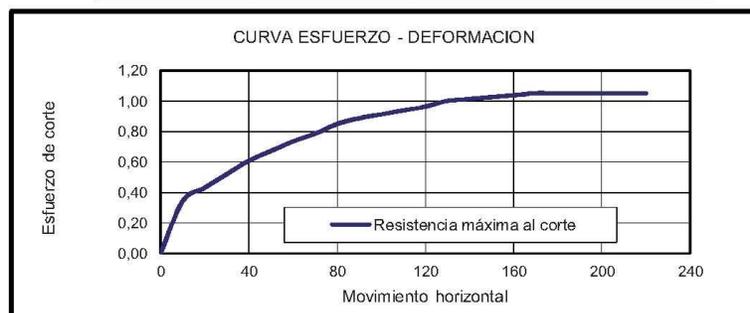
DEFORMACION HORIZONTAL ,VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE

Localizacion : ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

Carga :	40	kg	Punto No :	4
Esfuerzo vertical :	1,263	kg/cm ²	Velocidad Corte:	1,2

RESISTENCIA MAXIMA AL CORTANTE

DEFORMACION		LECTURA DIAL	ESFUERZO
HORIZONTAL	VERTICAL	DE	DE CORTE
1E-3 pulg	2E-3 mm	CARGA	kg/cm ²
0	0	0	0
10	17	28	0,3417
20	38	35	0,4307
30	61	42	0,5196
40	78	49	0,6084
50	93	54	0,6719
60	105	59	0,7353
70	114	63	0,7861
80	119	68	0,8495
90	123	71	0,8875
100	126	73	0,9128
110	128	75	0,9382
120	130	77	0,9635
130	130	80	1,0016
140	130	81	1,0142
150	129	82	1,0269
160	126	83	1,0396
170	123	84	1,0522
180	122	84	1,0522
190	122	84	1,0522
200	123	84	1,0522
210	124	84	1,0522
220	124	84	1,0522



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

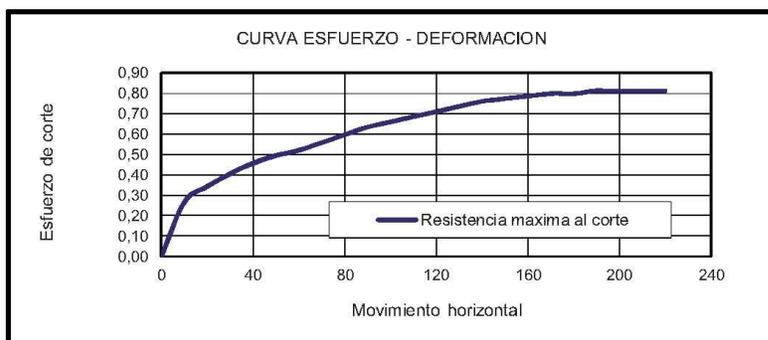
DEFORMACION HORIZONTAL ,VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE

Localizacion : ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

Carga :	30	kg	Punto No :	3
Esfuerzo vertical :	0,947	kg/cm ²	Velocidad Corte:	1,2

RESISTENCIA MAXIMA AL CORTANTE

DEFORMACION		LECTURA DIAL DE CARGA	ESFUERZO DE CORTE kg/cm ²
HORIZONTAL 1E-3 pulg	VERTICAL 2E-3 mm		
0	0	0	0
10	21	22	0,2655
20	41	28	0,3417
30	59	33	0,4053
40	73	37	0,4561
50	84	40	0,4942
60	95	42	0,5196
70	104	45	0,5577
80	110	48	0,5957
90	113	51	0,6338
100	115	53	0,6592
110	118	55	0,6846
120	120	57	0,7099
130	122	59	0,7353
140	123	61	0,7607
150	123	62	0,7734
160	121	63	0,7861
170	118	64	0,7987
180	117	64	0,7987
190	117	65	0,8114
200	117	65	0,8114
210	117	65	0,8114
220	117	65	0,8114



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

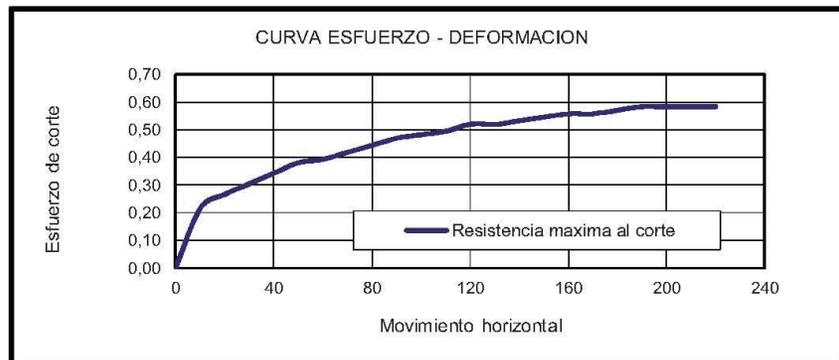
DEFORMACION HORIZONTAL ,VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE

Localizacion : ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

Carga :	20	kg	Punto No :	2
Esfuerzo vertical :	0,632	kg/cm ²	Velocidad Corte:	1,2

RESISTENCIA MAXIMA AL CORTANTE

DEFORMACION		LECTURA DIAL DE CARGA	ESFUERZO DE CORTE kg/cm ²
HORIZONTAL 1E-3 pulg	VERTICAL 2E-3 mm		
0	0	0	0
10	12	18	0,2146
20	31	22	0,2655
30	47	25	0,3036
40	61	28	0,3417
50	73	31	0,3799
60	82	32	0,3926
70	90	34	0,4180
80	96	36	0,4434
90	102	38	0,4688
100	104	39	0,4815
110	106	40	0,4942
120	107	42	0,5196
130	110	42	0,5196
140	112	43	0,5323
150	113	44	0,5450
160	113	45	0,5577
170	113	45	0,5577
180	113	46	0,5704
190	114	47	0,5830
200	116	47	0,5830
210	116	47	0,5830
220	116	47	0,5830



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

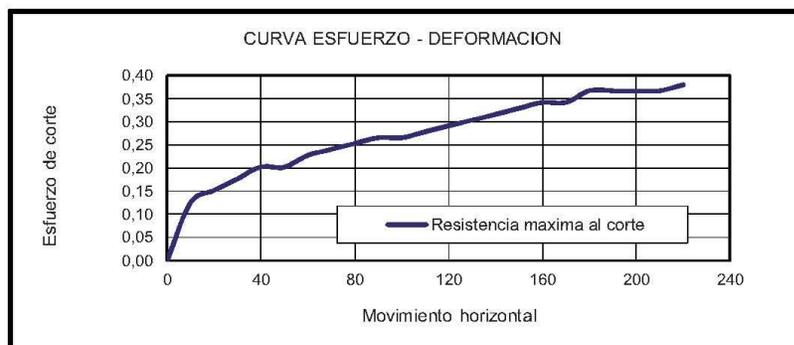
DEFORMACION HORIZONTAL ,VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE

Localizacion : ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

Carga :	10	kg	Punto No :	1
Esfuerzo vertical :	0,316	kg/cm ²	Velocidad Corte:	1,2

RESISTENCIA MAXIMA AL CORTANTE

DEFORMACION		LECTURA DIAL DE CARGA	ESFUERZO DE CORTE kg/cm ²
HORIZONTAL 1E-3 pulg	VERTICAL 2E-3 mm		
0	0	0	0
10	17	11	0,1256
20	43	13	0,1511
30	63	15	0,1765
40	79	17	0,2019
50	89	17	0,2019
60	98	19	0,2274
70	106	20	0,2401
80	115	21	0,2528
90	119	22	0,2655
100	122	22	0,2655
110	125	23	0,2782
120	130	24	0,2909
130	134	25	0,3036
140	135	26	0,3163
150	136	27	0,3290
160	136	28	0,3417
170	136	28	0,3417
180	136	30	0,3672
190	136	30	0,3672
200	136	30	0,3672
210	134	30	0,3672
220	131	31	0,3799



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

MEMORIA ENSAYO DE CORTE DIRECTO DRENADO
Normas INV-E 154 - ASTM D3080 - AASHTO T236

EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

SONDEO	3	Muestra	4	Profundidad	4,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

Dimensiones de la Muestra					
Diámetro :	6,35	cm	Area :	31,67	cm ²
Altura :	2,40	cm	Volumen :	76,01	cm ³

DENSIDAD HUMEDA			HUMEDAD DE LA MUESTRA		
Peso muestra + anillo :	257,30	grs	Peso suelo húmedo + tara :	27,10	grs
Peso anillo :	104,20	grs	Peso suelo seco + tara :	24,90	grs
Peso muestra :	153,10	grs	Peso tara :	11,70	grs
Densidad Húmeda :	2,01	grs/cm ³	Humedad :	16,67	%

Descripción del Ensayo

En el laboratorio de Geotecnología S.A.S. se realizó el ensayo de corte directo a las muestras suelo de referencia :

- Se ensayaron cuatro muestras del mismo suelo a diferentes presiones de consolidación.
- Previamente al ensayo se saturaron totalmente las muestras.
- Cuando la consolidación primaria se completó se dio inicio a cada ensayo.
- Cada muestra de suelo se sometió a esfuerzos de corte a lo largo de un plano horizontal hasta producir la falla.
- Se obtuvieron los datos de esfuerzos horizontales y deformaciones horizontales y verticales para cada punto.
- Finalmente se elaboró una gráfica con los valores de esfuerzo normal y cortante a la falla y se obtuvieron los parámetros cohesión y ángulo de fricción interna del suelo.

Ensayado : JOHAN GALVIS Revisado : DIANA CAROLINA BECERRA

C:\Laboratorios\ESTUDIOS2011\ENTERRADERO\CORTEDIRECTO-2.XLS.



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0
 Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888
 E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co
 Bucaramanga - Colombia

PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE
ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
Equipo WYKEHAM FARRANCE Modelo No. 25401 Serie No. 105705-0
Normas INV-E 154 - ASTM D3080 - AASHTO T236

EMPRESA	TRANSORIENTE
LOCALIZACIÓN	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

SONDEO	1	Muestra	2	Profundidad	2 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	-------

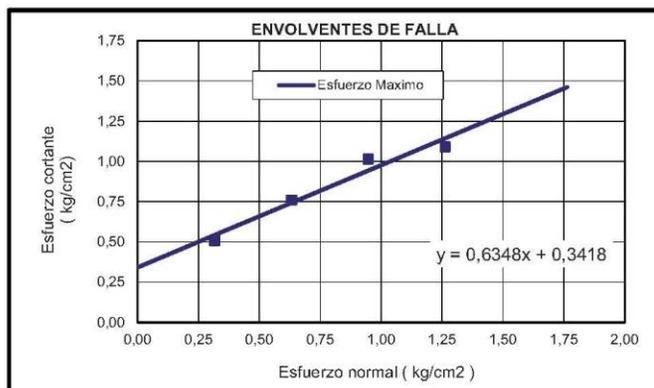
descripcion de la muestra: Arenas arcillosas algo permeables, sueltas, algo humedas de color marrón

Estado de la muestra Alterada Humeda
 Inalterada Saturada

Fecha Ensayo: DICIEMBRE DE 2011

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

Prueba Numero	Esfuerzo Normal Kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo Kg/cm ²
1	0,316	0,5069
2	0,632	0,7607
3	0,947	1,0142
4	1,263	1,0902



Parámetros	Máximos
Angulo de fricción interna	32,408
Cohesión kg/cm ²	0,342

 JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0
 Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888
 E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co
 Bucaramanga - Colombia

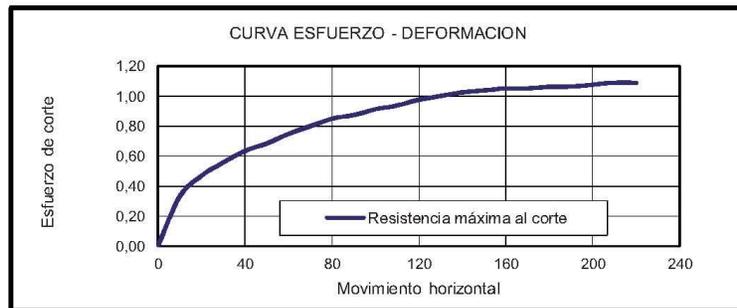
DEFORMACION HORIZONTAL ,VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE

Localizacion : ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

Carga :	40	kg	Punto No :	4
Esfuerzo vertical :	1,263	kg/cm ²	Velocidad Corte:	1,2

RESISTENCIA MAXIMA AL CORTANTE

DEFORMACION		LECTURA DIAL	ESFUERZO
HORIZONTAL	VERTICAL	DE	DE CORTE
1E-3 pulg	2E-3 mm	CARGA	kg/cm ²
0	0	0	0
10	11	27	0,3290
20	38	38	0,4688
30	59	45	0,5577
40	78	51	0,6338
50	94	55	0,6846
60	108	60	0,7480
70	118	64	0,7987
80	127	68	0,8495
90	133	70	0,8748
100	137	73	0,9128
110	141	75	0,9382
120	144	78	0,9762
130	146	80	1,0016
140	146	82	1,0269
150	145	83	1,0396
160	143	84	1,0522
170	142	84	1,0522
180	142	85	1,0649
190	143	85	1,0649
200	143	86	1,0776
210	142	87	1,0902
220	141	87	1,0902



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

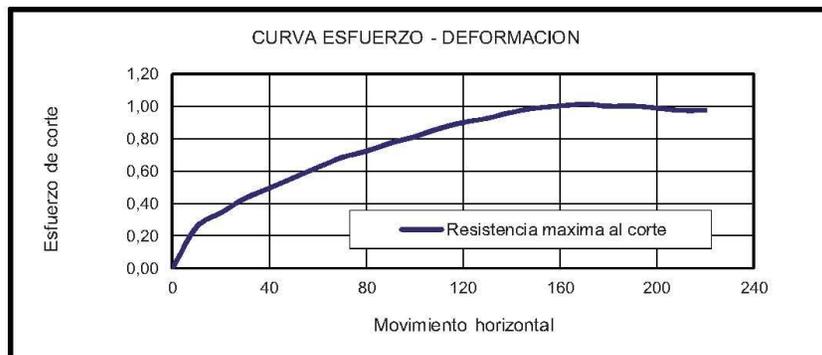
DEFORMACION HORIZONTAL ,VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE

Localizacion : ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

Carga :	30	kg	Punto No :	3
Esfuerzo vertical :	0,947	kg/cm ²	Velocidad Corte:	1,2

RESISTENCIA MAXIMA AL CORTANTE

DEFORMACION		LECTURA DIAL DE CARGA	ESFUERZO DE CORTE kg/cm ²
HORIZONTAL 1E-3 pulg	VERTICAL 2E-3 mm		
0	0	0	0
10	18	21	0,2528
20	56	28	0,3417
30	94	35	0,4307
40	133	40	0,4942
50	167	45	0,5577
60	196	50	0,6211
70	222	55	0,6846
80	244	58	0,7226
90	256	62	0,7734
100	268	65	0,8114
110	277	69	0,8621
120	283	72	0,9002
130	289	74	0,9255
140	294	77	0,9635
150	297	79	0,9889
160	297	80	1,0016
170	297	81	1,0142
180	297	80	1,0016
190	297	80	1,0016
200	296	79	0,9889
210	298	78	0,9762
220	298	78	0,9762



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

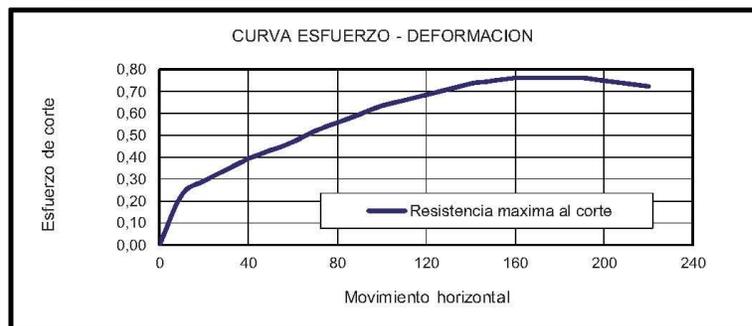
DEFORMACION HORIZONTAL ,VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE

Localizacion : ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

Carga :	20	kg	Punto No :	2
Esfuerzo vertical :	0,632	kg/cm ²	Velocidad Corte:	1,2

RESISTENCIA MAXIMA AL CORTANTE

DEFORMACION		LECTURA DIAL DE CARGA	ESFUERZO DE CORTE kg/cm ²
HORIZONTAL 1E-3 pulg	VERTICAL 2E-3 mm		
0	0	0	0
10	14	19	0,2274
20	45	24	0,2909
30	78	28	0,3417
40	113	32	0,3926
50	150	35	0,4307
60	178	38	0,4688
70	203	42	0,5196
80	224	45	0,5577
90	239	48	0,5957
100	250	51	0,6338
110	258	53	0,6592
120	263	55	0,6846
130	265	57	0,7099
140	265	59	0,7353
150	262	60	0,7480
160	257	61	0,7607
170	255	61	0,7607
180	251	61	0,7607
190	247	61	0,7607
200	242	60	0,7480
210	237	59	0,7353
220	230	58	0,7226



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

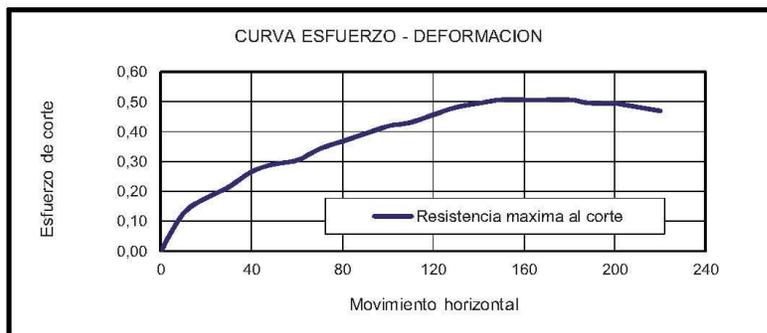
DEFORMACION HORIZONTAL ,VERTICAL Y ESFUERZO DE CORTE

Localizacion : ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

Carga :	10	kg	Punto No.:	1
Esfuerzo vertical :	0,316	kg/cm ²	Velocidad Corte:	1,2

RESISTENCIA MAXIMA AL CORTANTE

DEFORMACION		LECTURA DIAL DE CARGA	ESFUERZO DE CORTE kg/cm ²
HORIZONTAL 1E-3 pulg	VERTICAL 2E-3 mm		
0	0	0	0
10	24	11	0,1256
20	53	15	0,1765
30	77	18	0,2146
40	94	22	0,2655
50	110	24	0,2909
60	129	25	0,3036
70	149	28	0,3417
80	163	30	0,3672
90	176	32	0,3926
100	185	34	0,4180
110	191	35	0,4307
120	196	37	0,4561
130	198	39	0,4815
140	198	40	0,4942
150	194	41	0,5069
160	189	41	0,5069
170	187	41	0,5069
180	184	41	0,5069
190	182	40	0,4942
200	181	40	0,4942
210	176	39	0,4815
220	171	38	0,4688



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

MEMORIA ENSAYO DE CORTE DIRECTO DRENADO
Normas INV-E 154 - ASTM D3080 - AASHTO T236

EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA

SONDEO	1	Muestra	2	Profundidad	2,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

Dimensiones de la Muestra					
Diámetro :	6,35	cm	Area :	31,67	cm ²
Altura :	2,40	cm	Volumen :	76,01	cm ³

DENSIDAD HUMEDA		HUMEDAD DE LA MUESTRA	
Peso muestra + anillo :	247,60 grs	Peso suelo húmedo + tara :	32,50 grs
Peso anillo :	104,20 grs	Peso suelo seco + tara :	28,90 grs
Peso muestra :	143,40 grs	Peso tara :	11,70 grs
Densidad Húmeda :	1,89 grs/cm ³	Humedad :	20,93 %

Descripción del Ensayo

En el laboratorio de Geotecnología S.A.S. se realizó el ensayo de corte directo a las muestras suelo de referencia :

- Se ensayaron cuatro muestras del mismo suelo a diferentes presiones de consolidación.
- Previamente al ensayo se saturaron totalmente las muestras.
- Cuando la consolidación primaria se completó se dio inicio a cada ensayo.
- Cada muestra de suelo se sometió a esfuerzos de corte a lo largo de un plano horizontal hasta producir la falla.
- Se obtuvieron los datos de esfuerzos horizontales y deformaciones horizontales y verticales para cada punto.
- Finalmente se elaboró una gráfica con los valores de esfuerzo normal y cortante a la falla y se obtuvieron los parámetros cohesión y ángulo de fricción interna del suelo.

Ensayado : JOHAN GALVIS Revisado : DIANA CAROLINA BECERRA

C:\Laboratorios\ESTUDIOS2011\ENTERRADERO\CORTEDIRECTO-1.XLS.



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0
 Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888
 E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co
 Bucaramanga - Colombia

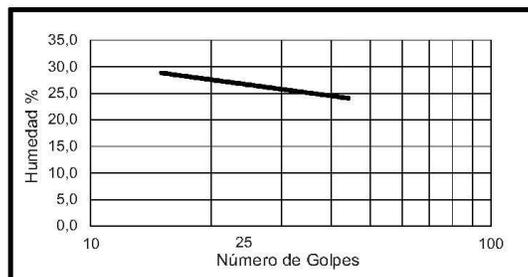
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO
E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
Normas INV-E 125-126 - AASHTO T89-790 - NLT 105-106**

EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	6	MUESTRA	8	PROFUNDIDAD	8,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

LIMITE LIQUIDO				
Tara No.	1	2	3	4
W tara + S. Hum.	25,80	26,20	26,90	27,00
W tara + S. Seco	23,00	23,20	23,60	23,50
W tara	11,30	11,30	11,30	11,30
Humedad %	23,93	25,21	26,83	28,69
No. de Golpes	44	34	25	15

LIMITE PLASTICO				
Tara No.	1	2		
W tara + S. Hum.	10,10	10,50		
W tara + S. Seco	9,30	9,60		
W tara	4,30	4,30		
Humedad %	16,00	16,98		



LIMITE LÍQUIDO	26,86
LIMITE PLÁSTICO	16,49
ÍNDICE PLÁSTICO	10,37
CLASIFICACIÓN	SC

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/LIMITE012.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0
Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888
E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co
Bucaramanga - Colombia

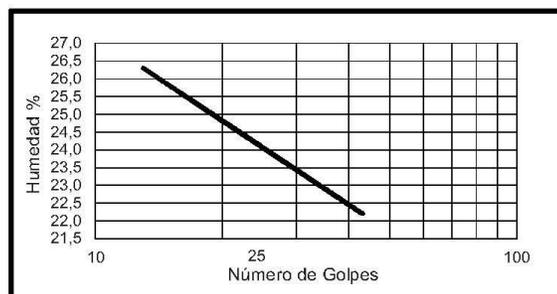
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO
E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
Normas INV-E 125-126 - AASHTO T89-790 - NLT 105-106

EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	6	MUESTRA	6	PROFUNDIDAD	6,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

LIMITE LIQUIDO				
Tara No.	1	2	3	4
W tara + S. Hum.	25,80	27,20	27,50	27,20
W tara + S. Seco	23,20	24,20	24,30	23,90
W tara	11,40	11,30	11,30	11,30
Humedad %	22,03	23,26	24,62	26,19
No. de Golpes	43	33	22	13

LIMITE PLASTICO				
Tara No.	1	2		
W tara + S. Hum.	11,50	10,40		
W tara + S. Seco	10,60	9,60		
W tara	4,30	4,20		
Humedad %	14,29	14,81		



LIMITE LÍQUIDO	24,35
LIMITE PLÁSTICO	14,55
ÍNDICE PLÁSTICO	9,80
CLASIFICACIÓN	GC

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/LIMITE011.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

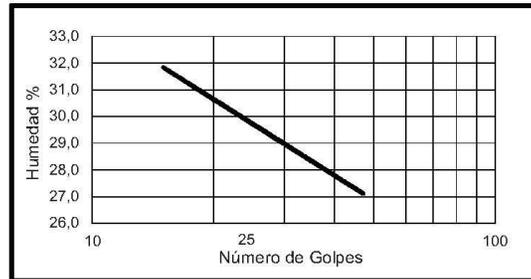
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO
E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
Normas INV-E 125-126 - AASHTO T89-790 - NLT 105-106**

EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	6	MUESTRA	2	PROFUNDIDAD	2,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

LIMITE LIQUIDO				
Tara No.	1	2	3	4
W tara + S. Hum.	25,40	26,70	27,80	29,30
W tara + S. Seco	22,50	23,30	24,00	25,00
W tara	11,70	11,30	11,30	11,40
Humedad %	26,85	28,33	29,92	31,62
No. de Golpes	47	36	26	15

LIMITE PLASTICO				
Tara No.	1	2		
W tara + S. Hum.	11,60	10,50		
W tara + S. Seco	10,50	9,60		
W tara	4,20	4,30		
Humedad %	17,46	16,98		



LIMITE LÍQUIDO	30,04
LIMITE PLÁSTICO	17,22
ÍNDICE PLÁSTICO	12,82
CLASIFICACIÓN	GC

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/LIMITE010.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0
Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888
E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co
Bucaramanga - Colombia

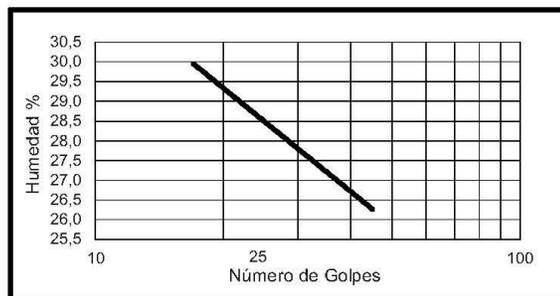
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO
E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
Normas INV-E 125-126 - AASHTO T89-790 - NLT 105-106**

EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	5	MUESTRA	7	PROFUNDIDAD	7,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

LÍMITE LÍQUIDO				
Tara No.	1	2	3	4
W tara + S. Hum.	26,80	27,50	28,90	28,30
W tara + S. Seco	23,60	24,00	25,00	24,40
W tara	11,30	11,30	11,40	11,30
Humedad %	26,02	27,56	28,68	29,77
No. de Golpes	45	34	25	17

LÍMITE PLÁSTICO				
Tara No.	1	2		
W tara + S. Hum.	10,90	10,60		
W tara + S. Seco	9,90	9,70		
W tara	4,20	4,30		
Humedad %	17,54	16,67		



LÍMITE LÍQUIDO	28,68
LÍMITE PLÁSTICO	17,11
ÍNDICE PLÁSTICO	11,58
CLASIFICACIÓN	SC

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/LIMITE009.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

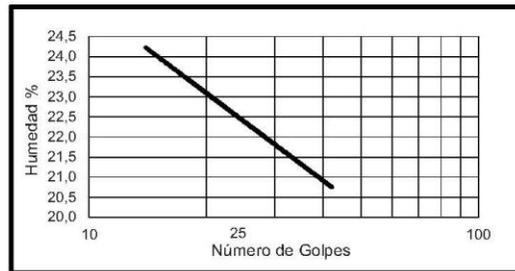
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO
E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
Normas INV-E 125-126 - AASHTO T89-790 - NLT 105-106**

EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	5	MUESTRA	6	PROFUNDIDAD	6,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

LÍMITE LÍQUIDO				
Tara No.	1	2	3	4
W tara + S. Hum.	27,10	27,90	29,40	30,30
W tara + S. Seco	24,40	25,00	26,10	26,60
W tara	11,30	11,70	11,70	11,30
Humedad %	20,61	21,80	22,92	24,18
No. de Golpes	42	32	21	14

LÍMITE PLÁSTICO				
Tara No.	1	2		
W tara + S. Hum.	10,60	11,10		
W tara + S. Seco	9,80	10,20		
W tara	4,30	4,30		
Humedad %	14,55	15,25		



LÍMITE LÍQUIDO	22,62
LÍMITE PLÁSTICO	14,90
ÍNDICE PLÁSTICO	7,72
CLASIFICACIÓN	SC

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/LIMITE008.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

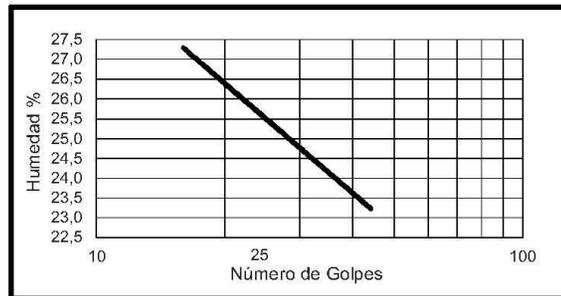
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO
E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
Normas INV-E 125-126 - AASHTO T89-790 - NLT 105-106**

EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	3	MUESTRA	7	PROFUNDIDAD	7,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

LIMITE LIQUIDO				
Tara No.	1	2	3	4
W tara + S. Hum.	26,20	29,10	28,30	28,60
W tara + S. Seco	23,40	25,70	24,90	24,90
W tara	11,30	11,80	11,70	11,30
Humedad %	23,14	24,46	25,76	27,21
No. de Golpes	44	33	24	16

LIMITE PLASTICO				
Tara No.	1	2		
W tara + S. Hum.	10,90	10,80		
W tara + S. Seco	10,00	9,90		
W tara	4,30	4,20		
Humedad %	15,79	15,79		



LIMITE LÍQUIDO	25,72
LIMITE PLÁSTICO	15,79
ÍNDICE PLÁSTICO	9,93
CLASIFICACIÓN	CL

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/LIMITE007.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

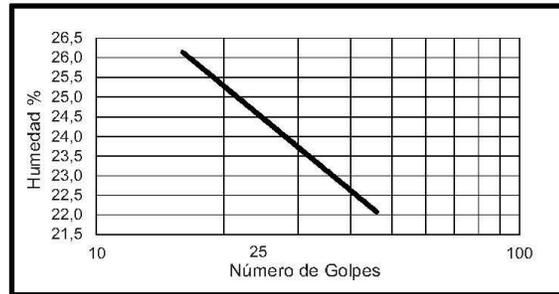
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO
E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
Normas INV-E 125-126 - AASHTO T89-790 - NLT 105-106**

EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	3	MUESTRA	6	PROFUNDIDAD	6,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

LÍMITE LÍQUIDO				
Tara No.	1	2	3	4
W tara + S. Hum.	26,30	26,70	28,20	29,20
W tara + S. Seco	23,60	23,80	24,90	25,50
W tara	11,30	11,30	11,30	11,30
Humedad %	21,95	23,20	24,26	26,06
No. de Golpes	46	35	27	16

LÍMITE PLÁSTICO				
Tara No.	1	2		
W tara + S. Hum.	11,70	11,40		
W tara + S. Seco	10,70	10,40		
W tara	4,30	4,20		
Humedad %	15,63	16,13		



LÍMITE LÍQUIDO	24,65
LÍMITE PLÁSTICO	15,88
ÍNDICE PLÁSTICO	8,77
CLASIFICACIÓN	CL

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/LIMITE006.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

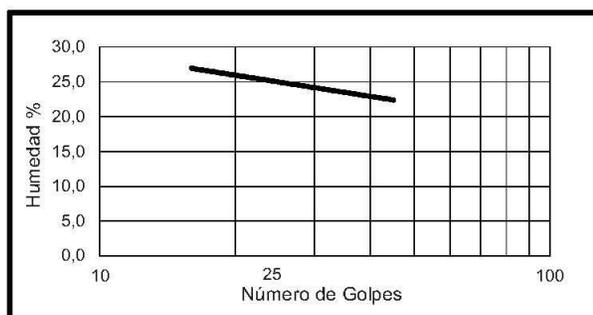
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO
E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
Normas INV-E 125-126 - AASHTO T89-790 - NLT 105-106**

EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	3	MUESTRA	5	PROFUNDIDAD	5,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

LIMITE LIQUIDO				
Tara No.	1	2	3	4
W tara + S. Hum.	27,30	27,50	29,20	28,80
W tara + S. Seco	24,40	24,40	25,70	25,10
W tara	11,40	11,30	11,70	11,30
Humedad %	22,31	23,66	25,00	26,81
No. de Golpes	45	33	26	16

LIMITE PLASTICO				
Tara No.	1	2		
W tara + S. Hum.	11,30	12,30		
W tara + S. Seco	10,30	11,30		
W tara	4,30	4,30		
Humedad %	16,67	14,29		



LIMITE LÍQUIDO	25,18
LIMITE PLÁSTICO	15,48
ÍNDICE PLÁSTICO	9,71
CLASIFICACIÓN	CL

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/LIMITE005.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

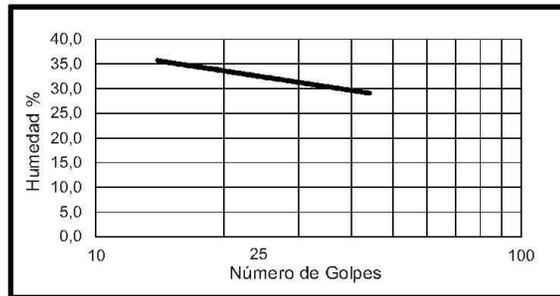
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO
E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
Normas INV-E 125-126 - AASHTO T89-790 - NLT 105-106**

EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	3	MUESTRA	1	PROFUNDIDAD	1,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

LÍMITE LÍQUIDO				
Tara No.	1	2	3	4
W tara + S. Hum.	24,90	25,70	28,10	26,70
W tara + S. Seco	21,90	22,30	23,90	22,80
W tara	11,30	11,30	11,30	11,70
Humedad %	28,30	30,91	33,33	35,14
No. de Golpes	44	35	24	14

LÍMITE PLÁSTICO				
Tara No.	1	2		
W tara + S. Hum.	12,40	11,30		
W tara + S. Seco	11,10	10,10		
W tara	4,30	4,20		
Humedad %	19,12	20,34		



LÍMITE LÍQUIDO	32,80
LÍMITE PLÁSTICO	19,73
ÍNDICE PLÁSTICO	13,07
CLASIFICACIÓN	CL

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/LIMITE004.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

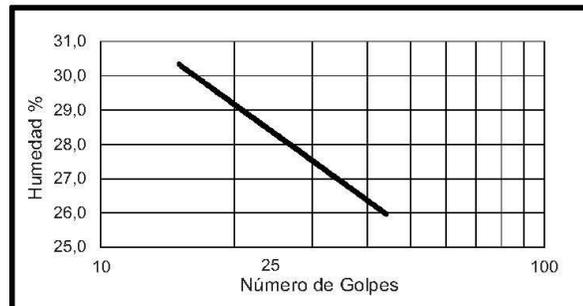
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO
E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
Normas INV-E 125-126 - AASHTO T89-790 - NLT 105-106**

EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	2	MUESTRA	5	PROFUNDIDAD	4,5 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

LÍMITE LÍQUIDO				
Tara No.	1	2	3	4
W tara + S. Hum.	25,10	26,30	28,70	29,50
W tara + S. Seco	22,30	23,10	24,80	25,30
W tara	11,40	11,30	11,40	11,30
Humedad %	25,69	27,12	29,10	30,00
No. de Golpes	44	34	23	15

LÍMITE PLÁSTICO				
Tara No.	1	2		
W tara + S. Hum.	10,40	11,50		
W tara + S. Seco	9,40	10,40		
W tara	4,20	4,30		
Humedad %	19,23	18,03		



LÍMITE LÍQUIDO	28,55
LÍMITE PLÁSTICO	18,63
ÍNDICE PLÁSTICO	9,92
CLASIFICACIÓN	SC

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/LIMITE003.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

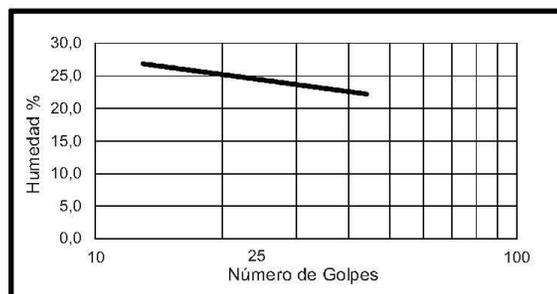
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO
E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
Normas INV-E 125-126 - AASHTO T89-790 - NLT 105-106

EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	1	MUESTRA	6	PROFUNDIDAD	6,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

LIMITE LIQUIDO				
Tara No.	1	2	3	4
W tara + S. Hum.	26,40	27,60	26,80	29,80
W tara + S. Seco	23,70	24,50	23,70	26,00
W tara	11,30	11,30	11,30	11,70
Humedad %	21,77	23,48	25,00	26,57
No. de Golpes	44	34	23	13

LIMITE PLASTICO				
Tara No.	1	2		
W tara + S. Hum.	10,90	10,20		
W tara + S. Seco	10,00	9,40		
W tara	4,20	4,30		
Humedad %	15,52	15,69		



LIMITE LÍQUIDO	24,68
LIMITE PLÁSTICO	15,60
ÍNDICE PLÁSTICO	9,08
CLASIFICACIÓN	GC

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/LIMITE002.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

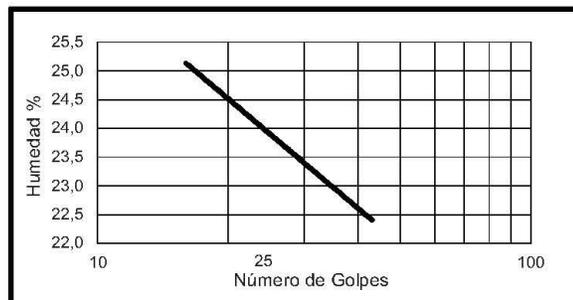
**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO
E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
Normas INV-E 125-126 - AASHTO T89-790 - NLT 105-106**

EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	1	MUESTRA	4	PROFUNDIDAD	4,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

LÍMITE LÍQUIDO				
Tara No.	1	2	3	4
W tara + S. Hum.	25,60	28,10	28,60	27,80
W tara + S. Seco	23,00	25,00	25,30	24,50
W tara	11,30	11,70	11,70	11,30
Humedad %	22,22	23,31	24,26	25,00
No. de Golpes	43	33	23	16

LÍMITE PLÁSTICO				
Tara No.	1	2		
W tara + S. Hum.	10,20	11,40		
W tara + S. Seco	9,40	10,50		
W tara	4,30	4,30		
Humedad %	15,69	14,52		



LÍMITE LÍQUIDO	24,06
LÍMITE PLÁSTICO	15,10
ÍNDICE PLÁSTICO	8,96
CLASIFICACIÓN	SC

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/LIMITE001.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
Normas INV-E 123 - ASTM D422 - AASHTO T88 - NLT 104

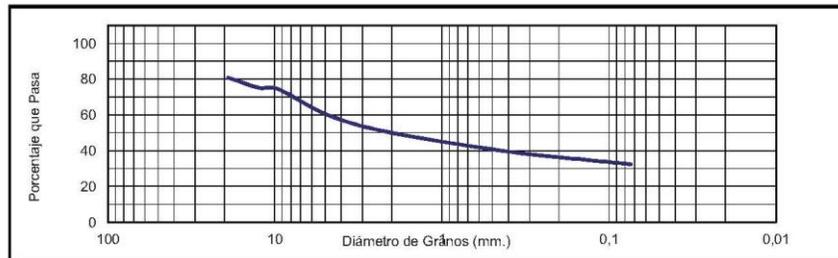
EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	6	MUESTRA	5	PROFUNDIDAD	5,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

CONTENIDO DE HUMEDAD	
W. S. Humedo + tara (grs)	254,00
W. S. Seco + tara (grs)	228,60
W. Tara (grs)	50,00
W. Suelo Seco (grs)	178,60
% Humedad	14,22

CLASIFICACION	
SUCS	GC
Descripción:	Grava arcillosa Color marron, naranja y gris

DISTRIBUCION DE TAMAÑOS			
No.	Tamiz	Peso Retenido grs.	% Que Pasa %
	mm.		
3/4	19,000	34,40	80,74
1/2	12,500	10,00	75,14
3/8	9,500	1,50	74,30
4	4,760	26,10	59,69
10	2,000	17,40	49,94
40	0,425	18,20	39,75
100	0,149	8,30	35,11
200	0,074	4,90	32,36



Grava = 40,31% Arena = 27,32% Finos = 32,36%

C:\Laboratorios\ESTUDIOS2011\ENTERRADERO\GRANULO-013.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0
 Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888
 E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co
 Bucaramanga - Colombia

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
Normas INV-E 123 - ASTM D422 - AASHTO T88 - NLT 104

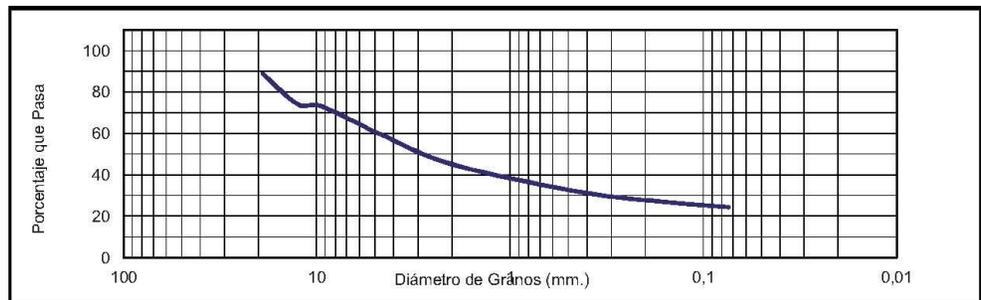
EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	6	MUESTRA	2	PROFUNDIDAD	2,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

CONTENIDO DE HUMEDAD	
W. S. Humedo + tara (grs)	251,70
W. S. Seco + tara (grs)	228,70
W. Tara (grs)	49,60
W. Suelo Seco (grs)	179,10
% Humedad	12,84

CLASIFICACION	
SUCS	GC
Descripción:	Grava arcillosa Color marron, naranja y gris

DISTRIBUCION DE TAMAÑOS			
No.	Tamiz	Peso Retenido grs.	% Que Pasa %
	mm.		
3/4	19,000	20,20	88,72
1/2	12,500	26,40	73,98
3/8	9,500	1,50	73,14
4	4,760	23,70	59,91
10	2,000	26,60	45,06
40	0,425	24,30	31,49
100	0,149	8,70	26,63
200	0,074	4,30	24,23



Grava = 40,09%

Arena = 35,68%

Finos = 24,23%

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/GRANULO-012.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
Normas INV-E 123 - ASTM D422 - AASHTO T88 - NLT 104

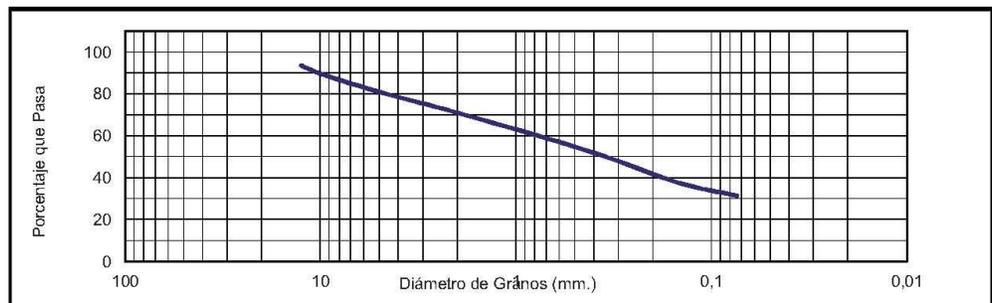
EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	5	MUESTRA	5	PROFUNDIDAD	5,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

CONTENIDO DE HUMEDAD	
W. S. Humedo + tara (grs)	250,90
W. S. Seco + tara (grs)	229,80
W. Tara (grs)	50,90
W. Suelo Seco (grs)	178,90
% Humedad	11,79

CLASIFICACION	
SUCS	SC
Descripción:	Arena arcillosa con presencia de gravas Color marrón, naranja y gris

DISTRIBUCION DE TAMAÑOS				
No.	Tamiz		Peso Retenido grs.	% Que Pasa %
	mm.			
1/2	12,500		11,70	93,46
3/8	9,500		8,20	88,88
4	4,760		15,30	80,32
10	2,000		16,70	70,99
40	0,425		32,80	52,66
100	0,149		26,90	37,62
200	0,074		11,30	31,30



Grava = 19,68%

Arena = 49,02%

Finos = 31,30%

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/GRANULO-011.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
Normas INV-E 123 - ASTM D422 - AASHTO T88 - NLT 104

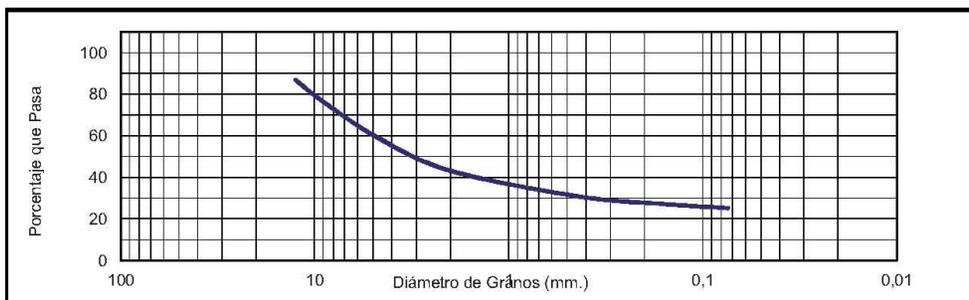
EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	4	MUESTRA	6	PROFUNDIDAD	6,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

CONTENIDO DE HUMEDAD	
W. S. Humedo + tara (grs)	250,30
W. S. Seco + tara (grs)	235,00
W. Tara (grs)	51,40
W. Suelo Seco (grs)	183,60
% Humedad	8,33

CLASIFICACION	
SUCS	GM
Descripción:	Grava limosa Color marrón, naranja y gris

DISTRIBUCION DE TAMAÑOS				
Tamiz	No.	mm.	Peso Retenido grs.	% Que Pasa %
3/8	9,500	16,60	77,83	
4	4,760	34,20	59,20	
10	2,000	29,50	43,14	
40	0,425	23,10	30,56	
100	0,149	6,80	26,85	
200	0,074	3,10	25,16	



Grava = **40,80%**

Arena = **34,04%**

Finos = **25,16%**

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/GRANULO-009.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
Normas INV-E 123 - ASTM D422 - AASHTO T88 - NLT 104

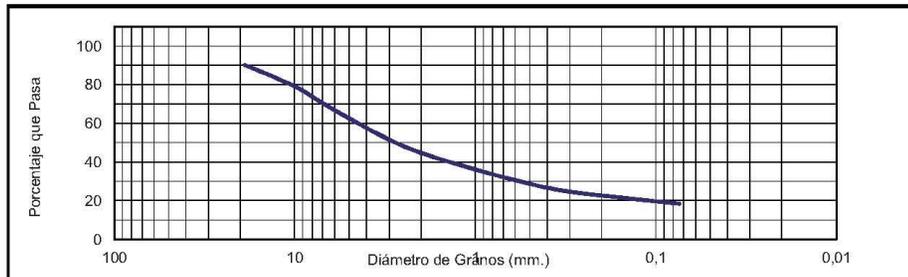
EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	4	MUESTRA	4	PROFUNDIDAD	4,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

CONTENIDO DE HUMEDAD	
W. S. Humedo + tara (grs)	251,70
W. S. Seco + tara (grs)	239,20
W. Tara (grs)	48,30
W. Suelo Seco (grs)	190,90
% Humedad	6,55

CLASIFICACION	
SUCS	SC
Descripción:	Arena arcillosa con presencia de gravas Color marrón, naranja y gris

DISTRIBUCION DE TAMAÑOS				
Tamiz	Tamiz		Peso Retenido grs.	% Que Pasa %
	No.	mm.		
3/4		19,000	18,70	90,20
1/2		12,500	13,50	83,13
3/8		9,500	9,90	77,95
4		4,760	31,60	61,39
10		2,000	31,90	44,68
40		0,425	33,50	27,13
100		0,149	11,10	21,32
200		0,074	5,80	18,28



Grava = 38,61% Arena = 43,11% Finos = 18,28%

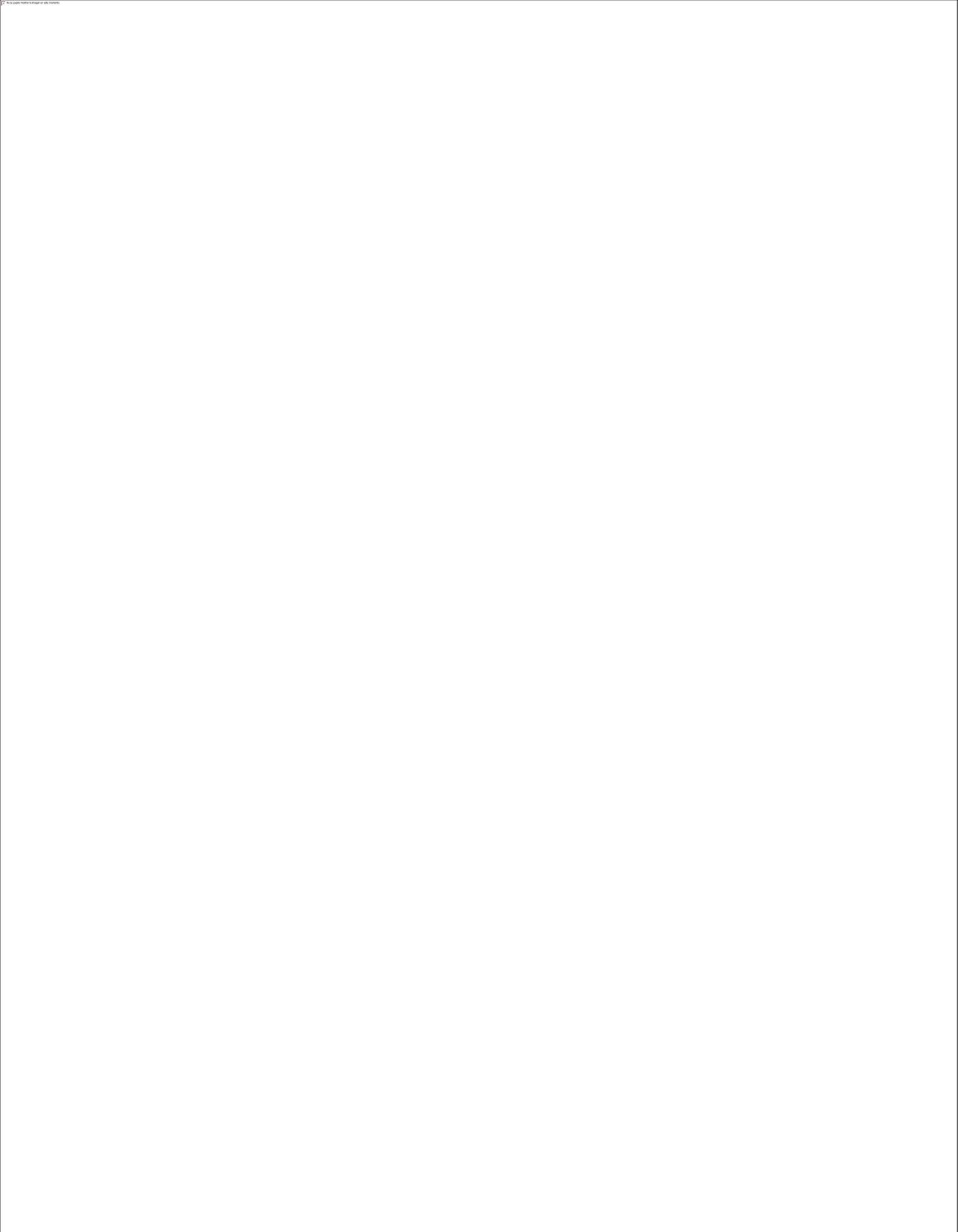
C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/GRANULO-008.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0
 Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888
 E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co
 Bucaramanga - Colombia



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
Normas INV-E 123 - ASTM D422 - AASHTO T88 - NLT 104

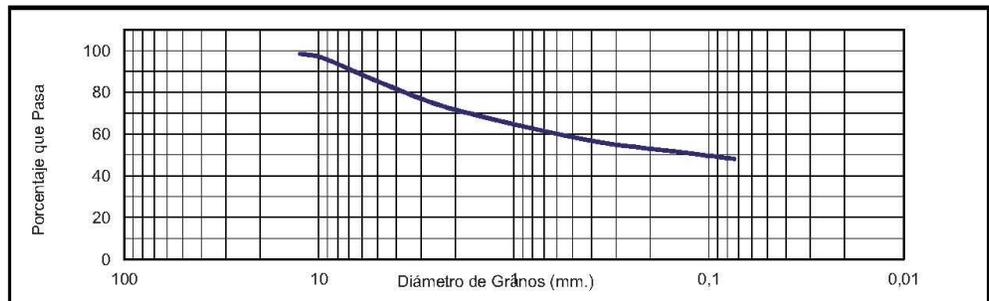
EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	3	MUESTRA	8	PROFUNDIDAD	7,5 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

CONTENIDO DE HUMEDAD	
W. S. Humedo + tara (grs)	255,40
W. S. Seco + tara (grs)	231,10
W. Tara (grs)	50,20
W. Suelo Seco (grs)	180,90
% Humedad	13,43

CLASIFICACION	
SUCS	CL
Descripción:	Arcilla arenosa con presencia de gravas Color gris

DISTRIBUCION DE TAMAÑOS				
No.	Tamiz		Peso Retenido grs.	% Que Pasa %
	mm.			
1/2	12,500		2,70	98,51
3/8	9,500		3,90	96,35
4	4,760		21,60	84,41
10	2,000		23,10	71,64
40	0,425		26,10	57,21
100	0,149		10,20	51,58
200	0,074		6,40	48,04



Grava = 15,59%

Arena = 36,37%

Finos = 48,04%

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/GRANULO-006.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
Normas INV-E 123 - ASTM D422 - AASHTO T88 - NLT 104

EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	3	MUESTRA	5	PROFUNDIDAD	5,0mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	--------

CONTENIDO DE HUMEDAD	
W. S. Humedo + tara (grs)	252,20
W. S. Seco + tara (grs)	227,20
W. Tara (grs)	49,30
W. Suelo Seco (grs)	177,90
% Humedad	14,05

CLASIFICACION	
SUCS	CL
Descripción:	Arcilla arenosa con presencia de gravas Color gris oscuro con morado

DISTRIBUCION DE TAMAÑOS				
Tamíz	No.	mm.	Peso Retenido grs.	% Que Pasa %
3/8	9,500	2,40	96,07	
4	4,760	17,30	86,34	
10	2,000	16,10	77,29	
40	0,425	21,10	65,43	
100	0,149	9,70	59,98	
200	0,074	7,10	55,99	



Grava = 13,66%

Arena = 30,35%

Finos = 55,99%

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/GRANULO-005.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
Normas INV-E 123 - ASTM D422 - AASHTO T88 - NLT 104

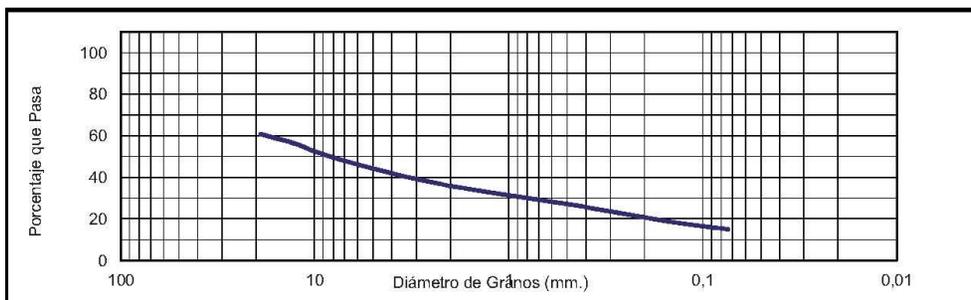
EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	2	MUESTRA	2	PROFUNDIDAD	2,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

CONTENIDO DE HUMEDAD	
W. S. Humedo + tara (grs)	250,30
W. S. Seco + tara (grs)	232,90
W. Tara (grs)	49,90
W. Suelo Seco (grs)	183,00
% Humedad	9,51

CLASIFICACION	
SUCS	GC
Descripción:	Gravas arcillosas Color marrón

DISTRIBUCION DE TAMAÑOS				
Tamiz	No.	mm.	Peso Retenido grs.	% Que Pasa %
1/2	12,500	8,50	56,07	
3/8	9,500	8,00	51,69	
4	4,760	14,80	43,61	
10	2,000	14,30	35,79	
40	0,425	18,00	25,96	
100	0,149	13,40	18,63	
200	0,074	6,90	14,86	



Grava = 56,39%

Arena = 28,74%

Finos = 14,86%

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/GRANULO-004.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
Normas INV-E 123 - ASTM D422 - AASHTO T88 - NLT 104

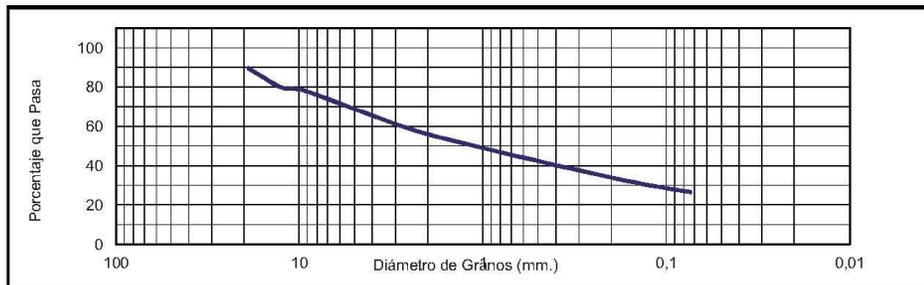
EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	2	MUESTRA	1	PROFUNDIDAD	1,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

CONTENIDO DE HUMEDAD	
W. S. Humedo + tara (grs)	254,50
W. S. Seco + tara (grs)	233,80
W. Tara (grs)	50,80
W. Suelo Seco (grs)	183,00
% Humedad	11,31

CLASIFICACION	
SUCS	SC
Descripción:	Arena arcillosa con presencia de gravas Color marrón

DISTRIBUCION DE TAMAÑOS			
Tamiz No.	mm.	Peso Retenido grs.	% Que Pasa %
1/2	12,500	18,00	79,73
3/8	9,500	2,60	78,31
4	4,760	18,70	68,09
10	2,000	22,10	56,01
40	0,425	27,90	40,77
100	0,149	17,10	31,42
200	0,074	9,10	26,45



Grava = 31,91% Arena = 41,64% Finos = 26,45%

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/GRANULO-003.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0
 Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888
 E-mail: geotecnia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co
 Bucaramanga - Colombia

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
Normas INV-E 123 - ASTM D422 - AASHTO T88 - NLT 104

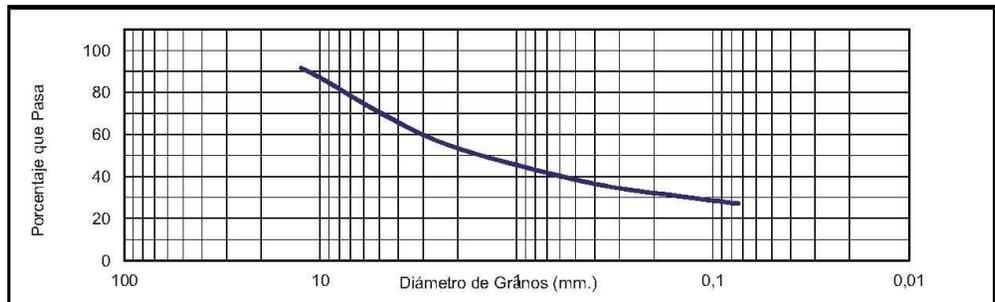
EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	1	MUESTRA	7	PROFUNDIDAD	7,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

CONTENIDO DE HUMEDAD	
W. S. Humedo + tara (grs)	253,90
W. S. Seco + tara (grs)	240,80
W. Tara (grs)	50,90
W. Suelo Seco (grs)	189,90
% Humedad	6,90

CLASIFICACION	
SUCS	SC
Descripción:	Arena arcillosa con presencia de gravas Color gris oscuro

DISTRIBUCION DE TAMAÑOS			
No.	Tamíz	Peso Retenido grs.	% Que Pasa %
	mm.		
1/2	12,500	15,90	91,63
3/8	9,500	11,10	85,78
4	4,760	31,00	69,46
10	2,000	30,40	53,45
40	0,425	31,30	36,97
100	0,149	12,20	30,54
200	0,074	6,80	26,96



Grava = 30,54%

Arena = 42,50%

Finos = 26,96%

C:\Laboratorios\ESTUDIOS2011\ENTERRADERO\GRANULO-002.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
Normas INV-E 123 - ASTM D422 - AASHTO T88 - NLT 104

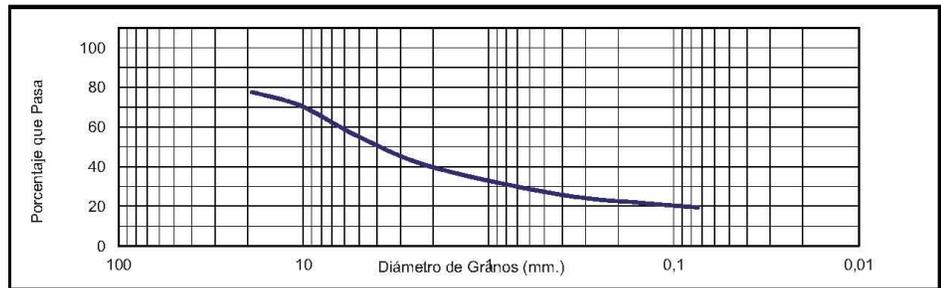
EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	6 DE DICIEMBRE DE 2011

SONDEO	1	MUESTRA	5	PROFUNDIDAD	5,0 mts
---------------	---	----------------	---	--------------------	---------

CONTENIDO DE HUMEDAD	
W. S. Humedo + tara (grs)	251,20
W. S. Seco + tara (grs)	242,40
W. Tara (grs)	49,80
W. Suelo Seco (grs)	192,60
% Humedad	4,57

CLASIFICACION	
SUCS	GC
Descripción:	Gravas arcillosas Color gris oscuro

DISTRIBUCION DE TAMAÑOS				
Tamiz	No.	mm.	Peso Retenido grs.	% Que Pasa %
1/2	12,500	8,20	73,31	
3/8	9,500	8,20	69,06	
4	4,760	29,00	54,00	
10	2,000	27,70	39,62	
40	0,425	26,20	26,01	
100	0,149	8,50	21,60	
200	0,074	4,30	19,37	



Grava = **46,00%**

Arena = **34,63%**

Finos = **19,37%**

C:\Laboratorios\ESTUDIOS2011\ENTERRADERO\GRANULO-001.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



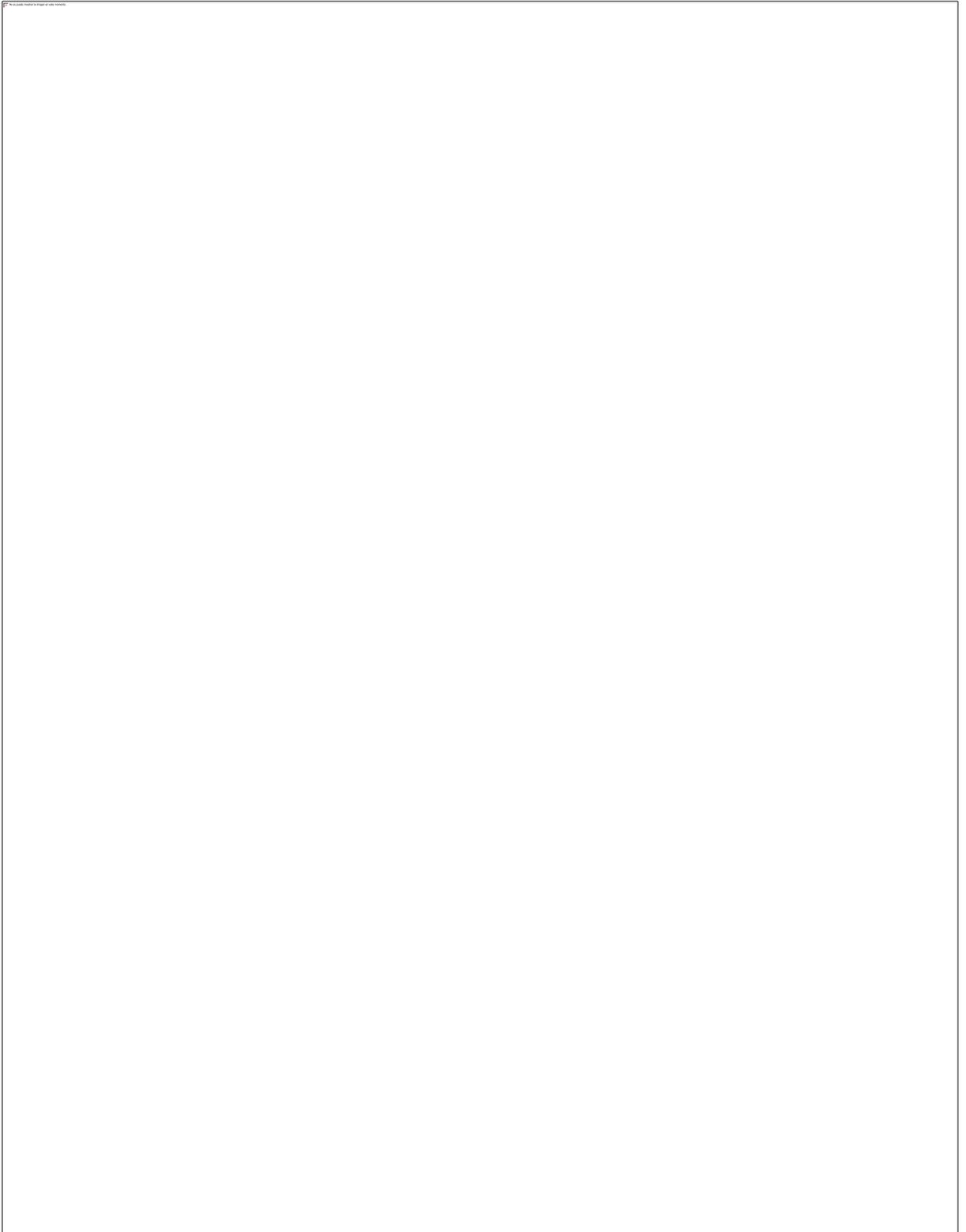
GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia



**DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)
DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO-AGREGADO
Normas INV-E 122 - ASTM D2216**

EMPRESA	TRANSORIENTE
PROYECTO	ENTERRADERO - GASODUCTO GIBRALTAR - BUCARAMANGA
ENSAYADO POR	JOHAN GALVIS
FECHA DE ENSAYO	5 DE DICIEMBRE DE 2011

Sondeo		1		1		2		2		3	
Muestra No	Profund. mts	M 5	Prof. 5	M 7	Prof. 7	M 1	Prof. 1	M 2	Prof. 2	M 5	Prof. 5
Tara No		1		2		3		4		5	
W tara + S.Hum.		251,2		253,9		254,5		250,3		252,2	
W tara + S.Seco		242,4		240,8		233,8		232,9		227,2	
W tara		49,8		50,9		50,8		49,9		49,3	
Humedad %		4,57		6,90		11,31		9,51		14,05	

Sondeo		3		4		4		4		5	
Muestra No	Profund. mts	M 8	Prof. 7,5	M 3	Prof. 3	M 4	Prof. 4	M 6	Prof. 6	M 3	Prof. 3
Tara No		6		7		8		9		10	
W tara + S.Hum.		255,4		252,8		251,7		250,3		250,3	
W tara + S.Seco		231,1		235,0		239,2		235,0		234,3	
W tara		50,2		49,3		48,3		51,4		53,6	
Humedad %		13,43		9,59		6,55		8,33		8,85	

C:/Laboratorios/ESTUDIOS2011/ENTERRADERO/Humedad001.XLS.

JEFE DE LABORATORIO



GEOTECNOLOGIA S.A.S.

Nit. 804.013.207-0

Calle 41 No. 28 - 33 Teléfonos: 6341255 - 6457507 - 6324888

E-mail: geotecnologia@erosion.com.co - erosion@telebucaramanga.net.co

Bucaramanga - Colombia