

**ESTABILIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL TALUD ROCOSO DE LA VÍA
BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA EN EL SECTOR PEAJE
AEROPUERTO PALONEGRO - MUNICIPIO DE GIRÓN EN EL TRAMO
COMPRENDIDO DESDE K 65+420 HASTA EL K 65+490**

ANDRES EDUARDO ESTUPIÑAN EUGENIO

NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

**ESTABILIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL TALUD ROCOSO DE LA VÍA
BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA EN EL SECTOR PEAJE
AEROPUERTO PALONEGRO - MUNICIPIO DE GIRÓN EN EL TRAMO
COMPRENDIDO DESDE K 65+420 HASTA EL K 65+490**

**ANDRES EDUARDO ESTUPIÑAN EUGENIO
NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO(A) CIVIL**

LUIS ALBERTO CAPACHO SILVA

Ingeniero Civil UIS

Magister en Informática. UIS.

Director

ORLANDO ARDILA ARIZA

Geólogo UIS

Especialista en Geotecnia Ambiental. UDES

Codirector

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2013

DEDICATORIA.

A Mi Madre, Ana Luísa por enseñarme a nunca desfallecer, por mostrarme que en la vida las cosas buenas se logran con el trabajo duro, la fe en Dios y la unión en la familia; gracias Madre por tu cariño, tu apoyo incondicional para lograr superar los retos de la vida.

A mi Padre, Ciro Eduardo quien con sus lecciones de vida, su fortaleza y sus ganas de siempre salir adelante, ha marcado el sendero que me guía en las encrucijadas de este mundo; solo me queda decir gracias papá.

A mi Tío Víctor, sin su apoyo incondicional no sería posible lograr alcanzar las metas propuestas en mi vida, Gracias Tío.

A mi Sobrina Lina María, sé que siempre contaré con ella pues ha demostrado ser una persona inmejorable y mis sobrinos Santiago y Mauricio que siempre sean igual de traviesos.

A mis hermanas Laura Maritza y Mitsi Bianey y mis hermanos Fredy y Erwin Omar, sus lecciones de vida me alientan a no dejar nada atrás, gracias por enseñarme a buscar siempre la felicidad.

A mi novia, Dixie Julieth, por ser tan comprensiva y apoyarme en los momentos buenos y no tan buenos, gracias por estar a mi lado.

A todos mis amigos y conocidos quienes hicieron posible que los momentos fueran inolvidables, que me ayudaron a superar el reto de la universidad, con gran sinceridad a todos gracias.

ANDRES EDUARDO ESTUPIÑAN EUGENIO.

DEDICATORIA

A Dios, por estar conmigo en cada paso que doy y ser la luz en mi largo caminar, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo mi período de estudio

A mi mamá Yolanda la mujer más maravillosa del mundo porque creíste en mí y siempre me apoyaste. Mamá gracias por tu amor, tu comprensión y tus oraciones que fueron las bases para lograr esta meta tan anhelada.

A mi papito Luis Andrés por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por su incondicional apoyo. Papa gracias porque sé que con tu esfuerzo lograste sacarnos adelante y formarnos como profesionales.

A mi hermanito Miguel Ángel quien fue la fuente de inspiración para continuar adelante cada vez que sentía desfallecer fuiste tú mi motivación hermanito.

A mi hermano Andrés Ricardo por estar conmigo siempre apoyándome y aconsejándome en esta etapa tan importante en mi vida y que hoy finaliza.

*A Mi mis dos grandes amores, mis sobrinos **Cristían David** y **Brayan Andrés** quienes han sido mi motivación y felicidad, porque con tan solo una llamada alegraron días tristes en los que la soledad me invadía, los amo mis coquitos.*

*A mi abuelita **mechís** por sus oraciones, consejos y amor que fueron de gran ayuda en mi formación profesional*

*A **Jairo Mateus** el amor de mi vida, tu amor y tu ternura fueron los cimientos que me mantuvieron cada día, gracias amor por todos esos lindos momentos compartidos, te amo.*

A todos mis familiares y amigos Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos.

A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

NATY ALEJANDRA MURCIA PÁEZ

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente a Dios por permitirnos llevar a cabo este proyecto

A la **Universidad Industrial de Santander** por abrirnos sus puertas y formarnos como grandes profesionales brindándonos el conocimiento y la formación integral.

A la **Escuela de Ingeniería Civil** al claustro de profesores por su paciencia, dedicación, y sus grandes aportes a nuestro conocimiento

Nuestros sinceros agradecimientos al ingeniero **Luis Alberto capacho silva**, por su disposición y colaboración.

Especial agradecimiento al Geólogo **Orlando Ardila Ariza**, por su guía y colaboración incondicional y desinteresada para poder llevar a término la ejecución de este proyecto

A los laboratoristas **Diego Ochoa**, de Andina Ingeniería, **Jairo Hernández, Jaime Cadena y German** de la **Escuela de Ingeniería Civil** por brindarnos su colaboración y disposición en el manejo de los implementos de laboratorio para la realización de los ensayos y pruebas necesarias para esta investigación.

A **Ariolfo Tovar Pardo**, por ayuda incondicional con la adquisición de la Topografía, fue una tarea titánica, en verdad gracias.

A **Erlingson Quiroz**, por su apoyo en el transporte de maquinaria al sitio de estudio en este proyecto de grado, en verdad muy agradecidos.

A **Jairo Mateus Parra**, por su apoyo en la toma de datos estructurales del talud rocoso, en verdad fue una tarea ardua, solo queda decir gracias.

TABLA DE CONTENIDO

	PAG.
1: INTRODUCCIÓN	21
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
1.2 ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA.....	24
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	25
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
1.4 METODOLOGÍA.....	27
FASE I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	27
FASE II: RECONOCIMIENTO DEL SITIO Y TRABAJOS DE CAMPO.....	27
FASE III: IMPLEMENTACIÓN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO.....	28
FASE IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	29
FASE V: ELABORACIÓN DOCUMENTO FINAL.....	29
2: GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO	30
2.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO.....	30
2.2 TOPOGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	31
2.3 CLIMA DEL AREA DE ESTUDIO.....	32
2.4 ASPECTOS GEOGRÁFICOS.....	32
3: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	34
3.1 MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS.....	34
3.1.1 RQD - DEERE (1967).....	34
3.1.2 RMR - BIENIAWSKI (1989).....	34
3.1.3 MRMR - LAUBSCHER (2000).....	35
3.1.4 Q - BARTON (1974).....	35
3.1.5 GSI - HOEK (1994).....	37
3.1.6 SMR - ROMANO (1988).....	37
3.1.7 CONSIDERACIONES FINALES.....	39
3.2: ANALISIS HIDROLOGICO.....	40
3.2.1 AREA DE INFLUENCIA DEL TALUD.....	40
3.2.2. INTENSIDADES DE PRECIPITACION.....	41
3.2.3 DETERMINACION DE LOS CAUDALES DE DISEÑO.....	44
3.2.4 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.....	45
3.4 METODOS PARA ANALISIS DE ESTABILIDAD EN MACIZOS ROCOSOS.....	45
3.4.1 MÉTODOS DEL CÁLCULO EN DEFORMACIONES.....	45
3.4.2 METODO DE EQUILIBRIO LÍMITE.....	46
3.4.3 TIPOS DE FALLA EN TALUDES ROCOSOS.....	47
3.5 ALGUNOS MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN Y CONTROL EN TALUDES ROCOSOS.....	50
3.5.1 MÉTODO DE ESTABILIZACIÓN.....	50
3.5.2 MÉTODOS DE CONTROL.....	53
4: INFORMACIÓN GEOLÓGICA	55

4.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	55
4.2 GEOLOGÍA REGIONAL.....	57
4.2.1 FORMACIÓN GIRÓN (JG).....	58
4.3 GEOLOGÍA LOCAL.....	64
4.4 TECTÓNICA.....	65
4.4.1 LITOLOGÍA.....	66
4.4.2 SISTEMA DE FALLAS DE BUCARAMANGA – SANTA MARTA	67
4.4.3 SISTEMA DE FALLAS DEL SUÁREZ	68
5: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA Y GEOTÉCNICA DEL TALUD	
ROCOSO.....	73
5.1 ZONIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO	73
5.1.1 ZONA # 1 (N1).....	74
5.1.2 ZONA # 2 (N2).....	74
5.1.3 ZONA # 3 (N3).....	74
5.1.4 ZONA # 4 (N4).....	75
5.2 CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DEL TALUD	76
5.2.1 ORIENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES	76
5.3 DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMECÁNICOS	81
5.3.1 ÍNDICES PARA DESCRIBIR LAS DISCONTINUIDADES DE LOS MACIZOS ROCOSOS.....	82
5.4 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL TALUD ROCOSO.....	88
5.4.1 CLASIFICACIÓN RMR (BIENIAWSKI, 1978) DEL MACIZO ROCOSO.....	88
5.4.2 PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN RMR	89
5.5 DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	91
5.5 CLASIFICACIÓN GEOTECNICA DEL TALUD ROCOSO	92
5.5.1 EXPLORACIÓN DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO.....	92
6: CAUDAL DE DISEÑO DE OBRAS DE INTERCEPTACION Y CONTROL	
DE AGUAS DE ESCORRENTIA.....	95
7: MODELACIÓN EN EL SOFTWARE SWEDGE DE ROCSCIENCE Y	
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	97
7.1 GENERALIDADES SOTWARE SWEDGE:	97
7.2 ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS:	98
8: DISEÑOS.....	102
8.1 DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE INTERCEPTACIÓN	
(ZANJAS O CUNETAS DE CONTROL DE ESCORRENTÍA)	102
8.1.1 GENERALIDADES.....	102
8.1.2 METODOLOGÍA Y DISEÑO.....	102
8.1.3 DISEÑO ESTRUCTURAL DE CUNETAS:.....	104
9: CONCLUSIONES.....	107
10. RECOMENDACIONES.....	109
11. BIBLIOGRAFIA	111
ANEXOS.....	114

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: DESCRIPCIÓN DEL ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES.	83
TABLA 2: DESCRIPCIÓN DE LA CONTINUIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES.....	84
TABLA 3: DESCRIPCIONES DE LA ABERTURA EN LAS DISCONTINUIDADES.	86
TABLA 4: RELACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DEL TALUD ROCOSO Y SU RELACIÓN CON LA COHESIÓN Y ÁNGULO DE ROZAMIENTO (O FRICCIÓN INTERNA, ϕ), SEGÚN EL RMR	88
TABLA 5: CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS EN BASE A LA COMPRESIÓN SIMPLE.	94
TABLA 6: RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO	196
TABLA 7: COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA	199
TABLA 8. PERIODO DE RETORNO	200
TABLA 9. CARACTERÍSTICAS DE CUNETAS Y ALCANTARILLAS COMUNES.....	201
TABLA 10. VALORES DE COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING	201
TABLA 11. VELOCIDADES ADMISIBLES EN CUNETAS	202

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1: PANORÁMICA DE LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO.....	31
FOTOGRAFÍA 2: ÁREA DE INFLUENCIA DEL TALUD.....	40
FOTOGRAFÍA 3: ILUSTRACIÓN DE CONCRETO LANZADO.....	52
FOTOGRAFÍA 4: ILUSTRACIÓN COLOCACIÓN MALLA DE PROTECCIÓN.....	53
FOTOGRAFÍA 5: TRINCHERAS PARA EL CONTROL DE FLUJO, CAÍDOS O AVALANCHAS.....	54
FOTOGRAFÍA 6: MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN DE LA GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	55
FOTOGRAFÍA 7: ZONIFICACIÓN MACIZO ROCOSO.....	73
FOTOGRAFÍA 8: MACIZO ROCOSO DE LAS DIFERENTES ZONIFICACIONES (1, 2, 3 Y 4).....	75
FOTOGRAFÍA 9: TOMA DE LOS DATOS ESTRUCTURALES RUMBO Y BUZAMIENTO.....	76
FOTOGRAFÍA 10: CATALOGO DE FALLAS.....	77
FOTOGRAFÍA 11: BLOQUES EN CUÑA FORMADOS POR FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES.....	80
FOTOGRAFÍA 12: BLOQUES MUY PEQUEÑOS EN CUÑA FORMADOS POR FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES DE LA ZONA.....	81
FOTOGRAFÍA 13: EJEMPLO DE ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES EN EL AFLORAMIENTO.....	82
FOTOGRAFÍA 14: EJEMPLO DE ESPACIADO DE DISCONTINUIDADES EN EL AFLORAMIENTO.....	83
FOTOGRAFÍA 15: EJEMPLO DE LA CONTINUIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES EN EL AFLORAMIENTO.....	84
FOTOGRAFÍA 16: DISCONTINUIDAD “ONDULADA - RUGOSA” EN EL AFLORAMIENTO DE LA ZONA 2.....	85
FOTOGRAFÍA 17: ABERTURA DE DISCONTINUIDAD SIN RELLENO.....	85
FOTOGRAFÍA 18: DISCONTINUIDAD “PLANA-RUGOSA”, CON ABERTURA “ANCHA” Y RELLENO “ARCILLOSO BLANDO”.....	86
FOTOGRAFÍA 19: DISCONTINUIDAD “PLANA-RUGOSA”, CON ABERTURA “ANCHA” Y RELLENO “ARCILLOSO BLANDO.”.....	87
FOTOGRAFÍA 20: FILTRACIONES EN DIFERENTES ZONAS DEL MACIZO CON GOTEO SUPERFICIAL.....	87
FOTOGRAFÍA 21: EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS CILÍNDRICOS DE LAS DIFERENTES ZONAS DEL MACIZO.....	93
FOTOGRAFÍA 22: SUB ZONAS DEL TALUD DEL TALUD ROCOSO.....	117
FOTOGRAFÍA 23: MODELO DIGITAL DEL TALUD EN SITUACIÓN PASADA, PRESENTE Y FUTURA.....	219
FOTOGRAFÍA 24: MODELO DIGITAL DEL TALUD EN SITUACIÓN PASADA, PRESENTE Y FUTURA.....	220
FOTOGRAFÍA 25: MODELO DIGITAL DEL TALUD EN SITUACIÓN PASADA, PRESENTE Y FUTURA.....	221
FOTOGRAFÍA 26: MODELO DIGITAL DEL TALUD EN SITUACIÓN PASADA, PRESENTE Y FUTURA.....	222
FOTOGRAFÍA 27: MODELO DIGITAL DEL TALUD EN SITUACIÓN PASADA, PRESENTE Y FUTURA.....	223

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DEL PRESENTE ESTUDIO, UBICADO EN EL SECTOR ALTO DE LA VEREDA CARRIZAL, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE GIRÓN.....	30
FIGURA 2: ESQUEMATIZACIÓN MÉTODO DE LAS ISOYETAS.	44
FIGURA 3: ESQUEMA DE MÉTODOS DE ESTABILIDAD EN TALUDES ROCOSOS.	47
FIGURA 4: ESQUEMA DE MÉTODOS DE ESTABILIDAD EN TALUDES ROCOSOS	48
FIGURA 5: ESQUEMA DE APLICACIÓN EN ESTABILIDAD EN TALUDES ROCOSO	49
FIGURA 6: MAPA GEOLÓGICO REGIONAL ADYACENTE AL ÁREA DEL PRESENTE ESTUDIO.	57
FIGURA 7: ESQUEMA GENERAL DE ÁREAS OCUPADAS POR LAS FORMACIONES GIRÓN Y LA QUINTA. DE ACUERDO CON LOS MAPAS GEOLÓGICOS REGIONALES DE COLOMBIA (1962) Y VENEZUELA (1955) DESCRITOS POR CEDIEL.	58
FIGURA 8: CORTE GEOLÓGICO ESQUEMÁTICO DE LA SECCIÓN TIPO DE LA FORMACIÓN GIRÓN.....	60
FIGURA 9: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADAS LEVANTADAS POR CEDIEL EN 1968.....	63
FIGURA 10: BLOQUE ESQUEMÁTICO INDICATIVO 3D DE LA GEOMETRÍA Y CINEMÁTICAS DE LAS PLACAS LITOSFÉRICAS DEBAJO DE LA CORDILLERA ORIENTAL Y NORESTE COLOMBIANO.....	65
FIGURA 11: REPRESENTACIÓN ESTEREOGRÁFICA DE LOS PLANOS DE DISCONTINUIDAD CARACTERÍSTICOS DE LA ZONA 1, 3 Y 4.	79
FIGURA 12: REPRESENTACIÓN ESTEREOGRÁFICA DE LOS PLANOS DE DISCONTINUIDAD CARACTERÍSTICOS DE LA ZONA 2, CON RESPECTO A LA ORIENTACIÓN DEL MACIZO ROCOSO. ..	80
FIGURA 13: DETALLE DE LA ZANJA DE CORONACIÓN PARA EL TALUD.....	106
FIGURA 14: CURVA IDF REPRESENTATIVA PARA LA INTENSIDAD DE LA LLUVIA.	198
FIGURA 15: ZONA 1, MODELADO BAJO CONDICIONES NORMALES.....	204
FIGURA 16: ZONA 1, MODELADO BAJO CONDICIONES SATURADAS Y LA ACCIÓN SÍSMICA.	205
FIGURA 17: ZONA 2, MODELADO BAJO CONDICIONES NORMALES.....	206
FIGURA 18: ZONA 2, MODELADO BAJO CONDICIONES SATURADAS Y ACCIÓN SÍSMICA.	207
FIGURA 19: ZONA 2, MODELADO BAJO CONDICIONES SATURADAS Y ACCIÓN SÍSMICA; ESTABILIZADA CON RECUBRIMIENTO EN CARA DE CONCRETO.....	208
FIGURA 20: ZONA 2, MODELADO BAJO CONDICIONES SATURADAS Y ACCIÓN SÍSMICA; ESTABILIZADA CON ANCLAJES	209
FIGURA 21: ZONA 3, MODELADO BAJO CONDICIONES NORMALES.....	210
FIGURA 22: ZONA 3, MODELADO BAJO CONDICIONES SATURADAS Y ACCIÓN SÍSMICA.	211
FIGURA 23: ZONA 3, MODELADO BAJO CONDICIONES SATURADAS Y ACCIÓN SÍSMICA; ESTABILIZADA CON RECUBRIMIENTO EN CARA DE CONCRETO.....	212
FIGURA 24: ZONA 3, MODELADO BAJO CONDICIONES SATURADAS Y ACCIÓN SÍSMICA; ESTABILIZADA CON PERNOS DE ANCLAJE.....	213
FIGURA 25: ZONA 4, MODELADO BAJO CONDICIONES NORMALES.....	214
FIGURA 26: ZONA 4, MODELADO BAJO CONDICIONES SATURADAS Y LA ACCIÓN SÍSMICA.	215
FIGURA 27: ZONA 4, MODELADO BAJO CONDICIONES SATURADAS Y LA ACCIÓN SÍSMICA; ESTABILIZADA CON CARA DE CONCRETO.	216

FIGURA 28: ZONA 4, MODELADO BAJO CONDICIONES SATURADAS Y LA ACCIÓN SÍSMICA;
ESTABILIZADA PERNOS DE ANCLAJE..... 217

RESUMEN

TÍTULO: ESTABILIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA EN EL SECTOR PEAJE AEROPUERTO PALONEGRO - MUNICIPIO DE GIRÓN EN EL TRAMO COMPRENDIDO DESDE K 65+420 HASTA EL K 65+490) *

AUTOR: ANDRES EDUARDO ESTUPIÑAN EUGENIO - NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ
**

PALABRAS CLAVES: Talud, macizo rocoso, estabilidad de taludes, topografía, geología.

CONTENIDO: El presente proyecto de grado que tiene una modalidad de investigación, ostenta por finalidad realizar un análisis de estabilidad del talud rocoso de la vía Barrancabermeja - Bucaramanga en el sector peaje aeropuerto Palonegro - Municipio de San Juan de Girón en el tramo comprendido desde **k 65+420 hasta el k 65+490**. En base a este análisis de estabilidad de taludes se pretende establecer las posibles soluciones a los problemas específicos del mismo.

Para hacer una correcta evaluación de la problemática de la zona en estudio se ha hecho una recopilación de información bibliográfica, topográfica, geológica y geomorfológica, que permitió modelar el talud en estudio. Con el fin de lograr este objetivo se han utilizado programas de computación de la casa **Rocscience**; además, se ha realizado un trabajo de campo para determinar mediante un catálogo de discontinuidades, caracterizaciones litológicas y ensayos básicos de la mecánica de rocas los parámetros Geomecánicos y Geotécnicos del talud rocoso.

Una vez concluido el análisis de las problemáticas de la zona en estudio se procede a realizar un análisis de las tres (3) posibles alternativas de solución que pueden ser aplicadas para lograr una correcta estabilización del talud rocoso, así como obras de interceptación y control de aguas superficiales y subterráneas.

De esta manera se pudo realizar un análisis comparativo de cada una de las tres soluciones planteadas y determinar en base a parámetros técnicos cual podría ser la solución más adecuada para la zona en estudio

***Proyecto de Grado**

****Faculta** Físico mecánicas **Escuela** Ingeniería civil **Director** Luis Alberto Capacho Silva
Codirector Orlando Ardila Ariza

ABSTRACT

TITLE: ROCKY SLOPE STABILIZATION GEOTECHNICAL BARRANCABERMEJA TRACK - SECTOR TOLL BUCARAMANGA PALONEGRO AIRPORT - MUNICIPALITY OF GIRÓN IN THE SECTION FROM K 65 + 420 TO K 65 + 490) *

AUTHORS: ANDRES EDUARDO EUGENIO ESTUPINAN - MURCIA ALEJANDRA NATY PAEZ**

KEY WORDS: slope, rock mass, slope stability, topography, geology.

CONTENT: This project has a grade that kind of research, intended boasts an analysis of slope stability Barrancabermeja rocky road - Bucaramanga airport toll sector Palonegro - Municipality of San Juan de Girón in the stretch from 65 + k 65 k 420 to +490. Based on this slope stability analysis is to establish the possible solutions to the specific problems of the same stretch.

To make a proper assessment of the problem of the study area has become a collection of bibliographic information, topographic, geological and geomorphological modeling allowing the batter into study. In order to achieve this goal have used computer programs Rocscience house, also has conducted field work to determine a catalog of discontinuities, lithological characterization and testing of basic rock mechanics and geomechanical parameters Geotechnical rocky slope.

After the analysis of the problems of the area under study proceeds to an analysis of the three (3) possible solutions that can be applied to achieve a correct rocky slope stabilization and works interception and control surface water and groundwater.

In this way it was possible to make a comparative analysis of each of the three proposed solutions and determine based on technical parameters which may be the most suitable for the study area.

* **Graduation Project**

** **Faculty Physical mechanical School Civil Engineering Director Luis Alberto Capacho Silva Codirector Orlando Ardila Ariza**

1: INTRODUCCIÓN

El creciente desarrollo urbano de la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana generan la necesidad apremiante de contar con vías apropiadas para satisfacer los requerimientos de transporte de personas y carga; esto ha desencadenado la construcción y ampliación de nuevas vías, para satisfacer dichas necesidades.

La vía Troncal del Magdalena medio que comunica Bucaramanga con Barrancabermeja, en el sector municipio de San Juan de Girón aeropuerto Palonegro fue intervenida para ampliación a doble calzada generándose grandes cortes a las laderas existentes junto a la vía, causando taludes de alta pendiente que necesitan de un análisis de estabilidad y medidas de control como es el caso del talud rocoso correspondiente al tramo comprendido desde el **k65+420 al k65+490** que es el objeto del presente estudio.

De acuerdo a los aspectos citados anteriormente, se hace necesario un análisis de estabilización del talud en mención, primordialmente determinar las causas de la posible inestabilidad y los factores que afecten la seguridad, como cambios en la geometría, composición y variaciones de saturación; por

esto a continuación se desarrollará un análisis con ayuda de herramientas computacionales, caracterizaciones geológicas y geotécnicas.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La estabilización de taludes hoy en día en Colombia cobra mayor importancia, debido a que en su gran mayoría estos generan dificultades en las vías y en zonas de alta pendiente, pues la geología y la geografía son tan diversas que generan grandes problemas de estabilidad en zonas donde hay intervención antrópica y que además proponen un desafío mayor a la hora de realizar grandes obras civiles.

La vía Troncal del Magdalena Medio que comunica Bucaramanga con Barrancabermeja, forma parte de un corredor agroindustrial y energético, ha sido afectada por deslizamientos provocados por la inestabilidad de taludes entre el sector del casco urbano del municipio de Girón al Peaje del Aeropuerto Palonegro, debido a esta situación se hace necesario profundizar en el análisis de estabilización del talud rocoso del tramo comprendido desde el k65+420 al k65+490, siendo éste el que más se acomoda a la orientación de esta investigación.

Según cifras oficiales por el corredor vial ya mencionado circulan diariamente un promedio de 7000 vehículos entre automóviles, buses, camiones y tracto camiones, además éste sirve al aeropuerto Palonegro que según estimaciones de la Aero civil, despachó 1'200.000 pasajeros para el 2012; hay que tener en cuenta que a lo largo del corredor se concentran grandes zonas industriales y de producción que al verse afectado el tráfico vehicular generaría pérdidas millonarias en los diferentes sectores económicos. Dentro de la afectación que generaría un deslizamiento potencial en la zona de influencia del talud, se verían afectadas obras de infraestructura vial, interconexión eléctrica y zonas de interés turístico e industrial.

En el desarrollo de este proyecto se estudiará y establecerá los parámetros principales que permitan analizar el comportamiento mecánico de las rocas; la elección del proyecto se fundamenta en la necesidad de aportar metodologías de estudio sobre temas de geotecnia básicos para el análisis de problemas de riesgo en taludes rocosos, de manera que se implementen métodos computacionales avanzados que permita simular situaciones de campo que den soluciones acertadas a los problemas de estabilidad.

1.2 ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA

El talud rocoso de la vía Barrancabermeja – Bucaramanga en el sector peaje Aeropuerto Palonegro - Municipio de San Juan de Girón en el tramo comprendido desde **k 65+420 hasta el k 65+490** fue generado inicialmente por la intervención realizada para ampliar la vía de calzada sencilla a una en doble calzada mediante un corte profundo hecho en la ladera existente.

Dentro del área de estudio existen fenómenos de geodinámica externa, producto de factores climatológicos, litológico-tectónicos y la acción erosiva natural presente en la zona, como son los deslizamientos, desprendimientos, rellenos, entre otros, que son potencialmente riesgosos para la vida y la integridad de los territorios adyacentes.

En gran parte, el talud presenta un alto grado de meteorización, y fracturamiento, estos actualmente comprometen su nivel de estabilidad, vulnerabilidad ante factores climáticos y tectónicos; dentro de su configuración estructural, se ve afectado por fallas satélites al sistema de fallas del Suarez, que ocasionan los procesos antes mencionados.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar el nivel de estabilidad del talud rocoso ubicado en la margen occidental de la vía Barrancabermeja - Bucaramanga en el sector peaje aeropuerto Palonegro - casco urbano municipio de Girón en el tramo comprendido desde **k 65+420** hasta el **k 65+490**, mediante el modelado en una herramienta computacional y así establecer las alternativas apropiadas para su estabilización.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las propiedades mecánicas de la roca con la implementación de los ensayos básicos para la caracterización de macizos rocosos en las diferentes litologías presentes en el talud.
- Realizar el reconocimiento geológico y análisis hidrológico de la zona de influencia ligada a la ubicación del talud.
- Definir los factores que intervinieron en la desestabilización del talud y las variables que lo afectan actualmente.
- Proponer las alternativas de solución apropiadas a las necesidades de estabilización y control del talud.

- Elaborar el modelado del talud con una herramienta computacional, basados en los datos obtenidos de los ensayos de caracterización de macizos rocosos y en la topografía

1.4 METODOLOGÍA

Con el propósito de cumplir con los objetivos planteados para la elaboración del proyecto, se disponen las actividades que se llevaron a cabo, mediante etapas que facilitaron la realización del proyecto de estudio; se siguieron las siguientes fases

FASE I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Se identificaron y valoraron los diversos estudios disponibles en la literatura mediante un análisis del estado del arte enfocado en la caracterización geológica y estabilización geotécnica de taludes rocosos.
- Se establecieron los lineamientos bajo los cuales se amparan los programas computacionales de la casa Rocscience usados en el modelado.

FASE II: RECONOCIMIENTO DEL SITIO Y TRABAJOS DE CAMPO

Reconocimiento de campo:

- Para el reconocimiento del sitio de interés se realizó un registro visual de diferentes taludes alternativos y por último se determinó la ubicación del sitio del talud objeto del presente estudio.
- Recopilación y análisis de la información existente.
- Se efectuaron recorridos de inspección al lugar de estudio, generando la zonificación para describir las zonas en donde se realizaron los estudios de campo.

Tipificación geológica regional y local:

- Se identificaron los parámetros geológicos del talud mediante:
 - ✓ **Geología regional:** Se determinó la cartografía geológica a escala que permitió determinar las unidades litoestratigráficas presentes en la **FORMACIÓN GIRÓN**.
 - ✓ **Geología local:** Se realizó el levantamiento de la columna estratigráfica y se obtuvo un perfil geológico detallado.

Inspección geológica:

- Se tomaron los datos estructurales de rumbo y buzamiento de las discontinuidades del talud dividido en 18 sub-zonas y se recolectaron muestras de roca para los ensayos, con el objeto de caracterizar el macizo rocoso.

FASE III: IMPLEMENTACIÓN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

Trabajos de Campo y Ensayos de Laboratorio:

- Con el objetivo de implementar los diferentes ensayos de la mecánica de rocas se llevó a cabo en el área de estudio 6 extracciones de núcleos con un saca-núcleos eléctrico para cada una de las zonas, distribuidos estratégicamente para la caracterización del macizo.
- De esta manera se realizaron ensayos de Contenido de humedad, Gravedad específica y Absorción, Porosidad y densidad, Desgaste en la máquina de los Ángeles, Resistencia a la compresión uniaxial, Resistencia a la Carga Puntual, Resistencia de los materiales rocosos sometidos a flexión mediante el Ensayo de la viga simplemente apoyada sometida a carga puntual en el centro, Resistencia al ataque de los sulfatos.

FASE IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Se caracterizó el macizo con base en la clasificación **RMR** con los datos generados en el laboratorio de rocas, se determinaron los parámetros y se hizo la modelación computacional, para evaluar la estabilidad del talud en los puntos críticos de estudio.

FASE V: ELABORACIÓN DOCUMENTO FINAL

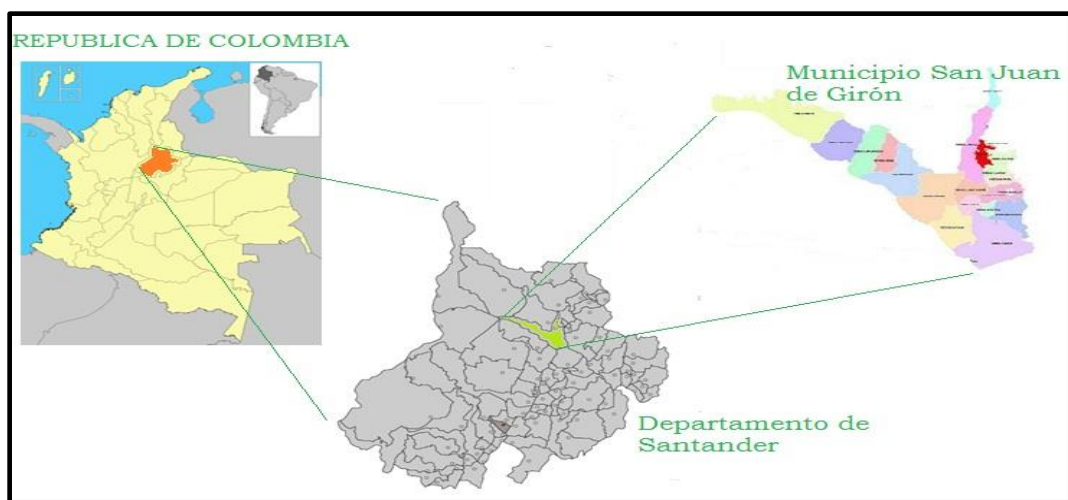
- Se redactó el informe final teniendo en cuenta una serie de parámetros que permitieron ser analizados para determinar las medidas a implementar en el macizo rocoso contemplando las diferentes fases propuestas en el desarrollo de esta investigación.

2: GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO

2.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

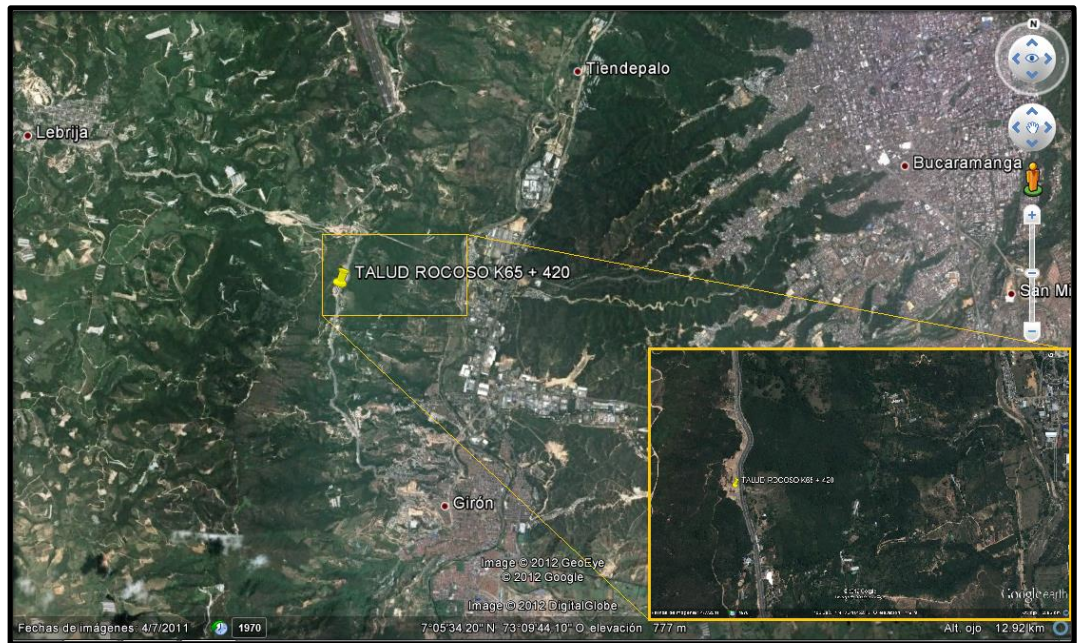
El Talud rocoso objeto del presente estudio se localiza en el sector Alto de la Vereda Carrizal, Municipio de San Juan de Girón, Santander. La zona de influencia del Talud se encuentra limitada al oriente por el Rio de Oro, y al occidente por el escarpe de la meseta natural del Municipio de Lebrija, además dentro de la zona confluye una vía troncal de importancia nacional, zonas de producción agrícola, ganadera, y de interés forestal, así como líneas de interconexión eléctrica. El área superficial esta georeferenciada con las coordenadas planas: **1'098.424 m E a 1'098.431 m .E. y 1'276.410 m N a 1'276.463 m. N.** Geológicamente se localiza en la zona de influencia de las Fallas de Bucaramanga- Santa Marta y sistema de fallas del Suarez.

Figura 1: Localización del área del presente estudio, ubicado en el sector alto de la Vereda Carrizal, Municipio de San Juan de Girón



Fuente: POT Municipio San Juan de Girón 2009.

Fotografía 1: Panorámica de localización del sitio de estudio.



Fuente: Google Earth. 2013.

2.2 TOPOGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se cuenta con información topográfica en mapas a escala 1:10000 suministradas por el **Instituto Geográfico Agustín Codazzi**, de los cuales no es fácil determinar la topografía antigua debido a esta escala: por ello se recurrió a fotografías aéreas- **000022 IGAC C-2492 - 000023 IGAC C-2492** (topografía antigua) tomadas en 1992 en el mes de noviembre en las cuales se observa las condiciones en las que se encontraba el talud (ladera) antes de la intervención causada por la ampliación de la doble calzada de la vía Bucaramanga-Barrancabermeja, las cuales se emplearon para tener una idea más clara de la topografía existente en esa época, debido a que un análisis de estabilidad de Taludes se realiza básicamente a través de perfiles topográficos transversales del área en estudio.

En el caso particular de este estudio se requirió conocer la topografía del talud mediante perfiles correspondientes al tramo K65+420 al K65+490 anterior al desmonte proveniente de la construcción de la ampliación de la doble calzada de la vía existente y la posterior a esta; que fue suministrada por la concesión vial **ZONA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**. El levantamiento topográfico actual ha sido realizado por los ponentes del proyecto y ha sido utilizada como base para el presente trabajo de investigación.

2.3 CLIMA DEL AREA DE ESTUDIO

El clima en el Sector Alto de la Vereda Carrizal está determinado por su topografía quebrada y por su altitud que oscila entre 1200 -1500 metros sobre el nivel del mar (msnm) y se encuentra enmarcado por el valle medio del Rio de Oro que se caracteriza por tendencia árida y bajas precipitaciones con el surgimiento de zonas de vegetación de tipo matorrales (rastros altos y bajos) sobre laderas empinadas. La temperatura anual promedio es de **24⁰ C**; además la zona climática es el pre montano templado, el cual contiene el piso térmico medio que se halla en toda la zona rural de Girón, sobre la parte alta del filo de la mesa de Lebrija.

2.4 ASPECTOS GEOGRÁFICOS

La Subregión a la cual pertenece el Municipio de San Juan de Girón, está además integrada por los Municipios de Bucaramanga, Lebrija, Floridablanca, Piedecuesta y los Santos. La Subregión determinada forma parte de la Provincia de Soto, en el Sector Nororiental del Departamento de Santander, conocida también como Región Oriental o Macizo de Santander.

Su relieve es fuertemente quebrado y escarpado, hidrológicamente pertenece a la cuenca del valle medio del Río Magdalena, cuenca superior del Río Lebrija y la cuenca media del Río Sogamoso. La cuenca superior de Lebrija posee las Subcuencas de Lebrija alto y Río de Oro, el municipio se encuentra sobre la vía que de Bucaramanga (capital del Departamento), conduce a Barrancabermeja.

3: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS³

Debido a la complejidad que presentan los macizos rocosos, diversos autores han intentado establecer sistemas de clasificación del mismo. Muchos de estos métodos han sido mejorados subsecuentemente; sin embargo la mayoría de estos se basa en observaciones cualitativas y por ello se hace muy importante una interpretación correcta, y experta, de las observaciones en terreno. Se presenta a continuación una revisión de los más importantes métodos de caracterización de macizos rocosos utilizados tanto en minería como en geotecnia y ellos son: **RQD, RMR, MRMR, GSI y SMR.**

3.1.1 RQD - Deere (1967)

El índice **RQD (Rock Quality Designation)** se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud en su eje, sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo; también se utiliza cuando el macizo está expuesto y se puede hacer una observación representativa de las características, midiendo sobre el macizo directamente y haciendo una correlación comparable a la prospección del sondeo.

3.1.2 RMR - Bieniawski (1989).

Bieniawski (1976) publicó una clasificación del macizo rocoso denominada Clasificación Geomecánica o Sistema Rock Mass Rating (RMR). Posteriormente este sistema ha sido mejorado hasta llegar a la versión de

³ MORALES C, Mario; Caracterización Geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento Franke: Capítulo 3; Pagina 6.

clasificación de Bieniawski (1989). Los siguientes 6 parámetros son utilizados para clasificar un macizo rocoso usando el sistema **RMR**.

- **Resistencia a la compresión uniaxial**
- **Valor del RQD**
- **Espaciamiento de discontinuidades**
- **Condición de discontinuidades.**
- **Aguas subterráneas**
- **Orientación de discontinuidades:**

3.1.3 MRMR - Laubscher (2000) ⁴

Laubscher desarrolló un sistema de clasificación basado en el RMR de **Bieniawski (de ahí el nombre de MRMR, Modified Rock Mass Rating)** que categorizaba desde cero (0) (muy mala) a cien (100) (muy buena). El método cambia la valoración de algunos parámetros y altera la determinación del espaciamiento de las discontinuidades con respecto a su predecesor. Además considera los esfuerzos in situ e inducidos y los efectos en el macizo producto de la tronadura y su alteración por exposición de la roca fresca al ambiente.

3.1.4 Q - Barton (1974)

Barton (1974) del Norwegian Geotechnical Institute, definió el Índice de Calidad de Túneles (Q) para la caracterización geotécnica del macizo rocoso y para la determinación del sostenimiento requerido para túneles. Los valores numéricos del Índice Q varían en escala logarítmica desde 0,001 hasta

⁴ MORALES C, Mario; Caracterización Geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento Franke: Capítulo 3; Pagina 6.

1.000, y se obtienen a través de parámetros que se relacionan a través de la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Dónde:

- **RQD:** Índice de calidad de roca.
- **Jn:** Número de sistemas de discontinuidades (Joint Set Number).
- **Jr:** Número de rugosidad de discontinuidades (Joint Roughness Number).
- **Ja:** Número de alteración de las discontinuidades (Joint Alteration Number).
- **Jw:** Factor de reducción por agua (Joint Water Reduction Factor).
- **SRF:** Factor de reducción por esfuerzos (Stress Reduction Factor).

El SRF es una medida de:

- La pérdida de carga en el caso en una excavación a través de una zona de falla y de roca con altos contenidos de arcillas.
- Los esfuerzos en roca competente
- Las cargas compresivas en rocas plásticas no competentes. El SRF puede ser considerado como un parámetro que considera una corrección por esfuerzos efectivos.

El parámetro **Jw** es una medida de la presión del agua, la que tiene un efecto adverso sobre la resistencia al corte de las discontinuidades debido a la reducción del esfuerzo normal. De esta forma, el Índice de Calidad de roca en túneles (**Q**), puede ser considerado en función de 3 parámetros, los que son una medidas aproximadas de:

- Tamaño del bloque (**RQD/Jn**)
- Resistencia al esfuerzo al corte entre bloques (**Jr/Ja**)
- Esfuerzos activos (**Jw/SRF**)

3.1.5 GSI - Hoek (1994) ⁵

El sistema **Índice Geológico de Resistencia (GSI, Geological Strength Index)** y su uso en el criterio de falla de **Hoek-Brown** ha sido, asociado a macizos de roca dura y equivalente al sistema **RMR**.

El **GSI** proporciona un sistema para estimar la disminución de la resistencia que presentaría un macizo rocoso con diferentes condiciones geológicas y se obtiene de la combinación de 2 parámetros geológicos fundamentales, la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades. En la práctica, es usual definir el **GSI** en rangos de ± 15 puntos. Además es posible establecer una relación del **GSI** con el caso del **RMR** de 1989, la que ha sido establecida de manera empírica. Si el rating de la condición de aguas es de 15 y el de la orientación de discontinuidades es de 0, se puede observar, siempre de forma aproximada, que se cumple la siguiente igualdad:

$$GSI = RMR * 89 - 5$$

3.1.6 SMR - Romano (1988).

El **Índice SMR** para la clasificación de taludes se obtiene del índice **RMR** básico sumando dos "factores de ajuste"; uno que es función de la orientación de las discontinuidades (y que es, a su vez, producto de tres sub factores) y otro conocido como "factor de excavación", el cual depende del método utilizado.

⁵ MORALES C, Mario; Caracterización Geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento Franke: Capítulo 3; Pagina 11.

$$SMR = RMR + (F1 + F2 + F3) + F4$$

- **F1** depende del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y de la cara del talud. Varía entre 1,00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja). Estos valores, establecidos empíricamente, se ajustan aproximadamente a la expresión:

$$F1 = [1 - \text{sen}(\alpha d) - \alpha s]^2$$

Donde αd y αs son los valores del buzamiento de la discontinuidad y del talud respectivamente.

- **F2** depende del buzamiento de la discontinuidad en la rotura plana. En cierto sentido es una medida de la probabilidad de la resistencia al esfuerzo de corte. Varía entre 1,00 (para discontinuidades con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para discontinuidades con buzamiento inferior a 20°).

$$F2 = [\tan^2(bd)]^2$$

Donde **bd** es el buzamiento de la discontinuidad. F2 vale 1,00 para las roturas por vuelco.

- **F3** refleja la relación entre los buzamientos de la discontinuidad y el talud. Se han mantenido los valores propuestos por Bieniawski en 1976 que son siempre negativos.
- **F4** se determina dependiendo el método de excavación.

3.1.7 CONSIDERACIONES FINALES.

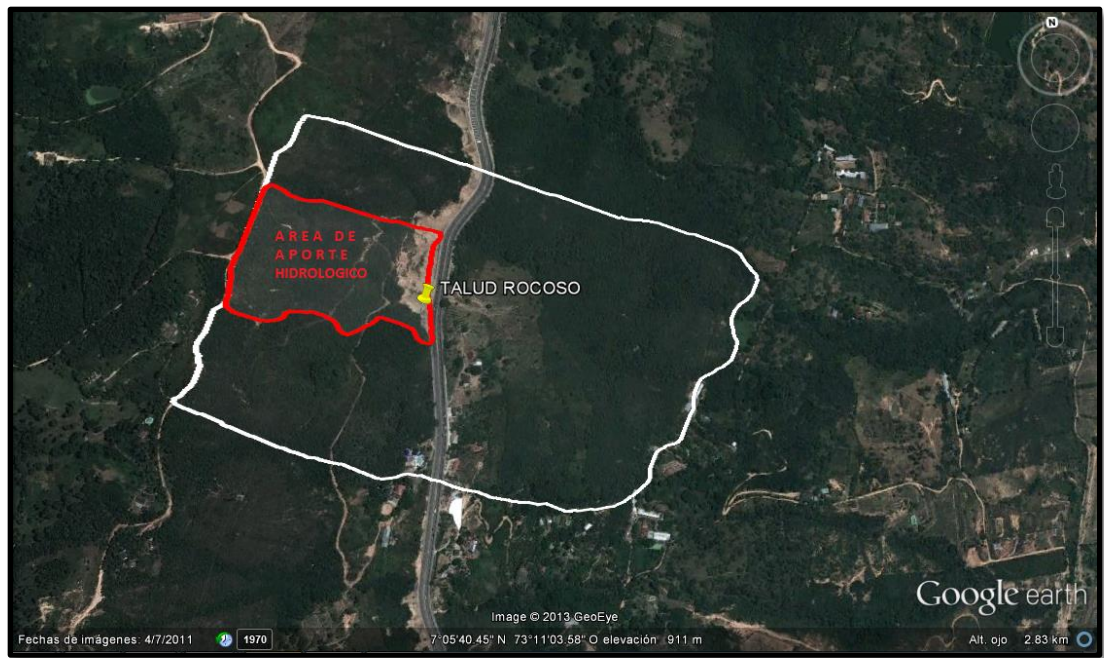
De acuerdo a la revisión de los diferentes métodos de clasificación del macizo rocoso, podemos extraer las siguientes consideraciones:

- **El RQD** es un parámetro direccional del grado de fracturamiento de un testigo de roca, o de una medición directa sobre la roca de las discontinuidades por lo tanto no debe ser considerado como una clasificación del macizo, sino como un valor necesario para determinar la clasificación en cualquiera de los cinco métodos siguientes propuestos. Dado que la presente clasificación se realizará de acuerdo a las mediciones hechas directamente sobre la roca, el RQD ha sido determinado de acuerdo al tercer procedimiento expuesto.
- **El MRMR** fue específicamente diseñado para establecer las condiciones de soporte en excavaciones subterráneas, por lo que entra en cierta ambigüedad cuando se trata analizar afloramientos o macizo expuestos superficialmente. Además para macizos de calidad pobre (MRMR <40) la clasificación puede ser altamente influenciada por el espaciamiento de las discontinuidades y la condición de aguas debido a la alta importancia que tienen estos parámetros en su determinación.
- **El Q de Barton** fue principalmente diseñado con motivo de entregar una recomendación en la construcción de túneles en obras civiles, y su aplicación en estabilización de taludes rocosos o en minería a cielo abierto es muy reducida. No considera además el espaciamiento de las discontinuidades ni el UCS de la roca intacta en forma directa, sólo lo hace a través del RQD.

- **EL RMR**, este índice se presenta como un método óptimo, respecto a las condiciones y variables que afectan el talud mencionado, puesto que su metodología se acopla muy bien a las características generales de clasificación de macizos rocosos que presenta el talud en mención.

3.2: ANALISIS HIDROLOGICO

3.2.1 AREA DE INFLUENCIA DEL TALUD



Fotografía 2: Área de influencia del talud.

Fuente: Google Earth 2013

El área de influencia que se muestra en la figura anterior, está dada en función a la afectación que puede ejercer el talud sobre ella, como es el caso de deslizamientos los cuales afectarían el sector oriental dentro de dicha área; de la misma manera se vería afectado el sector occidental por la

progresión de la inestabilidad hacia el escarpe y límite superior y un aumento hacia sus flancos por la misma dinámica del deslizamiento.

Dentro del área de influencia se encuentra el área de aporte o cuenca adyacente la cual cuenta con un área aproximada de 0.07976 km^2 y será usada para el cálculo de los caudales de diseño de las obras hidráulicas de control e interceptación de escorrentías.

3.2.2. INTENSIDADES DE PRECIPITACION.

Un primer factor, de gran importancia para la estimación de los parámetros hidrológicos, es la estimación de la precipitación media en un lapso de tiempo y distribución espacial dentro de la cuenca. Para calcular la precipitación promedio en una cuenca, es necesario analizar las series de datos de precipitación disponibles, al menos por 30 años, de las estaciones meteorológicas existentes dentro de la cuenca y su periferia. A partir de dicha información se puede ponderar la aportación espacial de cada sitio a través de los siguientes métodos:

3.2.2.1 MÉTODO MEDIA ARITMÉTICA.

Es el método más simple para obtener la precipitación media sobre una cuenca; consiste en efectuar un promedio aritmético de las cantidades de lluvia medidas en dicha áreas. Este método se recomienda en: regiones planas, con estaciones distribuidas uniformemente, con elevado número de pluviómetros y donde el gradiente de precipitación tenga una variación menor al 10% con respecto a la media.

3.2.2.2 POLÍGONOS DE THIESSEN:

Este método se basa en ponderar el valor de la variable climática en cada estación en función de un área de influencia, superficie que se calcula según un procedimiento de poligonación. El procedimiento asume que en el área de influencia, definida por la poligonal, ocurre el mismo valor de lluvia de aquel observado en la estación meteorológica más cercana. La ponderación se determina como:

$$D = \frac{\sum i * a_i * D_i}{A}$$

Dónde:

- **D** = altura de precipitación media, mm.
- **a_i** = área de influencia de la estación, Km²
- **D_i** = precipitación media en la estación i, mm.
- **A** = área total de la cuenca, Km²

3.2.2.3 MÉTODO DE LAS ISOYETAS:

Consiste en obtener, a partir de los datos de las estaciones meteorológicas, las líneas que unen los puntos con igual valor de precipitación (isoyetas). Este método, hasta donde la red de estaciones meteorológicas lo permita, proporciona un plano con la distribución real de la precipitación dentro de la cuenca (Figura x). El valor de la precipitación media, en la cuenca, se obtendrá a partir de la siguiente expresión:

$$D = \frac{\sum i^n * a_i * D_i}{A}$$

Dónde:

- **D** = altura de precipitación media, mm.
- **ai** = área entre dos isoyetas, Km²
- **Di** = precipitación media en la estación i, mm.
- **A** = área total de la cuenca, Km²

3.2.2.4 CURVAS DE INTENSIDAD DURACION Y FRECUENCIA (IDF)

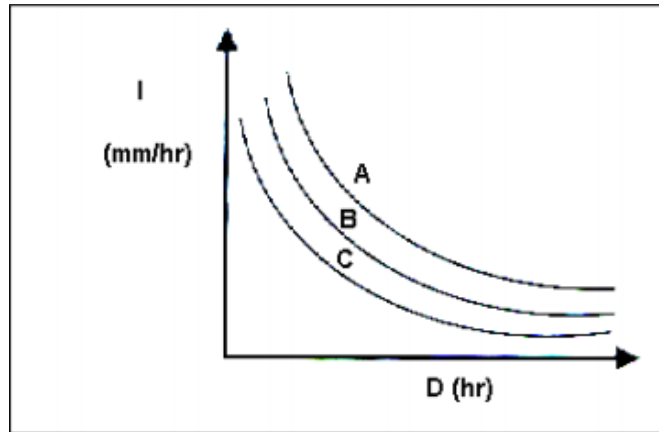
Son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (**Témez, 1978**). Junto con la definición de las curvas, surgen otros elementos a considerar, como son la intensidad de precipitación, la frecuencia o la probabilidad de excedencia de un determinado evento. En este sentido, se debe destacar que la intensidad, según **Chow et al (1994)**, se define como la tasa temporal de precipitación, o sea, la profundidad por unidad de tiempo (mm/hr), y ésta se expresa como:

$$i = \frac{P}{Td}$$

Dónde:

- **P** = Altura de la lluvia en mm o pulgadas.
- **Td** = Duración de la lluvia dada en Horas.

Figura 2: Esquematación método de las Isoyetas.



Fuente: http://eias.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/b_modulo_IDF.pdf

Dónde:

- **I** = Intensidad de la precipitación en mm/hr
- **D** = Duración en horas.
- **A, B y C** = Diferentes tiempos de retorno

3.2.3 DETERMINACION DE LOS CAUDALES DE DISEÑO

3.2.3.1 METODO RACIONAL

El método racional se utiliza en hidrología para determinar el Caudal Instantáneo Máximo de descarga de una cuenca hidrográfica.

La fórmula básica del método racional es:

$$Q_{\frac{m^3}{seg}} = \frac{C * I_{mm} * A_{Km^2}}{3.6}$$

Dónde:

- **C** = Coeficiente de escorrentía adimensional
- **I** = Intensidad de la lluvia para un periodo de retorno
- **A** = Area de la cuenca aportante km²

Esta fórmula empírica, por su simplicidad, es aun utilizada para el cálculo de alcantarillas, galerías de aguas pluviales, estructuras de drenaje de pequeñas áreas. También se usa en ingeniería de carreteras para el cálculo de caudales vertientes de la cuenca a la carretera o sobre un talud, y así poder dimensionar las obras de drenaje necesarias, siempre que la cuenca vertiente tenga un tiempo de concentración no superior a 6 horas.

3.2.4 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.

Este coeficiente adimensional **C** es definido como la relación entre la máxima rata a la cual fluye hacia afuera de la cuenca para una tormenta dada y la rata de volumen promedio a la cual cae la lluvia sobre una cuenca durante la duración de la lluvia. En la zona de estudio no se han realizado estudios que midan el coeficiente de escorrentía por ello se acude a la literatura para su determinación, de acuerdo a la **tabla 7 del ANEXO V** el coeficiente de escorrentía para esta sub-cuenta es **0.60**, ya que el lugar de estudio prácticamente no tiene infiltración debido a la exposición del macizo rocoso y a la falta de vegetación en la zona.

3.4 METODOS PARA ANALISIS DE ESTABILIDAD EN MACIZOS ROCOSOS⁶

3.4.1 MÉTODOS DEL CÁLCULO EN DEFORMACIONES

⁶ HERRERA R, Fernando; Guía de Cálculo de Estabilidad de Taludes: Capitulo 1; Pagina4.

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

3.4.2 METODO DE EQUILIBRIO LÍMITE

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

- **Métodos Exactos:** La aplicación de las leyes de la estática proporcionan una solución exacta del problema con la única salvedad de las simplificaciones propias de todos los métodos de equilibrio límite (ausencia de deformaciones, factor de seguridad constante en toda la superficie de rotura, etc.). Esto sólo es posible en taludes de geometría sencilla, como por ejemplo la rotura planar y la rotura por cuñas.
- **Métodos no Exactos:** El problema es hiperestático y ha de hacerse alguna simplificación o hipótesis previa que permita su resolución. Se pueden tener en cuenta así los métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizante, hoy en desuso, y los métodos de las dovelas o rebanadas, que consideran a la masa deslizante dividida en una serie de fajas verticales.

Los métodos de las dovelas o rebanas pueden clasificarse en dos grupos:

- ✓ **Métodos aproximados:** no cumplen todas las ecuaciones de la estática. Métodos Fellenius, Janbu y Bishop simplificado.

- ✓ **Métodos precisos o completos:** cumplen todas las ecuaciones de la estática. Los más conocidos son los de Morgenstern-Price, Spencer y Bishop riguroso.

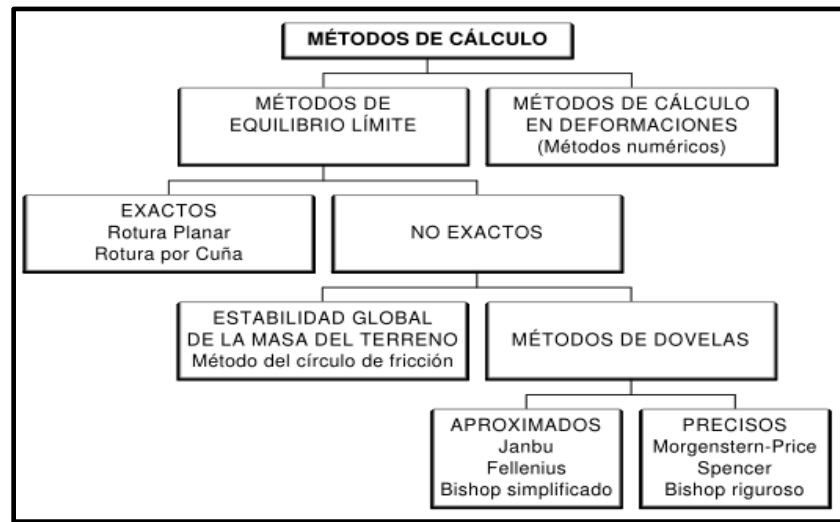


Figura 3: Esquema de métodos de estabilidad en Taludes Rocosos.

Fuente: Guía de cálculo de estabilidad de taludes rocosos.

Fernando Herrera Rodríguez.

3.4.3 TIPOS DE FALLA EN TALUDES ROCOSOS⁷

3.4.3.1 ROTURA PLANAR

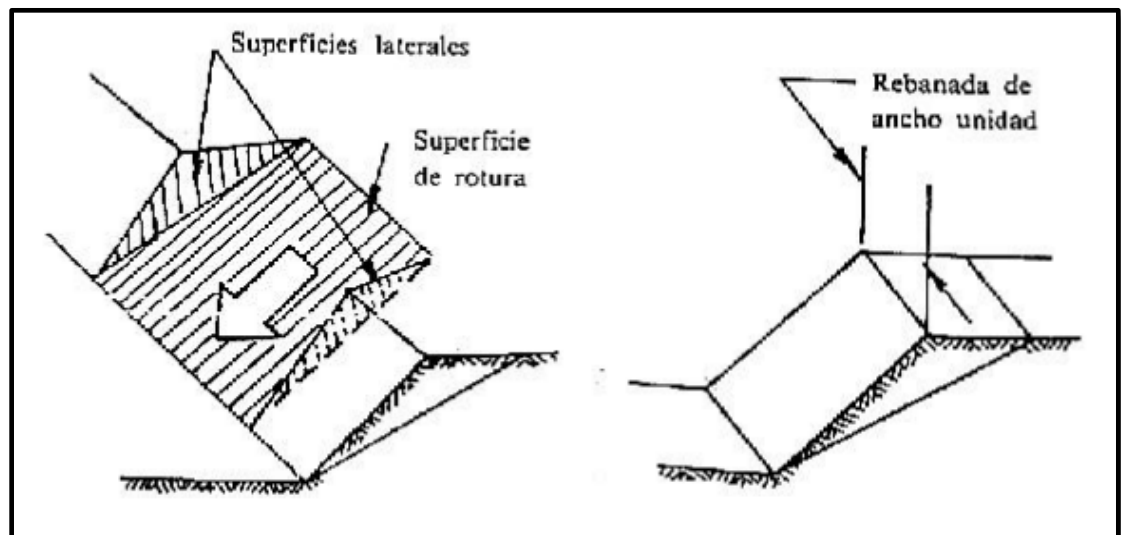
Se llama rotura planar o plana a aquella en la que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana. Es la más sencilla de las formas de rotura posibles y se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud. Frecuentemente se trata de fallas que interceptan al talud. También puede producirse en terrenos granulares en los que, entre dos terrenos de buenas características resistentes, se intercala un estrato de poco espesor de

⁷ HERRERA R, Fernando; Guía de Cálculo de Estabilidad de Taludes: Capítulo 1; Página 6.

material con menos resistencia. Este tipo de rotura no es muy frecuente, ya que deben darse las dos condiciones siguientes:

- Los rumbos o trazas horizontales del plano del talud y del plano de deslizamiento deben ser paralelos o casi paralelos, formando entre sí un ángulo máximo de 20° .
- Los límites laterales de la masa deslizante han de producir una resistencia al deslizamiento despreciable.

Figura 4: Esquema de métodos de estabilidad en Taludes Rocosos



Fuente: Guía de cálculo de estabilidad de taludes rocosos.

Fernando Herrera Rodríguez.

Estas condiciones permiten estudiar la estabilidad del talud como un problema bidimensional que se analiza considerando una rebanada de ancho unidad, limitada por dos planos verticales, perpendiculares al plano del talud.

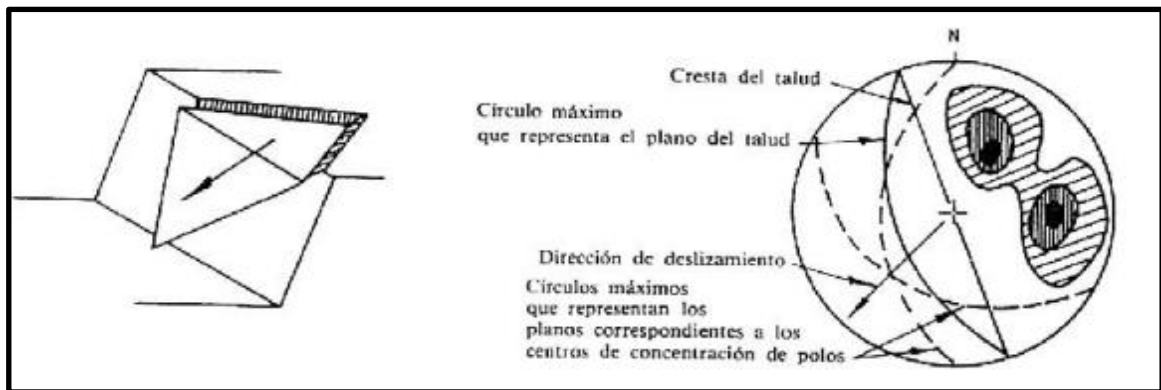
3.4.3.1 ROTURA EN CUÑAS.

Se denomina rotura por cuña, aquella que se produce a través de dos discontinuidades oblicuamente a la superficie del talud, con la línea de

intersección de ambas aflorando en la superficie del mismo y buzando en sentido desfavorable. Este tipo de rotura se origina preferentemente en macizos rocosos en los que se da una disposición adecuada, en orientación y buzamiento de las diaclasas.

Si proyectamos el plano del talud y las discontinuidades en una proyección semiesférica equiareal de Schmidt, la disposición típica de los casos en que es posible este tipo de rotura, es como el que aparece en la figura adjunta. En ella se aprecian dos familias de discontinuidades de rumbos oblicuos respecto al del talud, quedando el rumbo de éste comprendido entre los de las familias de discontinuidades.

Figura 5: Esquema de aplicación en estabilidad en Taludes Rocosos



Fuente: Guía de cálculo de estabilidad de taludes rocosos.

Fernando Herrera Rodríguez.

3.5 ALGUNOS MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN Y CONTROL EN TALUDES ROCOSOS⁸

La estabilización de los macizos rocosos puede lograrse mediante refuerzo del macizo utilizando elementos estructurales, conformación de la superficie del talud o construyendo obras de drenaje y/o subdrenaje. Debido a la complejidad del comportamiento de los macizos rocosos es difícil evaluar cuantitativamente la efectividad de los métodos de estabilización.

3.5.1 MÉTODO DE ESTABILIZACIÓN

- **PERNOS**

Los pernos son barras de refuerzo que se cementan dentro de perforaciones formando una dovela de concreto reforzada para prevenir que se suelte un bloque de roca en la cresta de un talud

Estos pernos son comúnmente varillas de acero colocadas en huecos pre-perforados, inyectando una resina epóxica o cemento; las varillas generalmente no son tensionadas, debido a que la roca puede moverse al colocar la tensión. Se utiliza acero de alta resistencia en diámetros que varían desde ½ a 1.5 pulgadas.

El objetivo de los pernos es el de generar un refuerzo o resistencia a la tensión dentro del macizo, uniendo las discontinuidades. Los pernos también pueden utilizarse para sostener cables, mallas y otros elementos de soporte del macizo. El principal uso de los pernos es el de sostener bloques para impedir su deslizamiento o caída. Igualmente se pueden sostener cuñas o grandes masas de roca. En el diseño de los pernos se deben tener en cuenta, entre otros, los siguientes elementos:

- ✓ Perforación

⁸ SUAREZ D, Jaime; Deslizamientos: Técnicas de Remediación: Capítulo 10; Pagina339.

- ✓ Dimensiones del perno
- ✓ Protección contra la corrosión
- ✓ Tipo de cementante
- ✓ Longitud total y del bulbo cementado
- ✓ Patrón de anclaje
- ✓ Procedimiento de prueba de carga

- **ANCLAJES TENSIONADOS**

Este método consiste en la colocación dentro del macizo de roca y muy por debajo de la superficie de falla real o potencial de una serie de tirantes de acero anclados. Estos anclajes generalmente utilizan cable de acero, los cuales se colocan en huecos pre-perforados e inyectados, tensados por medio de gatos en la superficie. Los anclajes generan fuerzas de compresión que aumentan la fricción y/o contrarrestan la acción de las fuerzas desestabilizadoras. En superficie las anclas se apoyan en platinas de acero o en bloques o zapatas de concreto armado, para permitir su anclaje y transmitir la carga al suelo subsuperficial.

Los anclajes tensionados impiden el deslizamiento de bloques de roca a lo largo de un plano de estratificación o fractura. La fuerza de tensionamiento depende de la longitud y características del anclaje y no es raro utilizar fuerzas hasta de 50 toneladas por ancla.

- **CONCRETO LANZADO**

Para minimizar el desprendimiento de bloques y el deterioro de la superficie del macizo puede utilizarse el concreto lanzado. Se denomina concreto proyectado al mortero colocado por bombeo a presión con agregados hasta de 20 mm de diámetro.

Cuando el mortero utiliza partículas de menor tamaño se le denomina “gunita”. El concreto o gunita generalmente, se aplica en capas de 8 a 10 centímetros de espesor. Este concreto ayuda a sostener los bloques del macizo en su puesto, actuando como una membrana soportada por la resistencia a la tensión y al cortante del mortero. La membrana no actúa por sí sola como estructura de contención y no hay transferencia de cargas de la masa de roca a la membrana de concreto. La pantalla de concreto proyectado actúa como refuerzo superficial y no como contención.

Es importante limpiar la superficie del talud antes de colocar el concreto. Se deben instalar perforaciones o “lloraderos” a través de la membrana de concreto para impedir la formación de presiones de agua detrás de esta. Para obtener mejores resultados se recomienda colocar el concreto inmediatamente después de realizada la excavación. Se prefiere que la superficie se encuentre seca.

Fotografía 3: Ilustración de concreto lanzado



Fuente: Proponentes del Proyecto.

3.5.2 MÉTODOS DE CONTROL

- **MALLAS ANCLADAS**

Son mallas exteriores de alambre galvanizado ancladas con pernos para evitar la ocurrencia de desprendimientos de bloques de roca o material; debe tenerse en cuenta que los anclajes de mallas protegen de la caída de bloques superficiales, pero no representan estabilidad para el caso de fallas de bloques grandes o movimientos de grandes masas de suelo o roca.

Las mallas deben usarse solamente en los casos en que ésta queda en contacto directo con la superficie del talud para formar un contacto continuo en toda el área protegida de la fachada del talud. En el caso de la presencia de áreas de bloques pequeños sueltos se deben intensificar los anclajes en estas áreas. Un sistema de soporte de grandes bloques es el amarrarlos con cables individuales anclados al talud.

Fotografía 4: Ilustración colocación malla de protección.



Fuente: Proponentes del Proyecto

- **DESCARGUE DE LA PARTE SUPERIOR DEL MACIZO**

Cuando la parte superior del talud está compuesta por roca muy fracturada o meteorizada, puede ser efectivo tender el talud en la parte superior o construir una berma alta. Estas bermas requieren comúnmente anchos de aproximadamente cinco metros para permitir el trabajo de las

retroexcavadoras o buldóceres. Igualmente, se puede requerir excavar una vía de acceso para los equipos. Para el diseño de los descargues generalmente, se utilizan análisis de equilibrio límite.

- **TERRACEO**

La construcción de bermas o gradas puede mejorar la estabilidad general del talud en roca. Generalmente, se trata de remover las masas sueltas o inestables y de producir una nueva superficie del talud que impida o controle los caídos de roca. En ocasiones, este trabajo es muy difícil y se requiere de operarios especializados en alpinismo.

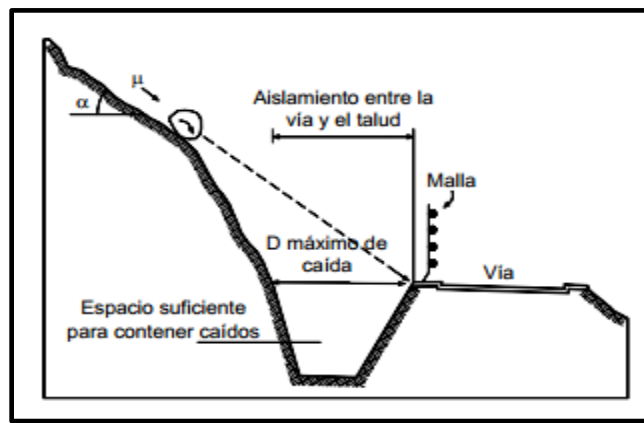
- **TRINCHERAS**

Una trinchera o excavación en el pie del talud puede impedir que la roca afecte la calzada de una vía y representa una solución muy efectiva cuando existe espacio adecuado para su construcción. Se requiere diseñar el ancho, profundidad, pendiente y capacidad de almacenamiento de la trinchera.

El ancho y profundidad de las trincheras está relacionado con la altura y la pendiente del talud

Fotografía 5: Trincheras para el control de flujo, caídos o avalanchas

Fuente: SUAREZ D, Jaime; Deslizamientos: Técnicas de Remediación



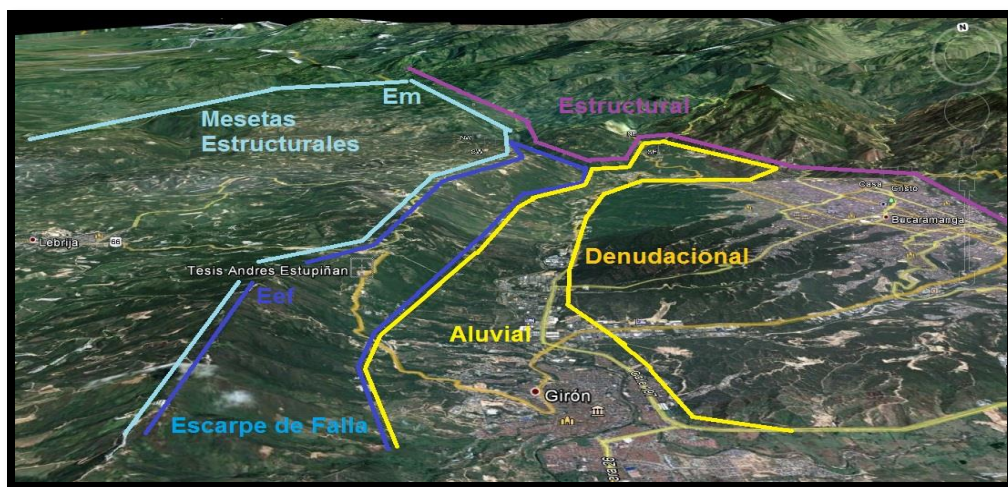
4: INFORMACIÓN GEOLÓGICA

4.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Para cumplir con los objetivos planteados en el presente proyecto se realizó un análisis geomorfológico utilizando la metodología para la cartografía geomorfológica aplicada mediante unidades homogéneas del terreno definidas por parámetros físicos de base, como la geología; además tomamos como referencia las unidades y descripciones del trabajo regional denominado “Zonificación de la Amenaza por Movimientos de remoción en Masa de Algunas Laderas de los Municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta”, cuya fuente es la metodología del ITC de Holanda **(Verstappen y Van Zuidam de 1975)**.

A continuación se presenta el modelo digital de elevación, donde se identifican claramente los tipos de vegetación y la Geomorfología Estructural, Denudacional, Aluvial y Antrópica. Modelado de Google Earth, 2012.

Fotografía 6: Modelo digital de elevación de la Geomorfología regional.



Fuente: Google Earth 2013

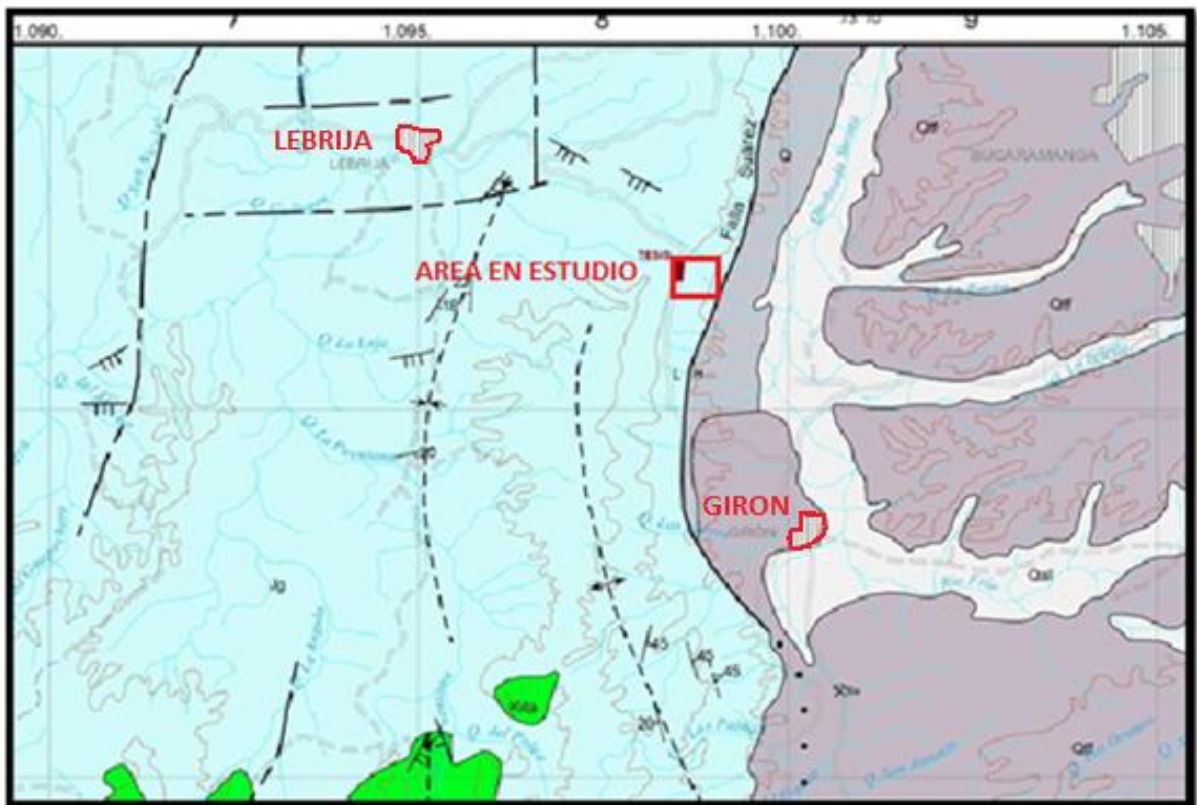
De acuerdo a las observaciones de campo panorámicas, los datos existentes y el presente modelo digital extraído de Google Earth 2012, se identificaron seis (6) áreas geomorfológicamente similares y de gran extensión.

- Las geomorfologías antrópicas dadas por las cabeceras municipales de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Lebrija.
- Las geomorfologías denudacionales están representadas principalmente en los escarpes occidentales de la ciudad de Bucaramanga en los cuales el depósito del abanico aluvial se expone a los agentes erosivos.
- Las geomorfologías aluviales presentes en esta región son principalmente los depósitos de terrazas y llanuras de inundación paralelas al cauce del río de Oro actual y también los provenientes del sector de la meseta de la ciudad de Bucaramanga
- Las geomorfologías estructurales se dividen en tres grandes zonas:
 - El escarpe de falla del aeropuerto de Bucaramanga.
 - Las mesetas estructurales.
 - Los lomos y cimas al este de la falla Bucaramanga-Santa Marta, correspondiente a las rocas cristalinas (ígneas y metamórficas) del Macizo de Santander

4.2 GEOLOGÍA REGIONAL

En el área de estudio, se identificaron regionalmente las unidades litoestratigráficas de edades Jurásico – Cretácicas y Cuaternarias, que son las Formaciones sedimentarias denominadas Formación Girón y Los Santos; también los Depósitos Aluviales-Coluviales.

Figura 6: Mapa geológico regional adyacente al área del presente estudio.



*Mapa geológico regional entre los municipios de Girón y Lebrija, el punto rojo es el área correspondiente al presente proyecto, plancha 120-II-A en escala 1:25.000 del IGAC (INGEOMINAS, 1973).

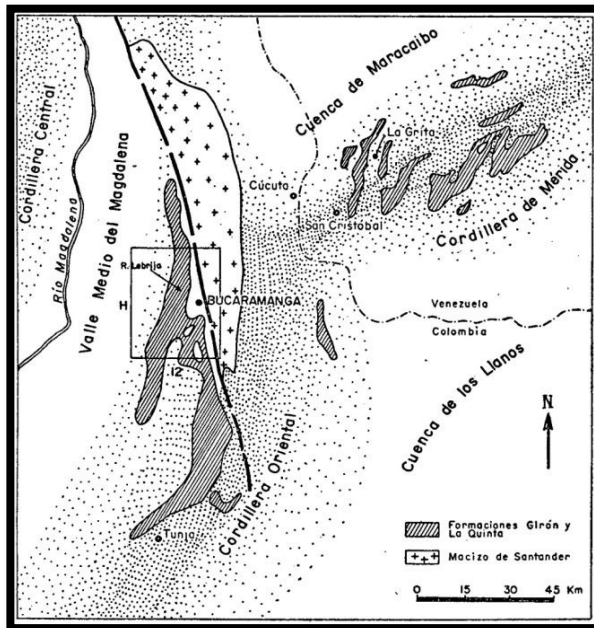
A continuación se describen las características de las anteriores unidades, tales como: definición de la unidad, descripción geológica de la Unidad,

petrografía, edad y correlaciones, de acuerdo con la información disponible. Solo se han actualizados los códigos de las unidades litoestratigráficas

4.2.1 FORMACIÓN GIRÓN (JG)

El nombre “Girón Series” fue usado inicialmente por Hettner en el año 1892, para designar a un conjunto grueso de areniscas, conglomerados y limolitas de color marrón rojizo que se encuentran ampliamente expuestas al oeste de la ciudad y falla de Bucaramanga y toma su nombre por el municipio de Girón. También fueron incluidas rocas que ahora se reconocen como de las formaciones Bocas, Jordán y Los Santos. La serie fue considerada en ese momento como de edad Cretácico Inferior.

Figura 7: Esquema general de áreas ocupadas por las Formaciones Girón y La Quinta. De acuerdo con los mapas geológicos regionales de Colombia (1962) y Venezuela (1955) descritos por Cediel.



Fuente: Boletín Geológico Volumen XVI. 1968.

4.2.1.1. SECCIÓN TIPO

GENERALIDADES

Aproximadamente a 20 kilómetros al Norte de capital santandereana, en la localidad Bocas (corregimiento de Bocas) confluyen los ríos Negro y de Oro para formar el río Lebrija. Este se dirige inmediatamente hacia el Oeste por un valle en V, angosto y profundo (cañón del río Lebrija). Los afloramientos creados por el río, los destapes y canteras hechas para la construcción de la línea del ferrocarril (Bocas-Conchal) permiten observar directamente la sucesión de rocas presentes en esa región (Figuras. 8 y 9). Los valles de algunas quebradas afluentes, como la quebrada Honda, Angula y Piedra Azul, complementan, por los menos en trayectos considerables, los afloramientos a lo largo del río.

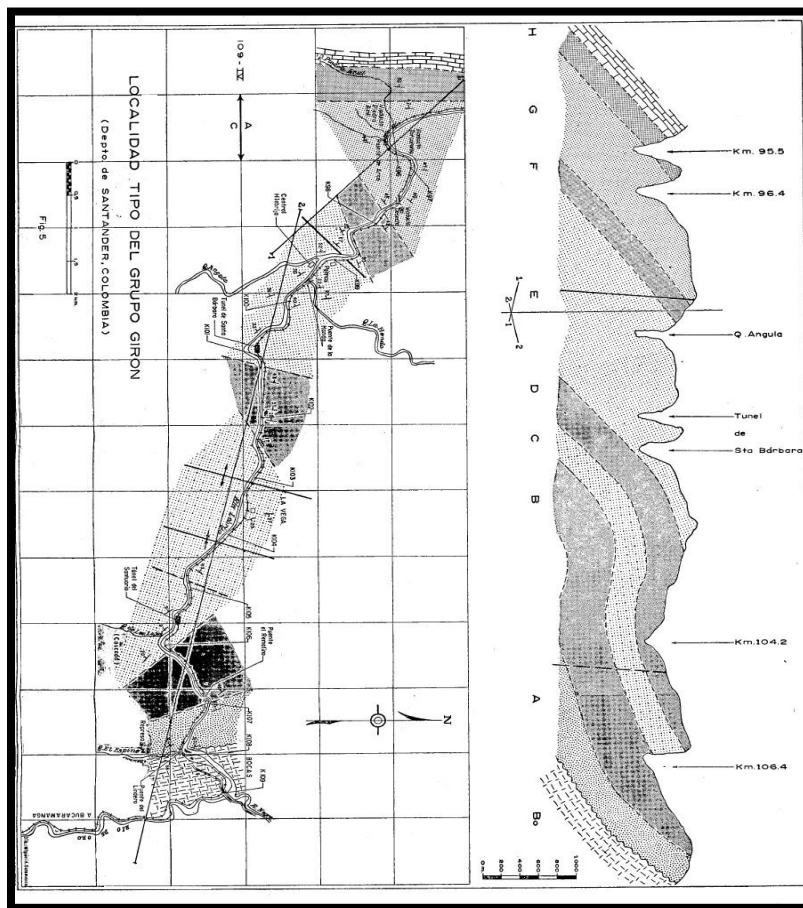
SECUENCIA LITOESTRATIGRÁFICA

Aproximadamente 1 Km aguas debajo de Bocas, el valle del río Lebrija se vuelve angosto repentinamente y cambia su curso de dirección hacia el Noroeste. Allí, donde se construyó la presa de la Central Hidroeléctrica del río Lebrija, se observa un cambio litológico definitivo: después de los shales grises oscuros a negros y algunas calizas pertenecientes a la Formación Bocas, comienza una serie monótona de areniscas generalmente conglomeráticas con intercalaciones periódicas de limolitas y arcillolitas rojas. Esta serie (Formación Girón o mejor definida por Cediél dentro del rango de Grupo Girón) suprayace las formaciones Bocas o Jordán en discordancia angular que localmente se pueden reconocer fácilmente.

. La uniformidad de las areniscas dificulta identificar rápidamente las subdivisiones litológicas de la serie; sin embargo una observación detenida

mostró que los sedimentos rojos se presentan exclusivamente en conjuntos determinados, fáciles de identificar y localizar dentro de la columna (**ver la Figura. 9, Co. B, D, F, H**). Los conjuntos de “red beds” separan así conjuntos de areniscas (**Figura. 9, Co. A, C, E, G**), que a su vez se manifiestan y caracterizan claramente todo el Grupo. Las características petrográficas de estas areniscas varían progresivamente a través de toda la columna, sin consideración de los conjuntos de “red beds” que se intercalan.

Figura 8: Corte geológico esquemático de la sección tipo de la Formación Girón. Donde se identifican las 8 facies definidas dentro de esta unidad.



Fuente: CEDIEL, Fabio; Boletín Geológico Volumen XVI, Capítulo 2; Pagina 27.

Tal como muestra la **figura 8**, la columna generalizada de la sección tipo del Grupo Girón levantada por Cediél, se ha subdividido informalmente en “conjuntos litológicos” (Abreviado Co.) que a excepción del más joven (Co. H), no llegan al rango de Formaciones o Miembros. A continuación se referencian las Facies que componen el grupo girón.

AMBIENTES DE DEPOSITACIÓN (FACIES SEDIMENTARIAS) Y CONTENIDO FÓSIL (EDAD)⁹

Las capas del Girón se derivaron con seguridad principalmente de la erosión de grandes áreas de rocas cristalinas, transporte y sedimentación. La región mencionada hace referencia a las rocas expuestas principalmente al este de la Falla Bucaramanga. Durante un estudio de la Formación Girón realizado por Langenhein (1954), él halló fósiles de helechos en el miembro arcilloso medio en la quebrada Honda. Una colección de esta localidad fue estudiada por el mismo autor (1959-1961). Con base en seis géneros reconocidos de esta localidad (*Pecopteris*, *Callipteridium*, *Asterotheca*, *Rhodea*, ***Calamites*** y *Carpolithus*) y la posición estratigráfica de la Formación Bocas (en la cual fueron reconocidos dos fósiles vegetales del Pensilvaniano Inferior), la edad del conjunto fue considerada como probable Pensilvaniano Superior y no más joven que el Pérmico (Langenheim, 1959).

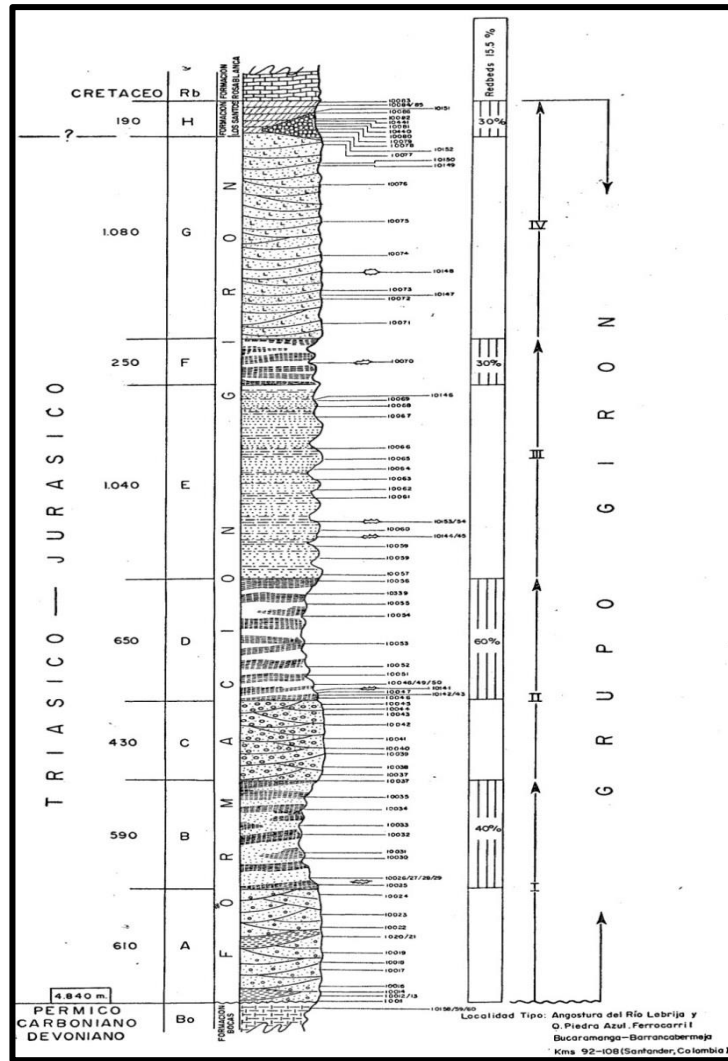
A pesar de la amplia área de distribución de rocas sedimentarias tipo Girón en el norte y este de Colombia y al oeste de Venezuela, la edad y correlación de la formación han sido por mucho tiempo fuente de incertidumbre y especulación. Las edades dadas a la sección en el área de sección tipo, han variado desde el Carbonífero hasta el Cretácico. Estas edades se sustentan en los pocos fósiles vegetales e invertebrados que van desde el Carbonífero al Jurásico. El Girón ha sido en general correlacionado con la Formación La

⁹ CEDIÉL, Fabio; Boletín Geológico Volumen XVI, Capítulo 2; Pagina 49.

Quinta de Venezuela occidental, que es semejante en litología, en su espesor variable (hasta de 3.000 m) y en su transición, a las areniscas de color claro del suprayacente Cretácico Inferior (Oppenheim, 1940). En Venezuela La Quinta ha sido asignada al Jurásico Superior con base en los restos de fósiles de un pez ganoideo del género *Lepidotus*.

Durante el presente trabajo se halló una pequeña evidencia fósil la cual será descrita y detallada en capítulo de Geología Local, pero otra información posterior tiende a soportar una edad Jurásico para el Girón. La nueva evidencia fosilífera de las rocas del Grupo Suratá y de la Formación Bocas, coloca a estas en el Carbonífero, Pérmico y Triásico, respectivamente, mientras que con anterioridad todas ellas fueron consideradas como del Carbonífero. Una evidencia más para una edad Jurásica del Girón son las edades radioactivas de las rocas ígneas de las cuales se derivaron principalmente los sedimentos. Estas edades (192 ± 7 m.a.) están cerca del límite cronológico Triásico – Jurásico de 190 m.a.

Figura 9: Columna estratigráfica generalizadas levantadas por Cediel en 1968.



Fuente: CEDIEL, Fabio; Boletín Geológico Volumen XVI, Capítulo 2; Página 29

4.3 GEOLOGÍA LOCAL.

Dentro de la geología local observada en el área de influencia del talud, se puede observar la siguiente secuencia lito-estratigráfica, que además puede ser constatada en el **ANEXO A**.

Subarcosa de grano medio de color gris, con granos y con algunos guijos, bien calibrada pero cementada con sílice y con matriz arcillosa y ferruginosa. **FÓSIL CALAMITES** de tamaño decimétrico; también Suclitoarenita de grano grueso de color crema y conglomeráticas, con guijos de Qtz y líticos, bien calibrada pero cementada con sílice y con matriz ferruginosa, con moscovita de grano fino 1%. Subarcosa de grano medio de color gris claro, con granos subangulares y subredondeados de la arena media y los algunos guijos, bien calibrada pero cementada con sílice y con matriz limo arcillosa, con lo cual la porosidad es muy baja, pero con flujo de agua subterránea por el diaclasamiento. **FÓSIL CALAMITES** de tamaño centimétrico.

Lito conglomerado, clasto soportado con matriz arcillosa y poco cemento ferruginoso, con guijos y guijarros de Qtz y Líticos predominantemente, presencia de Fld, roca dura, pero frágil. Color amarillo grisáceo.

Sublitoarenita de grano grueso de color pardo muy claro, con granos angulares y subesféricos, arenisca algo friable, con gradación inversa y matriz arcillosa, con presencia de moscovita, cemento ferruginoso, clastosoportada.

Shale gris amarillento, con muzcovita, fisil, con intercalaciones delgadas de shale fisil gris amarillento.

Shale pardo rojizo, con muzcovita, algo físil, con raíces de reducción gris amarillento. Estas litologías lutíticas son las responsables del flujo de detritos de tamaño menor en el talud.

Shale gris amarillento, con muzcovita, fisil, con intercalaciones delgadas de shale fisil gris amarillento.

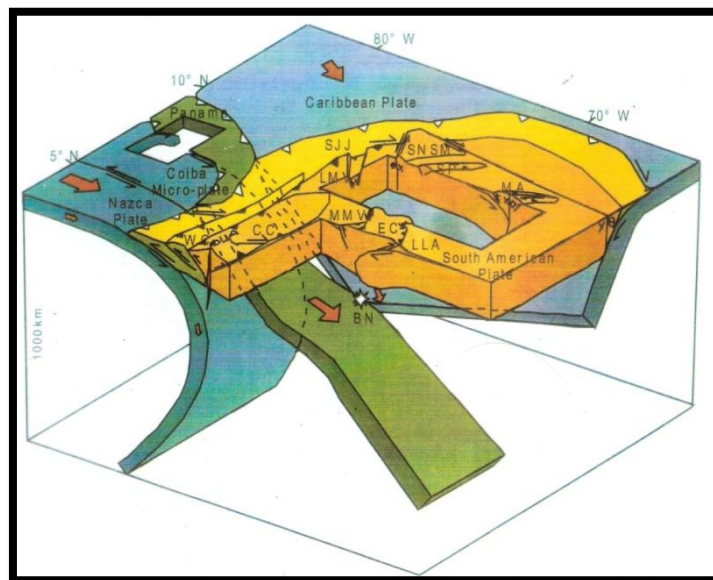
Cuarzo arenisca de grano medio a grueso de color gris claro, con matriz arcillosa y algo de cemento ferruginoso, Ms 20% máx., comomatriz, algo friable y porosa.

NOTA: Los espesores pueden ser verificados en el **ANEXO A**

4.4 TECTONICA

El nororiente colombiano de Los Andes es un territorio geológicamente complejo y tectónicamente dinámico; su conformación está relacionada con la interacción de las placas tectónicas de Nazca, Caribe y Suramérica. El área de Santander por encontrarse dentro de este dominio, despierta gran interés y genera discusiones sobre su origen y su conformación geológica.

Figura 10: Bloque esquemático indicativo 3D de la geometría y cinemáticas de las placas litosféricas debajo de la Cordillera Oriental y Noreste Colombiano



Fuente: Taboada *et al*, 1999.

Existen interpretaciones relacionadas con la aplicación del concepto de “terrenos geológicos o estratigráfico-tectónicos”, plasmado en el Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia (Etayo *et al*, 1983), en donde el territorio del Departamento de Santander forma parte del “Supraterreno de la Cordillera Central” y a los “terrenos geológicos del Valle Medio del Magdalena (Payandé), Floresta y de Santander”. Estos conceptos son los aplicados en este informe.

Según el Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia la zona del presente estudio se encuentra dentro del Terreno: **Supra terreno Cretácico**

4.4.1 LITOLOGÍA

Sedimentitas siliciclásticas, pelíticas, psamíticas, rudíticas en desarrollos faciales isópicos heterócronos. Calizas bioclásticas, evaporitas.

LÍMITES

- W: Sistema de Falla de Romeral.
- E: Sistema de Fallas del piedemonte Llanero.

ESTILO ESTRUCTURAL

- Pliegues de cobertura con vergencia variable.

ESTRATIGRAFÍA

- Sedimentitas del Berriasiano al Maastrichtiano; intrusivos básicos del Cretácico inferior y medio.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA

Sedimentación epicontinental iniciada con la primera ruptura del Atlántico Sur y culminada con levantamiento progresivo a finales del cretácico.

La evolución geológica para la estribación noroeste de la cordillera oriental, se han determinado ocho eventos tectonoestratigráficos. Estos eventos son de, más antiguo a más reciente:

- **EVENTO VOLCANOSEDIMENTARIO TRIÁSICO TARDÍO – JURÁSICO MEDIO.**
- **PRIMERA ETAPA MAGMÁTICA JURÁSICA MEDIA.**
- **EVENTO MAGMÁTICO JURÁSICO TARDÍO.**
- **EVENTO SEDIMENTARIO JURÁSICO TARDÍO.**
- **EVENTO SEDIMENTARIO CRETÁCICO – EOCENO TEMPRANO.**
- **CUARTA ETAPA MAGMÁTICA ALBIANA – CRETÁCICA TARDÍA.**
- **EVENTO DE INVERSIÓN TECTÓNICA EOCENO – OLIGOCENO.**
- **EVENTO MIOCENO – RECIENTE.**

4.4.2 SISTEMA DE FALLAS DE BUCARAMANGA – SANTA MARTA

Es un sistema de fallas mayor que se extiende por una distancia de 550 Km desde la Costa Caribe hasta las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental en cercanías al paralelo N 6.5°, al sur de la ciudad de Bucaramanga. La falla es una de las principales fallas de rumbo (desgarre) del territorio colombiano con un componente sinestral principalmente (lateral izquierdo) de alrededor de 110 Km (Campbell, 1965). La falla Santa Marta forma los límites entre varios terrenos geológicos distintos: es el límite occidental del Macizo de Santa Marta y separa la cuenca del Valle Inferior de la cuenca Cesar y el Macizo de Santander de la cuenca del Valle Medio del Magdalena. Divide también la parte norte de la Cordillera Oriental en dos regiones estructurales distintas. La elevación del bloque está dada principalmente por la compresión de las rocas ígneas y metamórficas de edades paleozoicas a Proterozoicas, en menor proporción rocas Jurásicas y Cretácicas. En la mitad norte de la

falla está parcialmente cubierta por depósitos del Cuaternario y Holoceno en los valles de los ríos Cesar y Magdalena.

- **Longitud:** 374.1 Km (366.5 Km acumulado).
- **Rumbo Promedio:** $-19.1^{\circ} \pm 23^{\circ}$ (N19.1°W $\pm 23^{\circ}$).

Esta falla fue reconocida en muchos estudios como en las Interpretaciones de fotografías aéreas e imágenes de satélites que involucran dicha falla, reconocimientos geológicos generales, y estudios de campo de neotectónica y morfo tectónica.

4.4.3 SISTEMA DE FALLAS DEL SUÁREZ

Esta se extiende en el Cuadrángulo H-12 desde cerca de la mitad de su límite sur y traza un curso más bien sinuoso hacia el norte hasta su terminación en la Falla Bucaramanga, al norte de la ciudad.

Al oeste de Girón y continuando hacia el norte, un escarpe erodado de falla ocurre al oeste de la misma y capas del Cuaternario más antigua de la terraza de Bucaramanga, han sido arrastradas a una posición vertical en el lado oriental por movimientos posteriores del Cuaternario (Julivert, 1973).

Estas capas están bien expuestas en el sitio donde la carretera de Girón a Lebrija cruza la falla. Estratos de la Formación Girón infrayacen los depósitos de terraza y unos pocos afloramientos pequeños de estos, ocurren al este del Río de Oro a lo largo de la carretera de Girón a la estación terminal del ferrocarril de Café Madrid. Como las rocas del Girón ocurren a ambos lados de la falla en esta área, no puede hacerse una buena estimación del desplazamiento vertical. Sin embargo, la altura del escarpe de falla al oeste, hace muy posible un desplazamiento de 400 a 500 m.

Cerca de su terminación en la Falla de Bucaramanga la Falla del Suárez corta las formaciones Floresta del Devónico y Diamante del Permo-Carbonífero en una faja angosta de estas rocas que van paralelas a la Falla Bucaramanga, en el lado occidental. La estructura en esta área está complicada por otras fallas, pero aparentemente el desplazamiento vertical a lo largo de la Falla del Suárez, no es muy grande.

4.4.3.1 ANTICLINAL DE LOS COBARDES

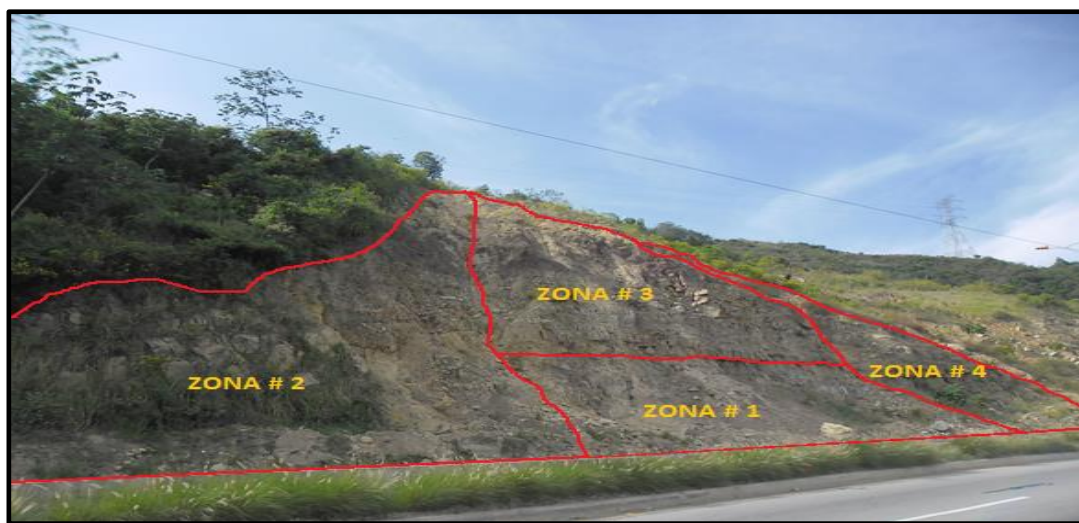
Es una estructura de una longitud aproximada de 80 Km, ligeramente asimétrica, con su flanco oriental más inclinado que el occidental y cuyo eje presenta una dirección aproximada N10°E; cabecea hacia el sur con cierre periclinal, mientras hacia el nororiente es truncado por la falla Bucaramanga-Santa Marta. Su núcleo lo constituyen principalmente las rocas de la Formación Girón, mientras en su extremo nororiental expone rocas más antiguas. En buena parte está limitado en sus flancos oriental y occidental por las fallas del Suárez y de El Carmen. Respectivamente, según Pulido (1978).

5: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA Y GEOTÉCNICA DEL TALUD ROCOSO

5.1 ZONIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Con el fin de caracterizar de manera detallada el macizo rocoso para aplicar los diferentes ensayos a los materiales rocosos y para facilitar la toma de datos estructurales se seleccionó la Formación Girón, en el macizo de roca expuesto y aflorante en el municipio de San Juan de Girón, se llevó a cabo la zonificación de acuerdo a las características que diferencian cada zona, se tuvo en cuenta una serie de parámetros que intervienen en el comportamiento de cada una de ellas, ya sea su litología, grado de meteorización, presencia de agua, grado de fracturación, etc., lo que permite una división inicial por zonas que facilitan la posterior toma de datos, descripciones y sitios de muestreo.

Fotografía 7: Zonificación macizo rocoso



Fuente: Proponentes del proyecto.

5.1.1 ZONA # 1 (N1)

Se caracteriza por ser una de las zonas más estables del macizo, su litología se tuvo en cuenta a la hora de zonificarla considerándola homogénea; la presencia del nivel freático en una zona de cambio de estratificación fue determinante para limitarla en la parte superior. Cabe destacar que se encuentra limitada en sus costados por la ramificación que presenta la falla satélite tipo árbol al sistema de fallas del Suarez que afecta en su mayor parte al área de estudio, este sector del macizo es el que presenta menor grado de meteorización.

Esta zona se encuentra georeferenciada con las coordenadas planas **1'098.421N, 1'276.420E, 1011 m**

5.1.2 ZONA # 2 (N2)

Esta zona se determinó teniendo en cuenta las características más visibles de esa parte del macizo, en este sector predomina un grado de meteorización alto, influenciado por una falla satélite al sistema de fallas del Suarez que probablemente pueden ser fallas tipo árbol, que además permiten delimitar esta zona homogénea; también es la que presenta mayor pendiente y en la cual se ha evidenciado mayor ocurrencia de deslizamientos e inestabilidades; como particularidad de esta se observa la presencia de agua freática en la superficie.

Esta zona se encuentra georeferenciada con las coordenadas planas **1'098.429 N, 1'276.419 E, 1012 m**

5.1.3 ZONA # 3 (N3)

En las observaciones de campo realizadas para zonificar y clasificar esta zona del macizo se evidencia el alto grado de fracturamiento y meteorización a la cual está expuesto; en el límite superior donde ocurre la transición suelo

roca se encuentra una litología con predominancia de arcillolita de color pardo rojiza (PR) muy meteorizada, así como la anterior zona, ésta se encuentra limitada por la ramificación que presenta la falla satélite tipo árbol al sistema de fallas del Suarez.

Esta zona se encuentra georeferenciada con las coordenadas planas **1'098.430N, 1'276.461E, 1020 m**

5.1.4 ZONA # 4 (N4)

Esta zona limita en su costado izquierdo con las zonas **1 y 3** aunque litológicamente son similares; se caracterizó como homogénea porque en su configuración estructural se hace evidente la favorabilidad al deslizamiento, que posiblemente es provocada por la interacción de la falla con el macizo.

Esta zona se encuentra georeferenciada con las coordenadas planas **1'098.430 N, 1'276.461 E, 1022 m.**



Fotografía 8: Macizo rocoso de las diferentes zonificaciones (1, 2, 3 Y 4)

Fuente: Proponentes del proyecto.

5.2 CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DEL TALUD

Para la toma de los datos estructurales el macizo rocoso se dividió en sub-zonas de $6m^2$ en los cuales se tomó un promedio entre **50 y 100** datos por cada una, correspondientes a rumbo y buzamiento.



Fotografía 9: Toma de los datos estructurales Rumbo y Buzamiento

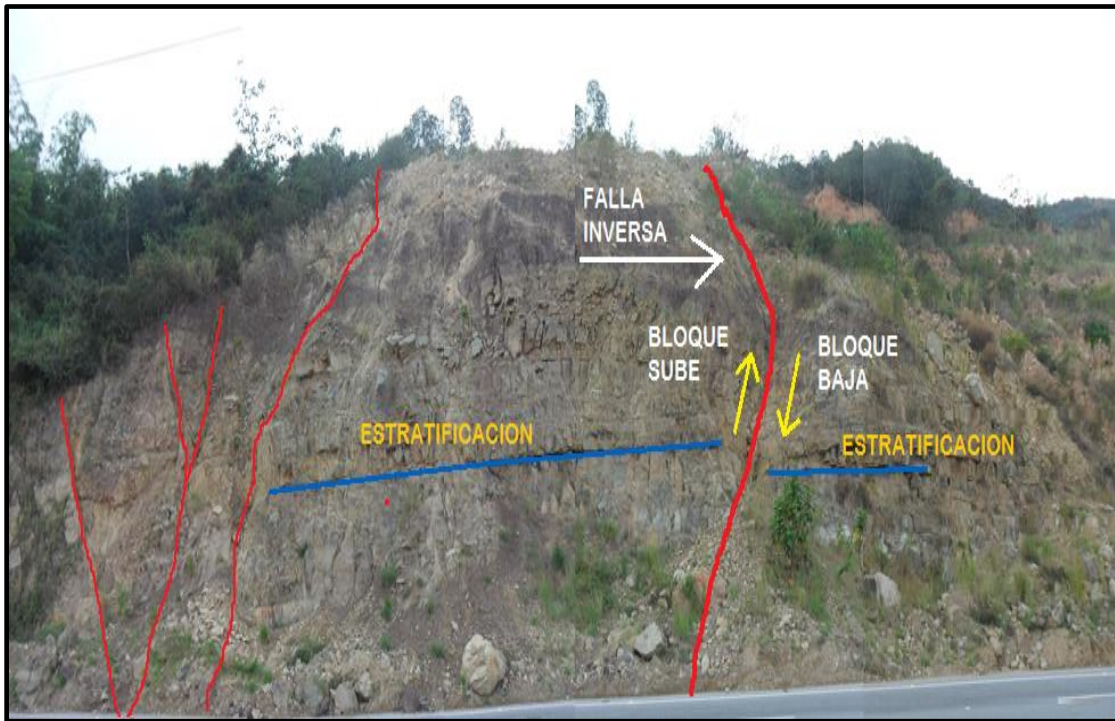
Fuente: Proponentes del proyecto.

5.2.1 ORIENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES

Existen varias familias de diaclasas que fueron encontradas a partir de datos de campo en los cuales se midieron las diferentes discontinuidades presentes en las **18 sub-zonas** el macizo rocoso (**VER ANEXO C, parte 1**), caracterizadas como diaclasas de abertura amplia, sin relleno o relleno arcilloso, de persistencia fuerte y rugosidad áspera, con un flujo agua menor, los diferentes datos de rumbo y buzamiento, para el procesamiento de información se utilizó el software especializado **DIPS** de la Casa **Rocscience**.

Los datos estructurales que se ingresaron para generar el mapa de densidad de polos se tomaron en una de cobertura de 70 metros. En el estereograma **Schmidt** en el hemisferio inferior se determinaron las familias de diaclasas representativas para la determinación del tipo de falla del talud.

Fotografía 10: Catalogo de fallas



Fuente: Elaborado por ponentes del proyecto.

A continuación se muestran el análisis a las familias de discontinuidades (**VER ANEXO C, parte 2**) presentes en cada zona:

ZONA 1: Corresponde a las sub-zonas **4, 5 y 6** del macizo rocoso, los resultados generados en el Software Dips, determinó la dirección del buzamiento y buzamiento de las tres siguientes familias de diaclasas:

Familia 1: 78 / 108; **Familia 2:** 83 / 115; **Familia 3:** 83 / 147.

En el **ANEXO C, parte 2** se encuentran representadas las familias de diaclasas **1, 2 y 3** (líneas de color verde, amarilla y morado respectivamente.), utilizando el estereograma de Schmidt en el hemisferio inferior. De igual manera está representado el plano del talud, para la identificación de la favorabilidad de las discontinuidades presentes en el macizo.

ZONA 2: Corresponde a las sub-zonas **1, 2 y 3** del macizo rocoso, los resultados generados en el Software Dips, determinó la dirección del buzamiento y buzamiento de las tres siguientes familias de diaclasas:

Familia 1: 76 / 22; **Familia 2:** 90 / 335; **Familia 3:** 82 / 69.

En el **ANEXO C parte 2** se encuentran representadas las familias de diaclasas **1, 2 y 3** (líneas de color morada, amarilla y fucsia respectivamente.), utilizando el estereograma de Schmidt en el hemisferio inferior. De igual manera está representado el plano del talud (línea roja), para la identificación de la favorabilidad de las discontinuidades presentes en el macizo.

ZONA 3: Corresponde a las sub-zonas **7-8-9-10-11 y 12** del macizo rocoso, los resultados generados en el Software Dips, determinó la dirección del buzamiento y buzamiento de las tres siguientes familias de diaclasas:

Familia 1: 84 / 337; **Familia 2:** 80 / 115; **Familia 3:** 88 / 108

En el **ANEXO C parte 2** se encuentran representadas las familias de diaclasas **1, 2 y 3** (líneas de color amarilla, verde claro y verde oscuro respectivamente.), utilizando el estereograma de Schmidt en el hemisferio inferior. De igual manera está representado el plano del talud, para la identificación de la favorabilidad de las discontinuidades presentes en el macizo.

ZONA 4: Corresponde a las sub-zonas **13-14-15-16-17 y 18** del macizo rocoso, los resultados generados en el Software Dips, determinó la dirección del buzamiento y buzamiento de las dos siguientes familias de diaclasas:

Familia 1: 80 / 235; **Familia 2:** 80 / 94; **Estratigrafía:** 88 / 120

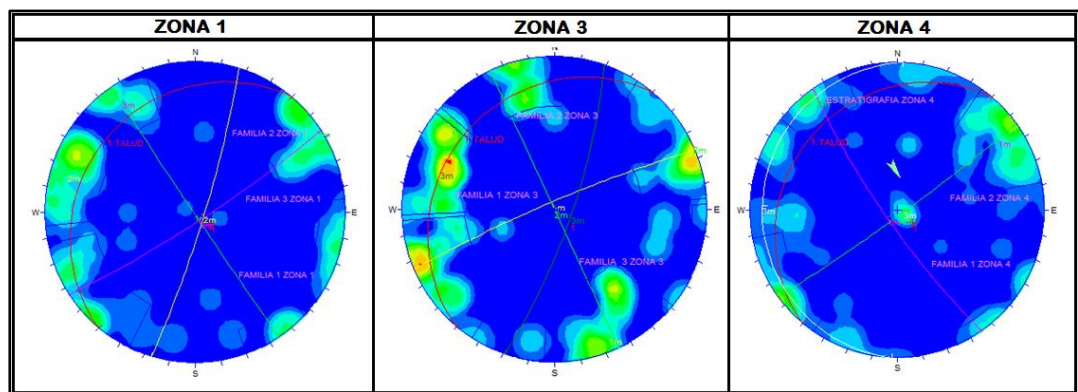
En el **ANEXO C, parte 2** se encuentran representadas las familias de diaclasas **1, 2 y 3** (líneas de color morado, verde y blanco respectivamente.), utilizando el estereograma de Schmidt en el hemisferio inferior. De igual manera está representado el plano del talud, para la identificación de la favorabilidad de las discontinuidades presentes en el macizo.

5.2.2 MODELOS DE ROTURA DEL MACIZO ROCOSO'

MODELO DE ROTURA ZONAS 1, 3 Y 4.

Se determinó que las zonas **1, 3 y 4** las familias de discontinuidades según su configuración forman una rotura en cuña debido a que sus planos principales se cruzan perpendicularmente con el planos de orientación del talud por ello estas familias en conjunto forman desprendimientos de bloques moderadamente grandes en forma de cuña en estas zonas del macizo generándose cuñas perfectas favorables al movimiento del talud.

Figura 11: Representación estereográfica de los planos de discontinuidad característicos de la zona 1, 3 y 4.



Fuente: Elaborado por ponentes del proyecto. (**Software DIPS**)

Fotografía 11: Bloques en cuña formados por familias de discontinuidades ortogonales.

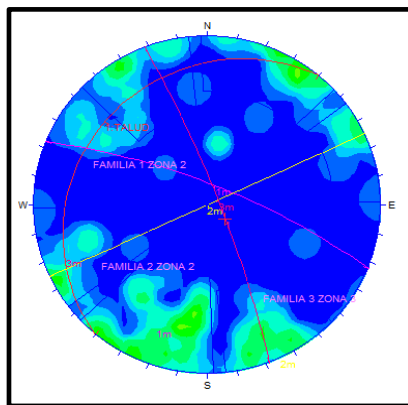


Fuente: proponentes del proyecto

MODELO DE ROTURA ZONA 2.

Esta zona al presentar un grado de fracturación alto se estableció que las familias de discontinuidades **1 2 y 3** según su configuración forman una rotura en cuña debido a que sus planos se cruzan perpendicularmente con el planos de orientación del talud por ello estas familias en conjunto forman desprendimientos de bloques moderadamente pequeños en forma de cuña en estas zonas del macizo a diferencia de las demás zonas, generando cuñas perfectas favorables al movimiento del talud.

Figura 12: Representación estereográfica de los planos de discontinuidad característicos de la zona 2, con respecto a la orientación del macizo rocoso.



Fuente: Elaborado por ponentes del proyecto. (Software DIPS).

Fotografía 12: Bloques muy pequeños en cuña formados por familias de discontinuidades ortogonales de la zona



Fuente: Proponentes del proyecto.

5.3 DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMECÁNICOS¹⁰

El comportamiento mecánico de los macizos rocosos está gobernado principalmente por las discontinuidades que afectan generalmente a las rocas. Por lo tanto, la descripción de los parámetros se enfocará a ellas, determinando todas sus características de importancia. Las discontinuidades son los planos de debilidad de los macizos rocosos, a lo largo de los cuales la roca tiene una baja o nula resistencia a la tensión, o una baja resistencia al corte. Esos planos incluyen fracturas, fallas, juntas, crucero, foliación, esquistosidad, vetas, planos de estratificación y discordancias.

La descripción y medida de estos parámetros para cada familia debe ser realizada en campo: orientación, espaciado, continuidad o persistencia, rugosidad, resistencia de las paredes, abertura, relleno, filtraciones. Algunos

¹⁰ GONZALEZ HUESCAS, RUIZ VÁZQUEZ. "Geología aplicada a la ingeniería civil". Editorial Limusa, grupo noriega editores México. 2010. 252 Páginas.

de estos parámetros determinan el comportamiento mecánico y la resistencia al corte de las discontinuidades.

5.3.1 ÍNDICES PARA DESCRIBIR LAS DISCONTINUIDADES DE LOS MACIZOS ROCOSOS

ORIENTACIÓN: Lugar de la discontinuidad en el espacio, la orientación de una discontinuidad en el espacio queda definida por su dirección de buzamiento (dirección de la línea de máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al norte) y por su buzamiento (inclinación respecto a la horizontal de dicha línea). De gran importancia para distinguir y representar los diferentes sistemas de discontinuidades.



Fotografía 13: Ejemplo de orientación de las discontinuidades en el afloramiento.

Fuente: Proponentes del proyecto.

ESPACIAMIENTO: Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes; es decir la distancia entre una y otra discontinuidad que normalmente se refiere al espaciamiento del sistema principal o predominante de fracturas.

Fotografía 14: Ejemplo de espaciado de discontinuidades en el afloramiento.



Fuente: Proponentes del proyecto

Tabla 1: Descripción del espaciado de las discontinuidades.

DESCRIPCIÓN DEL ESPACIADO	
Descripción	Espaciado
Extremadamente junto	<20
Muy junto	20-60 mm
Junto	60-200 mm
Moderadamente junto	200-600 mm
Separado	600-2.000 mm
Muy separado	2.000-6.000mm
Extremadamente separado	>6.000 mm

Fuente: (ISRM 1981) Gonzales Luis, Ferrer Mercedes, Ortuño Luis, Oteo Carlos.
"Ingeniería Geológica"

CONTINUIDAD O PERSISTENCIA: Es la longitud de traza de la discontinuidad como se observa en un afloramiento; medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento. Es un parámetro de gran importancia pero de difícil cuantificación a partir de la observación de afloramientos en los que normalmente se ven as trazas de los planos de discontinuidad.

Fotografía 15: Ejemplo de la continuidad de las discontinuidades en el afloramiento



Fuente: Proponentes del proyecto

Tabla 2: Descripción de la continuidad de las discontinuidades.

DESCRIPCIÓN DE LA CONTINUIDAD	
Continuidad	Longitud
Muy baja continuidad	<1m
Baja continuidad	1-3 m
Continuidad media	3-10 m
Alta continuidad	10-20 m
Muy alta continuidad	>20 m

Fuente: (ISRM 1981) González Luis, Ferrer Mercedes, Ortuño Luis, Oteo Carlos.
"Ingeniería Geológica"

RUGOSIDAD: Se refiere a la rugosidad y ondulación inherente al plano principal de una discontinuidad. Ambas características contribuyen a la resistencia al del macizo rocoso. La rugosidad está influenciada por la textura, tamaño de los granos o minerales y el grado de descomposición de algunos minerales

Fotografía 16: Discontinuidad “ondulada - rugosa” en el afloramiento de la zona 2.



Fuente: Proponentes del proyecto

ABERTURA: La abertura es la distancia horizontal que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. Este parámetro puede ser muy variable en diferentes zonas de un mismo macizo.



Fotografía 17: Abertura de discontinuidad sin relleno.

Fuente: Proponentes del Proyecto.

Tabla 3: Descripciones de la abertura en las discontinuidades.

DESCRIPCIÓN DE LA ABERTURA	
Abertura	Descripcion
<0.1 mm	Muy cerrada
0.1-0.25 mm	Cerrada
0.25-0.5 mm	Parcialmente abierta
0.5-205 mm	Abierta
2.5-10 mm	Moderadamente ancha
>10 mm	Ancha
1-10 cm	Muy ancha
10-100 cm	Extremadamente ancha
>1m	Cavernosa

Fuente: (ISRM 1981) Gonzáles Luis, Ferrer Mercedes, Ortuño Luis, Oteo Carlos.
“Ingeniería Geológica”

RELLENO: Es el material que separa las paredes de roca adyacentes de una discontinuidad o que ocupa el espacio existente entre los planos de una discontinuidad y que es usualmente más débil que la roca madre. Los materiales típicos de relleno son arena, limo, arcilla, materia orgánica ganga y milonita.

Fotografía 18: Discontinuidad “plana-rugosa”, con abertura “ancha” y relleno “arcilloso blando”.



Fuente: Proponentes del Proyecto

ALTERACIÓN: El grado de alteración de la roca es una observación importante en cuanto a que condiciona de forma definitiva sus propiedades mecánicas. Según avanza el proceso de alteración aumenta la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso y disminuye su resistencia.

Fotografía 19: Discontinuidad “plana-rugosa”, con abertura “ancha” y relleno “arcilloso blando.”



Fuente: Proponentes del Proyecto

FILTRACIONES: Flujos de agua y humedad visible en las discontinuidades individuales o en la masa rocosa en conjunto.

El agua en el interior de un macizo rocoso produce generalmente del flujo que circula por las discontinuidades, aunque en ciertas rocas permeables las filtraciones a través de la matriz rocosa pueden ser también importantes.

Fotografía 20: Filtraciones en diferentes zonas del macizo con goteo superficial.



Fuente: Proponentes del Proyecto.

5.4 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL TALUD ROCOSO¹¹

5.4.1 CLASIFICACIÓN RMR (BIENIAWSKI, 1978) DEL MACIZO ROCOSO

La clasificación de los macizos rocosos con base en aspectos geotécnicos, se emplea para obtener parámetros Geomecánicos que son necesarios para el diseño de proyectos de ingeniería.

Para la clasificación del macizo rocoso, se propone hacer uso de la información que se muestra en el **ANEXO D FORMATO DE CLASIFICACIÓN** que sintetiza todos los parámetros de clasificación para el sistema **RMR** y su resultado dando la clasificación del macizo rocoso, la cohesión y ángulo de fricción interna de la roca.

Tabla 4: Relación de la clasificación del Talud rocoso y su relación con la cohesión y ángulo de rozamiento (o fricción interna, ϕ), según el **RMR**

CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN RELACIÓN AL INDICE RMR				
Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy Buena	100-81	>4 kg/cm ²	>45°
II	Buena	80-61	3-4 kg/cm ²	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm ²	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm ²	15°-25°
V	Muy mala	<20	<1 kg/cm ²	<15°

Fuente: Clasificación del Rock Mass Rating (**RMR**) de Bieniawski, 1973.

Los datos de entrada para la clasificación **RMR** del macizo rocoso, a partir de los datos tomados de diferentes zonas, se registra en los formatos presentes en el **ANEXO D**.

¹¹ GONZALEZ LUIS, FERRER MERCEDES, ORTUÑO LUIS, OTEO CARLOS. "Ingeniería Geológica". Editorial Pearson. Madrid. 2002. 744 Páginas.

En la aplicación de la metodología antes descrita, se caracterizó las diferentes zonas específicas del macizo rocoso, con lo cual se obtuvo la siguiente clasificación según las condiciones en las que se encuentra el talud.

5.4.2 PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN RMR

Para la clasificación del macizo rocoso se toma el valor más representativo de la resistencia de la matriz rocosa, según el requerimiento de factores de seguridad. Por tanto, el dato de resistencia a la compresión simple es el equivalente al promedio de los núcleos fallados de cada zona. Después de haber dado una información general se detalla lo observado en el macizo rocoso, se identifican las discontinuidades existentes que lo conforman, se analiza el estado de las discontinuidades (longitud, abertura, rugosidad, relleno entre otros). Esta información se llevó a los formatos que se encuentran en el **ANEXO C**.

La zona # 1 del talud rocoso presenta una ligera alteración lo que la hace ser una de las más estables y resistentes, según el **RMR** es clasificada de la siguiente manera:

- **Puntuación:** 44 puntos.
- **Clase:** III
- **Calidad:** Media
- **Cohesión:** 2-3Kg/cm² (200-300 KN /m²).
- **Ángulo de fricción interna (φ):** 25-35°.

Según las condiciones de **la zona # 2** del talud rocoso, de acuerdo al **RMR** es clasificada de la siguiente manera:

- **Puntuación:** 35 puntos.
- **Clase:** IV
- **Calidad:** Mala
- **Cohesión:** 1-2Kg/cm² (100-200 KN /m²).
- **Ángulo de fricción interna (φ):** 15-25°.

La zona # 3 es una zona muy alterada con bastante fracturamiento y con presencia de agua freática de acuerdo a estos parámetros según el RMR es clasificado de la siguiente manera:

- **Puntuación:** 32 puntos.
- **Clase:** IV
- **Calidad:** Mala
- **Cohesión:** 1-2Kg/cm² (100-200 KN /m²).
- **Ángulo de fricción interna (φ):** 15-25°.

Finalmente la zona # 4 del talud rocoso según el RMR es clasificado de la siguiente manera:

- **Puntuación:** 25 puntos.
- **Clase:** IV.
- **Calidad:** Mala.
- **Cohesión:** 1-2Kg/cm² (100-200 KN /m²).
- **Ángulo de fricción interna (φ):** 15-25°.

5.5 DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS¹²

Para efectos de unificar criterios en el procedimiento de levantamiento de la información, se definieron los parámetros geotécnicos a utilizar, para describir el macizo rocoso por parte de los ponentes del proyecto que efectuaron el levantamiento de la información geotécnica. Los parámetros a tener en cuenta son:

CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA DE LA ROCA: Es la composición mineralógica de la roca, aspectos descritos en el capítulo 4 en los apartados 4.2 y 4.3 de la geología regional y local.

TIPO DE ROCA: Se debe efectuar la clasificación geológica de la roca en función de su origen ya que es posible hacer ciertas generalizaciones acerca de la textura, estructura y algunas propiedades mecánicas.

COLOR: Es un índice cualitativo que depende de los minerales que lo componen, la observación debe realizarse sobre roca fresca, una vez retirada la capa superficial.

TAMAÑO DEL GRANO: Hace referencia a las dimensiones medias de los minerales o fragmentos de roca que componen la matriz rocosa.

TEXTURA: Se refiere al arreglo y disposición que existe entre los granos o minerales individuales, con respecto a su tamaño, forma y grado de cristalización. La textura es una propiedad compleja que depende principalmente del origen de la roca y de las características de los granos. Es importante conocerla ya que se relaciona íntimamente con propiedades índice y mecánicas como la porosidad, permeabilidad y resistencia.

¹² GONZALEZ LUIS, FERRER MERCEDES, ORTUÑO LUIS, OTEO CARLOS. "Ingeniería Geológica". Editorial Pearson. Madrid. 2002. 744 Páginas.

- Los parámetros Tipo de roca, Color, Tamaño del grano y textura están debidamente sustentados en la columna estratigráfica. **(VER ANEXO A)**

METEORIZACIÓN: El grado de meteorización de la roca es una observación importante en cuanto que condiciona de forma definitiva sus propiedades mecánicas. Según avanza el proceso de meteorización aumenta la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso, al tiempo que disminuye su resistencia.

RESISTENCIA: La resistencia de la matriz rocosa puede ser estimada en el afloramiento mediante índices de campo o a partir de correlaciones con datos proporcionados por sencillos ensayos de campo, como el ensayo de carga puntual PLT o el martillo Schmidt.

5.5 CLASIFICACIÓN GEOTECNICA DEL TALUD ROCOSO

5.5.1 EXPLORACIÓN DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO.

Se seleccionó la Formación Girón del Jurásico medio superior como material rocoso propicio para la investigación porque reúne las características generales como rocas para medir los parámetros propuestos en el proyecto, además se extiende regionalmente y ofrece facilidades de acceso que permitió tomar las muestras en superficie y a profundidad. La determinación de las características geotécnicas del talud se llevó a cabo por medio de la Extracción de núcleos cilíndricos de las diferentes zonas del macizo rocoso de la Formación Girón. Los núcleos o probetas fueron tomados utilizando un Toma-Núcleos eléctrico con broca diamantada de $2\frac{1}{2}$ " (pulgadas) de diámetro.

Fotografía 21: Extracción de núcleos cilíndricos de las diferentes zonas del macizo.



Fuente: Proponentes del Proyecto.

El procedimiento y la descripción detallada de cada uno de los ensayos de laboratorio se muestran en el **ANEXO D**. Se diseñaron formatos para cada ensayo con tablas e imágenes para facilitar la interpretación y análisis de los resultados además todas las extracciones realizadas se muestran en fotografías que se presentan en el **ANEXO D**.

En el **ANEXO D parte 2**, se muestra en resumen los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados a las diferentes muestras extraídas de cada zona.

La resistencia a la compresión simple es la propiedad más frecuente medida en rocas, y en base a su valor se establecen clasificaciones en mecánica de rocas. El ensayo de compresión simple realizado permite clasificar el macizo en base a su resistencia.

Tabla 5: Clasificación de las rocas en base a la compresión simple.

CLASIFICACIÓN DE LA ROCAS A PARTIR DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE	ISRM (1981)
1-5	Muy blanda
5-25	Blanda
25-50	Moderadamente dura
50-100	Dura
100-250	Muy dura
>250	Extremadamente dura

Fuente: (ISRM 1981) González Luis, Ferrer mercedes, Ortuño Luis, Oteo Carlos.
“ingeniería geológica”

Según la **ANEXO D, parte 2**, la **ZONA 1** de acuerdo a los valores obtenidos en el ensayo de compresión simple presenta una resistencia **70.18 Mpa** y se clasifica como roca dura; la **ZONA 2** arrojo como resultado del ensayo de compresión simple una resistencia **14.92 Mpa** siendo la zona de resistencia más baja clasificándola como roca blanda; la **ZONA 3** con una resistencia **43.76 Mpa** se clasifica como roca moderadamente dura y por último la **ZONA 4** con una resistencia a la compresión simple de **61.73 Mpa** se clasifica como roca dura.

6: CAUDAL DE DISEÑO DE OBRAS DE INTERCEPTACION Y CONTROL DE AGUAS DE ESCORRENTIA.

La determinación del caudal de diseño, se hace en función del método racional, el cual tiene como principales variables a ingresar el área de la cuenca adyacente a la zona de estudio como primer lugar; en segundo lugar la intensidad de la lluvia que se presenta en la zona y por último se suministra el valor del coeficiente de escorrentía que esta dado en función del tipo de vegetación y uso del suelo.

DATOS:

- **Área del talud:** Se da en función de la topografía, que fue suministrada por la concesión vial **ZONA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA (ZMB)** y la cual se calculó con el valor de **0.07969 Km^2** .
- **Intensidades de lluvia:** Se calcularon por medio de **curvas IDF** suministradas por la concesión vial **ZONA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA (ZMB)**, en la cual se ingresa con un periodo de retorno de **10 años** y con una duración de la lluvia de **20 minutos**. (**VER ANEXO VI**). Se determinó el valor de la intensidad de lluvia como **111 mm/hr**
- **Coeficiente de Escorrentía:** Obtenido en función de las condiciones propias del sector que comprende al área de estudio, que cuenta con zonas de vegetación de tipo matorrales (rastros altos y bajos) sobre laderas empinadas y en la **Tabla 7** se muestran dichos valores en función de las variables ya mencionadas. Como valor representativo para dicha cuenca se determinó el valor de **0.6**.

$$Q = C * i * A$$

$$Q = 0.6 * 111 \frac{mm}{hr} * 0.07969 Km^2$$

$$Q = 1.10 \frac{m^3}{s} = \text{Caudal de diseño}$$

7: MODELACIÓN EN EL SOFTWARE SWEDGE de Rocscience Y ANALISIS DE RESULTADOS.

7.1 GENERALIDADES SOTWARE SWEDGE:

SWEDGE 4,0 es una herramienta de análisis rápido, interactivo y fácil de usar para la evaluación de la geometría y la estabilidad de las cuñas de superficie en pendientes rocosas. Las cuñas se definen por dos planos de discontinuidad de intersección, la superficie de la pendiente y de una grieta de tracción opcional. **SWEDGE** proporciona un entorno gráfico integrado para la entrada de datos rápida y fácil y la visualización de modelos 3D, también ofrece una amplia gama de opciones de análisis, incluyendo combinaciones deterministas, probabilístico; sensibilidad y análisis de la persistencia.

Para un análisis determinístico, **SWEDGE** calcula el factor de seguridad para una cuña específica. **Para un análisis probabilístico**, los datos estadísticos de entrada se puede introducir para tener en cuenta la incertidumbre en la orientación de la articulación, fuerza y otros parámetros, y una probabilidad de fallo se calcula. Para un análisis de combinación, cualquier número de planos de conjuntos puede ser definido, y **SWEDGE** calcular todas las combinaciones posibles de las intersecciones de conjuntos que pueden formar una cuña.

Pernos de roca, hormigón proyectado o soporte de presión se puede aplicar para aumentar el factor de seguridad de cuña. De estabilizador de fuerzas debidas a la presión del agua, las cargas sísmicas o las fuerzas externas también pueden ser fácilmente modeladas. Conjunto opciones incluyen resistencia al corte de **Mohr-Coulomb**, **Barton Bandis** o modelos de curvas de potencia, y un ángulo de ondulación conjunta puede ser definido.

SWEDGE 4.0 ofrece una integración mejorada con el programa de Dips. Un archivo Dips completo se puede importar a **SWEDGE** y analizados con la opción de análisis de combinación, o la información estadística conjunto común (Distribución de Fisher) se pueden importar para un análisis probabilístico.

7.2 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS:

De acuerdo a la modelación hecha para cada una de las zonas 4 consideradas homogéneas dentro del área del talud se establecieron diferentes alternativas de solución a las problemáticas planteadas dentro de los alcances de este estudio.

ZONA 1: En esta área homogénea del talud, que está ubicada en la parte inferior del mismo (**VER ANEXO C, parte 1**) se realizó una modelación (**VER ANEXO G**) en la cual se obtuvo los siguientes valores:

Factor de seguridad bajo condiciones normales = 2.588

Factor de seguridad bajos condiciones saturadas y acción sísmica = 1.99

La **ZONA 1** como se muestra anteriormente en los datos producidos por la modelación y bajo sus condiciones, es la que mejor comportamiento tiene y que dentro de su análisis de estabilidad es la que menor intervención necesitaría, pues su clasificación (**VER ANEXO C**) y sus características geomecánicas (**VER ANEXO D**) y estructurales (**VER ANEXO B**) la ubican como una zona de buenas características generales de estabilidad.

ZONA 2: En esta área homogénea del talud, que está ubicada en la parte izquierda del mismo (**VER ANEXO B, parte 1**) se realizó una modelación (**VER ANEXO D**) en la cual se obtuvo los siguientes valores:

Factor de seguridad bajo condiciones normales = 1.266

Factor de seguridad bajos condiciones saturadas y acción sísmica = 0.94

Factor de seguridad bajos condiciones saturadas y acción sísmica, estabilizada con cara de concreto = 1.82

- **Espesor de la cara de concreto = 0.05m**
- **Resistencia al cortante del concreto = $100 \text{ Ton}/\text{m}^2$**

Factor de seguridad bajos condiciones saturadas y acción sísmica, estabilizada con anclajes = 1.745

- **Longitud de los anclajes = 15m**
- **Capacidad de carga en toneladas de los anclajes = 20 Tom**
- **Cantidad de anclajes = 7**

De acuerdo a los datos mostrados anteriormente se puede afirmar que la **ZONA 2**, tiene un alto riesgo de colapso o de presentar caídos de rocas en presencia de fuerzas sísmicas y en condiciones saturadas; dentro de las alternativas planteadas en la modelación se observa que bajo las condiciones allí planteadas, es el **concreto proyectado** sobre la cara del talud el que más alto factor de seguridad desarrolla, los anclajes también producen un valor alto en el factor de seguridad.

ZONA 3: En esta área homogénea del talud, que está ubicada en la parte superior del mismo (**VER ANEXO B, PARTE 1**) se realizó una modelación (**VER ANEXO E**) en la cual se obtuvo los siguientes valores:

Factor de seguridad bajo condiciones normales = 1.434

Factor de seguridad bajos condiciones saturadas y acción sísmica = 0.9467

Factor de seguridad bajos condiciones saturadas y acción sísmica, estabilizada con cara de concreto = 1.893

- **Espesor de la cara de concreto = 0.1m**
- **Resistencia al cortante del concreto = $200 \text{ Ton}/\text{m}^2$**

Factor de seguridad bajos condiciones saturadas y acción sísmica, estabilizada con anclajes = 1.738

- **Longitud de los anclajes = 25 m**
- **Capacidad de carga en toneladas de los anclajes = 40 Ton**
- **Cantidad de anclajes = 20**

De acuerdo a los datos mostrados anteriormente se puede afirmar que la **ZONA 3**, tiene un alto riesgo de colapso o de presentar caídos de rocas en presencia de fuerzas sísmicas y en condiciones saturadas; dentro de las alternativas planteadas en la modelación se observa que el bajo las condiciones allí planteadas, es el **concreto proyectado** sobre la cara del talud el que más alto factor de seguridad desarrolla, los anclajes también producen un valor alto en el factor de seguridad.

ZONA 4: En esta área homogénea del talud, que está ubicada en la parte superior del mismo (**VER ANEXO B, PARTE 1**) se realizó una modelación (**VER ANEXO E**) en la cual se obtuvo los siguientes valores:

Factor de seguridad bajo condiciones normales = 1.513

Factor de seguridad bajos condiciones saturadas y acción sísmica = 0.9687

Factor de seguridad bajos condiciones saturadas y acción sísmica, estabilizada con cara de concreto = 1.799

- **Espesor de la cara de concreto = 0.08m**
- **Resistencia al cortante del concreto = $100 \text{ Ton}/\text{m}^2$**

Factor de seguridad bajos condiciones saturadas y acción sísmica, estabilizada con anclajes = 1.732

- **Longitud de los anclajes = 20m**
- **Capacidad de carga en toneladas de los anclajes = 40Ton**
- **Cantidad de anclajes = 7**

De acuerdo a los datos mostrados anteriormente se puede afirmar que la **ZONA 4**, tiene un alto riesgo de colapso o de presentar caídos de rocas en presencia de fuerzas sísmicas y en condiciones saturadas; dentro de las alternativas planteadas en la modelación se observa que el bajo las condiciones allí planteadas, es el **concreto proyectado** sobre la cara del talud el que más alto factor de seguridad desarrolla, los anclajes también producen un valor alto en el factor de seguridad.

8: DISEÑOS

8.1 DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE INTERCEPTACIÓN (ZANJAS O CUNETAS DE CONTROL DE ESCORRENTÍA).

8.1.1 GENERALIDADES

Las zanjas de infiltración son canales construidos en laderas, los cuales tienen por objetivo captar el agua de escorrentía, evitando procesos erosivos de manto, permitiendo la infiltración del agua en el suelo y su captación después de la saturación.

Para el diseño de las zanjas de infiltración se tuvo en cuenta que la cantidad de agua de lluvia que cae en la zona de impluvio, debe ser menor o igual a la que capta y absorbe la zanja y que fue hallada mediante el método racional y es de **1.10 m³/s**

8.1.2 METODOLOGÍA Y DISEÑO.

La zona está demarcada por un movimiento en masa permanente independientemente de otras actuaciones que se desarrollan sobre él, por lo que resulta imprescindible la ejecución de un buen sistema de drenaje de aguas superficiales.

El objetivo que debe cumplir el sistema propuesto es drenar el agua de precipitación y de filtración, con el uso de una capa de cobertura correctamente diseñada, de una pendiente superficial adecuada y de un drenaje adecuado, puede controlar eficazmente la filtración superficial ya que el agua superficial es la mayor contribución al volumen total de estos líquidos.

Debido a la alta pendiente el área de la zona de estudio que domina e influye sobre cada una de las cunetas proyectadas es la que se encuentra sobre las

mismas y que es limitada en la parte superior por otra cuneta o una vía, con ellas se calcula el caudal de diseño en m³/s y así dimensionar el canal óptimo.

Para el dimensionamiento del canal se usa la **fórmula de Manning**

$$Q = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{n}$$

Dónde:

- **Q**= Caudal de la cuneta en m³/s
- **n**= Coeficiente de rugosidad de Manning que depende del tipo de material ver tabla 55
- **A**= Área de la sección transversal perpendicular al flujo (m²)
- **R**= Radio hidráulico que es la relación del canal A y el perímetro mojado P
- **P**= Perímetro mojado (m)
- **S**= Pendiente del canal (m/m)
- **Y**= Altura del nivel de agua máximo dentro del canal (m)

Además del dimensionamiento de la cuneta se debe comprobar que la velocidad del agua que circula por la cuneta sea admisible para evitar daños sobre la obra realizada como la erosión como se muestra en la **Tabla 11 del ANEXO E.**

8.1.3 DISEÑO ESTRUCTURAL DE CUNETAS:

CARGAS

Las cargas que se suponen intervienen en la cuneta son el peso de agua (Pw) a la altura del rebose, un peso muerto (Pm) de la sección y se adiciona un peso de seguridad (PL) que es el peso que tendrá que soportar la estructuras cuando se para una persona o varias personas, animales, etc...

Las cargas tendrán que ser mayoradas y para ello se aplica la siguiente formula de acuerdo al título B de la NSR – 10 Ec. B.2.4-2:

$$Wu = 1.6 * PL + 1.2(Pw + Pm)$$

Con esta carga se halla el momento (Mu) que debe resistir la sección.

Diseño a Flexión

Para hallar la cuantía se despeja de la ecuación:

$$M_u = \phi * \rho * d^2 * b * f_y \left(1 - \frac{\rho * f_y}{1.7 * f'c} \right)$$

Esta cuantía que se halló anterior mente no debe ser menor que $p=0.0018$, con esto se halla el refuerzo longitudinal.

Cortante

Las cunetas se den chequear de tal forma que no requieran refuerzo y se les suministre el mínimo, para ello debe cumplir que el corte para el cual están diseñadas sea menor que el que está suministrando el concreto Chequeo por cortante:

Resistencia al esfuerzo cortante:

$$v_u \leq \phi v_n$$

$$v_u = \frac{V_u}{b_w d}$$

El esfuerzo nominal de la sección V_n se define como:

$$v_n = v_c + v_s$$

Dónde:

- v_c = resistencia del concreto, está dada por la fórmula:

$$v_c = \frac{1}{6} * \lambda \sqrt{f'c}$$

O mediante un análisis más detallado:

$$v_c = 0.16 * \lambda * \sqrt{f'c} + 17 * \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \leq 0.29 * \lambda * \sqrt{f'c}$$

$$\lambda=1$$

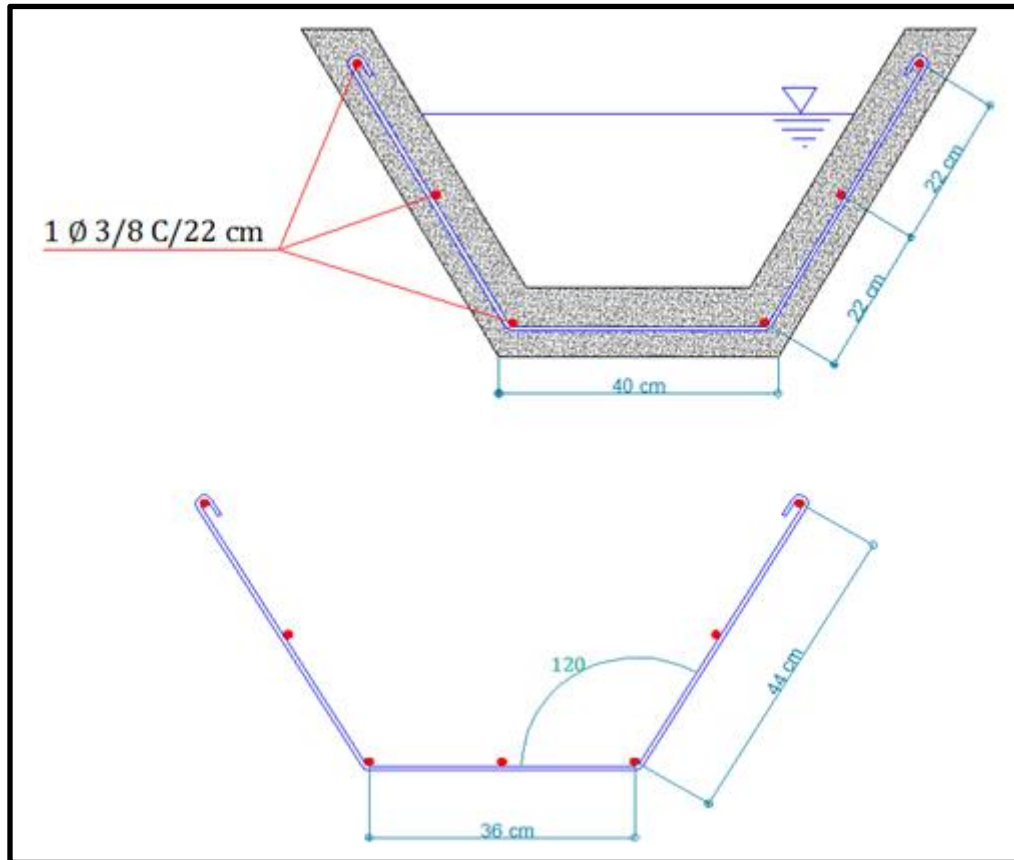
$$\sqrt{f'c} \leq 8.3 \text{ Mpa}$$

M_u es el momento flector factorizado que actúa con V_u a una distancia d del borde del apoyo, $\frac{V_u d}{M_u}$ es menor que 1 y ρ_w es la cuantía del refuerzo longitudinal. Por consiguiente se debe cumplir que:

$$v_n \leq v_c$$

En la cunetas es necesario colocar así no se requiera refuerzo transversal para garantizar el fraguado y temperatura en la sección. En muchas cunetas no es necesario la colocación de refuerzo, para este caso se coloca debido a la fuerte pendiente que tiene el terreno donde van a ser colocadas como medida de prevención.

Figura 13: Detalle de la Zanja de coronación para el talud.



Fuente: Proponentes del proyecto.

9: CONCLUSIONES

- **Propiedades Mecánicas de la Roca**

La implementación de los ensayos de laboratorio permitió obtener las propiedades mecánicas de la roca en cada una de las zonas homogéneas, proporcionando indicadores de esencial importancia en la clasificación geomecánica y geotécnica que determina la condición general del talud y específica de las litologías.

- **Reconocimiento Geológico**

La realización de la inspección geológica en el área de estudio, la definió como **Formación Girón**, dentro de una zona de ambientes de depositación y estratificación con características específicas, hallando Fósiles (**Calamites**), los cuales permitieron determinar su datación, composición y comportamiento.

Se observó la presencia de fallas tipo árbol, satélites al sistema de fallas del Suarez, que pueden ser estimuladas por un eventual sismo o por lubricación en presencia de agua, provocando la desestabilización del macizo, afectación en las obras de infraestructura y posible pérdida de vidas.

- **Factores que influyeron en la desestabilización del talud.**

Anterior a la ampliación de la vía a doble calzada, en el sitio que hoy se presenta la problemática, no evidenciaba una inestabilidad aparente, por tanto se concluye que la ampliación de la vía y el no tratamiento oportuno y de prevención en el talud generaron los problemas de inestabilidad que se presentan actualmente.

- **Modelado del talud en diferentes condiciones**

El análisis determinístico para el modo de falla en cuña en cada una de las zonas en condiciones normales entrega factores de seguridad entre **1.2** y **1.5** pero cuando los mismos son sometidos a presencia de fuerzas hidrostáticas y sísmicas, su factor se ve sustancialmente afectado, a tal grado que su valor disminuye por debajo de 1 (uno) en todas las zonas exceptuando la **ZONA 1**.

La **ZONA 1**, es la que mejores indicadores presenta, por tal razón y de acuerdo a la modelación no necesita ser intervenida con medidas de estabilización, pues presenta un soporte adecuado; pero si debe ser sometida a medidas de control para protegerla de factores que atenten contra su estabilidad.

En las zonas donde la combinación de fuerzas sísmicas e hidrostáticas reduce el factor de seguridad abajo de 1 (uno), se hace necesaria la implementación de medidas correctoras de la estabilidad del talud, ya sea recubrimiento con cara de concreto o por anclajes; que garanticen la seguridad necesaria para contrarrestar dichas sollicitaciones.

10. RECOMENDACIONES

A partir de los datos de campo y ensayos de laboratorio en roca se clasificó el talud rocoso objeto de estudio, con resultado de calidad mala, por consiguiente se recomienda intervenir el talud con medidas de estabilización y control de aguas de escorrentía, de procesos erosivo y de caídos de rocas.

Se recomienda utilizar los anclajes activos como primera opción, puesto que esta medida empieza a actuar inmediatamente se instala en el terreno y tiene un mejor comportamiento ante fenómenos sísmicos que la cara de concreto.

Realizar un levantamiento topográfico de planimetría, altimetría detallada de toda el área de influencia, con el fin de ubicar las correspondientes obras hidráulicas, localización de los anclajes.

Se recomienda como medida de aseguramiento que la zanja de coronación no debe construirse muy cerca al borde superior del talud, para evitar que se conviertan en el comienzo y guía de un deslizamiento en cortes.

En el límite entre las zonas 1 y 3, se presenta un flujo continuo de agua subterránea, la cual debe controlarse, recolectarse y conducirse, mediante subdrenes de aproximadamente 20m.

Reconformar la superficie del talud y del área arriba de la cabeza para facilitar el flujo de la escorrentía y Sellar o cubrir las aberturas de las discontinuidades y/o las áreas permeables utilizando concreto, asfalto, lechadas, plásticos y revegetalización para impedir la infiltración de agua.

Realizar diseño de las obras de protección geotécnica y su ubicación espacial.

Verificar si las obras hidráulicas existentes en la vía tienen las capacidades para las nuevas condiciones de diseño y se recomienda hacer un manejo adecuado de la escorrentía en la vía que bordea la corona del talud

Como estudio alternativo se recomienda hacer al menos dos sondeos en profundidad de la roca, hasta una profundidad de 30m, detectando el índice RQD, ubicando el nivel freático y encontrando la superficie de falla.

11. BIBLIOGRAFIA

BIENIAWSKI. Z.T (1974). The geomechanics classification in rocks. Engineering applications.

BOWLES, Joseph E. Foundation Analysis and Design. Fourth Edition. McGraw-Hill Book Company. Singapore, 1988.

CARRILLO, Maureen *et al.* Clasificación Geomecánica y Análisis de Estabilidad de Taludes del Macizo Rocoso Coris, Cartago, Costa Rica. Revista Geológica de América Central. Costa Rica (14, Feb., 2002). 91-96 p.

CEDIEL, Fabio. El Grupo Girón – Una molasa mesozoica de la Cordillera Oriental. Servicio Geológico Nacional, 1968. Boletín Geológico, Vol. XVI. Pags 5-96.

CLAVIJO, Jairo; MANTILLA, Luis; PINTO, Jorge; BERNAL, Luis. Evolución geológica de la Serranía de San Lucas, norte del Valle Medio del Magdalena y noreste de la Cordillera Oriental. Revista de Geología – Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga Junio 2008. 45-62 p.

CLAVIJO, Jairo; ROYERO, José. Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Departamento de Santander en escala 1:300.000. INGEOMINAS, 2001. 91p.

CORTES, Martín & ANGELIER, Jacques. Paeostree evolution of the northern andes (Eastern Cordillera of Colombia). Implicacions on plate kinematics of the South Caribbean region. Revista TECTONICS, Vol. 24, 2005. 27 p.

DIPS, Plotting, Analysis and Presentation of Structural Data Using Spherical Projection Techniques User's Guide 1989 - 2002 Rocscience Inc.

ETAYO, Fernando *et al.* Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia, INGEOMINAS, 1983. 118 p.

GONZALEZ DE VALLEJO, Luis *et al.* Ingeniería Geológica. Madrid. PEARSON Prentice Hall, 2002. 744 p.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de estabilidad de taludes, Geotecnia vial, Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C. 1988, páginas 340

JOSUE CARRILLO C. Mecánica de rocas. Cuadernillo de ingeniería geológica. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

JUAREZ BADILLO, EULALIO Y RICO RODRIGUEZ, ALFONSO (1981) Mecánica de suelos Tomo II. Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. Editorial Limusa. México.

LUIS I. GONZALEZ DE VALLEJO. Ingeniería geológica

PARIS, Gabriel *et al.* Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Colombia and its Offshore Regions. U.S. Geological Survey. Open-File Report 00-0284, 2000. 66 p.

ROCPLANE, Planar sliding stability analysis for rock slopes; User's Guide_ 2001 Rocscience Inc.

SUÁREZ D, Jaime. Cimientos, Universidad Industrial de Santander. Segunda Edición. Abril de 1992.

SUÁREZ D, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, Universidad Industrial de Santander. Segunda Edición

SWEDGE, Probabilistic analysis of the geometry and stability of surface wedges; User's Guide_ 1991 Rocscience Inc

TERZAGHI, KARL; PECK RALPH B (1980). Mecánica de suelos en la Ingeniería práctica. Segunda edición. Cuarta reimpresión. Editorial El Ateneo S.A.España.

TESIS PARA LA IMPLEMENTACION DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS PARA EL LABORATORIO DE INGENIERIA CIVIL DE LA UDES.
Orlando Ardila Ariza – Jorge Alfredo Camargo Amado.

WARD, D.E. *et al.* Memoria Explicativa: Cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona. INGEOMINAS, 1973. 144 p.

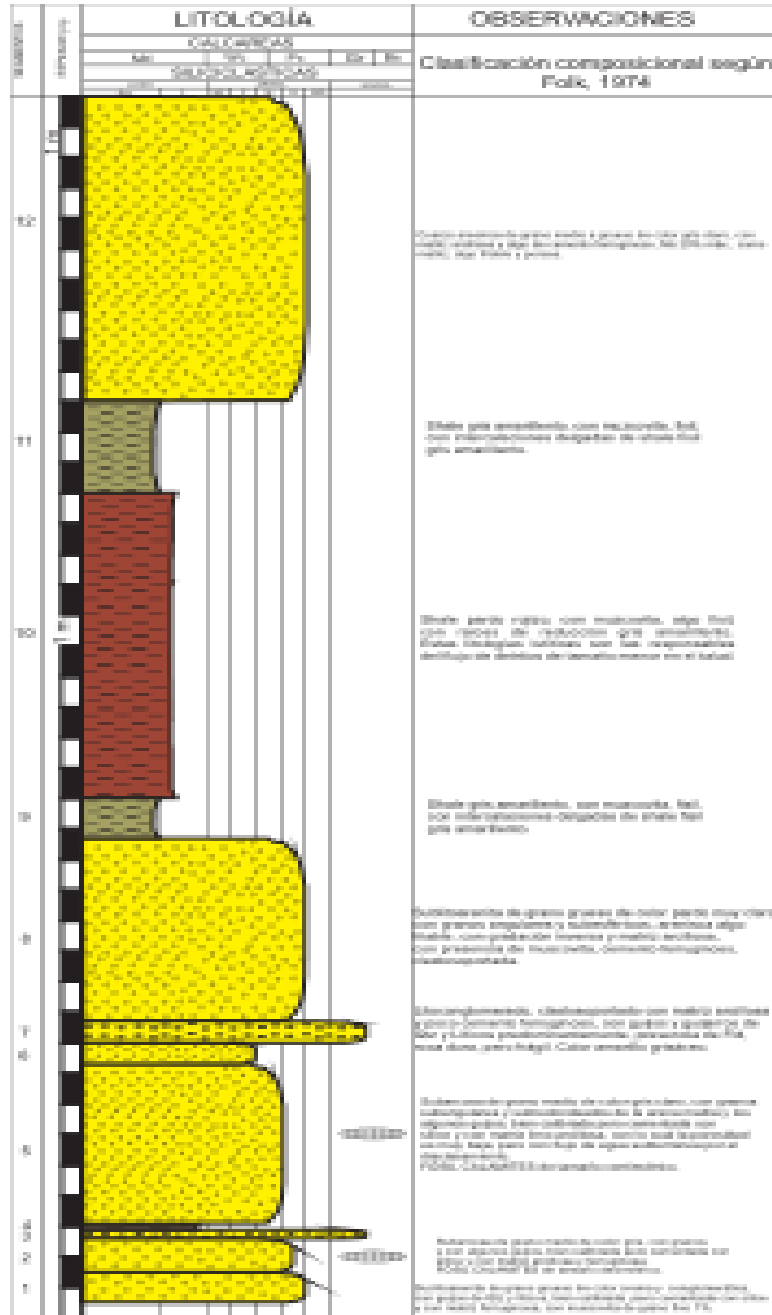
ANEXOS

**ANEXO A
COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL MACIZO ROCOSO**

**COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN GIRÓN
CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA**

Municipio de Girón-Santander

ESCALA 1:100



CONTENIDORES

	Lutitas Gruesas Verdosas		Lutitas Fines Rojizas		Arenosa		Acumulaciones
	Cáscaras						

ANEXO B
DATOS ESTRUCTURALES Y REPRESENTACIÓN
ESTEREREOGRÁFICA DE LOS PLANOS DE DISCONTINUIDAD
PARTE 1

Fotografía 22: sub zonas del talud del talud rocoso.



Fuente: Proponentes del proyecto.

De acuerdo a la zonificación realizada, las sub-zonas no están distribuidas equitativamente por zona pues esta se hizo en función de la metodología utilizada para realizar la caracterización estructural del macizo rocoso en mención.

N°ZUB-ZONA	1
Coordenadas	
X:	1'098.424
Y:	1'276.410
Z:	1011 m

RQD	
11	13
10	10
18	11
13	21
15	23
%RQD	35.7

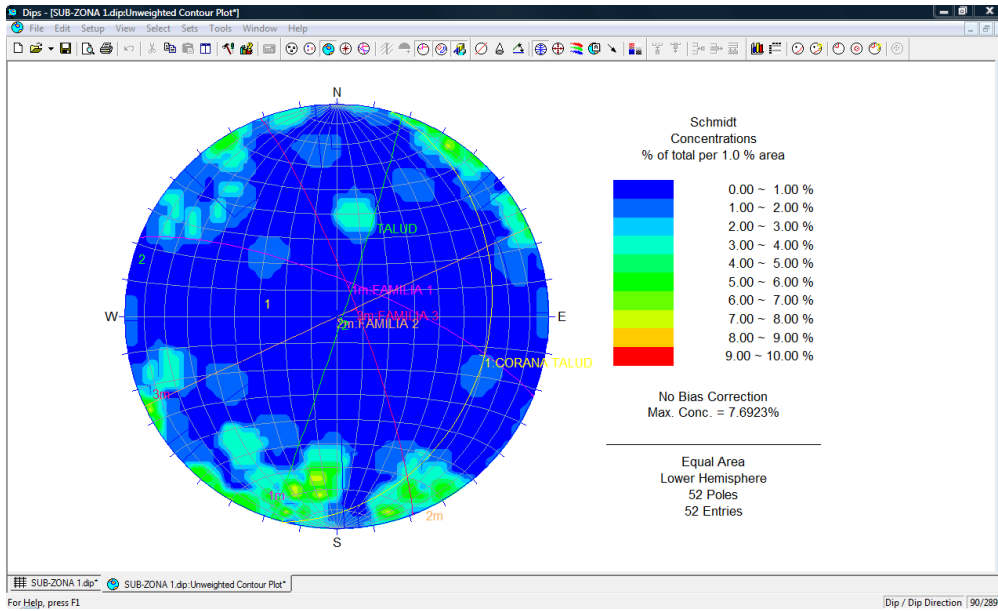
DATOS ESTRUCTURALES DEL TALUD

DIP	DDIP	ESTRUC
77	343	D
69	174	D
88	164	D
62	336	D
72	20	D
82	148	D
90	146	D
80	332	D
72	144	D
88	330	D
84	132	D
85	120	D
87	242	D
76	252	D
90	218	D
86	240	D
66	3	D
78	228	D
66	126	D
59	6	D
71	329	D
62	292	D
80	342	D
52	28	D
86	4	D
78	12	D
61	210	D
90	88	D
90	10	D
86	22	D
63	38	D
69	10	D

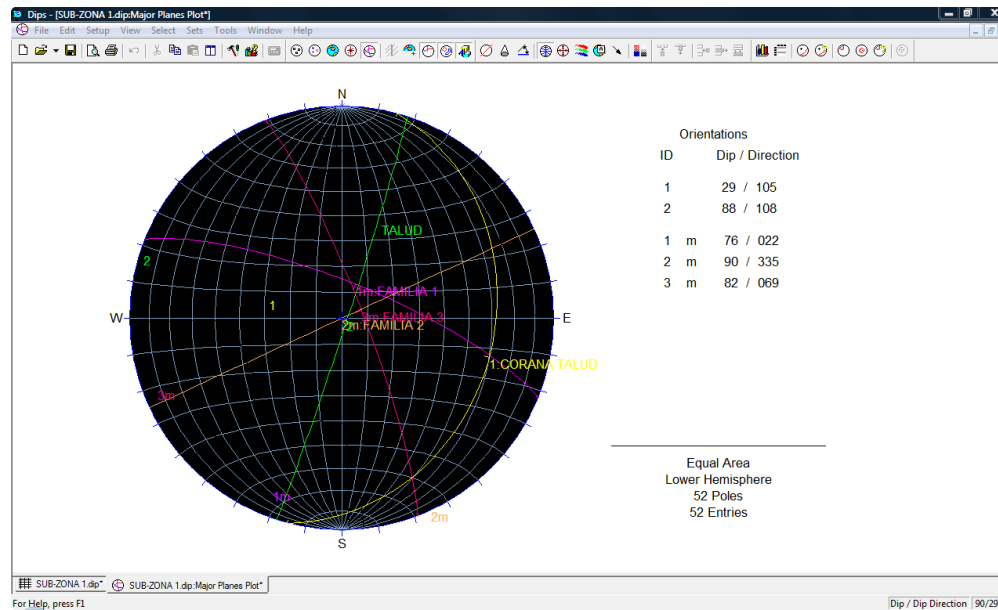
DIP	DDIP	ESTRUC
43	190	D
38	191	D
61	138	D
74	120	D
66	38	D
84	44	D
72	28	D
73	6	D
88	209	D
54	2	D
90	169	D
68	72	D
87	218	D
80	210	D
36	132	D
86	22	D
51	59	D
86	70	D
82	59	D
74	74	D
86	70	D
82	59	D
74	74	D

N°SUB-ZONA	1	N°ZONA	2
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA – BUCARAMANGA		

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



N°SUB-ZONA	4
Coordenadas	
X:	1'098.441
Y:	1'276.422
Z:	1021 m

RQD	
26	18
23	29
26	23
13	16
%RQD	58

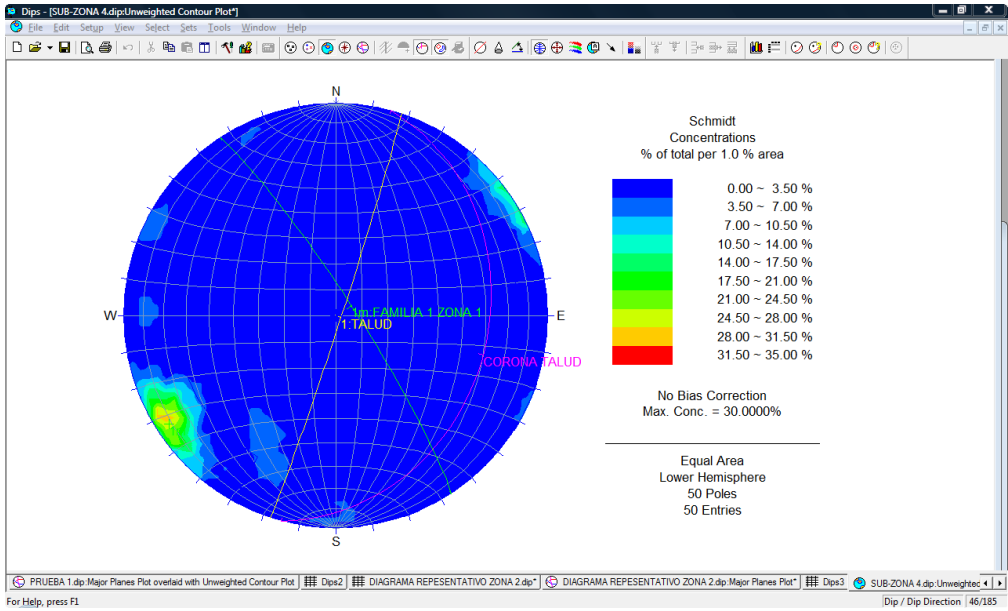
DATOS ESTRUCTURALES DEL TALUD

DIP	DDIP	ESTRUC
81	62	D
54	36	D
88	152	D
72	40	D
50	32	D
67	24	D
58	28	D
88	54	D
86	58	D
90	48	D
68	20	D
73	58	D
83	72	D
80	120	D
80	159	D
81	270	D
86	44	D
72	60	D
81	57	D
74	70	D
80	230	D
62	4	D
82	2	D
88	48	D
88	118	D
82	42	D
90	2	D
88	114	D
78	352	D
78	88	D
80	60	D
90	58	D

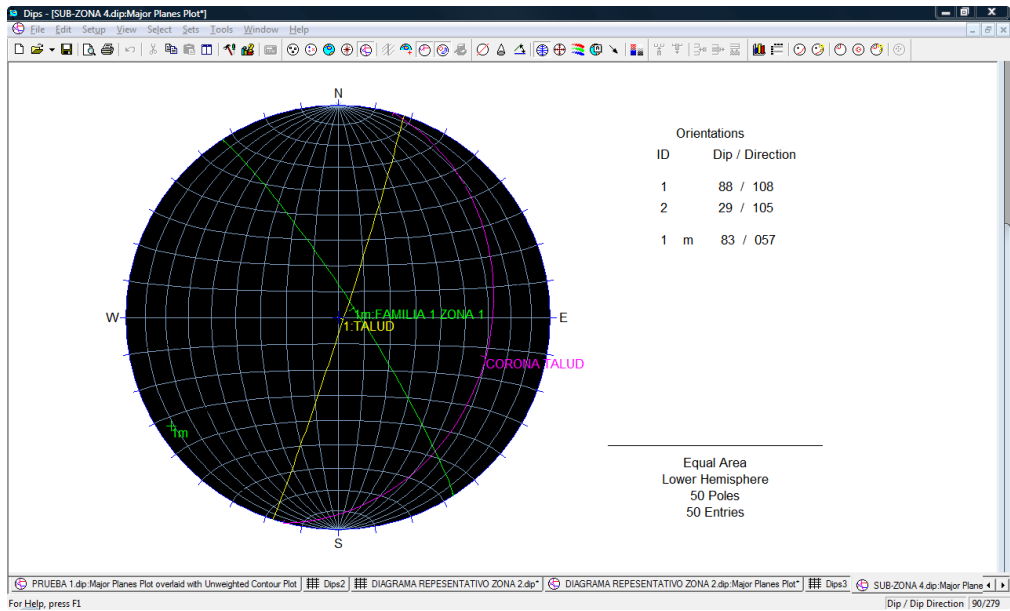
DIP	DDIP	ESTRUC
43	190	D
38	191	D
61	138	D
74	120	D
66	38	D
84	44	D
72	28	D
73	6	D
88	209	D
54	2	D
90	169	D
68	72	D
87	218	D
80	210	D
36	132	D
86	22	D
51	59	D
86	70	D
82	59	D
74	74	D
86	70	D
82	59	D
74	74	D

N°SUB-ZONA	4	N°ZONA	1
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA – BUCARAMANGA		

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



N°SUB-ZONA	5
Coordenadas	
X:	1'098.431
Y:	1'276.422
Z:	1028 m

RQD	
13	12
25	21
18	24
33	22
32	17
%RQD	56.0

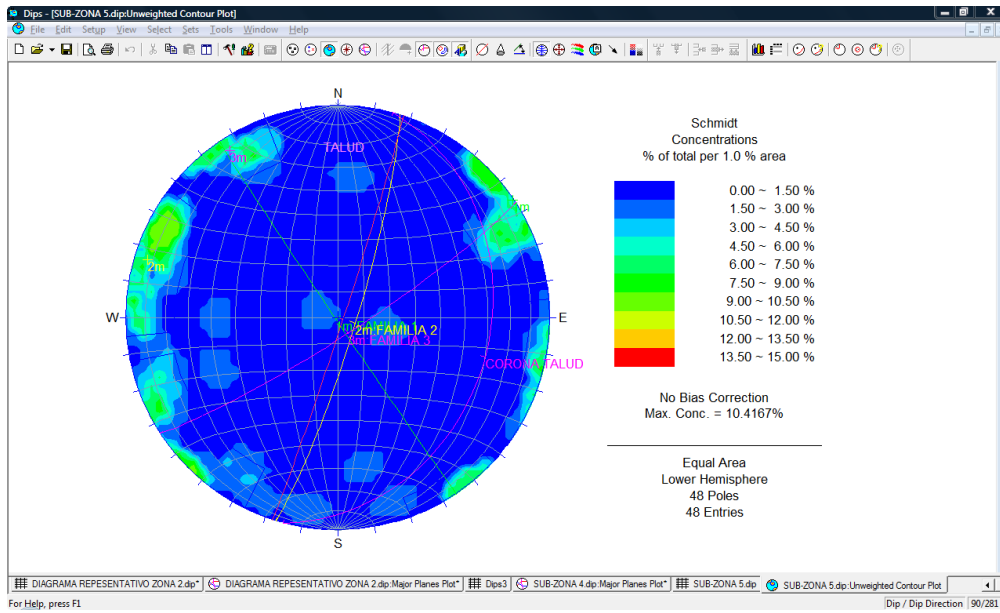
DATOS ESTRUCTURALES DEL TALUD

DIP	DDIP	ESTRUC
90	280	D
80	115	D
82	242	D
66	241	D
70	246	D
70	72	D
88	323	D
88	224	D
78	105	D
88	228	D
48	90	D
78	154	D
80	156	D
82	25	D
76	80	D
82	240	D
80	343	D
80	370	D
80	146	D
90	118	D
8	110	D
68	152	D
76	114	D
84	278	D
52	67	D
19	284	D
88	68	D
88	60	D
80	92	D

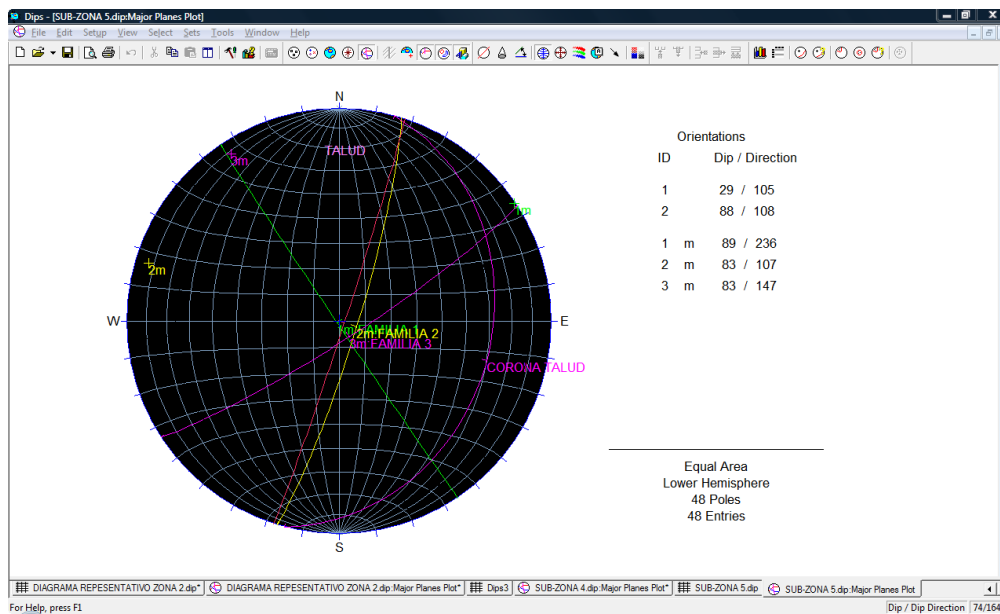
DIP	DDIP	ESTRUC
84	68	D
56	186	D
60	350	D
90	286	D
89	88	D
76	244	D
89	226	D
90	141	D
90	141	D
78	64	D
82	94	D
81	120	D
78	120	D
89	110	D
70	106	D
82	40	D

N°SUB-ZONA	5	N°ZONA	1
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA		

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



N°SUB-ZONA	6
Coordenadas	
X:	1'098.429
Y:	1'276.429
Z:	1030 m

RQD	
17	12
11	13
13	23
18	13
10	15
%RQD	40.0

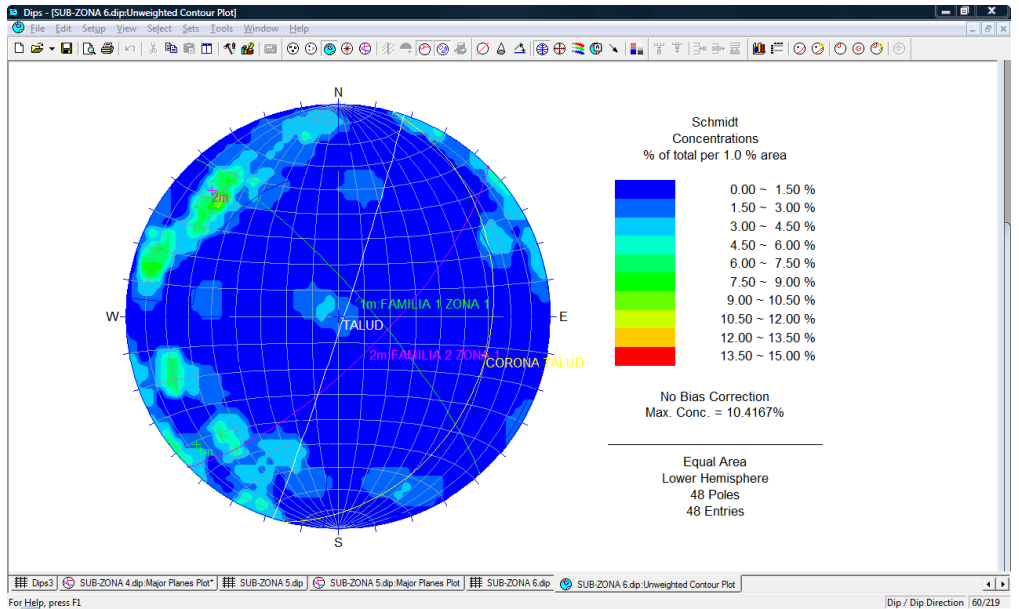
DATOS ESTRUCTURALES DEL TALUD

DIP	DDIP	ESTRUC
70	120	D
64	42	D
74	72	D
70	150	D
82	110	D
68	70	D
81	160	D
85	48	D
61	45	D
58	151	D
90	72	D
80	110	D
56	23	D
52	190	D
90	226	D
59	62	D
80	100	D
65	141	D
74	242	D
70	165	D
72	44	D
80	105	D
72	72	D
80	175	D
71	30	D
62	130	D
72	135	D
90	120	D
82	172	D
87	215	D
68	10	D

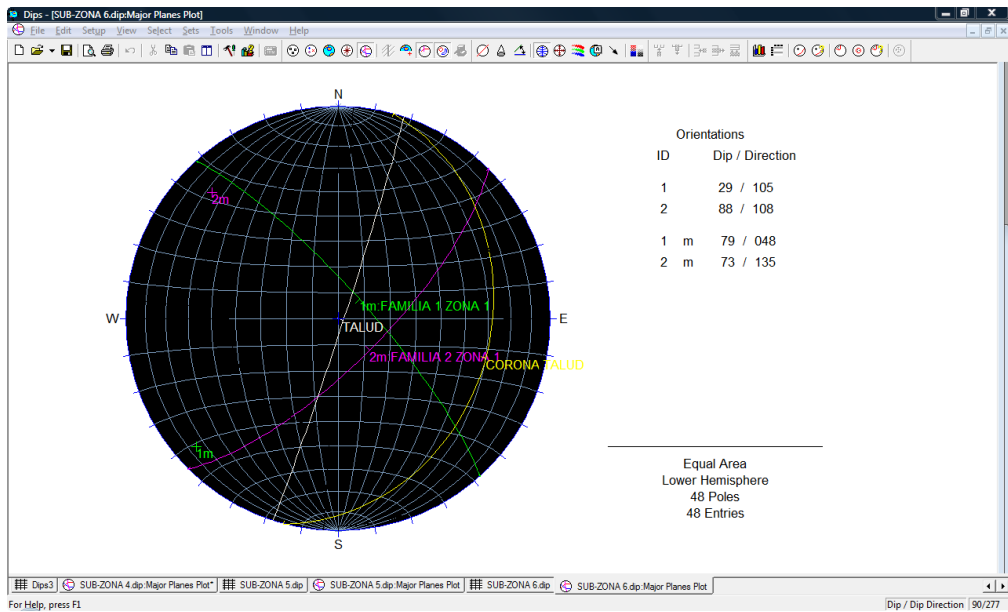
DIP	DDIP	ESTRUC
52	98	D
88	24	D
68	128	D
78	27	D
72	115	D
71	135	D
1	200	E
90	62	D
81	335	D
88	258	D
70	246	D
88	234	D
78	145	D
11	117	E
60	22	D
90	22	D
51	59	D
86	70	D
82	59	D
74	74	D
86	70	D
82	59	D
74	74	D

N°SUB-ZONA	6	N°ZONA	1
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA – BUCARAMANGA		

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



N°SUB-ZONA	7
Coordenadas	
X:	1'098.427
Y:	1'276.431
Z:	1030 m

RQD	
20	40
40	12
18	26
30	16
%RQD	67.3

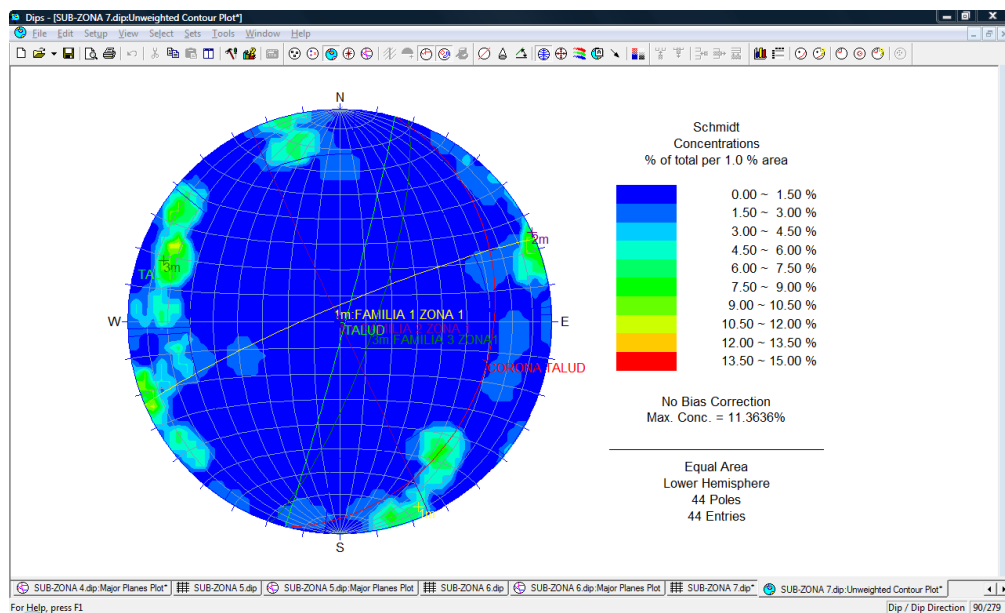
DATOS ESTRUCTURALES DEL TALUD

DIP	DDIP	ESTRUC
88	60	D
74	170	D
72	110	D
70	110	D
86	170	D
84	50	D
78	94	D
74	165	D
68	88	D
78	350	D
88	345	D
72	325	D
80	70	D
82	225	D
89	90	D
82	128	D
78	250	D
40	70	D
88	125	D
80	50	D
90	32	D
78	125	D
78	121	D
62	250	D
82	10	D
90	340	D
98	75	D
76	330	D
71	75	D
60	76	D
90	250	D
68	320	D

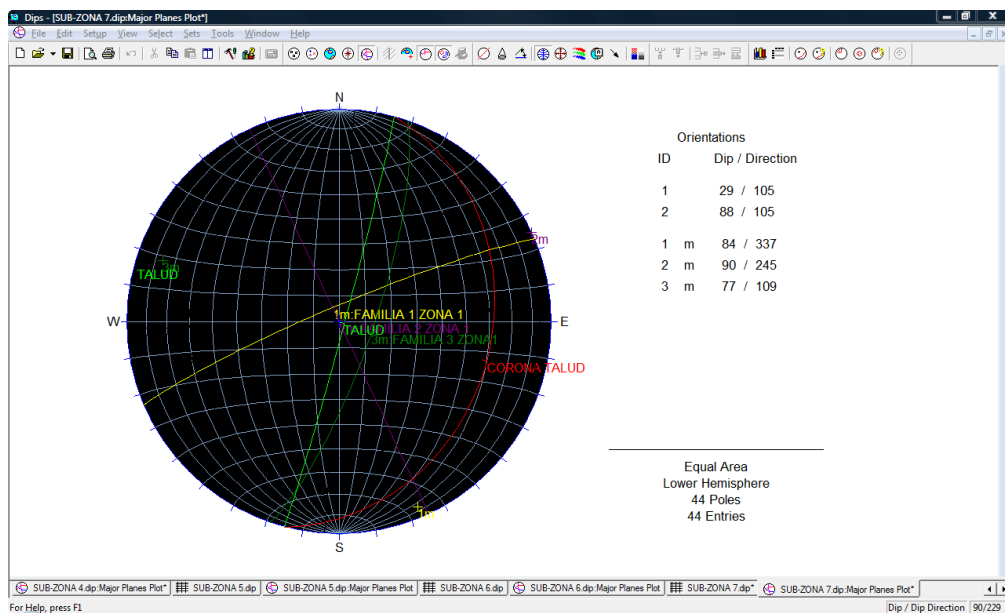
DIP	DDIP	ESTRUC
62	180	D
72	110	D
60	325	D
78	110	D
71	96	D
72	160	D
71	275	D
62	320	D
87	68	D
90	72	D
82	340	D
70	290	D

N°SUB-ZONA	7	N°ZONA	3
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA		

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



N°SUB-ZONA	8
Coordenadas	
X:	1'098.430
Y:	1'276.436
Z:	1029 m

RQD	
34	17
14	23
28	18
12	20
16	
%RQD	55.3

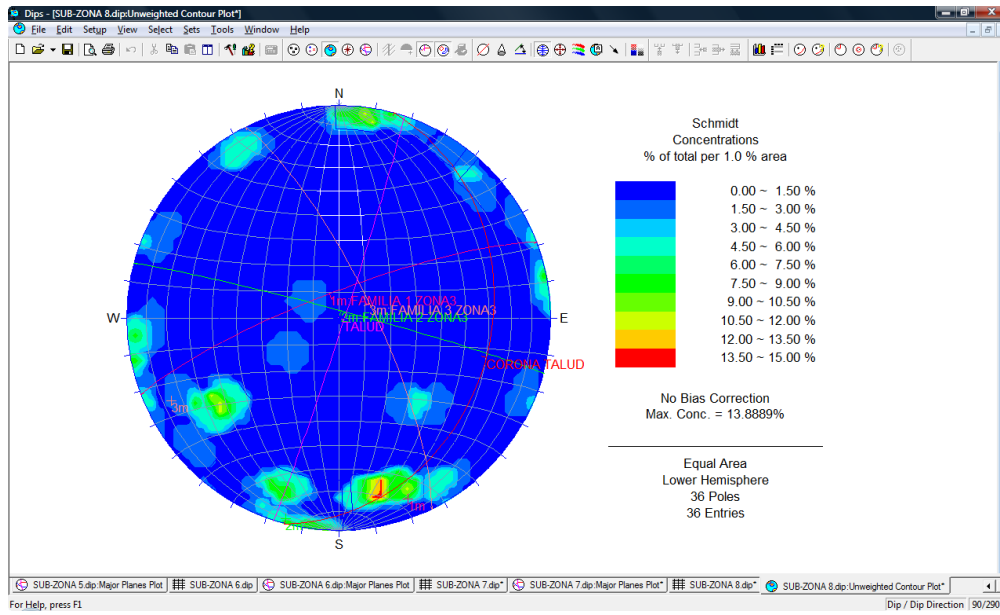
DATOS ESTRUCTURALES DEL TALUD

DIP	DDIP	ESTRUC
88	262	D
78	382	D
54	52	D
72	352	D
88	72	D
78	227	D
71	345	D
72	352	D
78	87	D
42	322	D
14	123	E
50	314	D
84	292	D
72	64	D
88	200	D
70	18	D
74	341	D
82	115	D
80	152	D
83	148	D
89	187	D
86	83	D
88	242	D
84	216	D
72	342	D
90	192	D
88	184	D
82	183	D
80	48	D
78	332	D
82	326	D
70	344	D

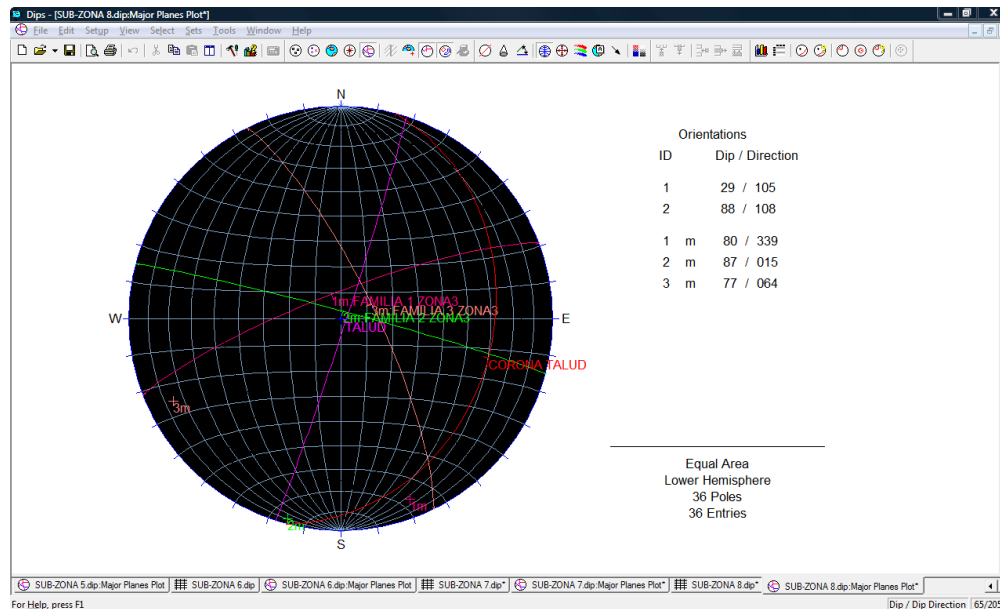
DIP	DDIP	ESTRUC
54	56	D
23	58	E
72	16	D
62	54	D

N°SUB-ZONA	8	N°ZONA	3
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA – BUCARAMANGA		

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



N°SUB-ZONA	9
Coordenadas	
X:	1'098.431
Y:	1'276.439
Z:	1028

RQD	
17	23
13	14
29	
26	
%RQD	40.7

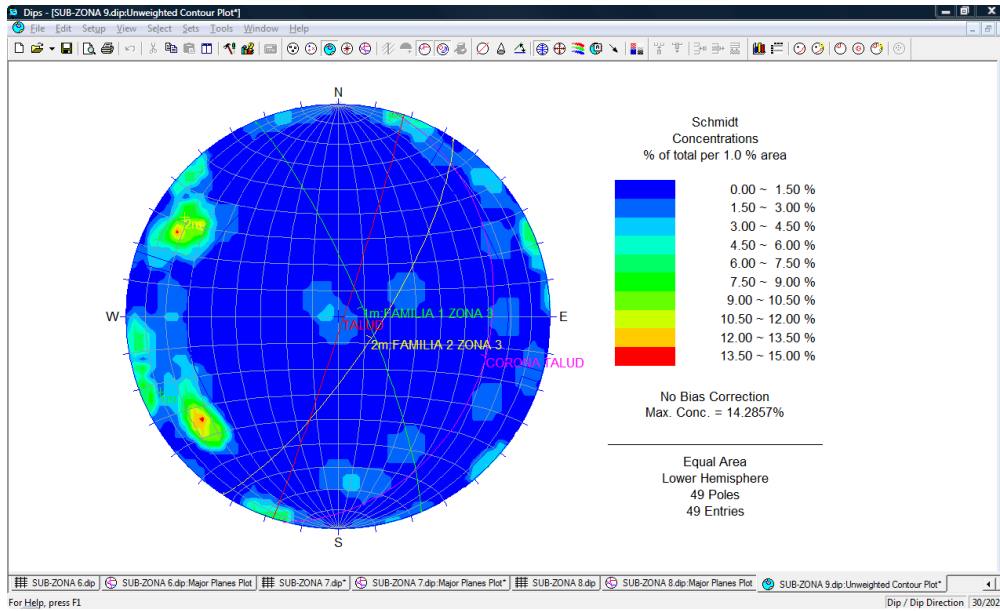
DATOS ESTRUCTURALES DEL TALUD

DIP	DDIP	ESTRUC
76	56	D
70	300	D
90	10	D
88	170	D
80	70	D
73	124	D
90	70	D
90	70	D
90	200	D
84	82	D
84	285	D
72	120	D
81	132	D
80	210	D
82	86	D
90	135	D
89	84	D
90	65	D
10	130	E
68	270	D
60	128	D
4	0	E
64	118	D
78	112	D
80	112	D
58	332	D
88	160	D
69	53	D
67	82	D
68	118	D
70	123	D
64	360	D

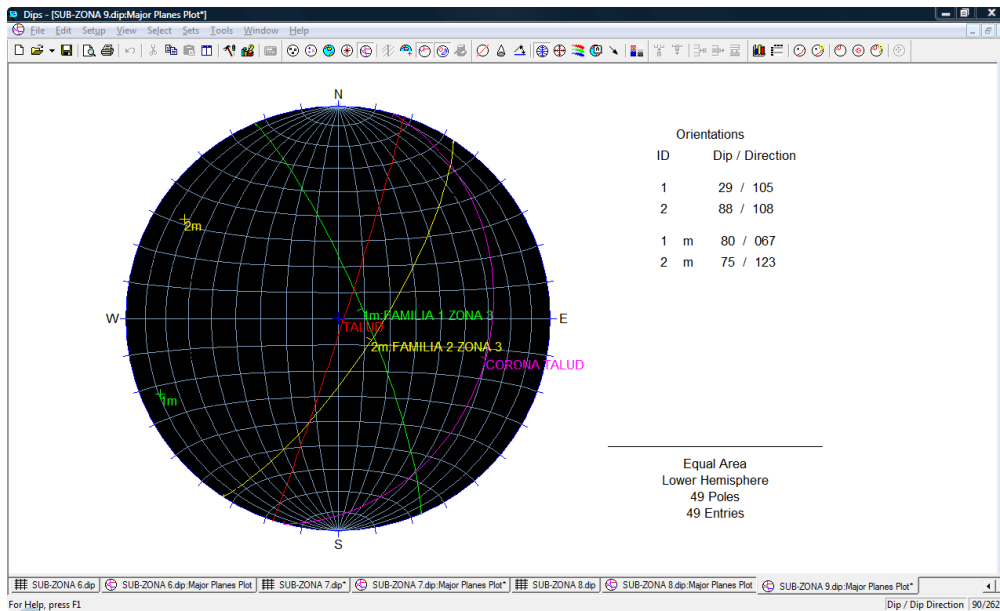
DIP	DDIP	ESTRUC
87	224	D
81	119	D
71	60	D
85	22	D
28	250	E
82	230	D
68	50	D
70	350	D
69	96	D
89	133	D
70	45	D
72	51	D
62	64	D
87	200	D
70	50	D
72	244	D
68	68	D

N°SUB-ZONA	9	N°ZONA	3
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA – BUCARAMANGA		

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



N°SUB-ZONA	10
Coordenadas	
X:	1'098.431
Y:	1'276.442
Z:	1027 m

RQD	
26	39
20	35
15	18
12	11
30	11
%RQD	58.7

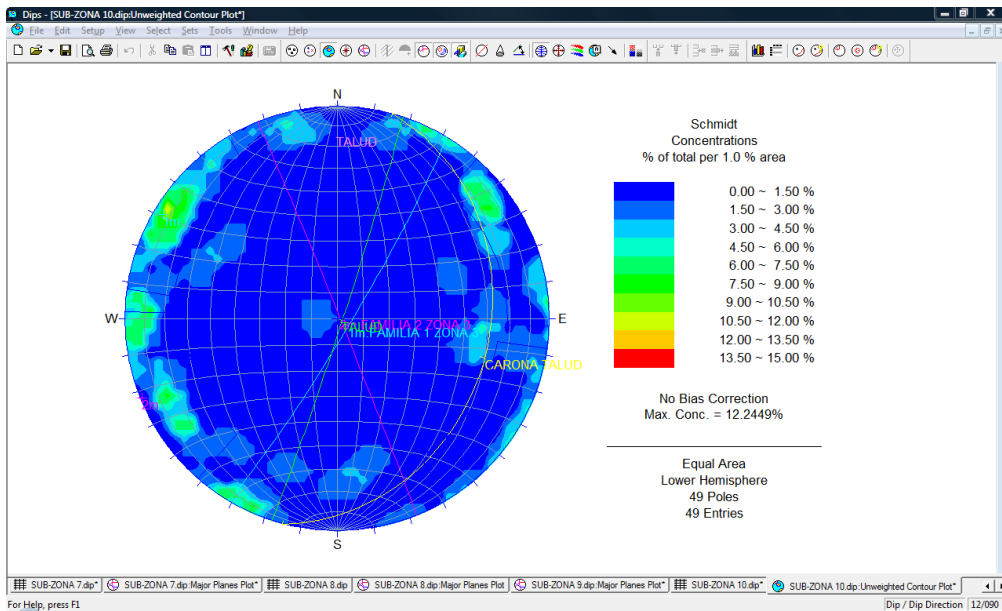
DATOS ESTRUCTURALES DEL TALUD

DIP	DDIP	ESTRUC
71	70	D
90	126	D
88	28	D
80	125	D
76	280	D
84	90	D
89	110	D
90	260	D
90	120	D
76	60	D
80	170	D
71	246	D
52	280	D
72	240	D
78	88	D
68	359	D
84	130	D
80	118	D
48	250	D
66	40	D
80	25	D
78	135	D
90	38	D
78	120	D
76	230	D
80	70	D
60	280	D
79	228	D
74	100	D
89	101	D

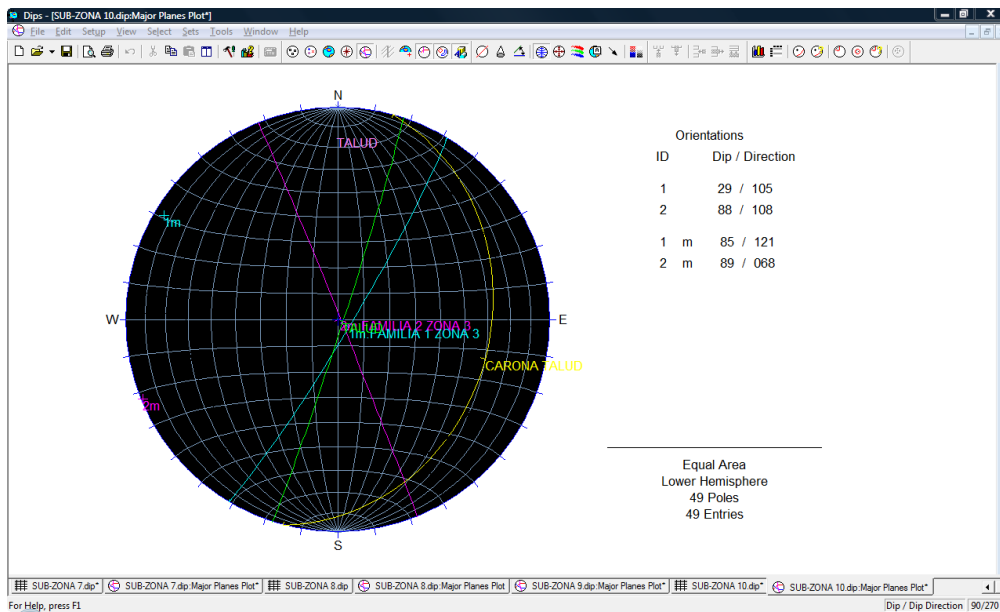
DIP	DDIP	ESTRUC
8	92	E
90	20	D
59	348	D
78	165	D
64	18	D
62	266	D
90	210	D
80	230	D
78	195	D
90	342	D
58	110	D
85	260	D
78	60	D
84	90	D
85	148	D
52	125	D

N°SUB-ZONA	10	N°ZONA	3
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA		

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



N°SUB-ZONA	11
Coordenadas	
X:	1'098.431
Y:	1'276.448
Z:	1029 m

RQD	
10	15
32	35
22	32
12	18
18	38
%RQD	58.7

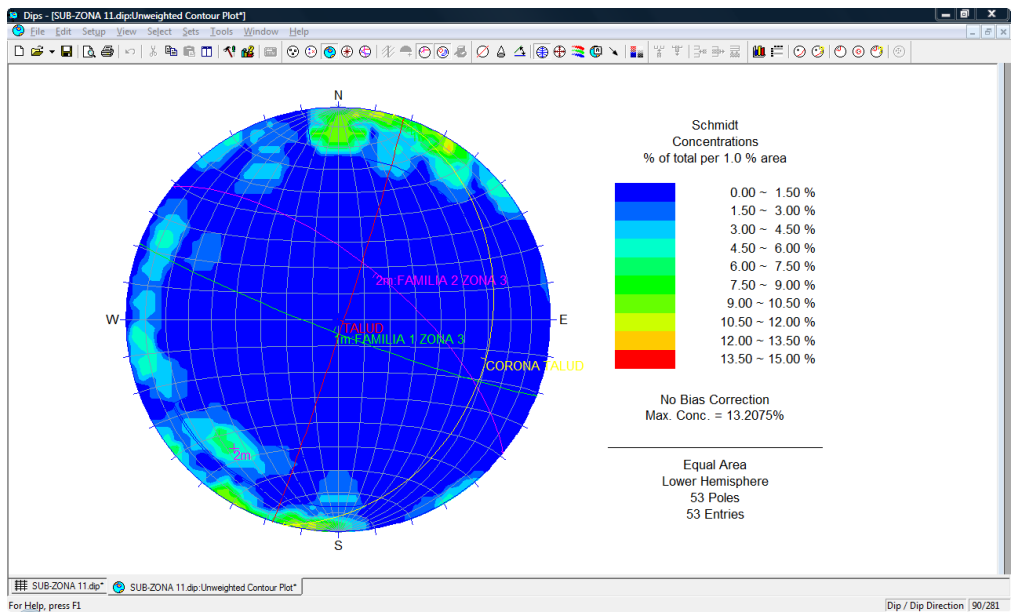
DATOS ESTRUCTURALES DEL TALUD

DIP	DDIP	ESTRUC
82	82	D
80	90	D
64	48	D
80	54	D
72	70	D
70	155	D
88	36	D
86	28	D
80	180	D
70	34	D
81	120	D
60	117	D
72	49	D
68	40	D
78	72	D
90	145	D
80	160	D
78	214	D
88	211	D
84	206	D
88	235	D
68	196	D
65	150	D
78	216	D
90	14	D
88	226	D
78	115	D
88	211	D
86	196	D
72	220	D
90	334	D
80	100	D

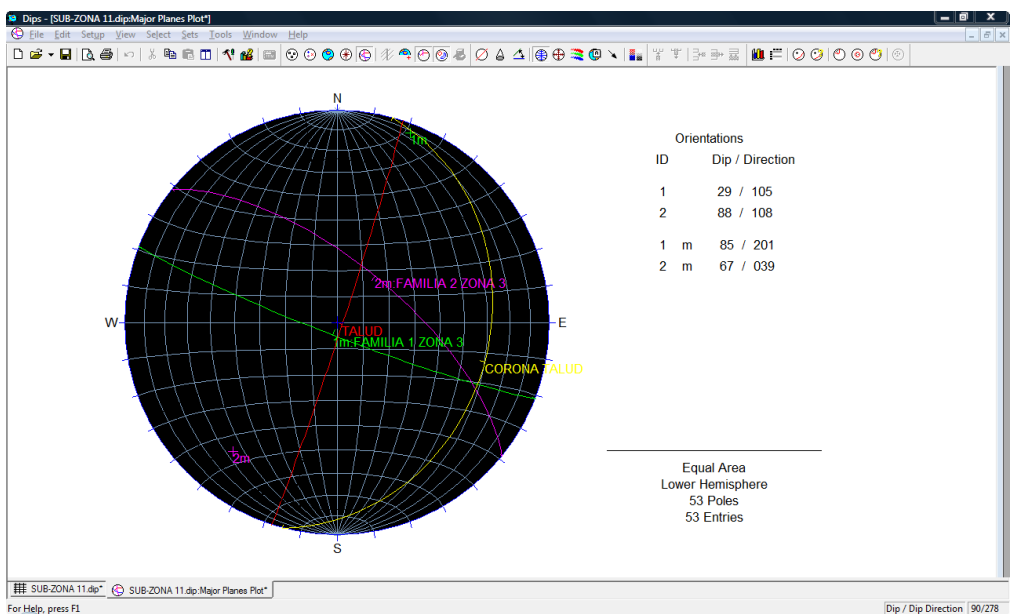
DIP	DDIP	ESTRUC
88	232	D
88	144	D
78	360	D
90	180	D
79	110	D
88	30	D
75	180	D
90	195	D
90	180	D
80	200	D
68	0	D
90	5	D
80	180	D
65	40	D
70	200	D
75	180	D
85	80	D
62	25	D
90	190	D
85	10	D
75	180	D

N°SUB-ZONA	11	N°ZONA	3
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA – BUCARAMANGA		

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



N°SUB-ZONA	12
Coordenadas	
X:	1'098.431
Y:	1'276.450
Z:	1027 m

RQD	
20	25
18	23
12	
30	
%RQD	42.7

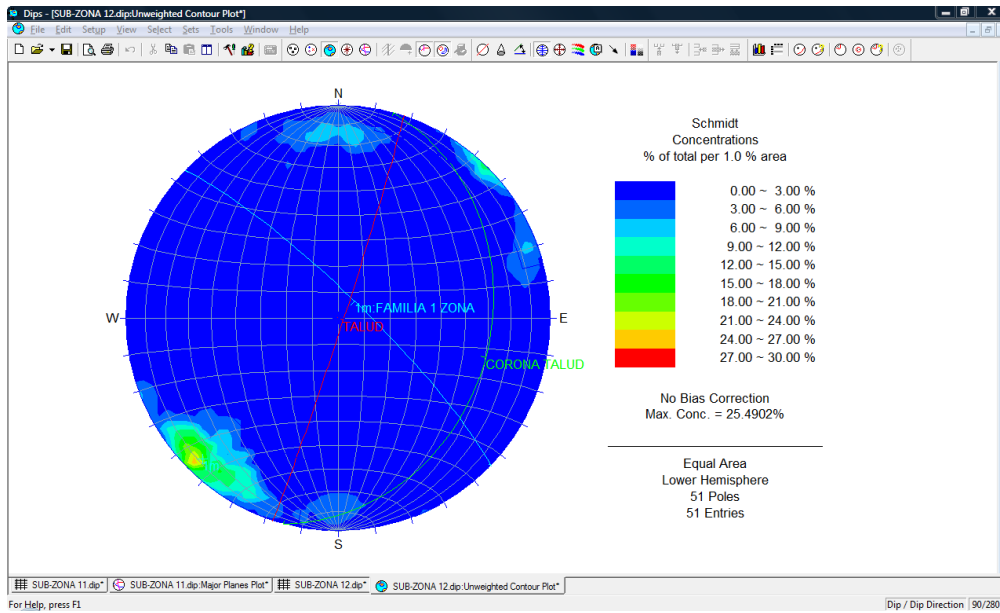
DATOS ESTRUCTURALES DEL TALUD

DIP	DDIP	ESTRUC
80	115	D
77	188	D
72	190	D
78	170	D
72	165	D
78	45	D
63	49	D
78	49	D
65	300	D
72	38	D
88	64	D
87	46	D
85	160	D
84	52	D
78	55	D
80	30	D
78	32	D
72	32	D
80	175	D
84	31	D
82	50	D
8	126	E
90	250	D
78	180	D
80	252	D
88	130	D
78	28	D
88	245	D
78	0	D
78	256	D
76	0	D
84	17	D

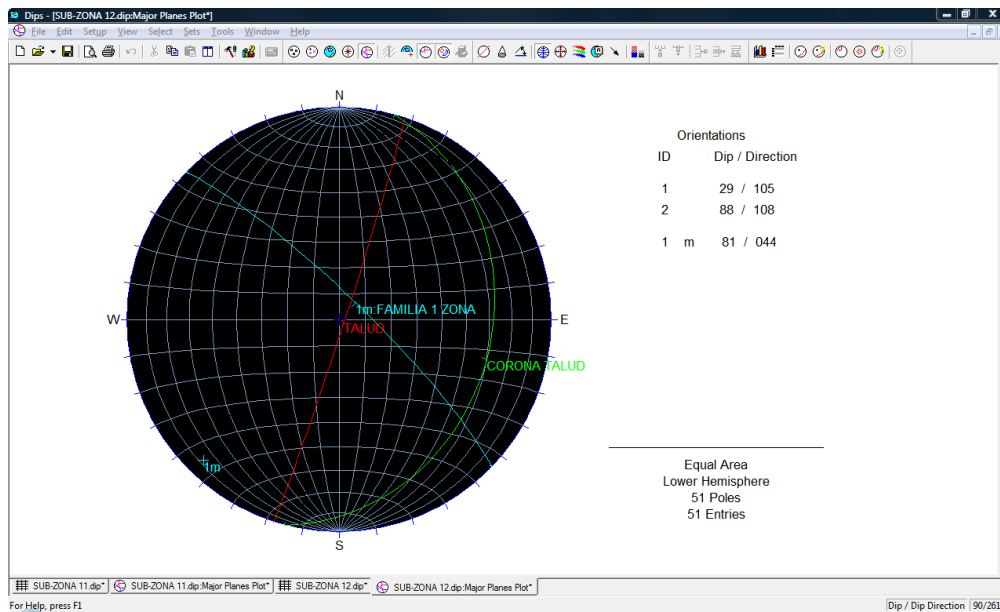
DIP	DDIP	ESTRUC
90	40	D
80	50	D
74	37	D
62	40	D
69	49	D
88	100	D
72	180	D
85	40	D
49	117	D
90	50	D
82	50	D
90	150	D
82	5	D
85	25	D
88	220	D
80	45	D
90	225	D
58	160	D
85	40	D

N°SUB-ZONA	12	N°ZONA	3
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA		

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



N°SUB-ZONA	13
Coordenadas	
X:	1'098.431
Y:	1'276.455
Z:	1027 m

RQD	
12	25
16	23
16	11
12	13
%RQD	42.7

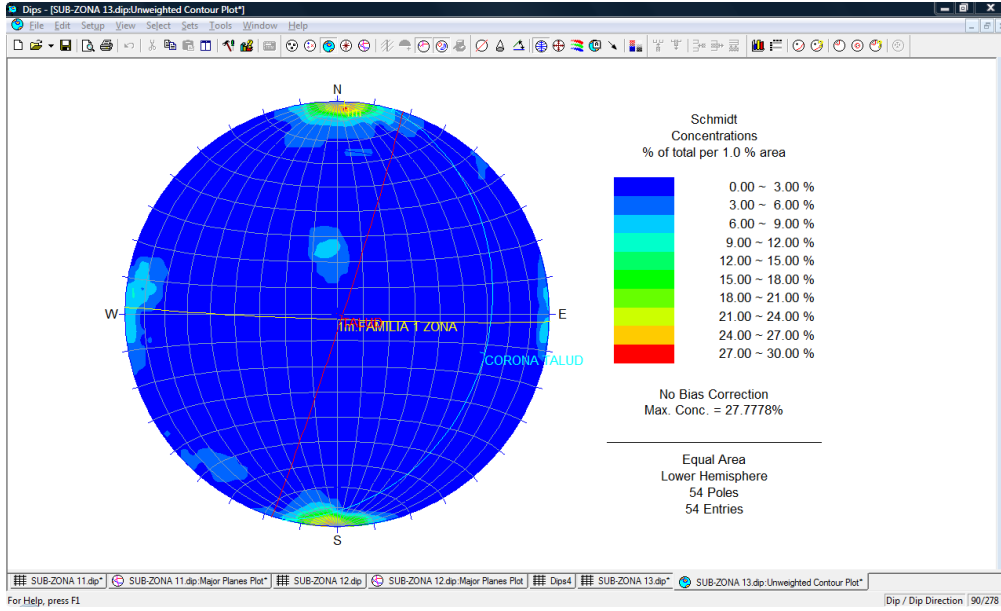
DATOS ESTRUCTURALES DEL TALUD

DIP	DDIP	ESTRUC
90	180	D
72	186	D
80	100	D
78	184	D
88	170	D
89	3	D
82	180	D
80	7	D
90	80	D
84	8	D
72	170	D
88	194	D
52	0	D
60	190	D
90	186	D
28	10	E
90	176	D
88	172	D
78	105	D
88	359	D
72	5	D
86	348	D
89	95	D
88	180	D
85	80	D
90	0	D
90	90	D
90	125	D
86	178	D
78	90	D
22	178	E
86	198	D

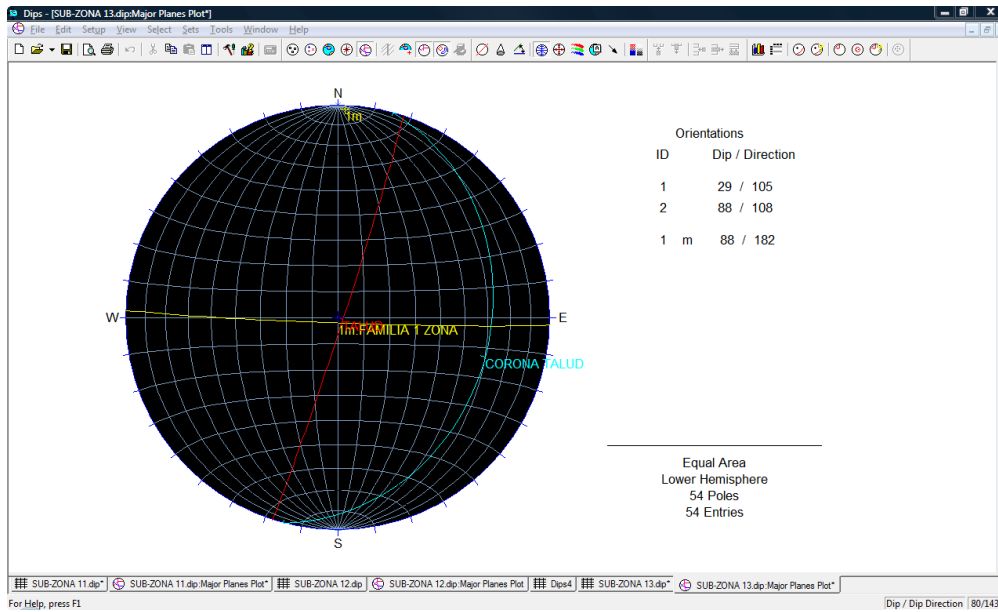
DIP	DDIP	ESTRUC
90	90	D
82	220	D
86	198	D
89	4	D
88	4	D
78	38	D
88	6	D
20	170	D
89	175	D
84	42	D
86	188	D
78	32	D
88	184	D
88	230	D
90	100	D
6	156	E
86	155	D
75	170	D
30	170	D
28	170	E
78	100	D
82	60	D

N°SUB-ZONA	13	N°ZONA	4
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA – BUCARAMANGA		

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



N°SUB-ZONA	14
Coordenadas	
X:	1'098.432
Y:	1'276.455
Z:	1026 m

RQD	
20	20
10	12
40	50
13	20
18	
%RQD	61.7

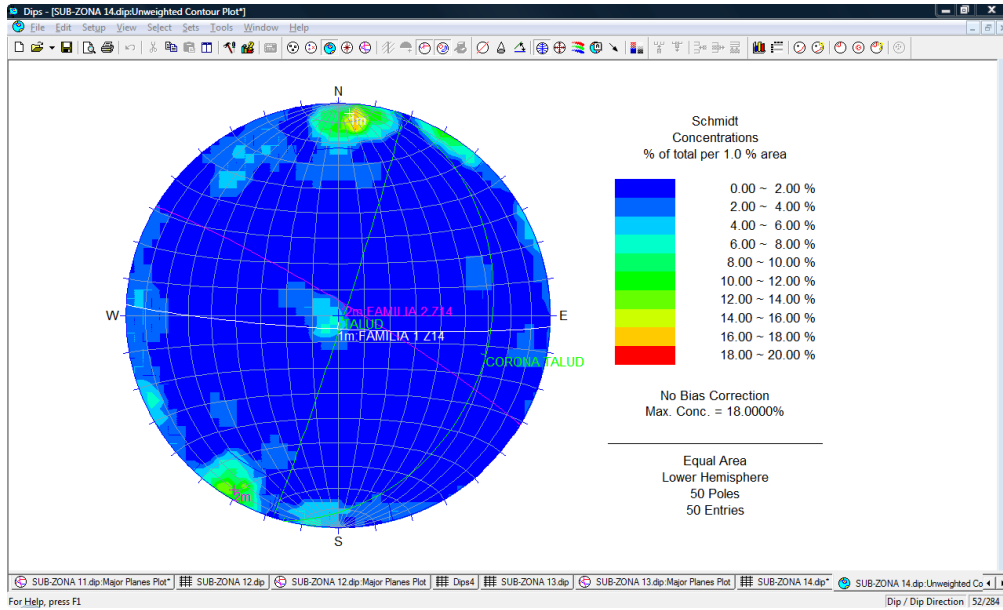
DATOS ESTRUCTURALES DEL TALUD

DIP	DDIP	ESTRUC
90	260	D
75	90	D
80	180	D
87	115	D
85	180	D
88	214	D
74	32	D
82	180	D
88	28	D
8	14	E
85	185	D
18	115	E
2	90	E
72	145	D
76	33	D
85	90	D
58	172	D
90	190	D
80	190	D
80	180	D
82	72	D
78	280	D
83	32	D
58	254	D
88	30	D
88	65	D
88	226	D
78	155	D
6	94	E
60	50	D
70	140	D
85	145	D

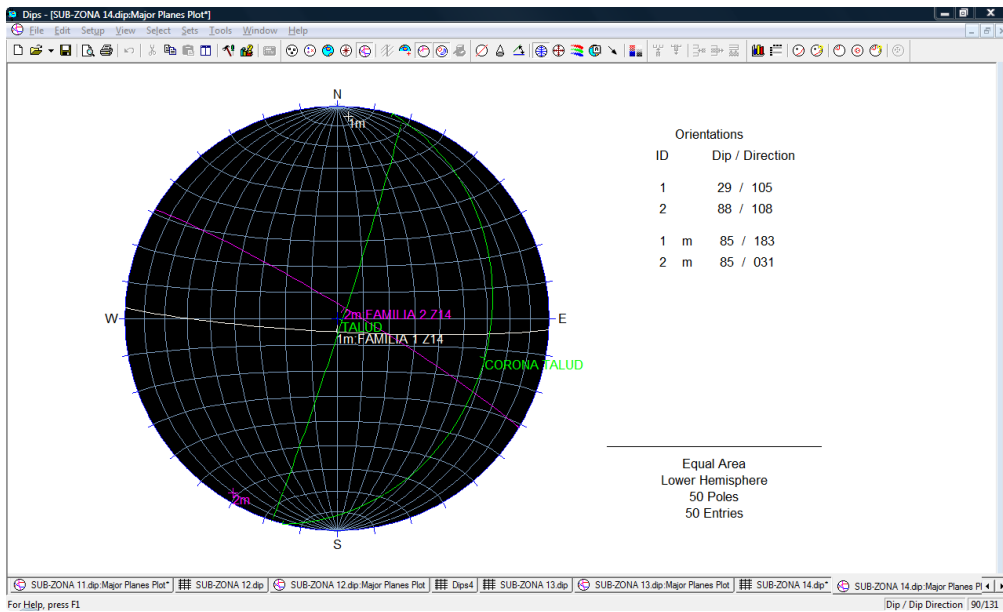
DIP	DDIP	ESTRUC
84	58	D
84	22	D
88	210	D
88	246	D
60	24	D
85	100	D
82	5	D
72	180	D
58	190	D
82	5	D
72	180	D
82	190	D
82	350	D
90	160	D
90	36	D
82	190	D
80	35	D
70	160	D

N°SUB-ZONA	14	N°ZONA	4
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA – BUCARAMANGA		

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



N°SUB-ZONA	15
Coordenadas	
X:	1'098.430
Y:	1'276.457
Z:	1027 m

RQD	
40	27
12	18
18	18
85	20
%RQD	79.3

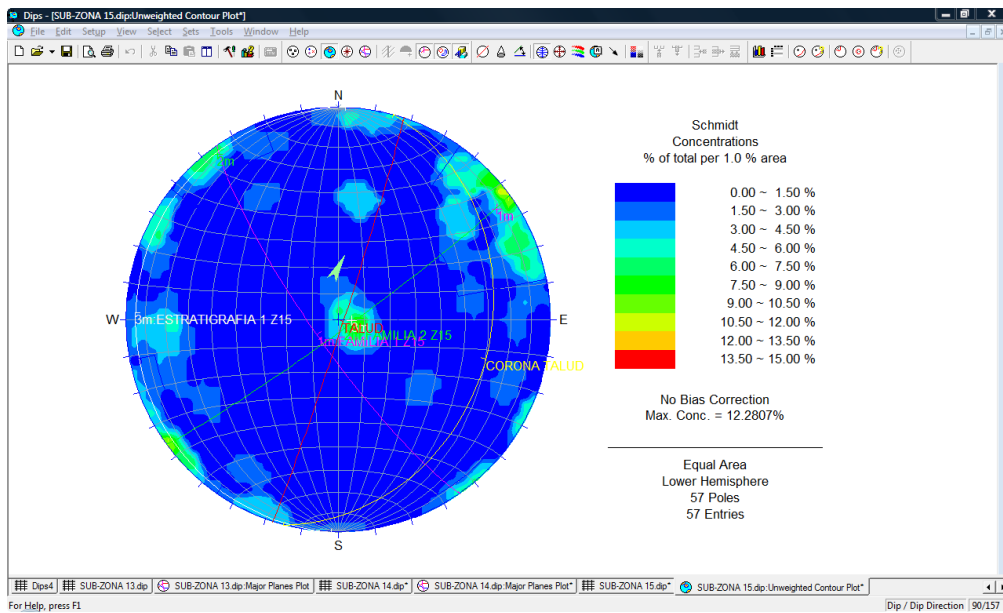
DATOS ESTRUCTURALES DEL TALUD

DIP	DDIP	ESTRUC
78	109	D
72	220	D
86	134	D
58	148	D
48	190	D
79	220	D
90	230	D
82	260	D
90	150	D
80	83	D
88	120	D
86	90	D
73	270	D
88	140	D
8	240	E
88	52	D
12	290	E
88	48	D
86	70	D
78	158	D
70	72	D
82	250	D
72	86	D
53	260	D
70	250	D
88	322	D
11	310	E
42	310	D
88	178	D
11	174	E
62	230	D
89	58	D

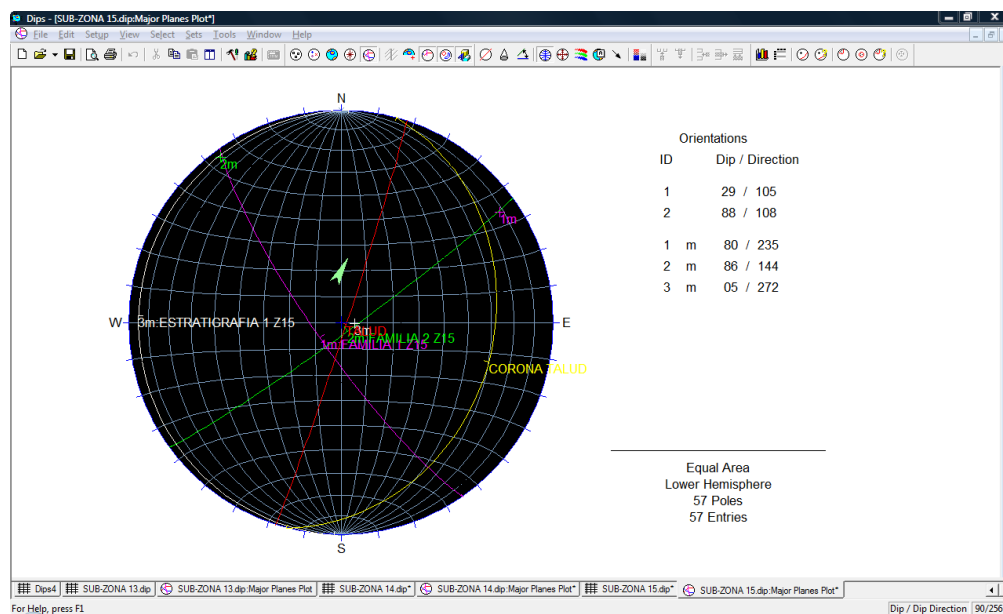
DIP	DDIP	ESTRUC
72	30	D
87	118	D
83	140	D
86	252	D
48	190	D
88	116	D
88	230	D
86	238	D
90	215	D
2	300	E
86	188	D
74	290	D
79	220	D
86	20	D
86	22	D
64	84	D
82	230	D
54	240	D
62	58	D
64	230	D
5	320	E
70	93	D
78	247	D
80	242	D
84	190	D

N°SUB-ZONA	15	N°ZONA	4
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA – BUCARAMANGA		

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



N°SUB-ZONA	16
Coordenadas	
X:	1'098.430
Y:	1'276.459
Z:	1028 m

RQD	
40	20
30	15
16	25
22	
%RQD	56.0

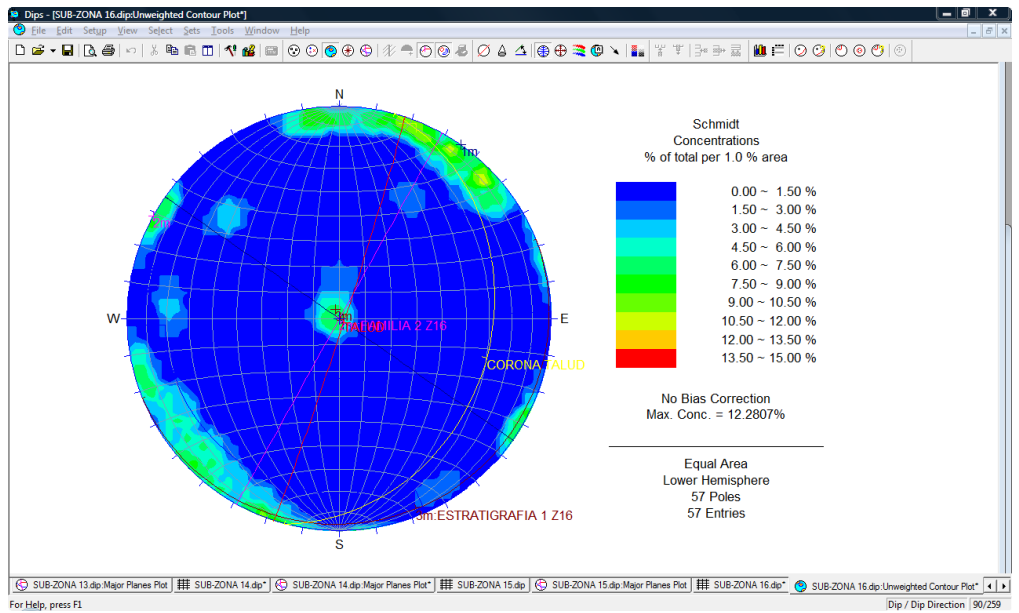
DATOS ESTRUCTURALES DEL TALUD

DIP	DDIP	ESTRUC
55	210	D
88	230	D
70	98	D
78	230	D
90	118	D
78	210	D
87	220	D
90	110	D
90	123	D
85	195	D
15	180	E
82	22	D
2	340	E
78	215	D
89	304	D
88	75	D
87	120	D
82	330	D
68	90	D
82	75	D
84	56	D
84	172	D
72	225	D
82	176	D
85	205	D
84	64	D
80	45	D
84	186	D
82	220	D
87	191	D
86	176	D
88	200	D

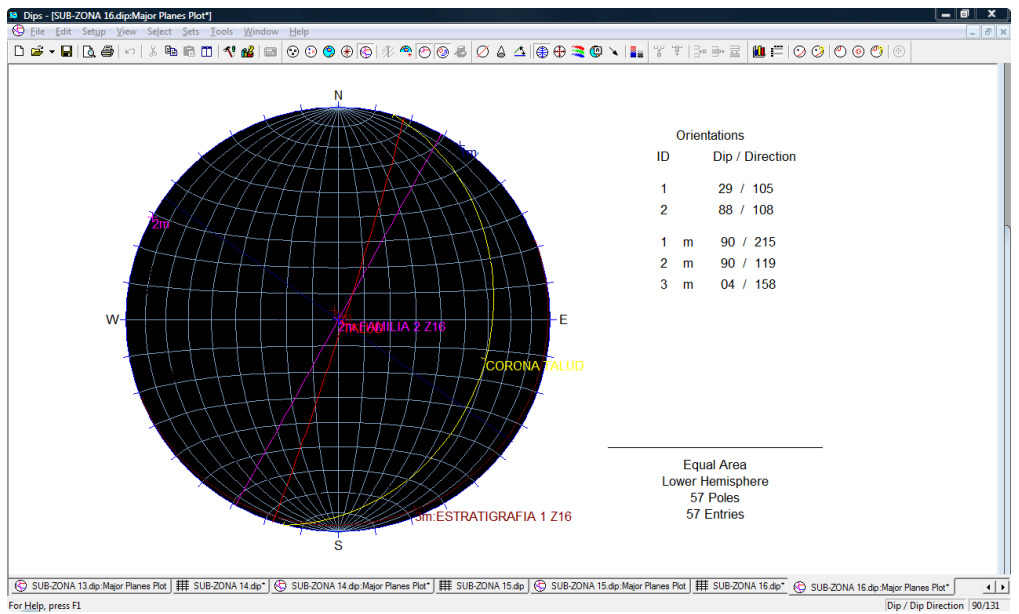
DIP	DDIP	ESTRUC
75	62	D
6	109	E
2	130	E
80	35	D
87	168	D
84	172	D
88	70	D
88	206	D
80	230	D
82	230	D
4	156	E
62	130	D
72	62	D
85	200	D
83	210	D
82	50	D
60	135	D
88	38	D
88	80	D
82	185	D
87	15	D
89	222	D
75	48	D
80	28	D
72	42	D

N°SUB-ZONA	16	N°ZONA	4
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA – BUCARAMANGA		

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



N°ZONA	17
Coordenadas	
X:	1'098.431
Y:	1'276.461
Z:	1027 m

RQD	
80	18
50	12
13	20
18	
%RQD	70.3

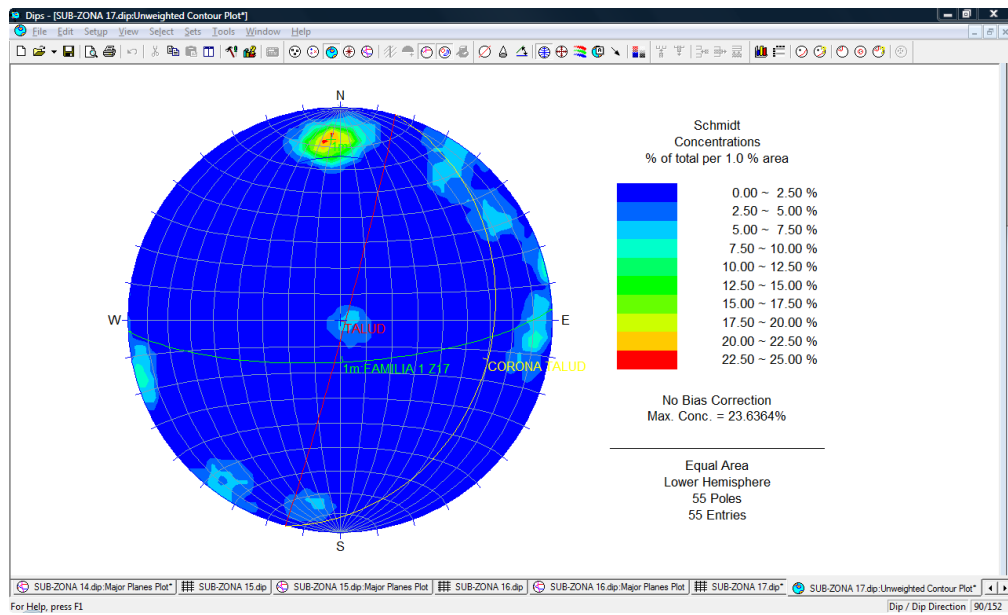
DATOS ESTRUCTURALES DEL TALUD

DIP	DDIP	ESTRUC
72	180	D
88	72	D
72	175	D
82	280	D
2	170	E
78	234	D
87	140	D
78	282	D
84	32	D
82	270	D
88	250	D
72	5	D
4	300	E
80	10	D
78	185	D
70	280	D
66	240	D
78	180	D
48	220	D
72	220	D
85	75	D
78	170	D
21	240	E
85	75	D
88	210	D
78	190	D
89	80	D
78	12	D
66	210	D
72	175	D
81	210	D
85	270	D
80	215	D

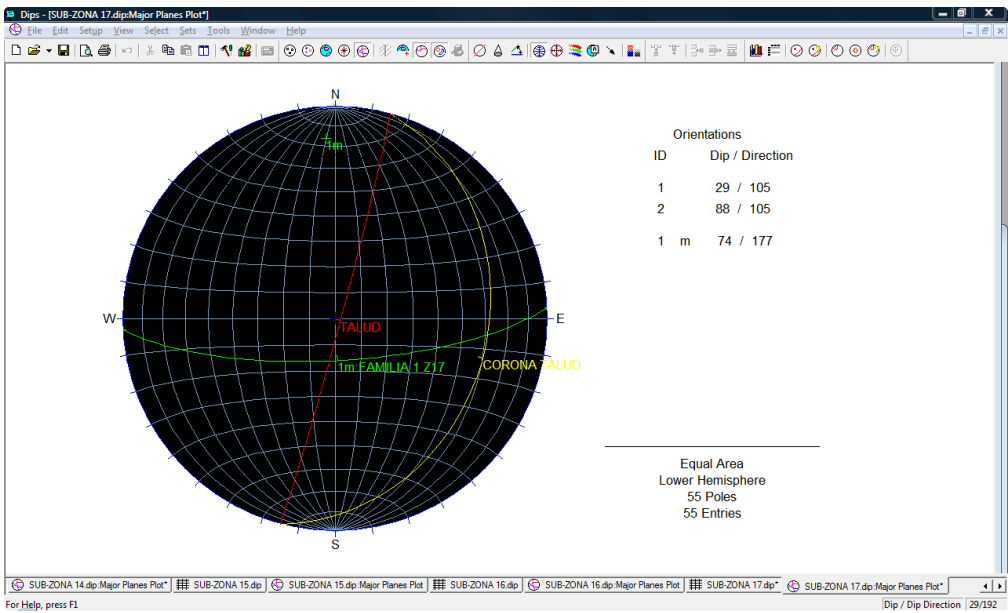
DIP	DDIP	ESTRUC
55	180	D
80	270	D
82	235	D
72	234	D
80	185	D
88	218	D
70	180	D
80	35	D
71	220	D
85	45	D
23	290	E
75	175	D
75	35	D
75	170	D
73	160	D
78	245	D
77	175	D
70	180	D
70	175	D
68	172	D
68	178	D
8	296	E

N°SUB-ZONA	17	N°ZONA	4
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA – BUCARAMANGA		

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



N°SUB-ZONA	18
Coordenadas	
X:	1'098.431
Y:	1'276.463
Z:	1026 m

RQD	
45	40
40	16
25	15
18	20
%RQD	73.0

DATOS ESTRUCTURALES DEL TALUD

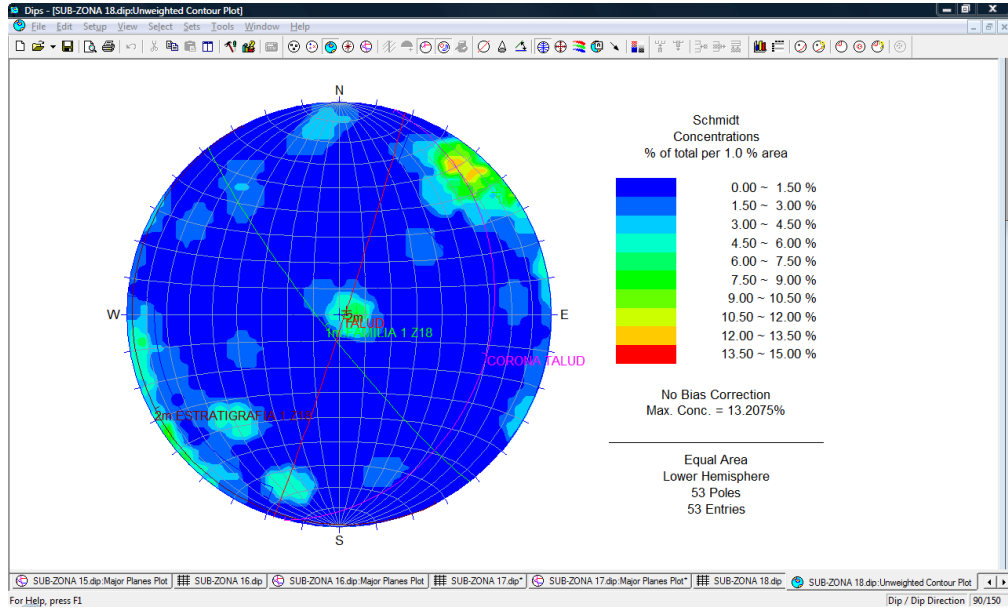
DIP	DDIP	ESTRUC
80	215	D
42	230	D
80	245	D
88	88	D
72	170	D
78	40	D
76	18	D
85	75	D
70	16	D
72	205	D
62	220	D
87	230	D
71	234	D
68	55	D
2	276	E
89	75	D
89	240	D
89	120	D
10	130	E
64	220	D
74	222	D
72	72	D
82	218	D
89	234	D
78	175	D
88	222	D
85	298	D
80	222	D
72	265	D
8	225	E
86	34	D
70	145	D
80	215	D

DIP	DDIP	ESTRUC
66	344	D
62	45	D
70	122	D
88	284	D
78	85	D
85	178	D
72	230	D
58	45	D
58	140	D
81	230	D
40	70	D
82	218	D
88	50	D
72	15	D
84	62	D
4	290	E
10	292	E
89	80	D
55	40	D
78	210	D
76	222	D
8	296	E

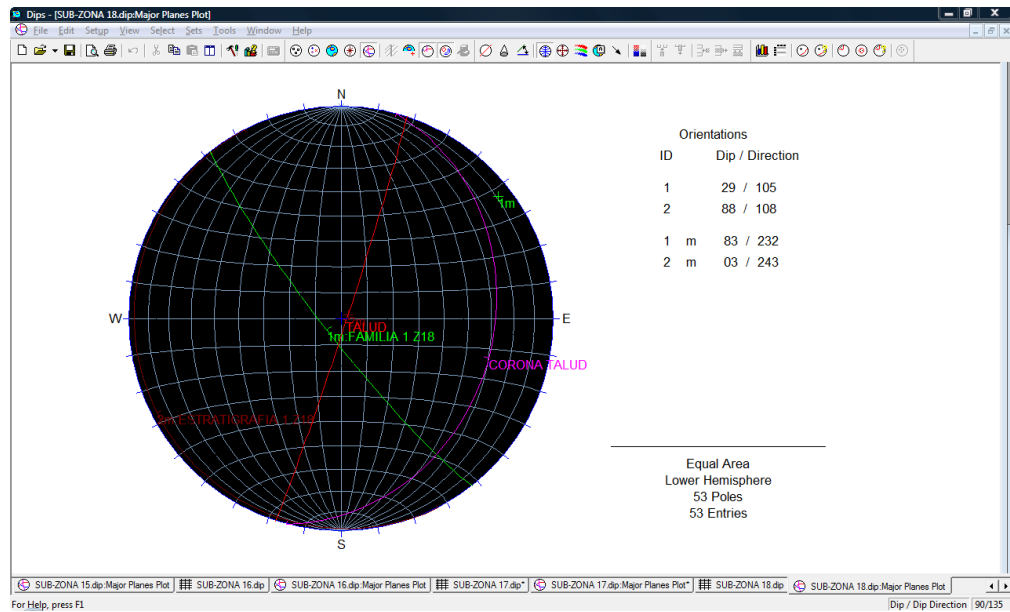
N°SUB-ZONA 18 N°ZONA 4

PROYECTO: TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



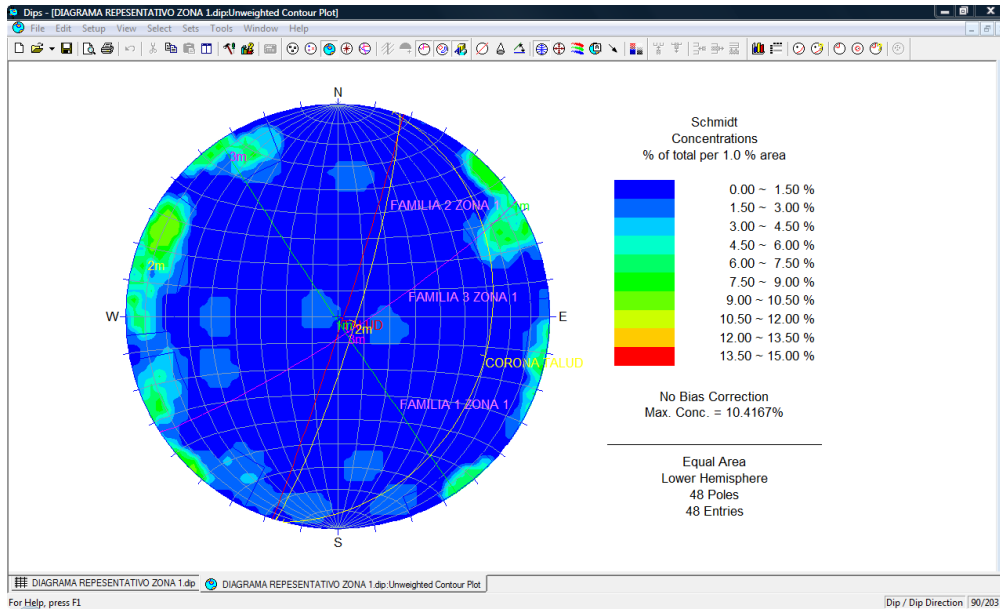
REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



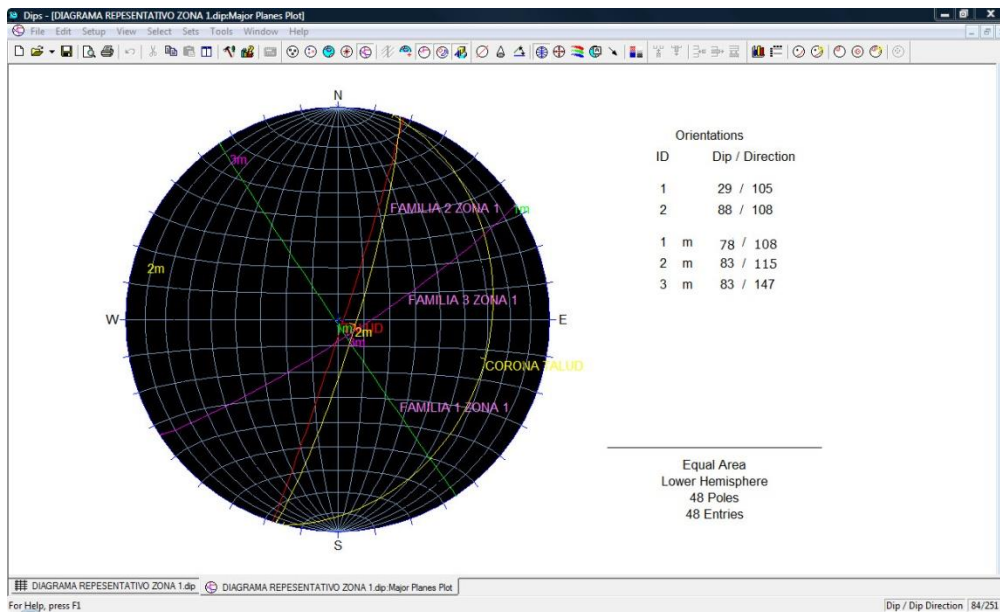
ANEXO B
ESTEREREÓGRAFICAS DE LOS PLANOS DE DISCONTINUIDAD DE
LAS ZONAS REPRESENTATIVAS DEL MACIZO

PARTE 2

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



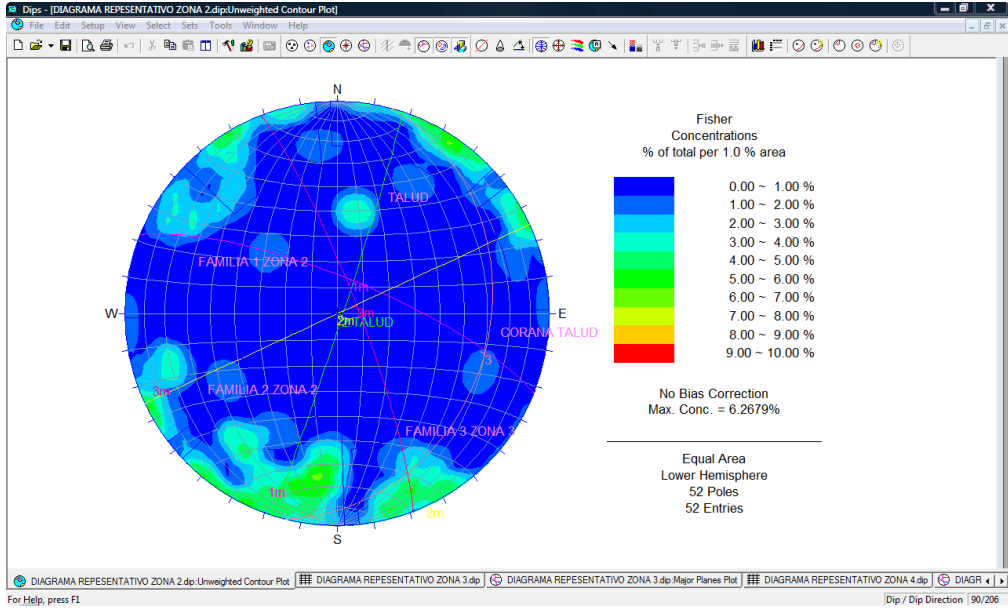
REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



NºZONA **2**

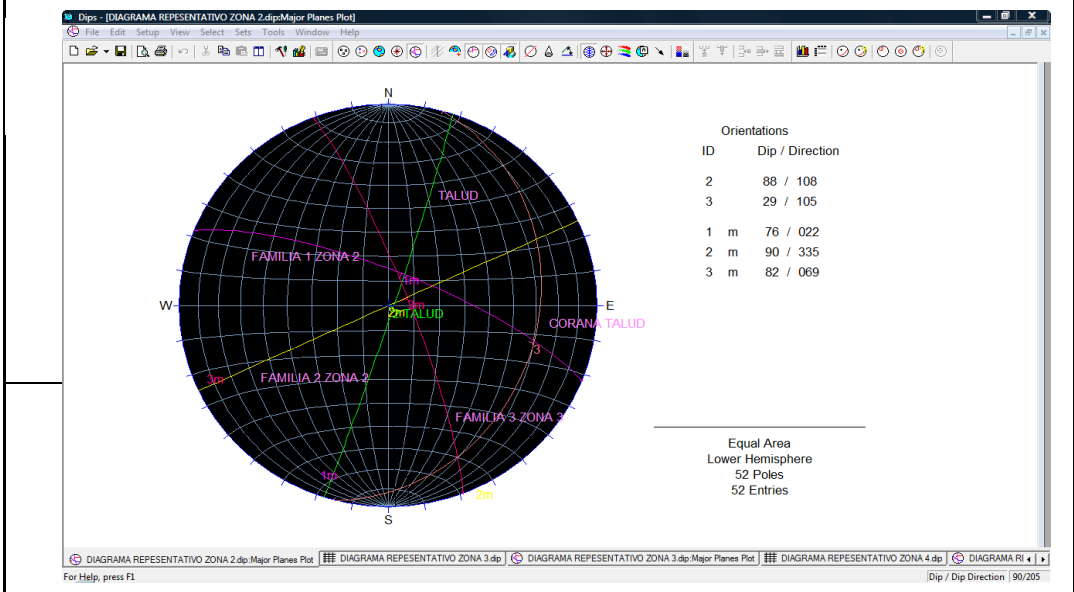
PROYECTO: TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA

ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS

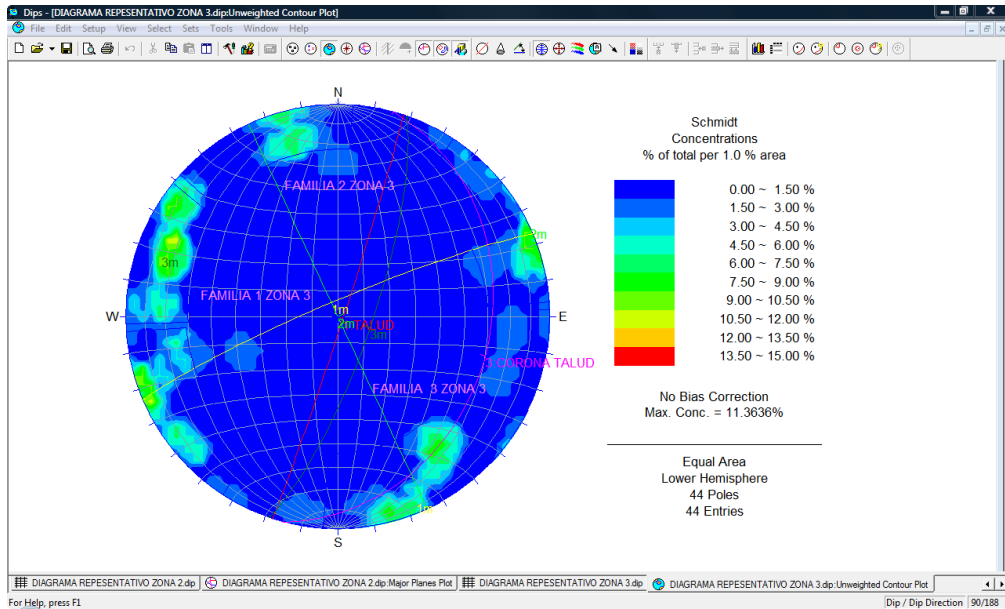


||

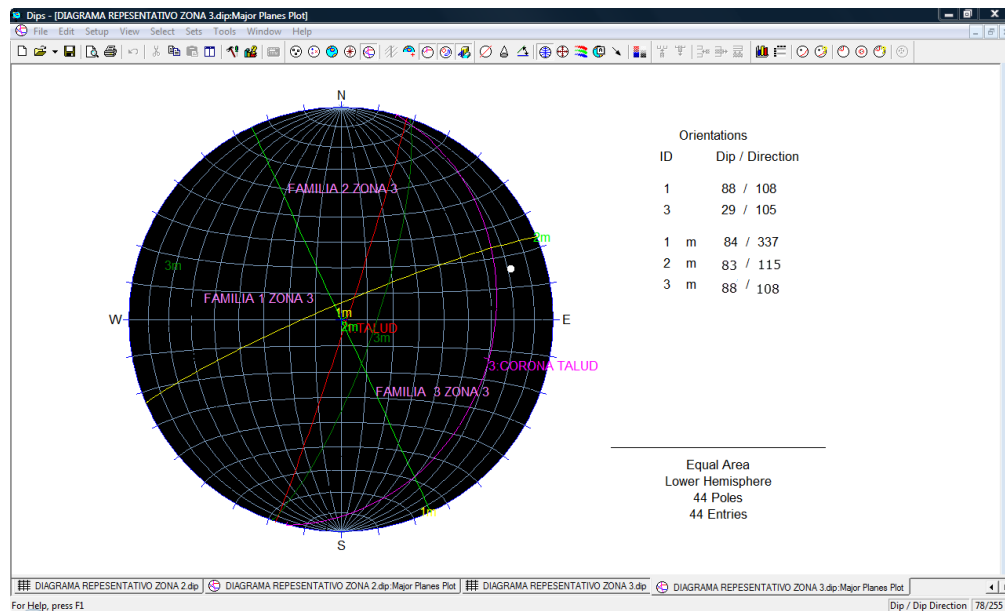
REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



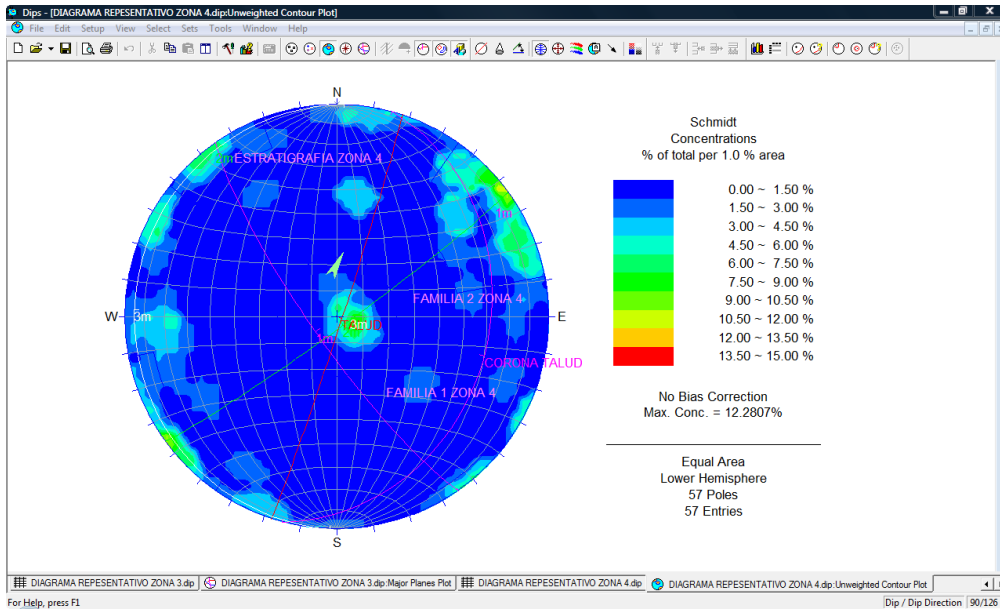
ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



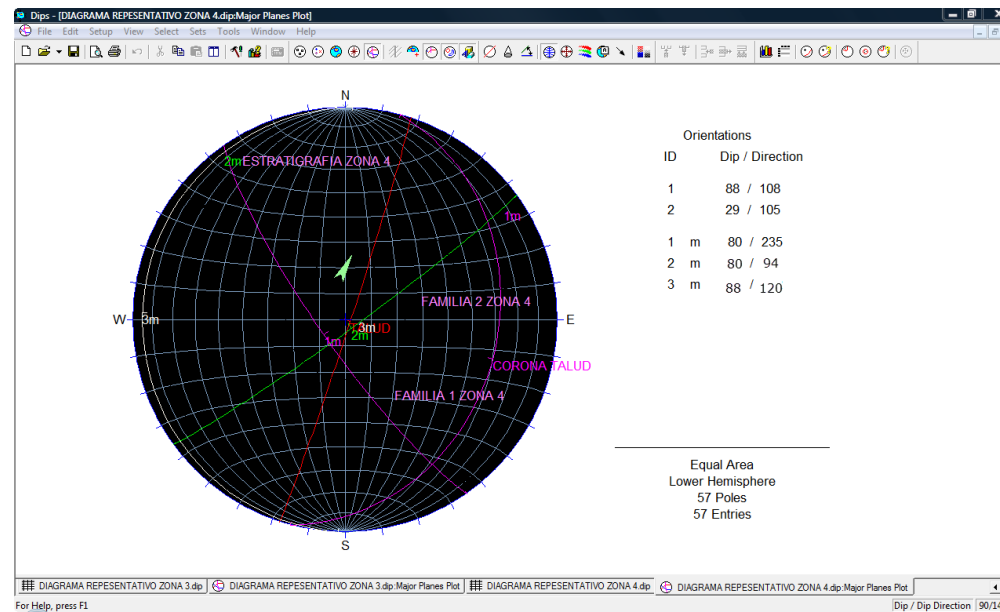
REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



ESTÉREONET CON EL MAPA DE DENSIDAD DE POLOS



REPRESENTACIÓN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS



ANEXO C
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (Bieniaswski, 1989)

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
COORDENADAS:	ZONA EXT 1 : 1'098.429 E, 1'276.419 N, 1012 m

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (Mpa)			
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1	
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%			
	Puntuación			20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	006-0.2m	<0.06			
	Puntuación			20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20			
		Puntuación		6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1m	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm			
		Puntuación		6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	ondulada	Suave			
		Puntuación		6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm			
		Puntuación		6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompesta			
Puntuación		6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Estado general	Seco	Ligeramente humedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo			
	Puntuación			15	10	7	4	0		

CLASIFICACIÓN

CLASE	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Puntuación Zona			46		

CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN RELACIÓN AL ÍNDICE RMR

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy Buena	100-81	>4 kg/cm ²	>45°
II	Buena	80-61	3-4 kg/cm ²	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm ²	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm ²	15°-25°

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
COORDENADAS:	ZONA EXT 2 : 1'098.421 E, 1'276.420 N, 1011 m

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (Mpa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1m	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		

CLASIFICACIÓN

CLASE	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Puntuación Zona				35	

CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN RELACIÓN AL ÍNDICE RMR

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy Buena	100-81	>4 kg/cm ²	>45°
II	Buena	80-61	3-4 kg/cm ²	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm ²	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm ²	15°-25°

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
COORDENADAS:	ZONA EXT 3 : 1'098.430 E, 1'276.461 N, 1020 m

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (Mpa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1m	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		

CLASIFICACIÓN

CLASE	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Puntuación Zona				31	

CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN RELACIÓN AL ÍNDICE RMR

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy Buena	100-81	>4 kg/cm ²	>45°
II	Buena	80-61	3-4 kg/cm ²	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm ²	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm ²	15°-25°
V	Muy mala	<20	<1 kg/cm ²	<15°

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
COORDENADAS:	ZONA EXT 4 : 1'098.430 E, 1'276.461 N, 1022 m

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (Mpa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	006-0.2m	<0.06		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1m	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Estado general	Seco	Ligeramente humedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		

CLASIFICACIÓN

CLASE	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Puntuación Zona			50		

CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN RELACIÓN AL ÍNDICE RMR

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy Buena	100-81	>4 kg/cm ²	>45°
II	Buena	80-61	3-4 kg/cm ²	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm ²	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm ²	15°-25°
V	Muy mala	<20	<1 kg/cm ²	<15°

ANEXO D
ENSAYOS DE LABORATORIO

**ENSAYOS DE HUMEDAD
NTC 1495 ASTM D 2216**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (N1)
COORDENADAS:	1'098.429 E, 1'276.419 N, 1012 m

TARA	10	33	25
W. TARA	6.8	6.7	6.3
W. MUESTRA HUMEDA + TARA	64.2	65.2	61.1
W. MUESTRA SECA + TARA	63.2	63.9	60.2
W, MUESTRA SECA	56.40	57.20	53.90
HUMEDAD %	1.77	2.27	1.67

TARA	63	36	21
W. TARA	6.9	5.9	6.2
W. MUESTRA HUMEDA + TARA	61.2	55.6	53.8
W. MUESTRA SECA + TARA	60.5	54.5	52.7
W, MUESTRA SECA	53.60	48.60	46.50
w. AGUA	0.70	1.10	1.10
HUMEDAD %	1.31	2.26	2.37

PROMEDIO DE HUMEDADES %	1.94
--------------------------------	------

**ENSAYOS DE HUMEDAD
NTC 1495 ASTM D 2216**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (N2)
COORDENADAS:	1'098.421 E, 1'276.420 N, 1011 m

TARA	3	13	52
W. TARA	6.8	6.8	6.8
W. MUESTRA HUMEDA + TARA	66.5	63.2	62.1
W. MUESTRA SECA + TARA	64.0	60.7	59.8
W, MUESTRA SECA	57.20	53.90	53.00
HUMEDAD %	4.37	4.64	4.34

TARA	29	41	33
W. TARA	6.1	5.9	6.5
W. MUESTRA HUMEDA + TARA	62.9	56.8	58.3
W. MUESTRA SECA + TARA	61.2	54.7	55.6
W, MUESTRA SECA	55.10	48.80	49.10
w. AGUA	1.70	2.10	2.70
HUMEDAD %	3.09	4.30	5.50

PROMEDIO DE HUMEDADES %	4.37
--------------------------------	------

**ENSAYO DE HUMEDAD
NTC 1495 ASTM D 2216**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (N3)
COORDENADAS:	1'098.430 E, 1'276.461 N, 1020 m

TARA	2	56	29
W. TARA	6.7	6.7	6.8
W. MUESTRA HUMEDA + TARA	71.4	63.2	59.8
W. MUESTRA SECA + TARA	70.3	61.8	59.1
W. MUESTRA SECA	63.60	55.10	52.30
HUMEDAD %	1.73	2.54	1.34

TARA	33	39	11
W. TARA	6.3	5.9	6.5
W. MUESTRA HUMEDA + TARA	63.1	57.3	54.4
W. MUESTRA SECA + TARA	62.1	56.7	53.1
W. MUESTRA SECA	55.80	50.80	46.60
w. AGUA	1.00	0.60	1.30
HUMEDAD %	1.79	1.18	2.79

PROMEDIO DE HUMEDADES %	1.90
-------------------------	------

**ENSAYO DE HUMEDAD
NTC 1495 ASTM D 2216**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (N4)
COORDENADAS:	1'098.430 E, 1'276.461 N, 1022 m

TARA	13	56	29
W. TARA	6.9	6.7	6.8
W. MUESTRA HUMEDA + TARA	67.2	63.2	59.8
W. MUESTRA SECA + TARA	66.5	61.8	59.1
W, MUESTRA SECA	59.60	55.10	52.30
HUMEDAD %	1.17	2.54	1.34

TARA	33	39	11
W. TARA	6.3	5.9	6.5
W. MUESTRA HUMEDA + TARA	63.1	57.3	54.4
W. MUESTRA SECA + TARA	62.1	56.7	53.1
W, MUESTRA SECA	55.80	50.80	46.60
w. AGUA	1.00	0.60	1.30
HUMEDAD %	1.79	1.18	2.79

PROMEDIO DE HUMEDADES %	1.80
--------------------------------	------

**ENSAYO DE HUMEDAD
NTC 1495 ASTM D 2216**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (LC)

TARA	1	33	39
W. TARA	6.8	6.5	6.2
W. MUESTRA HUMEDA + TARA	84.6	62.3	58.3
W. MUESTRA SECA + TARA	83.9	61.8	57.2
W, MUESTRA SECA	77.10	55.30	51.00
HUMEDAD %	0.91	0.90	2.16

TARA	41	14	19
W. TARA	6.1	5.8	6.8
W. MUESTRA HUMEDA + TARA	62.8	57.3	54.4
W. MUESTRA SECA + TARA	61.8	56.7	53.1
W, MUESTRA SECA	55.70	50.90	46.30
w. AGUA	1.00	0.60	1.30
HUMEDAD %	1.80	1.18	2.81

PROMEDIO DE HUMEDADES %	1.63
--------------------------------	-------------

**ENSAYO DE HUMEDAD
NTC 1495 ASTM D 2216**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (PR)
COORDENADAS:	1'098.430 E, 1'276.457 N, 1027 m

TARA	8	38	37
W. TARA	6.9	6.9	5.9
W. MUESTRA HUMEDA + TARA	67.3	62.8	58.2
W. MUESTRA SECA + TARA	65.6	61.8	57.1
W, MUESTRA SECA	58.70	54.90	51.20
HUMEDAD %	2.90	1.82	2.15

TARA	45	52	22
W. TARA	5.7	5.9	6.9
W. MUESTRA HUMEDA + TARA	55.5	53.7	55.8
W. MUESTRA SECA + TARA	53.8	52	53.8
W, MUESTRA SECA	48.10	46.10	46.90
w. AGUA	1.70	1.70	2.00
HUMEDAD %	3.53	3.69	4.26

PROMEDIO DE HUMEDADES %	3.06
--------------------------------	------

**LABORATORIO GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN INV-E-223
METODO DE SATURACIÓN**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (N1)
COORDENADAS:	1'098.429 E, 1'276.419 N, 1012 m

MUESTRA No	1	2	3
MASA DE LA MUESTRA SECA (g)	242.9	119.4	224.4
MASA DE LA MUESTRA SSS EN EL AIRE (g)	244.3	120	225.7
Pa=MASA DE LA CANASTA SUMERGIDA (g)	1800	1800	1800
Pb=MASA DE LA CANASTA +MUESTRA SSS EN AGUA (g)	1885	1830	1935
MASA DE LA MUESTRA EN AGUA Pa-Pb	85	30	135

CÁLCULOS Y RESULTADOS

MUESTRA No	1	2	3
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL (gr)	1.538	1.336	2.510
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE (qap)	1.525	1.327	2.474
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S.(qap.sss)	1.534	1.333	2.488
% ABSORCION	0.576	0.503	0.579

(gr)_{prom}	1.795
(qap)_{prom}	1.775
(qap.sss)_{prom}	1.785
% Absorción prom	0.553

REALIZÓ	NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ COD 2073002 CEL 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTIPIÑAN E COD 2083270 CEL 3105766816

SUPERVISÓ	ING. ORLANDO ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

**LABORATORIO GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN INV-E-223
METODO DE SATURACIÓN**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (N2)
COORDENADAS:	1'098.421 E, 1'276.420 N, 1011 m

MUESTRA No	1	2	3
MASA DE LA MUESTRA SECA (g)	139.3	172.3	176.8
MASA DE LA MUESTRA SSS EN EL AIRE (g)	140.5	172.9	177.5
Pa=MASA DE LA CANASTA SUMERGIDA (g)	1800	1800	1800
Pb=MASA DE LA CANASTA +MUESTRA SSS EN AGUA (g)	1905	1903	1900
MASA DE LA MUESTRA EN AGUA Pa-Pb	105	103	100

CÁLCULOS Y RESULTADOS

MUESTRA No	1	2	3
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL (gr)	4.061	2.486	2.302
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE (qap)	3.924	2.465	2.281
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S.(qap.sss)	3.958	2.474	2.290
% ABSORCION	0.861	0.348	0.396

(gr)_{prom}	2.950
(qap)_{prom}	2.890
(qap.sss)_{prom}	2.907
% Absorción prom	0.535

REALIZÓ	NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ COD 2073002 CEL 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTIPIÑAN E COD 2083270 CEL 3105766816

SUPERVISÓ	ING. ORLANDO ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

**LABORATORIO GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN INV-E-223
METODO DE SATURACIÓN**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (N3)
COORDENADAS:	1'098.430 E, 1'276.461 N, 1020 m

MUESTRA No	1	2	3
MASA DE LA MUESTRA SECA (g)	284.7	173.8	168.6
MASA DE LA MUESTRA SSS EN EL AIRE (g)	287	175.2	169.9
Pa=MASA DE LA CANASTA SUMERGIDA (g)	1800	1800	1800
Pb=MASA DE LA CANASTA +MUESTRA SSS EN AGUA (g)	1975	1900	1900
MASA DE LA MUESTRA EN AGUA Pa-Pb	175	100	100

CÁLCULOS Y RESULTADOS

MUESTRA No	1	2	3
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL (gr)	2.595	2.355	2.458
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE (qap)	2.542	2.311	2.412
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S.(qap.sss)	2.563	2.330	2.431
% ABSORCION	0.808	0.806	0.771

(gr)_{prom}	2.469
(qap)_{prom}	2.422
(qap.sss)_{prom}	2.441
% Absorción prom	0.795

REALIZÓ	NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ COD 2073002 CEL 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTIPIÑAN E COD 2083270 CEL 3105766816

SUPERVISÓ	ING. ORLANDO ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

**LABORATORIO GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN INV-E-223
METODO DE SATURACIÓN**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (N4)
COORDENADAS:	1'098.430 E, 1'276.461 N, 1022 m

MUESTRA No	1	2	3
MASA DE LA MUESTRA SECA (g)	156	172.3	176.8
MASA DE LA MUESTRA SSS EN EL AIRE (g)	156.5	172.9	177.5
Pa=MASA DE LA CANASTA SUMERGIDA (g)	1800	1800	1800
Pb=MASA DE LA CANASTA +MUESTRA SSS EN AGUA (g)	1896	1903	1900
MASA DE LA MUESTRA EN AGUA Pa-Pb	96	103	100

CÁLCULOS Y RESULTADOS

MUESTRA No	1	2	3
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL (gr)	2.600	2.486	2.302
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE (qap)	2.579	2.465	2.281
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S.(qap.sss)	2.587	2.474	2.290
% ABSORCION	0.321	0.348	0.396

(gr)_{prom}	2.463
(qap)_{prom}	2.442
(qap.sss)_{prom}	2.450
% Absorción prom	0.355

REALIZÓ	NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ COD 2073002 CEL 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTIPIÑAN E COD 2083270 CEL 3105766816

SUPERVISÓ	ING. ORLANDO ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

**LABORATORIO GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN INV-E-223
METODO DE SATURACIÓN**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (PR)
COORDENADAS:	1'098.430 E, 1'276.457 N, 1027 m

MUESTRA No	1	2	3
MASA DE LA MUESTRA SECA (g)	219.2	211	240.1
MASA DE LA MUESTRA SSS EN EL AIRE (g)	222.8	214.1	243.5
Pa=MASA DE LA CANASTA SUMERGIDA (g)	1800	1800	1800
Pb=MASA DE LA CANASTA +MUESTRA SSS EN AGUA (g)	1935	1925	1942
MASA DE LA MUESTRA EN AGUA Pa-Pb	135	125	142

CÁLCULOS Y RESULTADOS

MUESTRA No	1	2	3
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL (gr)	2.603	2.453	2.448
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE (qap)	2.497	2.368	2.366
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S.(qap.sss)	2.538	2.403	2.399
% ABSORCION	1.642	1.469	1.416

(gr)_{prom}	2.501
(qap)_{prom}	2.410
(qap.sss)_{prom}	2.447
% Absorción prom	1.509

REALIZÓ	NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ COD 2073002 CEL 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTIPIÑAN E COD 2083270 CEL 3105766816

SUPERVISÓ	ING. ORLANDO ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

**LABORATORIO POROSIDAD Y DENSIDAD SECA INVE-223
METODO DE SATURACIÓN**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS IREGULARES (N1)
COORDENADAS:	1'098.429 N, 1'276.419 E, 1012 m

MUESTRA No	1	2	3
MASA DE LA MUESTRA SECA EN EL AIRE (g)	242.9	119.4	224.4
MAS DE LA MUESTRA SECA SSS EN EL AIRE (g)	244.3	120	225.7
Pa=MASA DE LA CANASTA SUMERGIDO(g)	1800	1800	1800
Pb=MASA DE LA CANASTA +MUESTRA SSS EN AGUA (g)	1885	1830	1935
MASA DE LA MUESTRA EN AGUA	85	30	135

Cálculos

MUESTRA No		1	2	3
Volumen total V		159.3	90	90.7
Volumen vacios Vv		1.4	0.6	1.3

Resultados

Porosidad n (1,2,3)		0.879	0.667	1.433
--------------------------------	--	-------	-------	-------

n_{prom}	0.993
------------------------------	-------

Densidad seca ρ_d		1.525	1.327	2.474
--	--	-------	-------	-------

ρ_d prom	1.775
---------------------------------	-------

REALIZÓ	NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ COD 2073002 CEL 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTIPIÑAN E COD 2083270 CEL 3105766816

SUPERVISÓ	ING. ORLANDO ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

**LABORATORIO POROSIDAD Y DENSIDAD SECA INVE-223
METODO DE SATURACIÓN**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS IREGULARES (N2)
COORDENADAS:	1'098.429 N, 1'276.419 E, 1012 m

MUESTRA No	1	2	3
MASA DE LA MUESTRA SECA EN EL AIRE (g)	139.3	172.3	176.8
MAS DE LA MUESTRA SECA SSS EN EL AIRE (g)	140.5	172.9	177.5
Pa=MASA DE LA CANASTA SUMERGIDO(g)	1800	1800	1800
Pb=MASA DE LA CANASTA +MUESTRA SSS EN AGUA (g)	1905	1903	1900
MASA DE LA MUESTRA EN AGUA	105	103	100

Cálculos

MUESTRA No	1	2	3
VOLUMEN TOTAL V	35.5	69.9	77.5
VOLUMEN VACIOS Vv	1.2	0.6	0.7

Resultados

POROSIDAD n (1,2,3)	3.380	0.858	0.903
----------------------------	-------	-------	-------

n_{prom}	1.714
-------------------------	-------

DENSID. SECA ρ_d	3.924	2.465	2.281
---	-------	-------	-------

ρ_d prom	2.890
---------------------------------	-------

REALIZÓ	NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ COD 2073002 CEL 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTIPIÑAN E COD 2083270 CEL 3105766816

SUPERVISÓ	ING. ORLANDO ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

**LABORATORIO POROSIDAD Y DENSIDAD SECA INVE-223
METODO DE SATURACIÓN**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS IREGULARES (N3)
COORDENADAS:	1'098.430 N, 1'276.461 E, 1020 m

MUESTRA No	1	2	3
MASA DE LA MUESTRA SECA EN EL AIRE (g)	284.7	173.8	168.6
MAS DE LA MUESTRA SECA SSS EN EL AIRE (g)	287	175.2	169.9
Pa=MASA DE LA CANASTA SUMERGIDO(g)	1800	1800	1800
Pb=MASA DE LA CANASTA +MUESTRA SSS EN AGUA (g)	1975	1900	1900
MASA DE LA MUESTRA EN AGUA	175	100	100

Cálculos

MUESTRA No	1	2	3
VOLUMEN TOTAL V	112	75.2	69.9
VOLUMEN VACIOS V_v	2.3	1.4	1.3

Resultados

POROSIDAD n (1,2,3)		2.054	1.862	1.860
----------------------------	--	-------	-------	-------

n_{prom}	1.925
-------------------------	-------

DENSID. SECA ρ_d	2.542	2.311	2.412
-----------------------------------	-------	-------	-------

ρ_d prom	2.422
---------------------------	-------

REALIZÓ	NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ COD 2073002 CEL 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTIPIÑAN E COD 2083270 CEL 3105766816

SUPERVISÓ	ING. ORLANDO ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

**LABORATORIO POROSIDAD Y DENSIDAD SECA INVE-223
METODO DE SATURACIÓN**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS IREGULARES (N4)
COORDENADAS:	1'098.430 N, 1'276.461 E, 1022 m

MUESTRA No	1	2	3
MASA DE LA MUESTRA SECA EN EL AIRE (g)	156	172.3	176.8
MAS DE LA MUESTRA SECA SSS EN EL AIRE (g)	156.5	172.9	177.5
Pa=MASA DE LA CANASTA SUMERGIDO(g)	1800	1800	1800
Pb=MASA DE LA CANASTA +MUESTRA SSS EN AGUA (g)	1896	1903	1900
MASA DE LA MUESTRA EN AGUA	96	103	100

Cálculos

MUESTRA No	1	2	3
VOLUMEN TOTAL V	60.5	69.9	77.5
VOLUMEN VACIOS V _v	0.5	0.6	0.7

Resultados

POROSIDAD n (1,2,3)	0.826	0.858	0.903
----------------------------	-------	-------	-------

n_{prom}	0.863
-------------------------	-------

DENSID. SECA ρ_d	2.579	2.465	2.281
-----------------------------------	-------	-------	-------

ρ_d prom	2.442
---------------------------	-------

REALIZÓ	NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ COD 2073002 CEL 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTIPIÑAN E COD 2083270 CEL 3105766816

SUPERVISÓ	ING. ORLANDO ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

**LABORATORIO POROSIDAD Y DENSIDAD SECA INVE-223
METODO DE SATURACIÓN**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS IREGULARES (PR)
COORDENADAS:	1'098.430 N, 1'276.457 E, 1027 m

MUESTRA No	1	2	3
MASA DE LA MUESTRA SECA EN EL AIRE (g)	219.2	211	240.1
MAS DE LA MUESTRA SECA SSS EN EL AIRE (g)	222.8	214.1	243.5
Pa=MASA DE LA CANASTA SUMERGIDO(g)	1800	1800	1800
Pb=MASA DE LA CANASTA +MUESTRA SSS EN AGUA (g)	1935	1925	1942
MASA DE LA MUESTRA EN AGUA	135	125	142

Cálculos

MUESTRA No	1	2	3
VOLUMEN TOTAL V	87.8	89.1	101.5
VOLUMEN VACIOS Vv	3.6	3.1	3.4

Resultados

POROSIDAD n (1,2,3)	4.100	3.479	3.350
----------------------------	-------	-------	-------

n_{prom}	3.643
-------------------------	-------

DENSID. SECA ρ_d	2.497	2.368	2.366
-----------------------------------	-------	-------	-------

ρ_d prom	2.410
---------------------------	-------

REALIZÓ	NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ COD 2073002 CEL 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTIPIÑAN E COD 2083270 CEL 3105766816

SUPERVISÓ	ING. ORLANDO ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

LABORATORIO ABRASIÓN DE AGREGADOS MÁQUINA DE LOS ANGELES INVE 218-219

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	AGREGADO RESPECTO A LA GRADACION A (N1)
COORDENADAS:	1'098.432 E, 1'276.455 N, 1026 m

TAMAÑO		PESO EN (gr) GRADACIÓN DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	N°3			2500				
N°3	N°4			2500				
N°4	N°8				5000			
N° DE ESFERAS=		12	11	8	6	12	12	12

GRADACIÓN USADA	A
N° DE ESFERAS	12
N° DE REVOLUCIONES	500RPM
Pa= muestra seca antes del ensayo (g)	5000
Pb=Muestra seca despues del ensayo (g)	1936
Pérdida (gr)= Pa-Pb	3064

% DESGASTE POR ABRASIÓN	61.28
--------------------------------	-------

REALIZADO POR	NATY ALEJANDRA MURCIA P. COD: 2073002 CEL: 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTUPIÑAN E. COD: 2083270 CEL: 3105766816

SUPERVISADO POR:	ING. JORGE ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

LABORATORIO ABRASIÓN DE AGREGADOS MÁQUINA DE LOS ANGELES INVE 218-219

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	AGREGADO RESPECTO A LA GRADACION A (N2)
COORDENADAS:	1'098.421 N, 1'276.420 E, 1011 m

TAMAÑO		PESO EN (gr) GRADACIÓN DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	N°3			2500				
N°3	N°4			2500				
N°4	N°8				5000			
N° DE ESFERAS=		12	11	8	6	12	12	12

GRADACIÓN USADA	A
N° DE ESFERAS	12
N° DE REVOLUCIONES	500RPM
Pa= muestra seca antes del ensayo (g)	5000
Pb=Muestra seca despues del ensayo (g)	125.4
Pérdida (gr)= Pa-Pb	4874.6

% DESGASTE POR ABRASIÓN	97.492
--------------------------------	--------

REALIZADO POR	NATY ALEJANDRA MURCIA P. COD: 2073002 CEL: 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTUPIÑAN E. COD: 2083270 CEL: 3105766816

SUPERVISADO POR:	ING. JORGE ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

LABORATORIO ABRASIÓN DE AGREGADOS MÁQUINA DE LOS ANGELES INVE 218-219

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	AGREGADO RESPECTO A LA GRADACION A (N3)
COORDENADAS:	1'098.430 N, 1'276.461 E, 1020 m

TAMAÑO		PESO EN (gr) GRADACIÓN DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	N°3			2500				
N°3	N°4			2500				
N°4	N°8				5000			
N° DE ESFERAS=		12	11	8	6	12	12	12

GRADACIÓN USADA	A
N° DE ESFERAS	12
N° DE REVOLUCIONES	500RPM
Pa= muestra seca antes del ensayo (g)	5000
Pb=Muestra seca despues del ensayo (g)	1616.3
Pérdida (gr)= Pa-Pb	3383.7

% DESGASTE POR ABRASIÓN	67.674
--------------------------------	--------

REALIZADO POR	NATY ALEJANDRA MURCIA P. COD: 2073002 CEL: 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTUPIÑAN E. COD: 2083270 CEL: 3105766816

SUPERVISADO POR:	ING. JORGE ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

LABORATORIO ABRASIÓN DE AGREGADOS MÁQUINA DE LOS ANGELES INVE 218-219

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	AGREGADO RESPECTO A LA GRADACION A (N4)
COORDENADAS:	1'098.430 N, 1'276.461 E, 1022 m

TAMAÑO		PESO EN (gr) GRADACIÓN DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	N°3			2500				
N°3	N°4			2500				
N°4	N°8				5000			
N° DE ESFERAS=		12	11	8	6	12	12	12

GRADACIÓN USADA	A
N° DE ESFERAS	12
N° DE REVOLUCIONES	500RPM
Pa= muestra seca antes del ensayo (g)	5000
Pb=Muestra seca despues del ensayo (g)	1506
Pérdida (gr)= Pa-Pb	3494

% DESGASTE POR ABRASIÓN	69.88
--------------------------------	-------

REALIZADO POR	NATY ALEJANDRA MURCIA P. COD: 2073002 CEL: 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTUPIÑAN E. COD: 2083270 CEL: 3105766816

SUPERVISADO POR:	ING. JORGE ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

LABORATORIO ABRASIÓN DE AGREGADOS MÁQUINA DE LOS ANGELES INVE 218-219

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	AGREGADO RESPECTO A LA GRADACION A (LC)
COORDENADAS:	1'098.432 N, 1'276.455 N, 1026 m

TAMAÑO		PESO EN (gr) GRADACIÓN DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	N°3			2500				
N°3	N°4			2500				
N°4	N°8				5000			
N° DE ESFERAS=		12	11	8	6	12	12	12

GRADACIÓN USADA	A
N° DE ESFERAS	12
N° DE REVOLUCIONES	500RPM
Pa= muestra seca antes del ensayo (g)	5000
Pb=Muestra seca despues del ensayo (g)	1286
Pérdida (gr)= Pa-Pb	3714

% DESGASTE POR ABRASIÓN	74.28
--------------------------------	-------

REALIZADO POR	NATY ALEJANDRA MURCIA P. COD: 2073002 CEL: 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTUPIÑAN E. COD: 2083270 CEL: 3105766816

SUPERVISADO POR:	ING. JORGE ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

LABORATORIO ABRASIÓN DE AGREGADOS MÁQUINA DE LOS ANGELES INVE 218-219

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	AGREGADO RESPECTO A LA GRADACION A (PR)
COORDENADAS:	1'098.430 N, 1'276.457 E, 1027 m

TAMAÑO		PESO EN (gr) GRADACIÓN DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	N°3			2500				
N°3	N°4			2500				
N°4	N°8				5000			
N° DE ESFERAS=		12	11	8	6	12	12	12

GRADACIÓN USADA	A
N° DE ESFERAS	12
N° DE REVOLUCIONES	500RPM
Pa= muestra seca antes del ensayo (g)	5000
Pb=Muestra seca despues del ensayo (g)	1275
Pérdida (gr)= Pa-Pb	3725

% DESGASTE POR ABRASIÓN	74.5
--------------------------------	------

REALIZADO POR	NATY ALEJANDRA MURCIA P. COD: 2073002 CEL: 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTUPIÑAN E. COD: 2083270 CEL: 3105766816

SUPERVISADO POR:	ING. JORGE ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

**ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE PROBETAS DE ROCA
ASTM D- 2983**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (N1)
COORDENADAS:	1'098.430N, 1'276.461E, 1020 m

PROBETA No	DIAMETRO DE LA PROBETA (mm)	ALTURA DE LA PROBETA (mm)	CARGA MÁXIMA (KN)	AREA DE LA PROBETA (mm) ²	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)
1	57	110	180.69	2551.76	70.810
2	56	110	172.9	2463.01	70.199
3	57	110	177.5	2551.76	69.560
PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)					70.189

DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLA	Se produjeron grietas de tracción y planos de corte que progresaron en el interior de la roca, se evidencio la rotura en la parte inferior del núcleo.
--------------------------------------	--



REALIZÓ	NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ COD 2073002 CEL 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTIPIÑAN E COD 2083270 CEL 3105766816

SUPERVISÓ	ING. ORLANDO ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE PROBETAS DE ROCA
ASTM D- 2983

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (N2)
COORDENADAS:	1'098.430N, 1'276.461E, 1020 m

PROBETA No	DIAMETRO DE LA PROBETA (mm)	ALTURA DE LA PROBETA (mm)	CARGA MÁXIMA (KN)	AREA DE LA PROBETA (mm) ²	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)
1	57	110	114.28	2551.76	44.785
2	57	110		2551.76	
3	57	110		2551.76	
PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)					14.928

DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLA	Se produjeron grietas de tracción y planos de corte que progresaron en el superior de la roca, se evidencio la rotura en la parte inferior del núcleo.
--------------------------------------	--



REALIZÓ	NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ COD 2073002 CEL 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTIPIÑAN E COD 2083270 CEL 3105766816

SUPERVISÓ	ING. ORLANDO ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

**ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE PROBETAS DE ROCA
ASTM D- 2983**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (N3)
COORDENADAS:	1'098.430N, 1'276.461E, 1020 m

PROBETA No	DIAMETRO DE LA PROBETA (mm)	ALTURA DE LA PROBETA (mm)	CARGA MÁXIMA (KN)	AREA DE LA PROBETA (mm) ²	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)
1	57	110	114.28	2551.76	44.785
2	58	110	115.62	2642.09	43.761
3	55	110	101.52	2375.84	42.730
PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)					43.759

DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLA	Claramente se observa que la falla se presenta principalmente en forma de grietas verticales en la parte superior del núcleo.
--------------------------------------	---



REALIZÓ	NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ COD 2073002 CEL 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTIPIÑAN E COD 2083270 CEL 3105766816

SUPERVISÓ	ING. ORLANDO ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

**ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE PROBETAS DE ROCA
ASTM D- 2983**

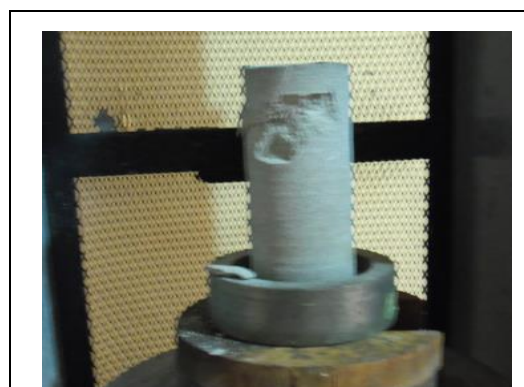
PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (N4)
COORDENADAS:	1'098.430 N, 1'276.461 E, 1022 m

PROBETA No	DIAMETRO DE LA PROBETA (mm)	ALTURA DE LA PROBETA (mm)	CARGA MÁXIMA (KN)	AREA DE LA PROBETA (mm) ²	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)
1	57	110	159.59	2551.76	62.541
2	55	110	148.23	2375.84	62.391
3	56	110	150.21	2463.01	60.986
PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)					61.973

DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLA	La propagación de las fracturas inicio a partir de concentración de los esfuerzos en las esquinas donde se presentaron las grietas.
--------------------------------------	---






ANTES DE LA FALLA



DESPUES DE LA FALLA

REALIZÓ	NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ COD 2073002 CEL 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTIPIÑAN E COD 2083270 CEL 3105766816

SUPERVISÓ	ING. ORLANDO ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

ENSAYO CARGA PUNTUAL ASTM D 5731-1995										
PROCEDENCIA:		AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN								
PROYECTO:		TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA								
TIPO DE MUESTRA:		NUCLEOS ROCOSOS DE DIAMETROS REGULARES (N1)								
COORDENADAS:		1'098.429 E, 1'276.419 N, 1012 m								
PROBETA No	TIPO DE ENSAYO	w (mm)	D (mm)	De2	De	F	P KN	Is Mpa	Is (50) Mpa	σ_c Mpa
1	Axial	56.00	57.00	4064.17	63.75	1.12	9.00	2.21	2.47	56.82
2	Axial	56.00	54.00	3850.27	62.05	1.10	15.90	4.13	4.55	104.67
3	Diametral	56.00	81.00	6561.00	81.00	1.24	12.80	1.95	2.42	55.75
Is : Índice de resistencia a la carga puntual F : Factor de corrección de tamaño							σ_c prom Mpa	72.41		
FOTOGRAFIA PROBETA No 1		FOTOGRAFIA PROBETA No 2			FOTOGRAFIA PROBETA No 3					
										
REALIZADO POR		NATY ALEJANDRA MURCIA P. COD: 2073002 CEL: 3205880486 ANDRES EDUARDO ESTUPIÑAN E. COD: 2083270 CEL: 3105766816								
SUPERVISADO POR:		ING. JORGE ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA								

**ENSAYO CARGA PUNTUAL
ASTM D 5731-1995**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS DE DIAMETROS REGULARES (N2)
COORDENADAS:	1°098.421N, 1°276.420E, 1011 m

PROBETA No	TIPO DE ENSAYO	w (mm)	D (mm)	De2	De	F	P KN	Is Mpa	Is (50) Mpa	σ_c Mpa
1	Axial	56.00	55.00	3921.57	62.62	1.11	6.70	1.71	1.89	43.48
2	Axial	56.00	57.00	4064.17	63.75	1.12	5.90	1.45	1.62	37.25
3	Diametral	56.00	73.00	5329.00	73.00	1.19	5.20	0.98	1.16	26.61

Is : Índice de resistencia a la carga puntual
F : Factor de corrección de tamaño

σ_c prom
Mpa

35.78

FOTOGRAFIA PROBETA No 1



FOTOGRAFIA PROBETA No 2



FOTOGRAFIA PROBETA No 3



REALIZADO POR

NATY ALEJANDRA MURCIA P.
COD: 2073002 CEL: 3205880486
ANDRES EDUARDO ESTUPIÑAN E.
COD: 2083270 CEL: 3105766816

SUPERVISADO POR:

ING. JORGE ARDILA
GERENTE ANDINA INGENIERIA
DIEGO OCHOA CAMACHO
LABORATORISTA

**ENSAYO CARGA PUNTUAL
ASTM D 5731-1995**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS DE DIAMETROS REGULARES (N3)
COORDENADAS:	1°098.430N, 1°276.461N, 1020 m

PROBETA No	TIPO DE ENSAYO	w (mm)	D (mm)	De2	De	F	P KN	Is Mpa	Is (50) Mpa	σ_c Mpa
1	Axial	56.00	52.00	3707.66	60.89	1.09	10.70	2.89	3.15	72.53
2	Axial	56.00	54.00	3850.27	62.05	1.10	8.10	2.10	2.32	53.32
3	Diametral	56.00	82.00	6724.00	82.00	1.25	9.40	1.40	1.75	40.17

Is : Índice de resistencia a la carga puntual
F : Factor de corrección de tamaño

σ_c prom Mpa	55.34
------------------------	-------



REALIZADO POR	NATY ALEJANDRA MURCIA P. COD: 2073002 CEL: 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTUPIÑAN E. COD: 2083270 CEL: 3105766816

SUPERVISADO POR:	ING. JORGE ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

**ENSAYO CARGA PUNTUAL
ASTM D 5731-1995**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS DE DIAMETROS REGULARES (N4)
COORDENADAS:	1'098.430N, 1'276.461N, 1022 m

PROBETA No	TIPO DE ENSAYO	w (mm)	D (mm)	De2	De	F	P KN	Is Mpa	Is (50) Mpa	σ_c Mpa
1	Axial	85.00	51.00	5519.48	74.29	1.20	13.20	2.39	2.86	65.73
2	Axial	151.00	52.00	9997.45	99.99	1.37	14.00	1.40	1.91	44.00
3	Axial	101.00	47.00	6044.05	77.74	1.22	14.00	2.32	2.83	64.98

Is : Índice de resistencia a la carga puntual
F : Factor de corrección de tamaño

σ_c prom Mpa	58.24
------------------------	-------



REALIZADO POR	NATY ALEJANDRA MURCIA P. COD: 2073002 CEL: 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTUPIÑAN E. COD: 2083270 CEL: 3105766816

SUPERVISADO POR:	ING. JORGE ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

**ENSAYO A FLEXION
OBERT Y DUVAL (1967)**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (N1)
COORDENADAS:	1'098.429 N, 1'276.419 E, 1012 m

MUESTRA No	1	2	3
DIAMETRO D (mm)	55	55	55
DISTANCIA ENTRE APOYOS L (mm)	150	150	150
LONGITUD TOTAL (mm)	150	150	150
DURACION DEL ENSAYO (s)	22	20	24

CÁLCULOS Y RESULTADOS

MUESTRA	1	2	3
CARGA DE FALLA P (N)	6320	6129	6501
MR (Mpa)	14.510	14.071	14.925
	Mrprom (Mpa)		14.502

REALIZÓ	NATY ALEJANDRA MURCIA PAEZ COD 2073002 CEL 3205880486
	ANDRES EDUARDO ESTIPIÑAN E COD 2083270 CEL 3105766816

SUPERVIZÓ	ING. ORLANDO ARDILA GERENTE ANDINA INGENIERIA
	DIEGO OCHOA CAMACHO LABORATORISTA

**ENSAYO A FLEXION
OBERT Y DUVAL (1967)**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (N2)
COORDENADAS:	1'098.421N, 1'276.420E, 1011 m

MUESTRA No	1	2	3
DIAMETRO D (mm)	55	55	55
DISTANCIA ENTRE APOYOS L (mm)	150	150	150
LONGITUD TOTAL (mm)	140	148	153
DURACION DEL ENSAYO (s)	15	19	21

CÁLCULOS Y RESULTADOS

MUESTRA	1	2	3
CARGA DE FALLA P (N)	4380	4191	4501
MR (Mpa)	10.056	9.622	10.334
Mrprom (Mpa)	10.004		

**ENSAYO A FLEXION
OBERT Y DUVAL (1967)**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (N3)
COORDENADAS:	1'098.430N, 1'276.461E, 1020 m

MUESTRA No	1	2	3
DIAMETRO D (mm)	55	55	55
DISTANCIA ENTRE APOYOS L (mm)	150	150	150
LONGITUD TOTAL (mm)	170	155	161
DURACION DEL ENSAYO (s)	15	16	15

CÁLCULOS Y RESULTADOS

MUESTRA	1	2	3
CARGA DE FALLA P (N)	2800	2901	2683
MR (Mpa)	6.428	6.660	6.160
Mrprom (Mpa)	6.416		

**ENSAYO A FLEXION
OBERT Y DUVAL (1967)**

PROCEDENCIA:	AFLORAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO DE LA FORMACIÓN GIRÓN
PROYECTO:	TALUD ROCOSO DE LA VÍA BARRANCABERMEJA - BUCARAMANGA
TIPO DE MUESTRA:	NUCLEOS ROCOSOS REGULARES (N4)
COORDENADAS:	1'098.430 N, 1'276.461 E, 1022 m

MUESTRA No	1	2	3
DIAMETRO D (mm)	55	55	55
DISTANCIA ENTRE APOYOS L (mm)	150	150	150
LONGITUD TOTAL (mm)	180	160	175
DURACION DEL ENSAYO (s)	15	18	16

CÁLCULOS Y RESULTADOS

MUESTRA	1	2	3
CARGA DE FALLA P (N)	6220	6920	6530
MR (Mpa)	14.280	15.887	14.992
	Mrprom (Mpa)		15.053

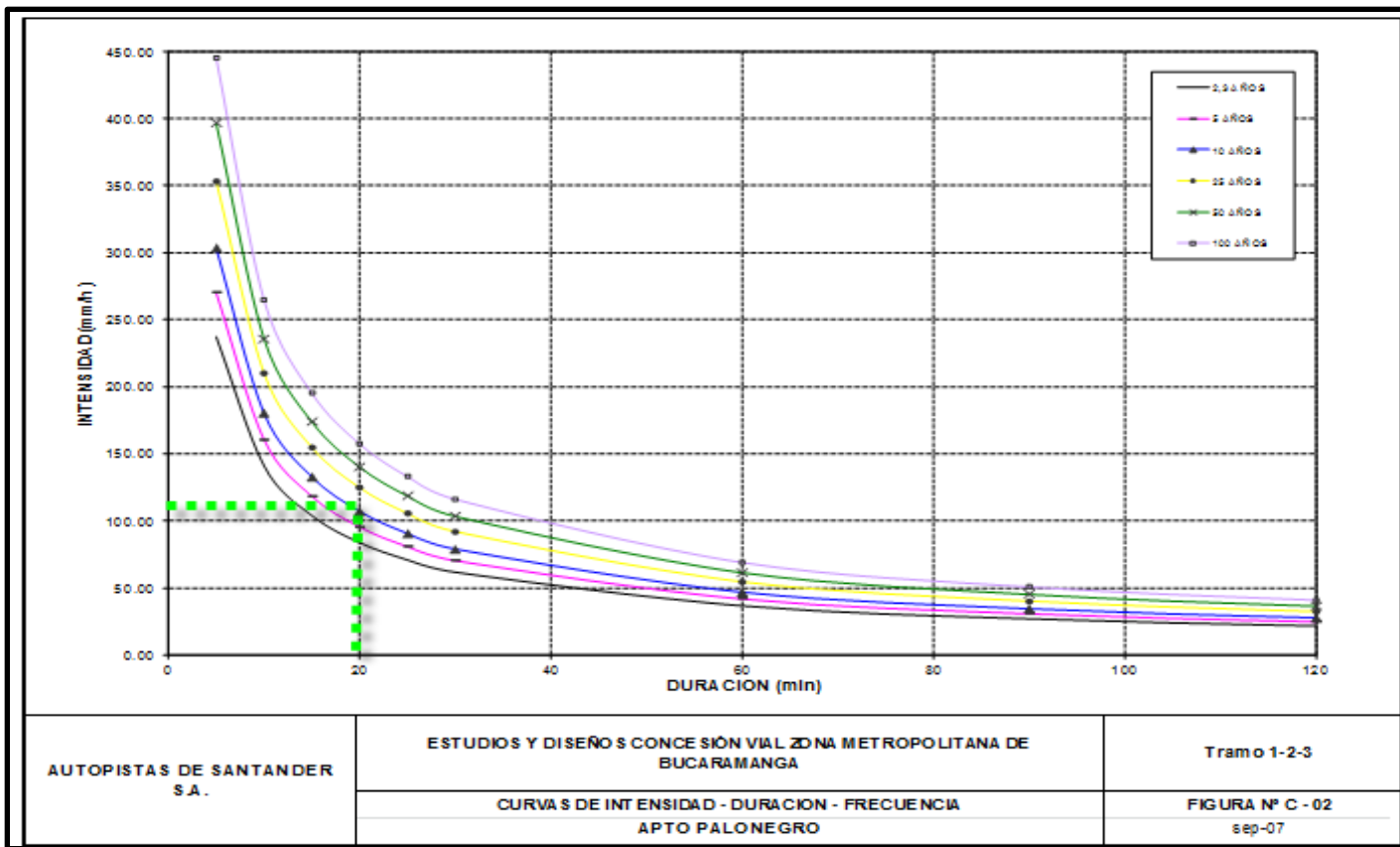
Tabla 6: Resumen de ensayos de Laboratorio

TABLA RESUMEN IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO ANEXO PARTE B					
TIPO DE ENSAYO	NORMATIVA	RESULTADOS PROMEDIO DE LOS ENSAYOS			
		ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4
CONTENIDO DE HUMEDAD	INVE-122	1.94%	4.37%	1.99%	1.80%
GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION	INVE-223	(9r)= 1.79	(9r)= 2.95	(9r)=2.47	(9r)=2.46
		% Abso=0.55	% Abso=0.53	% Abso=0.79	% Abso=0.35
POROSIDAD Y DENDIDAD	INVE-223	n= 0.99	n= 1.71	n= 1.92	n= 0.86
		ρd = 1.77	ρd = 2.89	ρd = 2.42	ρd = 2.44
ABRASION- MAQUINA DE LOS ANGELES	INVE-218/220	61.28%	97.49%	67.67%	69.88%
COMPRESION UNIAXIAL	INVE-410	$\sigma_c=40.18$	$\sigma_c=45.62$	$\sigma_c=43.77$	$\sigma_c=72.41$
CARGA PUNTUAL	ASTM D5731-1995	$\sigma_c=72.41$	$\sigma_c=35.78$	$\sigma_c=55.34$	$\sigma_c=58.24$
FLEXION	OBERT Y DUVAL (1967)	Mr=14.5 Mpa	Mr=10 Mpa	Mr=6.41 Mpa	Mr=15.05 Mpa
SOLIDEZ	INVE -220	4.30%	22.80%	2.90%	14.70%

Fuente: Proponentes del Proyecto

ANEXO E
DETERMINACIÓN CAUDAL DE DISEÑO

Figura 14: Curva IDF representativa para la Intensidad de la lluvia.



Fuente: Concesión Vial ZONA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

Tabla 7: Coeficientes de Escorrentía

TIPO DE AREA	COEFICIENTE DE ESCIRRENTIA	
	MINIMO	MAXIMO
ZONAS COMERCIALES		
ZONA CIOMERCIAL	0.70	0.95
VECINDARIOS	0.50	0.70
ZONAS RESIDENCIALES		
UNIFAMILIARES	0.30	0.50
MULTIFAMILIARES, ESPACIADOS	0.40	0.60
MULTIFAMILIARES, COMPACTOS	0.60	0.75
SEMIURBANOS	0.25	0.40
CASA DE HABITACION	0.50	0.70
ZONAS INDUSTRIALES		
ESPACIADA	0.50	0.80
COMPACTA	0.60	0.90
CEMENTERIOS, PARQUES	0.10	0.25
CAMPOS DE JUEGO	0.20	0.35
ZONAS SUBURBANAS	0.10	0.30
CALLES		
ASFALTADAS	0.70	0.95
DE CONCRETO	0.80	0.95
ADOQUINADAS	0.70	0.85
PARQUEADEROS	0.75	0.80
TEJADOS	0.75	0.95
PRADERAS		
SUELOS ARENOSOS PLANOS (PEND.<0.02)	0.05	0.10
SUELOS ARENOSOS PENDIENTE MEDIA (0.02<PEND. 0.07)	0.10	0.15
SUELOS ARENOSOS ESCARPADOS (PEND.>0.07)	0.15	0.20
SUELOS ARCILLOSOS PLANOS (PEND.<0.02)	0.13	0.17
SUELOS ARCILLOSOS PENDIENTE MEDIA (0.02<PEND.<0.07)	0.18	0.22
SUELOS ARCILLOSOS ESCARPADOS (PEND.>0.07)	0.25	0.35

Fuente. Manual de diseño de drenajes superficiales y sub superficiales en vías pág.48,




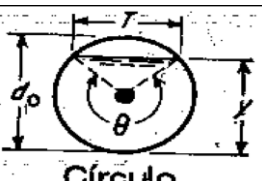
German Eduardo Gavilán León.

Tabla 8. Periodo de retorno

CUENCAS URBANAS	
SISTEMAS	PERIODO DE RETORNO AÑOS
COLECTORES PRINCIPALES	50
AREAS COMERCIALES Y DE NEGOCIOS	10
INDUSTRIA	2
ZONAS RESIDENCIALES DE ALTA DENSIDAD CON MAS DE 5 UNIDADES DE VIVIENDA/Ha	2-10
ZONAS RESIDENCIALES DE BAJA DENSIDAD CON MENOS DE 5 UNIDADES DE VIVIENDA/Ha	2
ESPACIOS ABIERTOS, PARQUES	1
CARRETERAS PRINCIPALES, CUNETAS Y CANALES	10
CARRETERAS PRINCIPALES, CRUCES (BOX-CULVERTS)	50
CARRETERAS SECUNDARIAS, CUNETAS Y CANALES	2-5
CARRETERAS SECUNDARIAS, CRUCES (BOX-CULVERTS)	10
CUENCAS RURALES	
CUNETAS	5
ALCANTARILLAS	10
BOX-CULVERTS Y PONTONES	10
PUENTES	50

Fuente. Manual de diseño de drenajes superficiales y sub superficiales en vías pág.39

Tabla 9. Características de cunetas y alcantarillas comunes

SECCION	AREA (A)	PERIMETRO MOJADO (P)	RADIO HIDRAULICO (R)	ANCHO SUPERFICIAL (T)	PROFUNDIDAD HIDRAULICA (D)
 <p>Rectángulo</p>	$b \cdot y$	$b + 2y$	$b \cdot y / (b + 2y)$	b	y
 <p>Trapezio</p>	$(b + z \cdot y) \cdot y$	$b + 2 \cdot y \cdot \sqrt{1 + z^2}$	$(b + z \cdot y) \cdot y / (b + 2 \cdot y \cdot \sqrt{1 + z^2})$	$b + 2 \cdot z \cdot y$	$(b + z \cdot y) \cdot y / (b + 2 \cdot z \cdot y)$
 <p>Triángulo</p>	$z \cdot y^2$	$2y \cdot \sqrt{1 + z^2}$	$z \cdot y^2 / (2y \cdot \sqrt{1 + z^2})$	$2z \cdot y$	$1/2 \cdot y$
 <p>Círculo</p>	$Do^2 / 8 \cdot (\theta - \text{sen}(\theta))$	$Do \cdot \theta / 2$	$Do / 4 \cdot (1 - \text{sen}(\theta) / \theta)$	$2y \cdot (Do - y)$	$Do / 8 \cdot ((\theta - \text{sen}(\theta)) / \text{sen}(\theta / 2))$

Fuente. Manual de diseño de drenajes superficiales y sub superficiales en vías pág.41

MATERIAL	n
Hormigon pulido	0.013
Hormigon , con formaletas de madera	0.014
Ladrillo	0.014
Tierra suave sin maleza	0.020
Tierra con algunas piedras y maleza	0.025
Metasl corrugado	0.022
Tierra, pobres condiciones	0.035
Tierra, obstruida por maleza y despedicio	0.050 - 0.150

Tabla 10. Valores de coeficiente de rugosidad de Manning

Fuente. Manual de diseño de drenajes superficiales y sub superficiales en vías pág.48

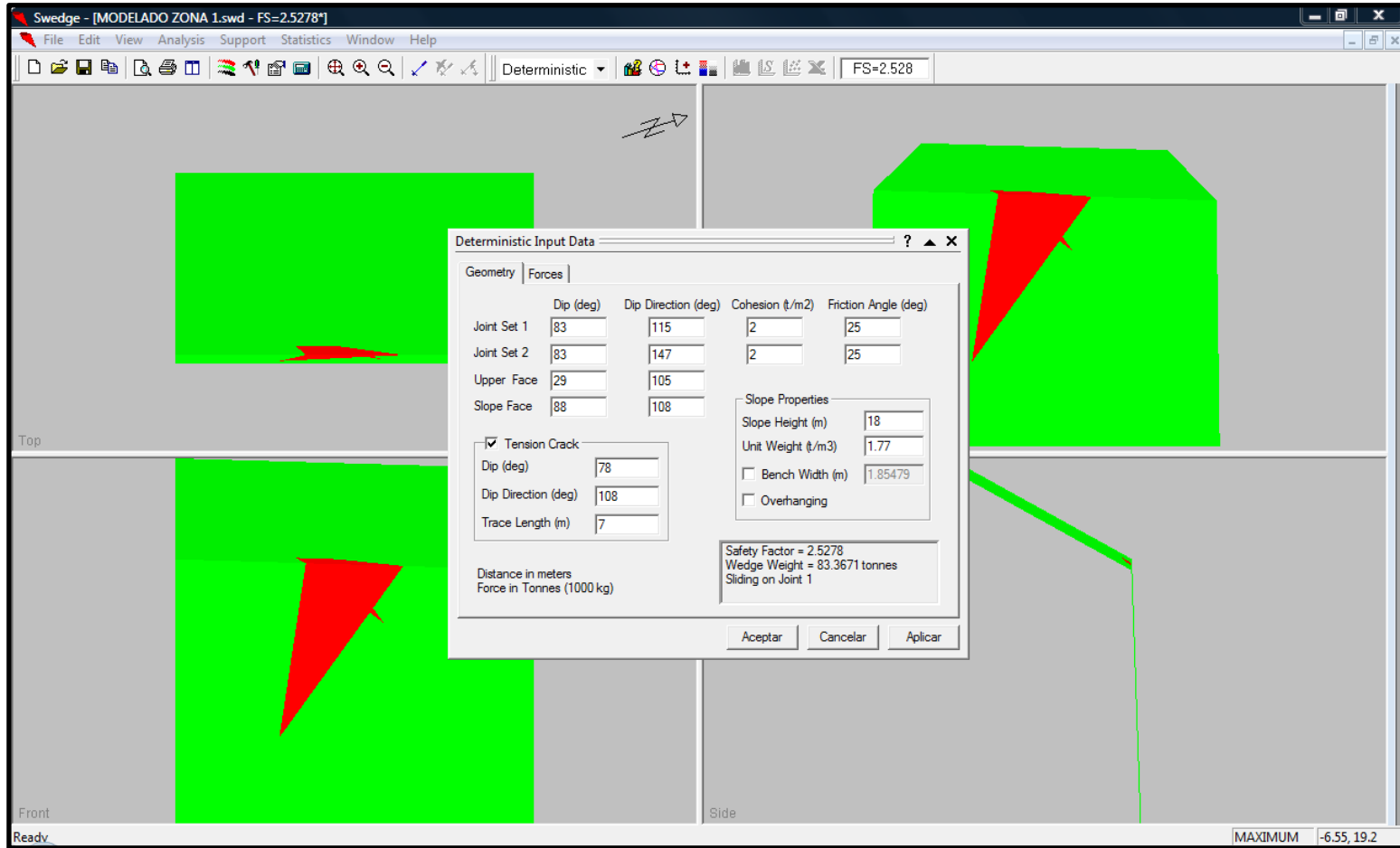
Tabla 11. Velocidades admisibles en cunetas

TIPO DE REVESTIMIENTO	VELOCIDAD ADMISIBLE (m/seg.)
Hierba densa en cualquier tipo de terreno	1.8
Terreno parcialmente cubierto con vegetacion	0.60 - 1.20
Arena fina o limo (Poca o ninguna arcilla)	0.30 - 0.60
Arena arcillosa dura	0.60 - 0.90
Arcilla limosa	1.0 - 1.30
Arcilla dura muy coloidal	1.20
Arcilla con mezcla de grava	1.20
Grava gruesa	1.20
Pizarra blanda	1.50
Mamposteria	4.50
Hormigon	4.50

Fuente. Manual de diseño de drenajes superficiales y sub superficiales en vías pág.59

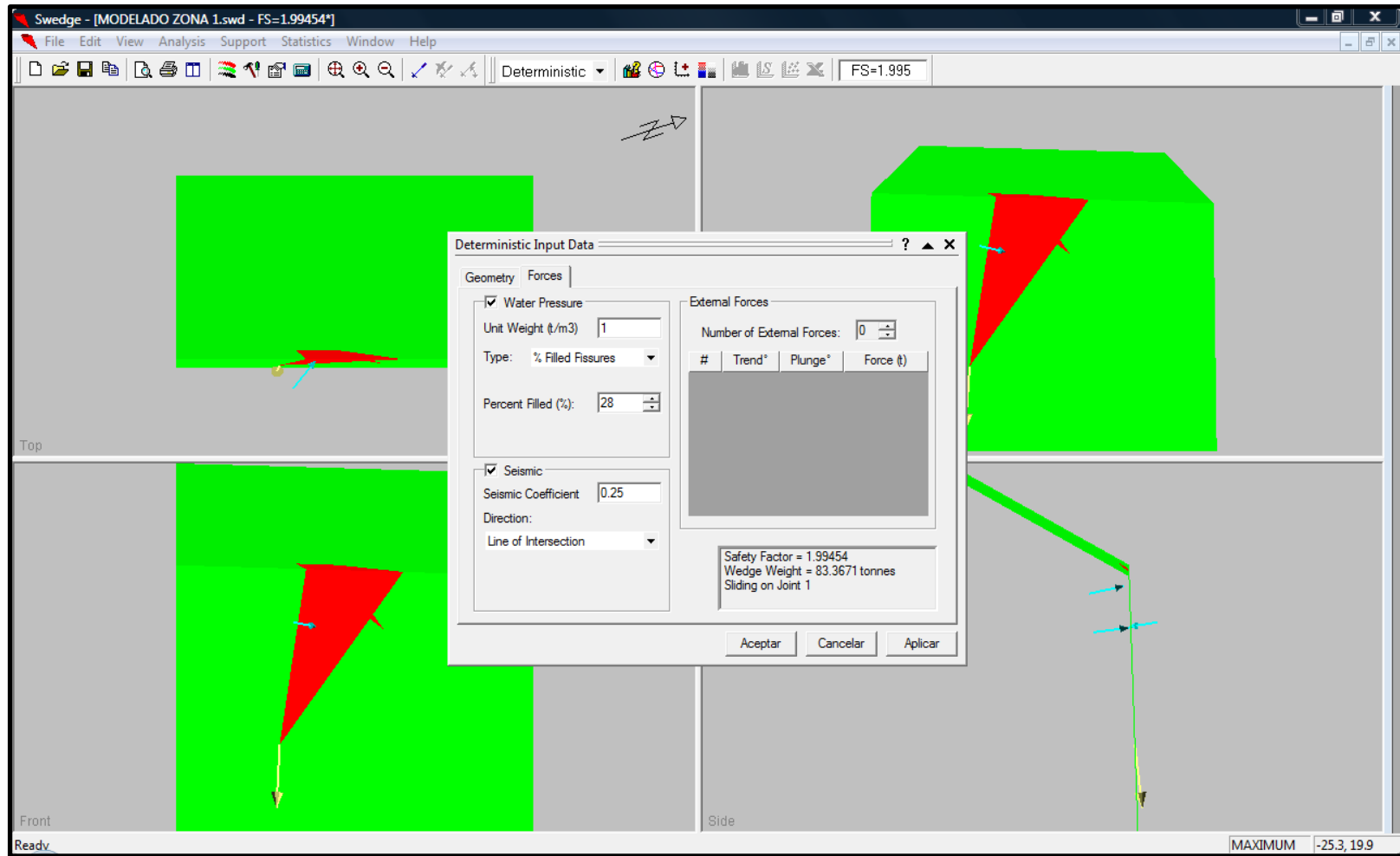
ANEXO F
MODELADO DEL TALUD

Figura 15: Zona 1, modelado bajo condiciones normales



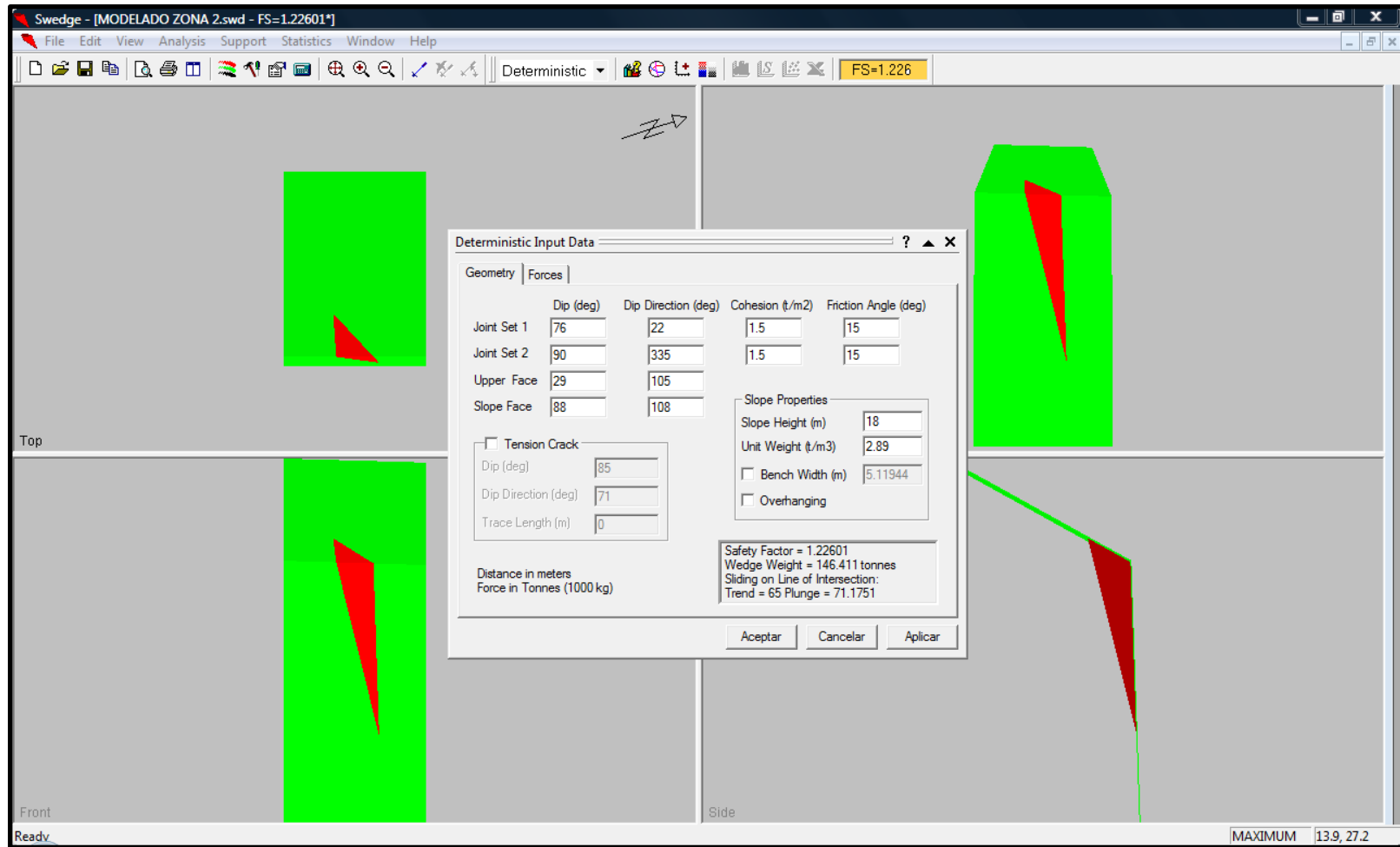
Fuente: Proponentes del proyecto (SOFTWARE SWEDGE de Rocscience.)

Figura 16: Zona 1, modelado bajo condiciones saturadas y la acción sísmica.



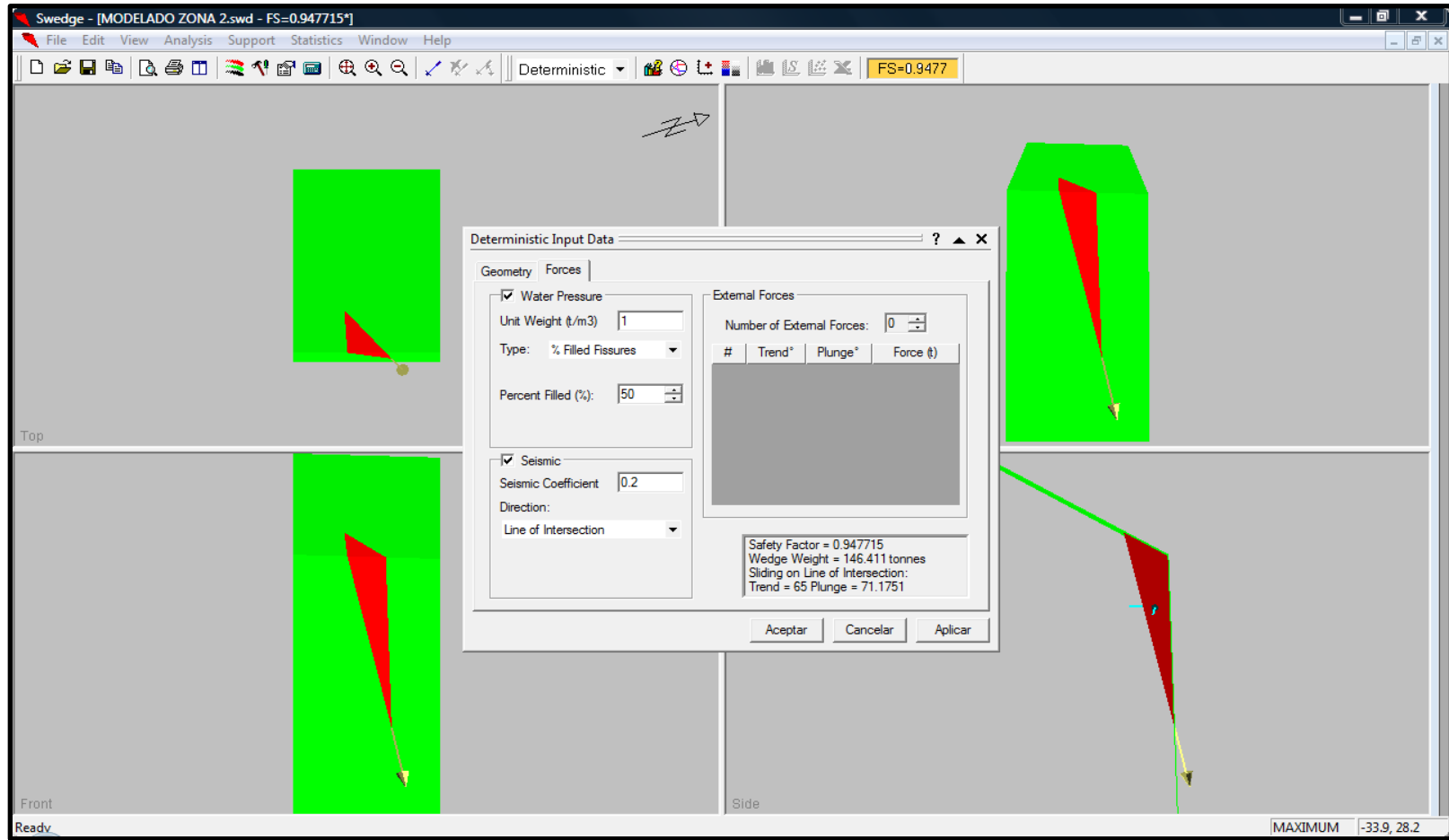
Fuente: Proponentes del proyecto (SOFTWARE SWEDGE de Rocscience.)

Figura 17: Zona 2, modelado bajo condiciones normales.



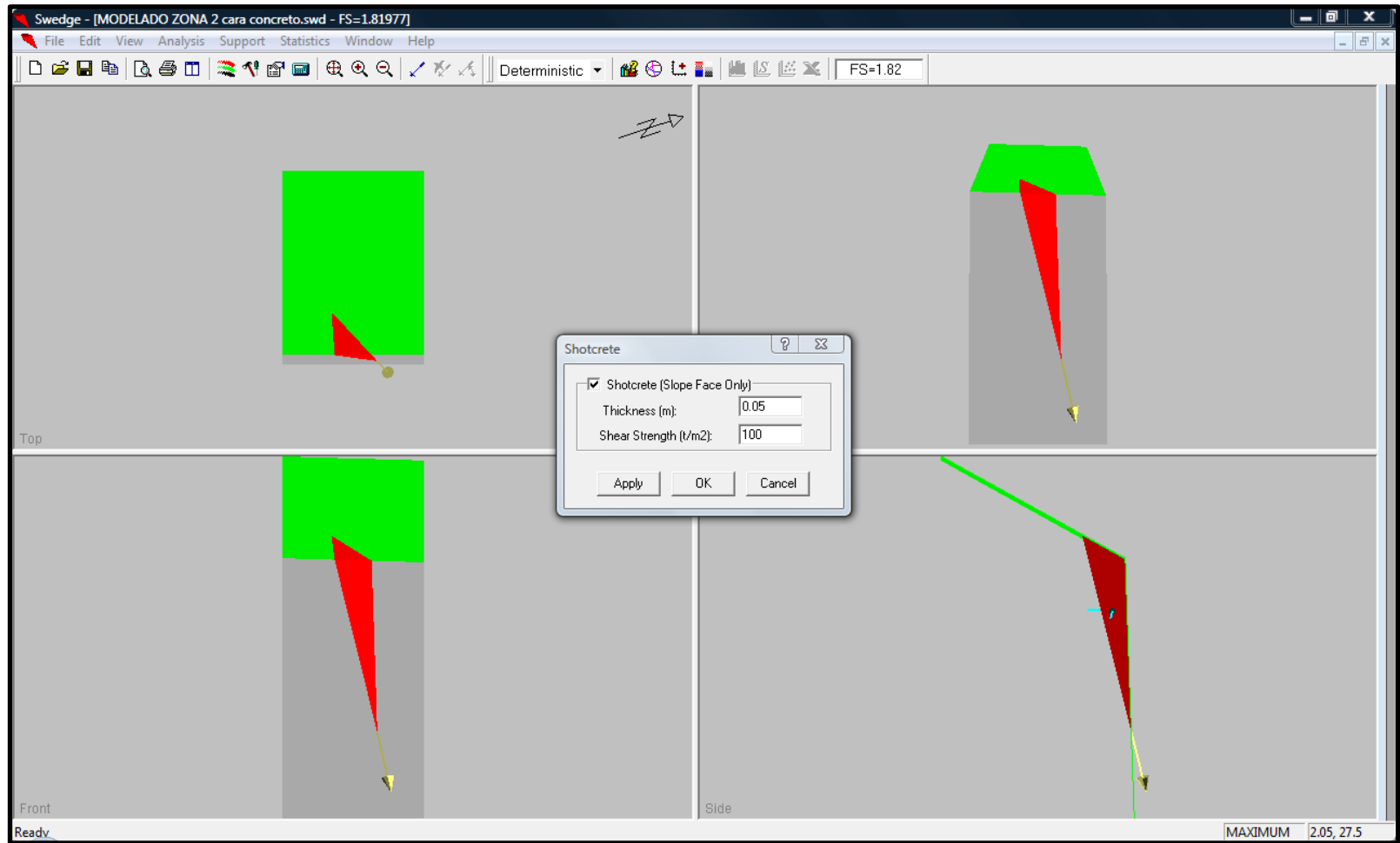
Fuente: Proponentes del proyecto (SOFTWARE SWEDGE de Rocscience).

Figura 18: Zona 2, modelado bajo condiciones saturadas y acción sísmica.



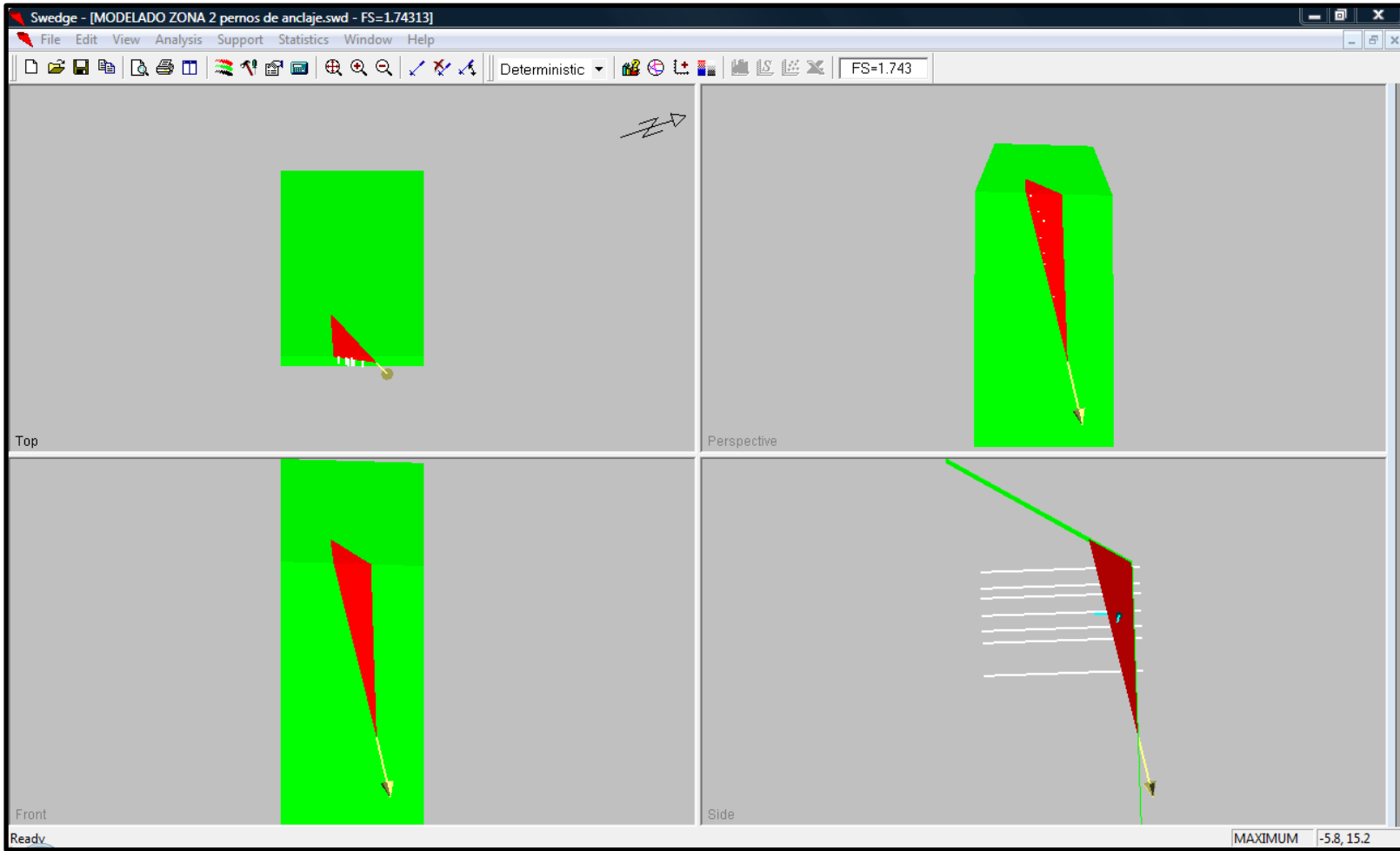
Fuente: Proponentes del proyecto (SOFTWARE SWEDGE de Rocscience.)

Figura 19: Zona 2, modelado bajo condiciones saturadas y acción sísmica; estabilizada con recubrimiento en cara de concreto



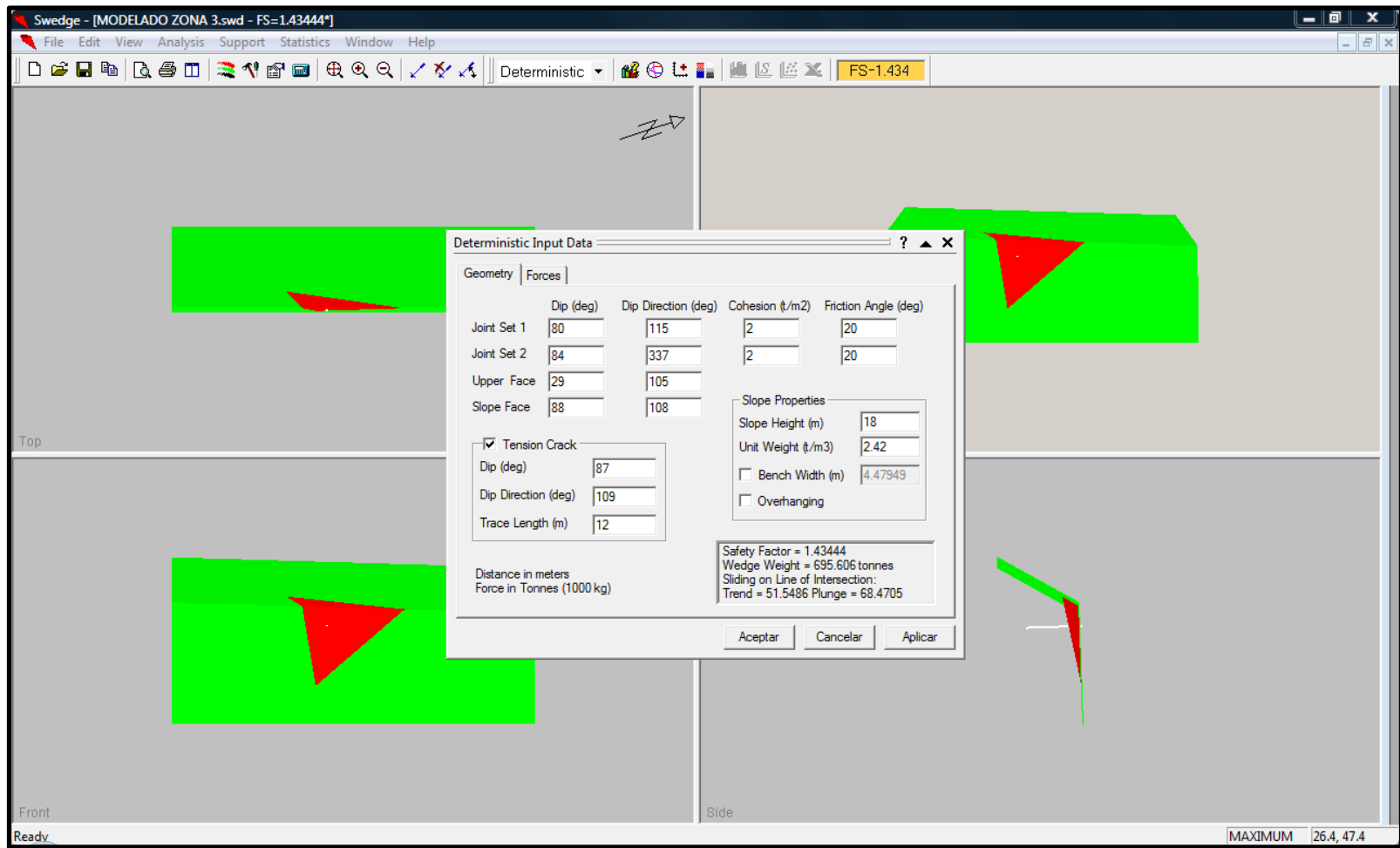
Fuente: Proponentes del proyecto (SOFTWARE SWEDGE de Rocscience.)

Figura 20: Zona 2, modelado bajo condiciones saturadas y acción sísmica; estabilizada con anclajes



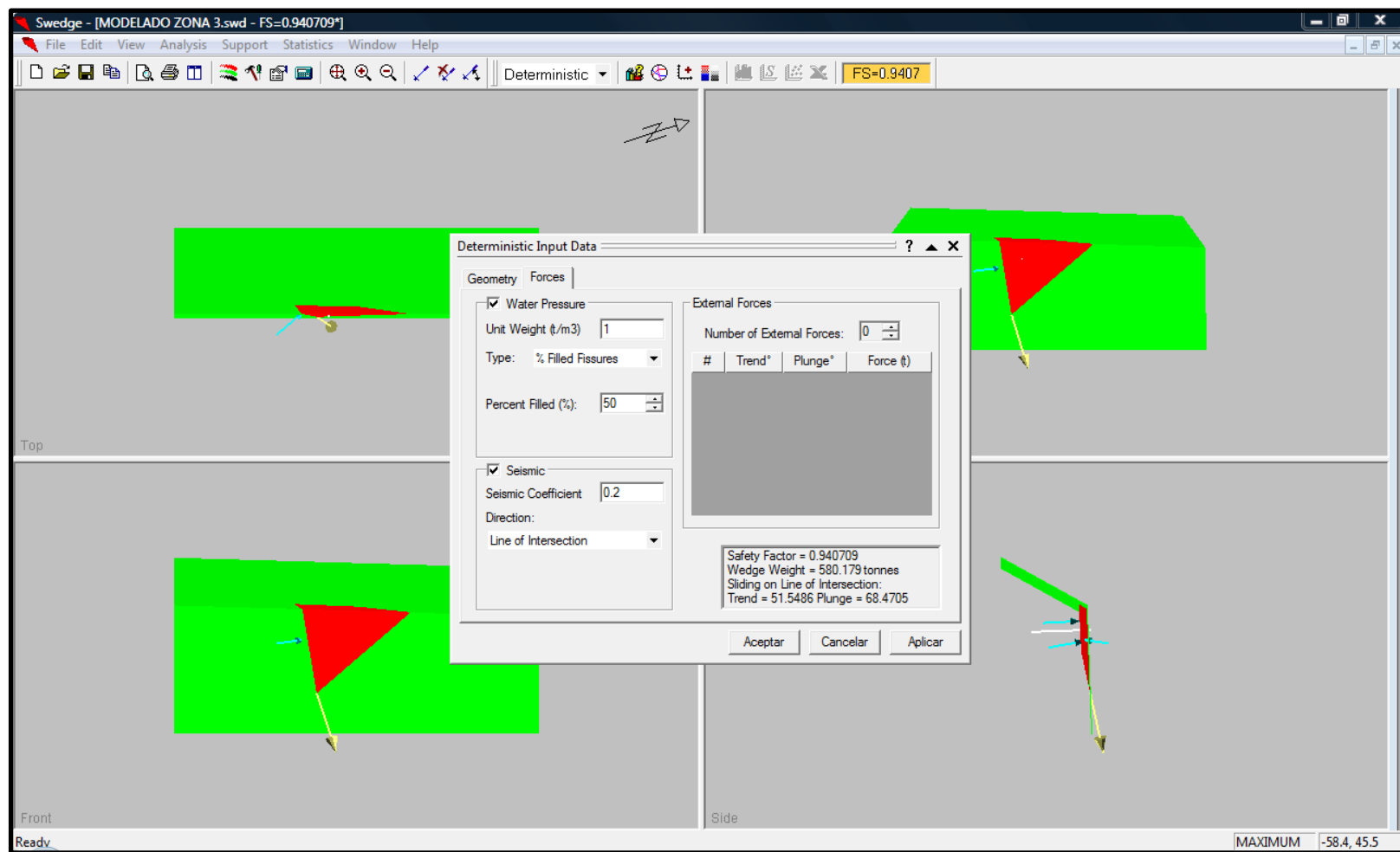
Fuente: Proponentes del proyecto (SOFTWARE SWEDGE de Rocscience.)

Figura 21: Zona 3, modelado bajo condiciones normales.



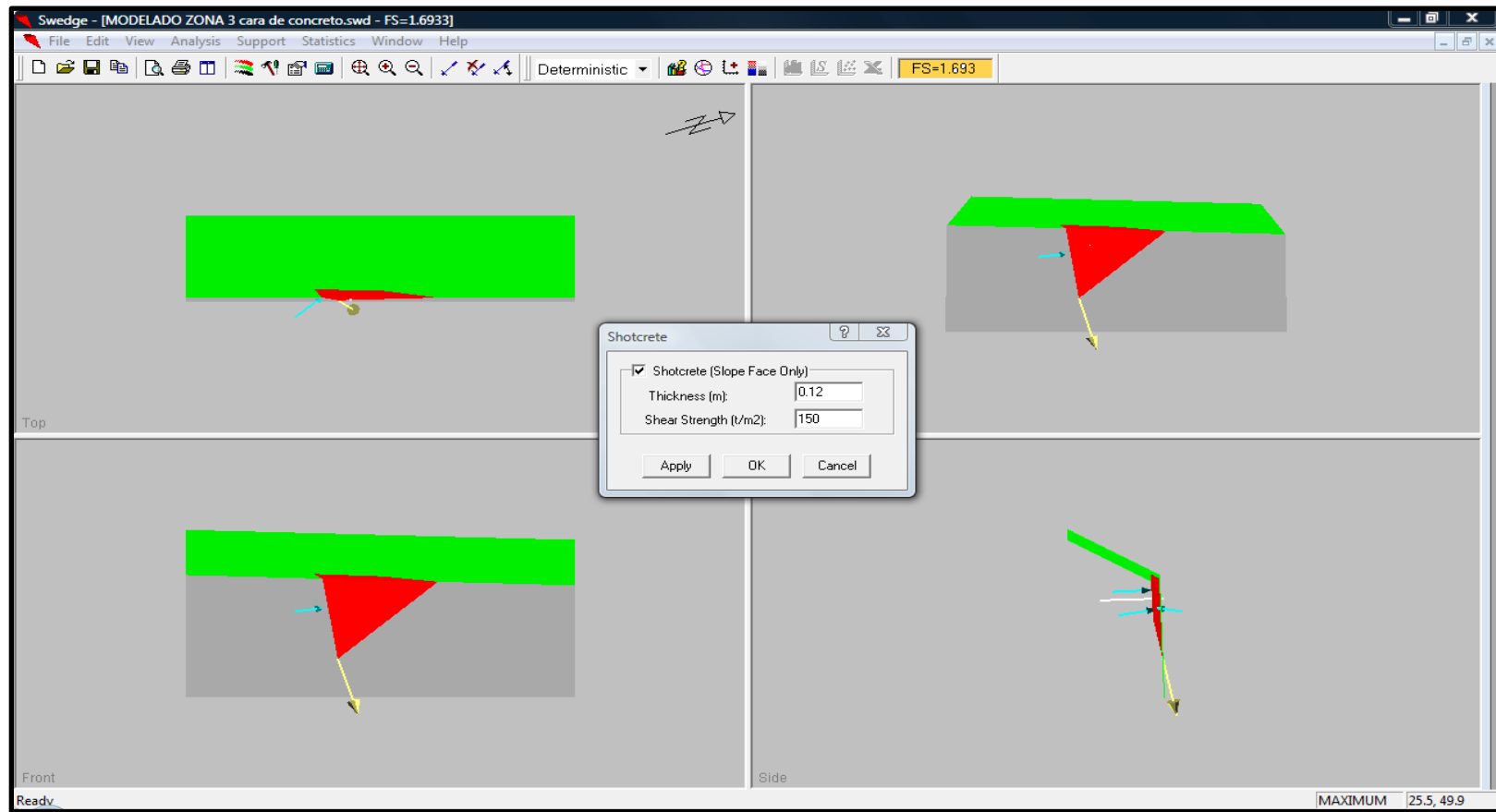
Fuente: Proponentes del proyecto (SOFTWARE SWEDGE de Rocscience.)

Figura 22: Zona 3, modelado bajo condiciones saturadas y acción sísmica.



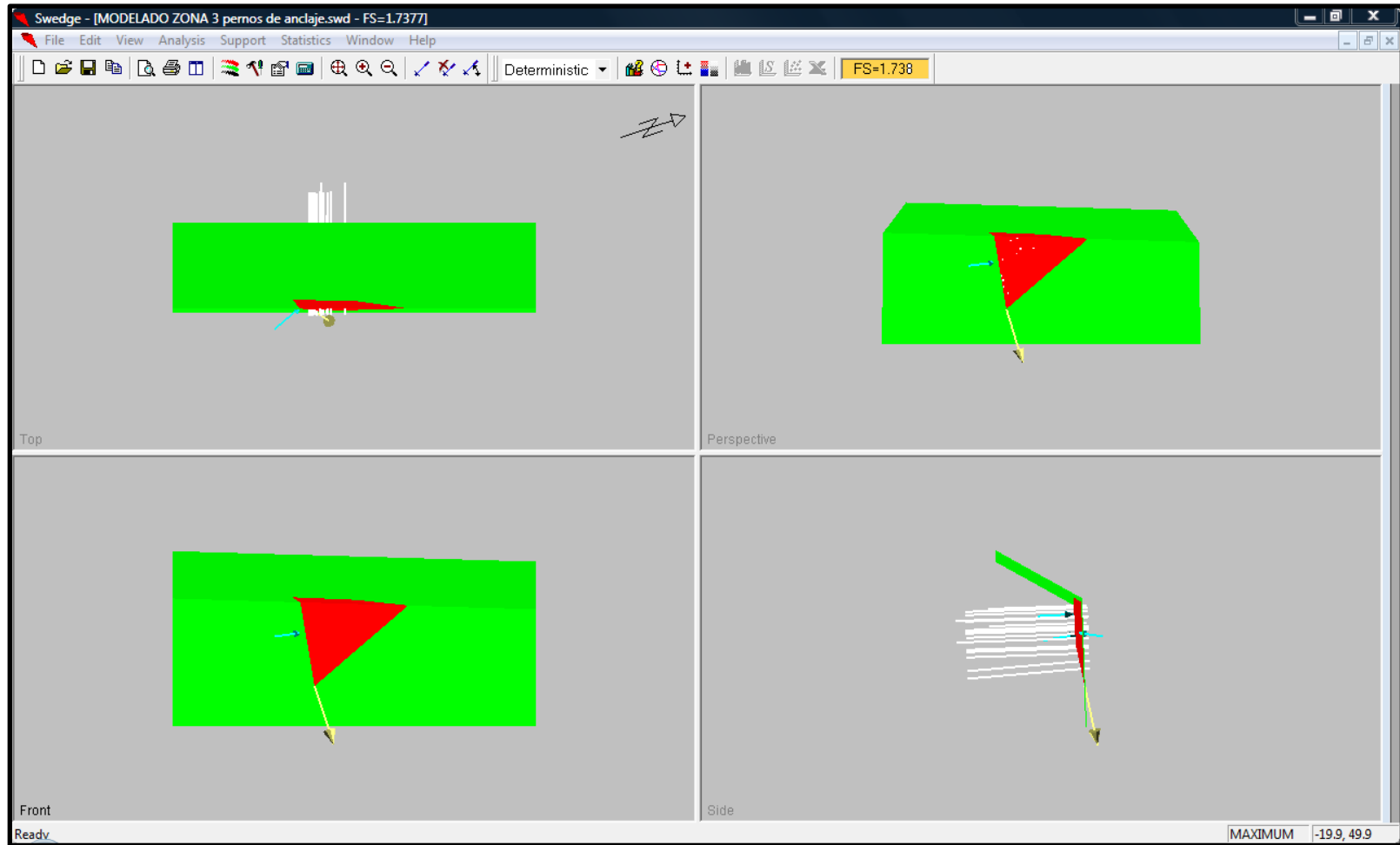
Fuente: Proponentes del proyecto (SOFTWARE SWEDGE de Rocscience.)

Figura 23: Zona 3, modelado bajo condiciones saturadas y acción sísmica; estabilizada con recubrimiento en cara de concreto.



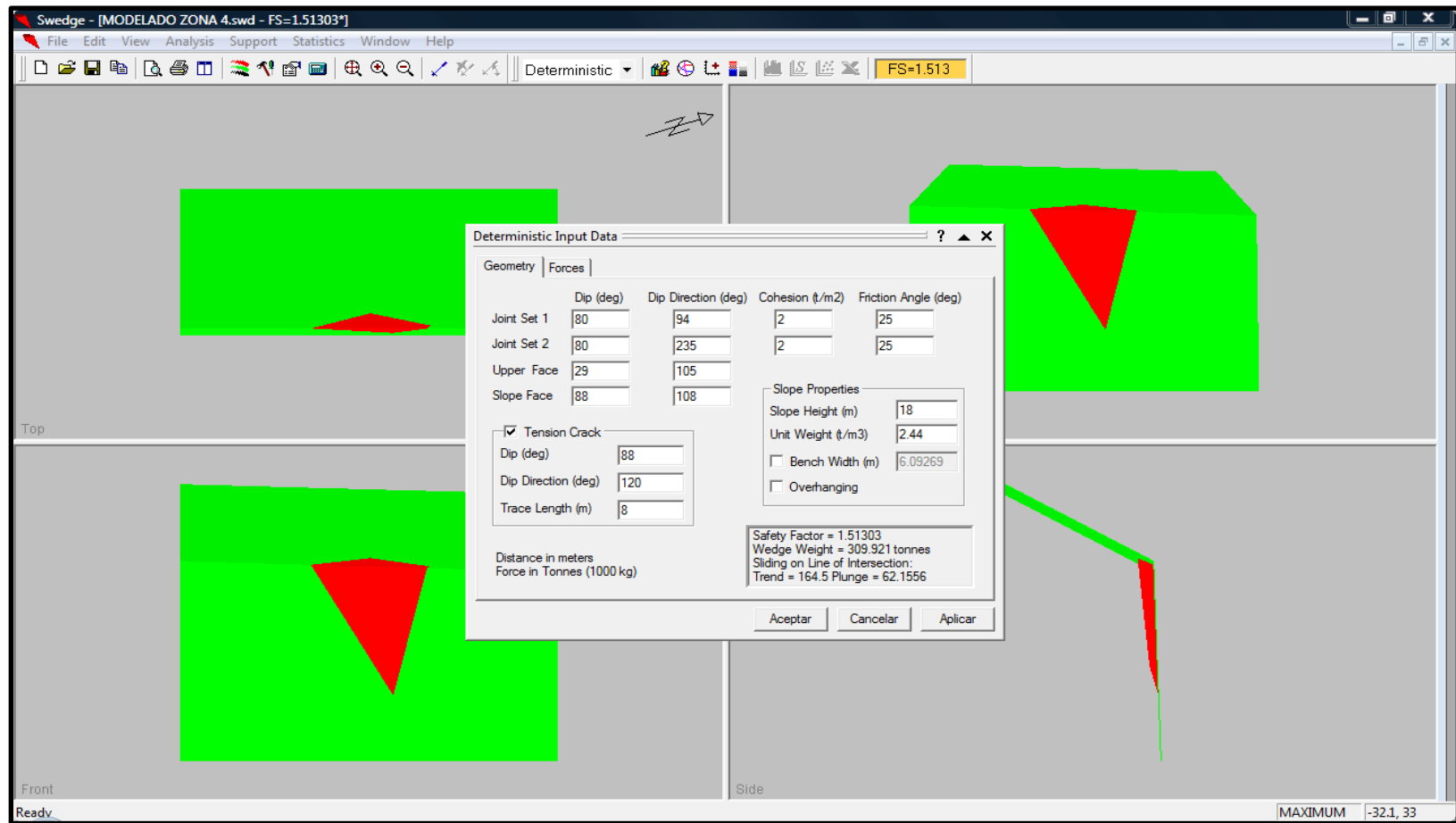
Fuente: Proponentes del proyecto (SOFTWARE SWEDGE de Rocscience.)

Figura 24: Zona 3, modelado bajo condiciones saturadas y acción sísmica; estabilizada con pernos de anclaje.



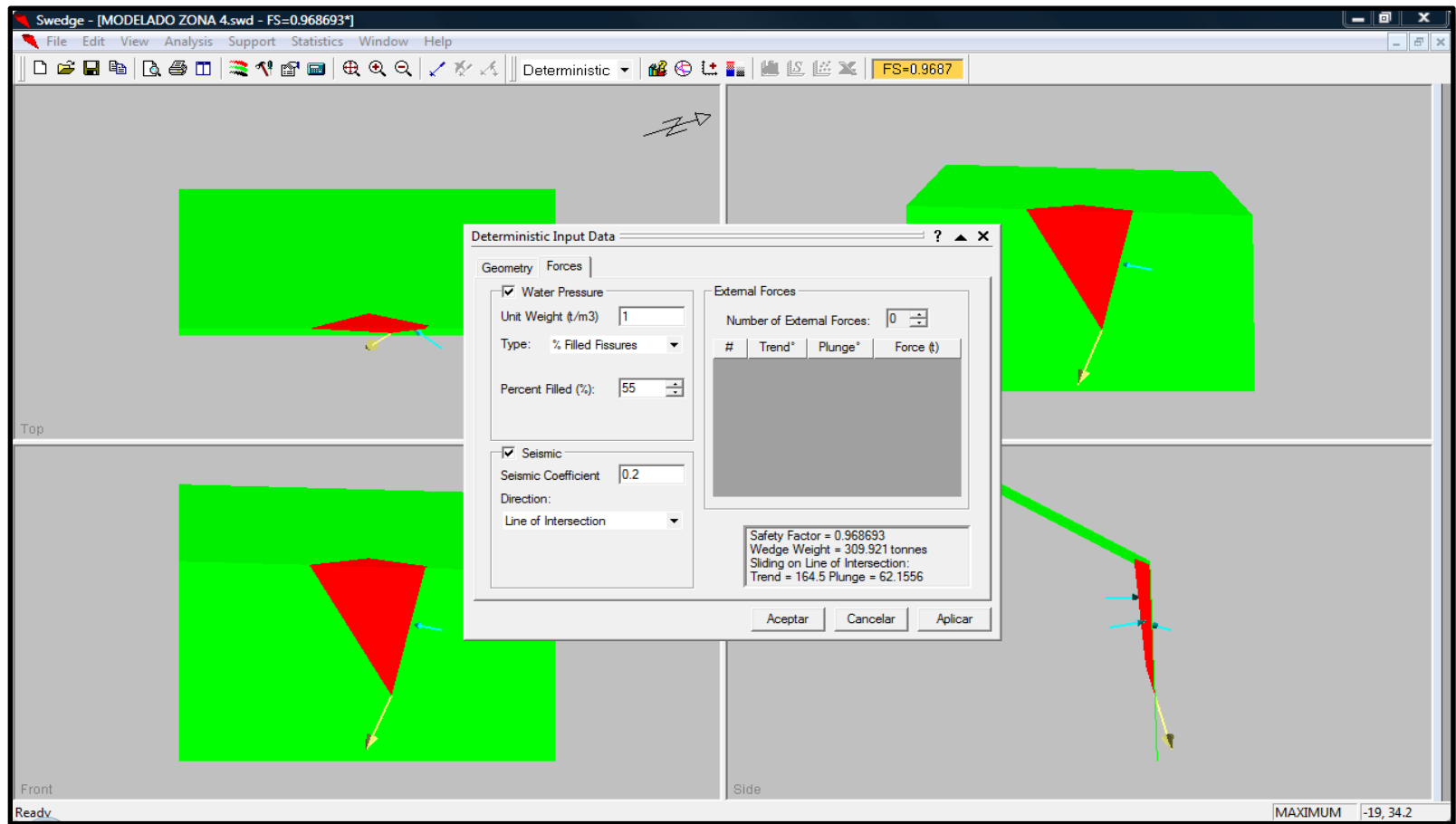
Fuente: Proponentes del proyecto (SOFTWARE SWEDGE de Rocscience.)

Figura 25: Zona 4, modelado bajo condiciones normales.



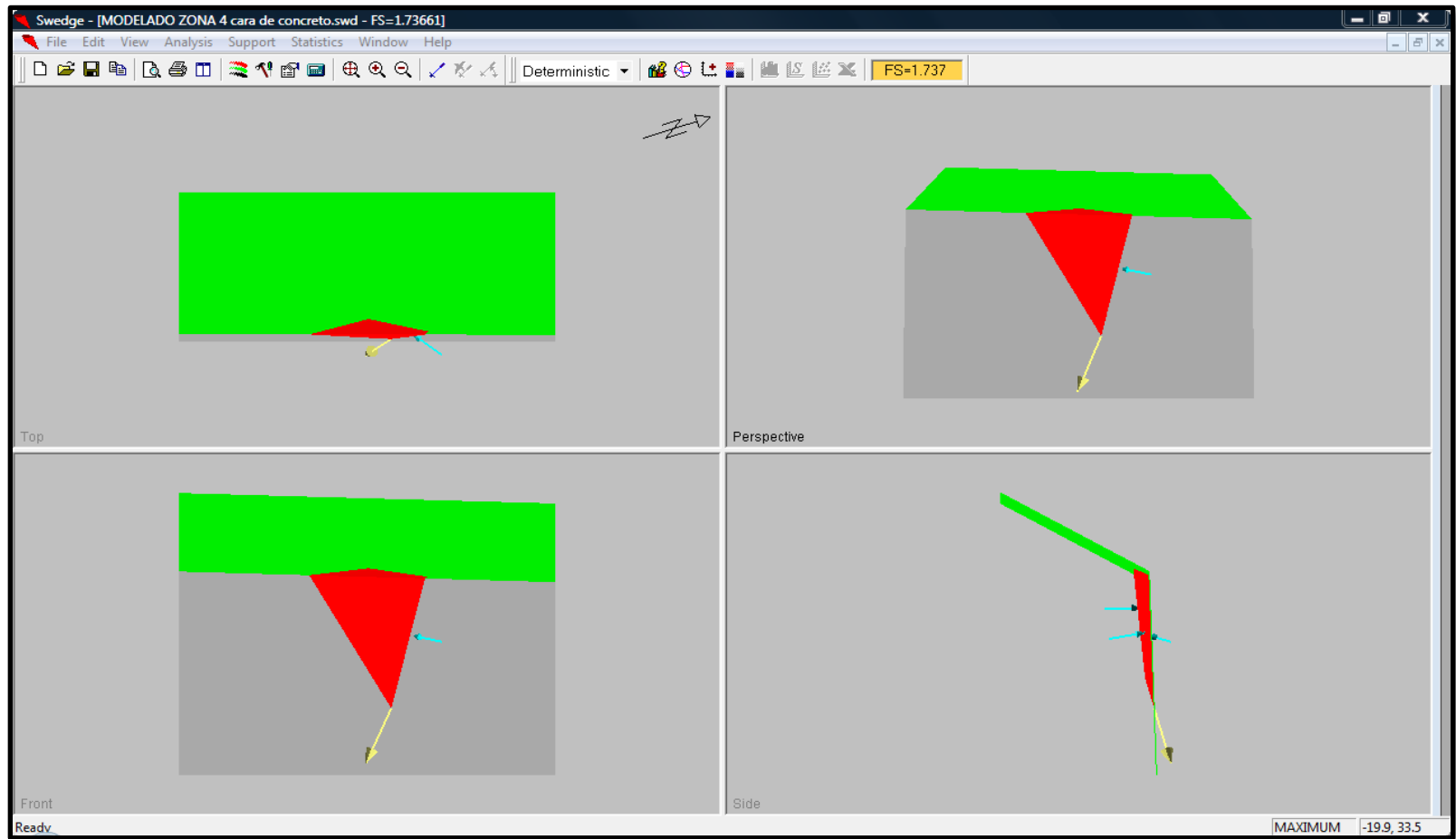
Fuente: Proponentes del proyecto (SOFTWARE SWEDGE de Rocscience.)

Figura 26: Zona 4, modelado bajo condiciones saturadas y la acción sísmica.



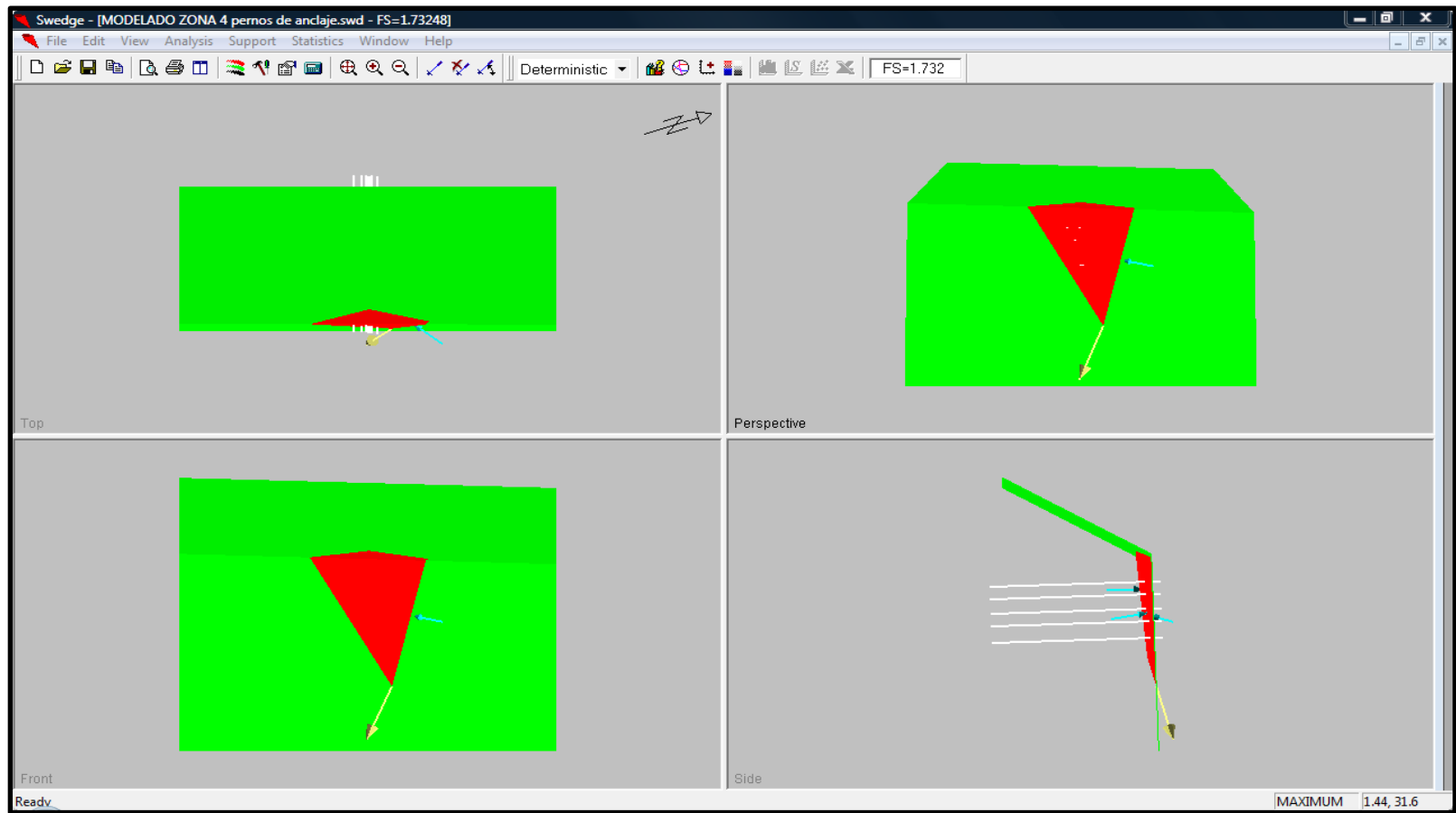
Fuente: Proponentes del proyecto (SOFTWARE SWEDGE de Rocscience.)

Figura 27: Zona 4, modelado bajo condiciones saturadas y la acción sísmica; estabilizada con cara de concreto.



Fuente: Proponentes del proyecto (SOFTWARE SWEDGE de Rocscience.)

Figura 28: Zona 4, modelado bajo condiciones saturadas y la acción sísmica; estabilizada pernos de anclaje.



Fuente: Proponentes del proyecto (SOFTWARE SWEDGE de Rocscience.)

ANEXO G
PERFILES TOPOGRAFICOS, ESTADO ANTERIOR, ESTADO ACTUAL Y ESTADO FUTURO

Fotografía 23: Modelo digital del talud en situación pasada, presente y futura.



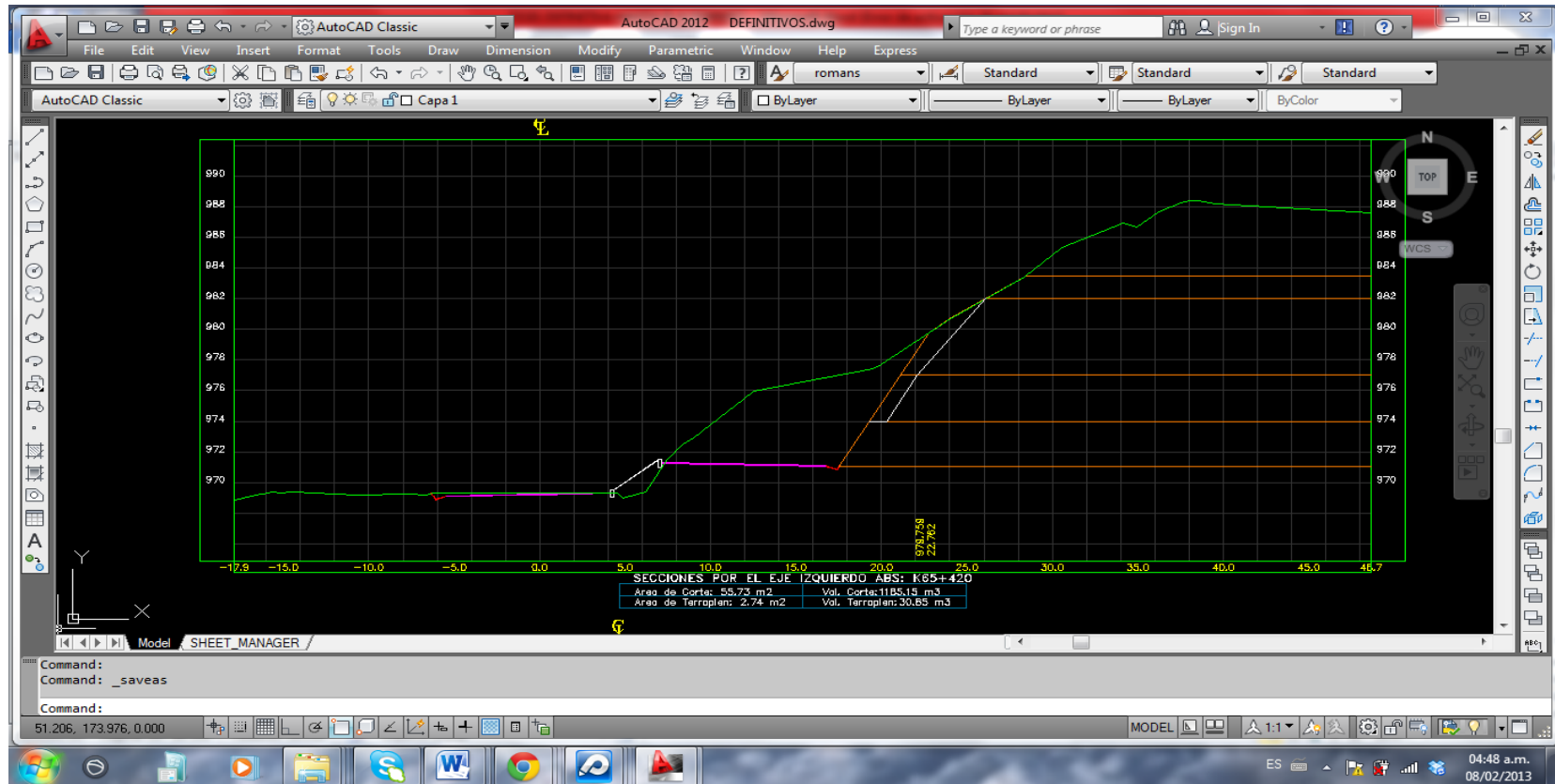
Fuente: Proponentes del Proyecto y ZMB.

Línea Verde: Situación original del Talud.

Línea Roja: Situación actual del Talud.

Línea Blanca: Situación futura del Talud.

Fotografía 24: Modelo digital del talud en situación pasada, presente y futura.



Fuente: Proponentes del Proyecto y ZMB.

Línea Verde: Situación original del Talud.

Línea Roja: Situación actual del Talud.

Línea Blanca: Situación futura del Talud.

Fotografía 25: Modelo digital del talud en situación pasada, presente y futura.



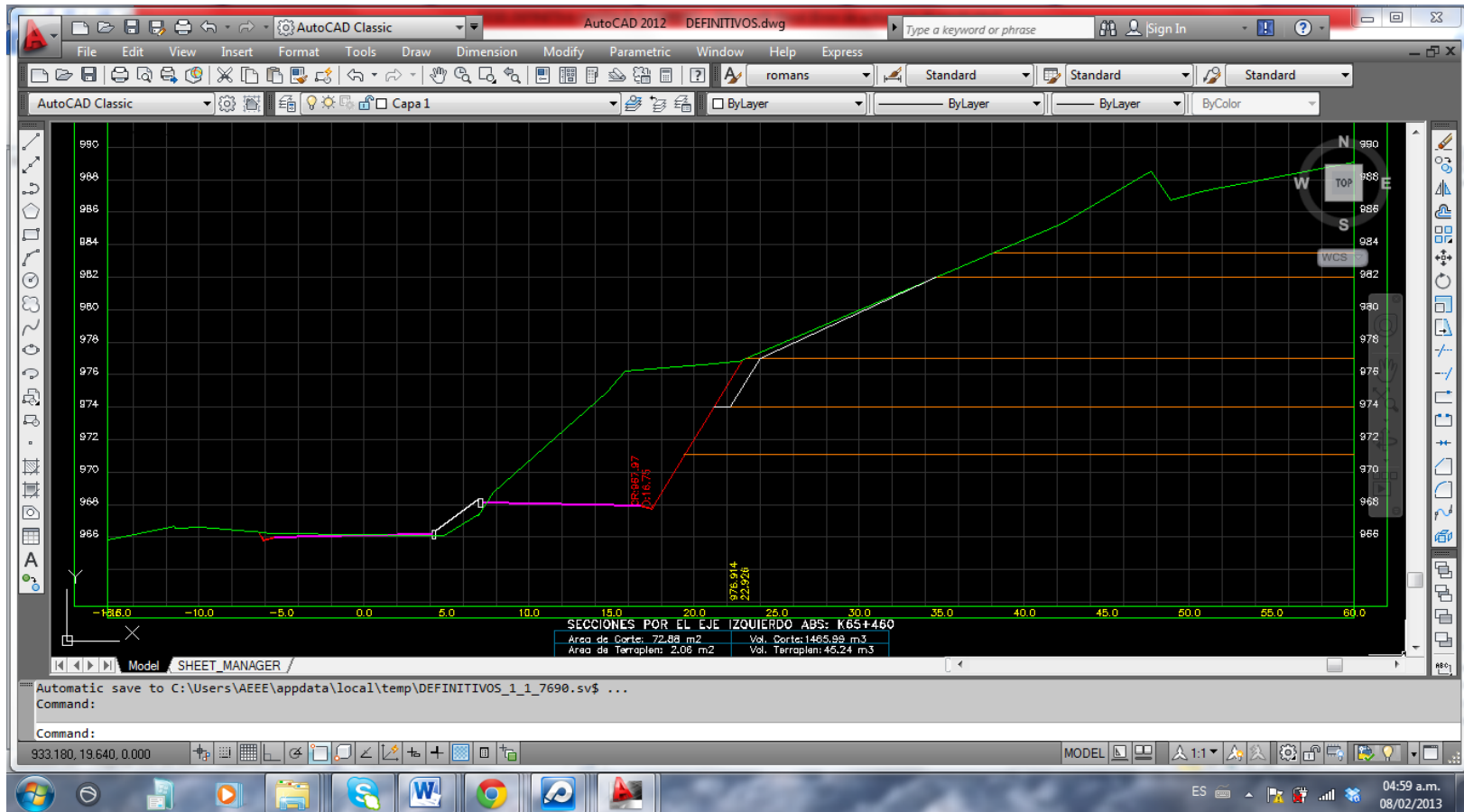
Fuente: Proponentes del Proyecto y ZMB.

Línea Verde: Situación original del Talud.

Línea Roja: Situación actual del Talud.

Línea Blanca: Situación futura del Talud.

Fotografía 26: Modelo digital del talud en situación pasada, presente y futura



Fuente: Proponentes del Proyecto y ZMB.

Línea Verde: Situación original del Talud.

Línea Roja: Situación actual del Talud.

Línea Blanca: Situación futura del Talud.

Fotografía 27: Modelo digital del talud en situación pasada, presente y futura



Fuente: Proponentes del Proyecto y ZMB.

Línea Verde: Situación original del Talud.

Línea Roja: Situación actual del Talud.

Línea Blanca: Situación futura del Talud.