

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE UNA ZONA ADYACENTE A LA AVENIDA CIRCUNVALACIÓN LOS TEQUES, MUNICIPIO GUAICAIPURO, ESTADO MIRANDA

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela**

Por la Br. Puentes M.

Darnavid K.

Para optar al Título
de Ingeniero Geólogo

Caracas, Octubre de 2016

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE UNA ZONA ADYACENTE A LA AVENIDA CIRCUNVALACIÓN LOS TEQUES, MUNICIPIO GUAICAIPURO, ESTADO MIRANDA

TUTOR ACADÉMICO: Ing. Feliciano De Santis

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela**

Por la Br. Puentes M.

Darnavid K.

Para optar al Título
de Ingeniero Geólogo

Caracas, Octubre de 2016

A Díos

A mí pocho

A mi madre

Darnavid Puentes

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme llegar hasta aquí, por darme salud, fuerza y sobre todo protección para terminar esta etapa de mi vida.

A mi amadísima casa de estudios, UCV, por ser mi hogar y mi refugio en los mejores y peores momentos. Orgullosa de ser una más de tus hijas.

A mi tutor, Feliciano De Santis por confiar en mí, por sus consejos y por esta gran oportunidad.

A mi mamá Deyanira Montilla, por todo el amor, el apoyo, la comprensión y la paciencia, por enseñarme a ser perseverante y a nunca rendirme. Sin ti esto no hubiese sido posible. Lo logramos mami.

A mi papá Johnny Puentes por ser parte fundamental de mi vida, por escucharme, por entenderme y siempre darme buenos motivos para reír.

A mis hermanos Johnny y Cristoffer, por ser mis grandes amigos y mis pilares, por las risas y los buenos momentos de mi vida, sigamos luchando por lo que queremos, como siempre lo hemos soñado. Esto también es para ustedes.

A mi Luije, por el amor y las consentideras, las risas y los llantos, la paciencia y la entrega. Eres increíble. Gracias por estar en todas estas etapas de mi vida. Gracias por tanto y por todo pelu!.

A mi titi, tito y Ado por el apoyo y toda la paciencia durante esta etapa. Gracias por ser parte de mi familia. A mi pocho, porque gracias a ti, a tus consejos, a tus loqueras y a tus cariños tuve más fuerzas para lograr esto.

A mi mejor amiga y a mi hermana, Mariela, por ser la más grande aliada que una persona pueda tener, por escucharme y ayudarme en todos los momentos difíciles, por hacerme reír tanto y por ser simplemente tú, mi mejor amiga.

A mis amiguitos de la escuela: Giselle, Geraldine, Fernanda, Jefferson, Gustavo, Reinaldo y Sina, muchachos gracias por los buenos momentos me han llenado de mucha felicidad. A Tacho por ser mi amigo y otro tutor en secreto, a mi amiga Leito por la ayuda y siempre estar ahí..

A mis profesores Ricardo Alezones, Lenin González y Sebastián Grande, mi cariño, admiración y respeto para ustedes.

Gracias a todos aquellos que indirecta o directamente me ayudaron para que todo esto fuese posible, Mil gracias.

Puentes M. Darnavid K.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE UNA ZONA ADYACENTE A LA AVENIDA CIRCUNVALACIÓN LOS TEQUES, MUNICIPIO GUAICAIPURO, ESTADO MIRANDA.

Tutor Académico: Ing. Feliciano De Santis

Tesis. Caracas, U.C.V Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2016,

Palabras Claves: Circunvalación Los Teques, Estabilidad, Geología, Geotecnia, Los Teques.

Resumen: La caracterización geológica y geotécnica de la zona adyacente a la Av. Circunvalación Los Teques abarca unos 8 km² de área. El objetivo principal de su construcción es distribuir adecuadamente el flujo de vehículos que diariamente demanda la ciudad de Los Teques. Geológicamente la zona está constituida en su mayoría por rocas metamórficas foliadas como esquistos calcítico – cuarzo – grafitosos, esquistos sericíticos – cuarzo – grafitosos y esquistos calcíticos – grafitosos – cuarzosos, así como en algunas zonas se encontraron niveles de filitas micáceas – grafitosas y filitas cuarzo – micáceas; en menor proporción se encontraron niveles de mármol – moscovítico – tremolítico – cuarzoso y mármol – albitico cuarzoso, todos estos correspondientes a la Unidad de Esquisto Las Mercedes. Se realizaron ensayos de compresión simple y peso específico a las ocho muestras recolectadas en campo y se analizaron doce secciones finas obtenidas de estas muestras, lo que contribuyó con la determinación del tipo de litología existente en la zona. La caracterización geotécnica fue hecha con los valores obtenidos de los ensayos realizados. Además se realizaron análisis de estabilidad por el método de las discontinuidades y por el diseño de taludes en roca en el programa *Slope* (© 2015 GeoStru Software). El resultado de la recopilación cartográfica, la interpretación de fotografías aéreas y el estudio geológico de campo está reflejado en cuatro mapas a escala 1:4500, donde se muestra la topografía modificada, las pendientes predominantes en la zona así como las zonas de riesgo medio y alto y un mapa geológico – geotécnico del área de estudio.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	- 1 -
1. INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1.- Generalidades:	- 1 -
1.2.- Ubicación del Área de Estudio:	- 4 -
1.3.-Planteamiento del Problema:	- 5 -
1.4.-Justificación:	- 6 -
1.5.- Objetivos de la Investigación:	- 6 -
1.5.1.- Objetivo General:	- 6 -
1.5.2.- Objetivos Específicos:.....	- 6 -
1.6.- Alcances y Limitaciones:.....	- 7 -
1.7.- Metodología.....	- 8 -
1.7.1.- Etapa de Pre – Campo	- 8 -
1.7.2.- Etapa de Campo.....	- 9 -
1.7.3.- Etapa 3: Post campo.....	- 11 -
1.7.3.1- Laboratorio	- 11 -
1.7.3.1.1 Ensayos y Estudios Petrográficos	- 11 -
1.7.3.2- Oficina.....	- 12 -
1.8.- Antecedentes.....	- 13 -

CAPÍTULO II.....	- 16 -
2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL:	- 17 -
2.1 Generalidades	- 17 -
2.2 Marco Estratigráfico	- 17 -
2.2.1- Esquisto de Las Mercedes:.....	- 17 -
2.2.1.1 Descripción Litológica.....	- 17 -
2.2.1.2 Extensión Geográfica	- 19 -
2.2.1.3 Contactos	- 19 -
2.3 Marco Estructural.....	- 19 -
2.3.1 Foliación	- 19 -
2.3.2 Fallas	- 19 -
2.3.3 Pliegues	- 20 -
CAPÍTULO III.....	- 21 -
3. GEOLOGÍA LOCAL	- 21 -
3.1 Generalidades.....	- 21 -
3.2 Zona I: Av. principal Circunvalación Los Teques.....	-21-
3.2.1 Observaciones de campo.....	- 21 -
3.2.2 Contenido mineralógico.....	- 23 -
3.2.3 Meteorización.....	- 26 -

3.2.4 Correlación entre el contenido de cuarzo, resistencia a la compresión simple y porcentaje de absorción	- 29 -
3.3 Zona II: Puente 3 y Puente 4 Circunvalación Los Teques ...	- 30 -
3.3.1 Observaciones de campo.....	- 30 -
3.3.2 Contenido mineralógico.....	- 32 -
3.3.3 Meteorización.....	- 32 -
3.3.4 correlación entre el contenido de cuarzo, resistencia a la compresión simple y porcentaje de absorción	- 33 -
3.4 Zona III: Puente 5 Circunvalación Los Teques	- 34 -
3.4.1 observaciones de campo	- 34 -
3.4.2 contenido mineralógico	- 36 -
3.4.3 meteorización.....	- 39 -
3.4.4 correlación entre el contenido de cuarzo, resistencia a la compresión simple y porcentaje de absorción	- 42 -
3.5 Geomorfología	- 43 -
3.5.1 Unidades.....	- 44 -
3.5.1.1 Unidad de Relieve Alto	- 44 -
3.5.1.1.1 Filas Sinuosas	- 45 -
3.5.1.1.2 Colinas Rectas.....	- 46 -
3.5.1.2 Unidad de Relieve Bajo.....	- 47 -
3.5.1.2.1 Valle amplio	- 47 -
3.5.1.1.4 Valles estrechos	- 48 -
3.6 Marco Estructural Local.....	- 49 -
3.6.1 Foliación.....	- 50 -

3.6.2 Pliegues y Fallas	- 51 -
3.7 Perforaciones	- 54 -
CAPÍTULO IV	- 68 -
4. Resultados y Análisis de Resultados.....	- 68 -
4.1 Geología	- 68 -
4.1.1 Geología de campo	- 68 -
4.1.2 Estudio Petrográfico	- 72 -
4.2 Clasificación Geomecánica.....	-87 -
4.2.1 Clasificación del Macizo Rocosos según Bieniawski (1989) y corrección por romana (1992).....	- 87 -
4.3 Análisis de Estabilidad de Taludes.....	- 113-
4.3.1 Análisis de Estabilidad por Discontinuidades.....	- 113 -
4.3.2 Análisis de Estabilidad por modelado de taludes en roca.....	- 123 -
4.3.2.1 Slope (© 2015 geostru software).....	- 123 -
4.3.2.2 Escala de Meteorización de la Roca (ISRM)	- 125 -
4.3.2.3 Estabilidad a largo plazo	- 155 -
4.4 Mapas temáticos.....	- 160 -
4.4.1 Mapa de Topografía Modificada	- 160 -
4.4.2 Mapa de Pendientes	- 160 -
4.4.3 Mapa Geológico – Geotécnico	- 164 -
4.4.4 Mapa de Riesgo	- 166 -
CAPÍTULO V	- 168 -
5. Conclusiones y Recomendaciones	- 168 -

5.1 Conclusiones.....	- 168 -
5.2 Recomendaciones	- 170 -
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	- 172 -
APÉNDICE 1	- 173 -
APÉNDICE 2.....	- 253 -

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Vías de acceso a Los Teques.....	-3-
Figura 2. Ubicación del área de estudio, dentro del recuadro.....	-4-
Figura 3. Principales formaciones geológicas presentes en las zonas circundantes a la Avenida Circunvalación los Teques.....	-18-
Figura 4. a) Esquisto cuarzo – micáceo con vetas de calcita.....	-22-
Figura 4. b) Nivel de Filita cuarzo – micácea – grafitosa.....	-22-
Figura 5. a) Esquisto calcáreo – micáceo con lente amorfo de calcita.....	-23-
Figura 5. b) Secuencia de familia de diaclasas sin abertura y sin relleno.....	-23-
Figura 6. Secuencia de microfotografías de la muestra CLT-R9-1.....	-25-
Figura 7. Secuencia de microfotografías de la muestra CLT-R10-1.....	-25-
Figura 8. a) Esquisto calcítico – cuarzoso.....	-27-
Figura 8. b) Plegamiento muy bien conservado de Esquisto calcítico-cuarzoso.....	-27-
Figura 9. a) Filita cuarzo – micácea.....	-28-
Figura 9. b) Suelo residual con presencia de vegetación final del punto 11 de levantamiento.....	-28-
Figura 10. a) Filita cuarzo – grafitosa – micácea plegada.....	-31-
Figura 10. b) Afloramiento de una veta de cuarzo lechoso.....	-31-
Figura 11. a) Filita cuarzo – micácea – grafitosa en pliegue tipo cofre.....	-31-
Figura 11. b) Filita cuarzo – grafitosa en pliegue disarmónico.....	-31-
Figura 12. a) Filitas cuarzo – grafitosas cubiertas por vegetación.....	-33-

Figura 12. b) Vista local de Filitas cuarzo – grafitosas y cárcavas.....	-33-
Figura 13. a) Filita cuarzo – micácea – grafitosa cubierta por material suelto.....	-33-
Figura 13. b) Vista local de Filita cuarzo – micácea – grafitosa.....	-33-
Figura 14. Familia de diaclasas con dirección perpendicular a la dirección de foliación.....	-34-
Figura 15. a) Diaclasa con relleno duro de calcita.....	-35-
Figura 15. b) Afloramiento de Esquisto calcítico – micáceo.....	-35-
Figura 16. a) Afloramiento de Esquisto calcítico – micáceo con vetas de calcita.....	-36-
Figura 16. b) Pliegue amplio y simétrico.....	-36-
Figura 17. Secuencia de microfotografías de la muestra CLT-R6-1.....	-38-
Figura 18. Secuencia de microfotografías de la muestra CLT-R7-1.....	-38-
Figura 19. Microfotografía de la muestra CLT-R2-1.....	-38-
Figura 20. a) Parte alta de uno de los taludes de la zona.....	-40-
Figura 20. b) Delgada capa vegetal en parte alta del talud.....	-40-
Figura 21. a) Medición de foliación de una Filita cuarzo – micácea – grafitosa.....	-40-
Figura 21. b) Filita cuarzo – micácea – grafitosa plegada y muy meteorizada de color vinotinto.....	-40-
Figura 22. Panorámica realizada entre los puntos de levantamiento 47 y 48.....	-41-

Figura 23. Mapa de sombras o Hillshade en combinación con superficie de elevación (TIN) modificado.....	-44-
Figura 24. a) Ubicación de las filas sinuosas.....	-46-
Figura 24. b) Mapa de pendiente de la zona de estudio señalando las pendientes de las filas sinuosa.....	-46-
Figura 25. a) Ubicación de las colinas alargadas.....	-47-
Figura 25. b) Mapa de pendiente de la zona de estudio señalando las pendientes de las colinas alargadas.....	-47-
Figura 26. a) Ubicación de Valle amplio.....	-48-
Figura 26. b) Mapa de pendiente de la zona de estudio señalando las pendientes del valle amplio.....	-48-
Figura 27. a) Ubicación de los Valles estrechos.....	-49-
Figura 27. b) Mapa de pendiente de la zona de estudio señalando las pendientes de los valles estrechos.....	-49-
Figura 28. Afloramiento de los puntos 27 al 30.....	-50-
Figura 29. Diagrama de Rosa que representa la tendencia del rumbo de la foliación en la zona de estudio.....	-51-
Figura 30. a) Pliegue recto.....	-52-
Figura 30. b) Cabalgamiento local.....	-52-
Figura 31. Mapa de sombras (Hillshade).....	-53-
Figura 32. Ubicación de los perfiles geotécnicos a lo largo de la Circunvalación Los Teques.....	-56-
Figura 33. Perfil Geotécnico 1.....	-58-

Figura 34. Perfil Geotécnico 2.....	-60-
Figura 35. Perfil Geotécnico 3.....	-62-
Figura 36. Perfil Geotécnico 4.....	-64-
Figura 37. Perfil Geotécnico 5.....	-65-
Figura 38. Perfil Geotécnico 6.....	-67-
Figura 39. a) y b) Fotomicrografía de la sección CLT-R2-2.....	-74-
Figura 39. c) y d) Fotomicrofotografía de la sección CLT-R2-1.....	-74-
Figura 39. e) y f) Fotomicrofotografía de la sección CLT-R2-1.....	-74-
Figura 40. a) Vista (NX) de la sección CLT-R2-2.....	-76-
Figura 40. b) Vista (NX) de la sección CLT-R2-2, cristales de tremolita.....	-76-
Figura 40. c) y d) Vista (NX izq.)(N// der.) Muestra CLT-R2-1.....	-76-
Figura 40. e) Vista (NX) de la sección CLT-R2-1.....	-76-
Figura 41. Secuencia de fotomicrografías de la muestra CLT-R5-1.....	-77-
Figura 42. Muestra CLT-R5-1.....	-78-
Figura 43. Sección delgada CLT-R6-1.....	-79-
Figura 44. Fotomicrografía de la sección delgada CLT-R7-1.....	-80-
Figura 45. Fotomicrografía de la sección delgada CLT-R8-1.....	-81-
Figura 46. Fotomicrografía de la sección delgada CLT-R9-1.....	-82-
Figura 47. Muestra CLT-R10-1.....	-83-
Figura 48. Secuencia de fotomicrografías de Mármol foliado.....	-84-
Figura 49. Secuencia de fotomicrografías sección delgada CLT.R11-1.....	-85-
Figura 50. a) y b) Fotomicrografía de la sección delgada CLT-R12-1.....	-86-

Figura 51. Distribución de los taludes a lo largo de la Av. Circunvalación Los Teques.....	-128-
Figura 52. a) Fotografía Talud 2 (Vista de frente).....	-130-
Figura 52. b) Talud Modelado 1, inestabilidad global.....	-130-
Figura 53. a) Fotografía Talud 2 (Vista de frente).....	-133-
Figura 53. b) Talud 2 Modelado, inestabilidad superficial.....	-133-
Figura 53. c) Talud Modelado 2, inestabilidad a medio talud.....	-133-
Figura 53. d) Talud Modelado 2, inestabilidad global.	-133-
Figura 54. a) Fotografía Talud 3 (Vista de frente).....	-136-
Figura 54. b) Talud 3 Modelado, inestabilidad superficial.....	-136-
Figura 54. c) Talud Modelado 3, inestabilidad a medio talud.....	-136-
Figura 54. d) Talud Modelado 3, inestabilidad global.....	-136-
Figura 55. a) Fotografía Talud 4 (Vista de frente)	-139-
Figura 55. b) Talud 4 Modelado, inestabilidad superficial.....	-139-
Figura 55. c) Talud Modelado 4, inestabilidad a medio talud.....	-139-
Figura 55. d) Talud Modelado 4, inestabilidad global.....	-139-
Figura 56. a) Fotografía Talud 5 (Vista de frente)	-142-
Figura 56. b) Talud Modelado 5, inestabilidad a medio talud.....	-142-
Figura 56. c) Talud Modelado 5, inestabilidad global.....	-142-
Figura 57. a) Fotografía Talud 6 (Vista de frente)	-145-
Figura 57. b) Talud 6 Modelado, inestabilidad superficial)	-145-
Figura 57. c) Talud Modelado 6, inestabilidad global)	-145-
Figura 58. a) Fotografía Talud 7 (Vista de frente)	-148-

Figura 58. b) Talud 7 Modelado, inestabilidad superficial.....	-148-
Figura 58. c) Talud Modelado 7, inestabilidad a medio talud.....	-148-
Figura 58. d) Talud Modelado 7, inestabilidad global.	-148-
Figura 59. a) Fotografía Talud 8 (Vista de frente) con deslizamiento local.	-151-
Figura 59. b) Talud 8 Modelado, inestabilidad superficial.....	-151-
Figura 59. c) Talud Modelado 8, inestabilidad a medio talud.....	-151-
Figura 59. d) Talud Modelado 8, inestabilidad global.....	-151-
Figura 60. a) Talud 3 diseñado con los parámetros geomecánicos equivalentes actuales.	-158-
Figura 60. b) Talud 3 diseñado en base a parámetros geomecánicos equivalentes estimados para 50 años.....	-158-
Figura 61. a) Talud 4 diseñado con los parámetros geomecánicos equivalentes actuales.	-159-
Figura 61. b) Talud 4 diseñado en base a parámetros geomecánicos equivalentes estimados para 50 años.....	-159-
Figura 62. Mapa de Topografía Modificada.....	-162-
Figura 63. Mapa de Pendientes.....	-163-
Figura 64. Mapa Geológico – Geotécnico.....	-165-
Figura 65. Mapa de Riesgo.....	-167-

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Planilla a emplear para la recolección de datos en taludes artificiales.....	-10-
Tabla 2. Planilla para la recolección de datos en afloramientos.....	-10-
Tabla 3. Tabla integrada y grafico de barras que indican el porcentaje mineral existente en cada muestra de la Zona I – Circunvalación Los Teques.....	-24-
Tabla 4. Valores de Resistencia al Corte, Porcentaje de Cuarzo y Absorción.....	-29-
Tabla 5. Tabla integrada y grafico de barras que indican el porcentaje mineral existente en cada muestra de la Zona III – Circunvalación Los Teques.....	-37-
Tabla 6. Valores de Resistencia al Corte, Porcentaje de Cuarzo y Absorción.....	-42-
Tabla 7. Descripción de los afloramientos en campo. Puntos del 1 al 7.....	-68-
Tabla 8. Porcentaje mineral obtenido para las muestras CLT-R1-1 y CLT-R1-2.....	-73-
Tabla 9. Porcentaje mineral obtenido para las muestras CLT-R2-1 y CLT-R2-2.....	-75-
Tabla 10. Porcentaje mineral obtenido para la muestra CLT-R5-1.....	-77-
Tabla 11. Porcentaje mineral obtenido para la muestra CLT-R6-1.....	-78-
Tabla 12. Porcentaje mineral obtenido para la muestra CLT-R7-1.....	-80-
Tabla 13. Porcentaje mineral obtenido para la muestra CLT-R8-1.....	-81-

Tabla 14. Porcentaje mineral obtenido para la muestra CLT-R9-1.....	-82-
Tabla 15. Porcentaje mineral obtenido para la muestra CLT-R10-1.....	-83-
Tabla 16. Porcentaje mineral obtenido para la muestra CLT-R11-1.....	-85-
Tabla 17. Porcentaje mineral obtenido para la muestra CLT-R12-1.....	-86-
Tabla 18. Parámetros de Clasificación Geomecánica (Bieniawski, 1989).....	-88-
Tabla 19. Clasificación del macizo rocoso en función del RMR.....	-88-
Tabla 20. Factores de ajuste según las orientaciones de las discontinuidades.....	-89-
Tabla 21. Factores de ajuste según el método de excavación.....	-90-
Tabla 22. Clases de estabilidad según índice SMR.....	-90-
Tabla 23. a) b) y c) Punto 1 – 2.....	-92-
Tabla 24. a) b) y c) Punto 3 – 4	-93-
Tabla 25. a) b) y c) Punto 4 – 5	-93-
Tabla 26. a) b) y c) Punto 6– 7	-94-
Tabla 27. a) b) y c) Punto 9 – 10	-95-
Tabla 28. a) b) y c) Punto 10 – 11	-95-
Tabla 29. a) b) y c) Punto 12 – 13	-96-
Tabla 30. a) b) y c) Punto 13 – 14	-97-
Tabla 31. a) b) y c) Punto 14 – 15	-97-
Tabla 32. a) b) y c) Punto 15 – 16	-98-
Tabla 33. a) b) y c) Punto 16 – 17	-99-
Tabla 34. a) b) y c) Punto 18 – 19	-99-

Tabla 35. a) b) y c) Punto 19 – 20	-100-
Tabla 36. a) b) y c) Punto 20 – 21	-101-
Tabla 37. a) b) y c) Punto 21 - 22	-101-
Tabla 38. a) b) y c) Punto 22 - 23	-102-
Tabla 39. a) b) y c) Punto 23 - 24	-103-
Tabla 40. a) b) y c) Punto 24 - 25	-103-
Tabla 41. a) b) y c) Punto 25 - 26	-104-
Tabla 42. a) b) y c) Punto 27 - 28	-105-
Tabla 43. a) b) y c) Punto 29 - 30	-105-
Tabla 44. a) b) y c) Punto 33 - 34	-106-
Tabla 45. a) b) y c) Punto 35 - 36	-107-
Tabla 46. a) b) y c) Punto 37 - 38	-107-
Tabla 47. a) b) y c) Punto 39 - 40	-108-
Tabla 48. a) b) y c) Punto 41 - 42	-109-
Tabla 49. a) b) y c) Punto 43 - 44	-109-
Tabla 50. a) b) y c) Punto 45 - 46	-110-
Tabla 51. a) b) y c) Punto 47 - 48	-111-
Tabla 52. a) b) y c) Punto 49 - 50	-111-
Tabla 53. a) b) y c) Punto 51 - 52	-112-
Tabla 54. Representación espacial de discontinuidades y plano de taludes naturales	-114-
Tabla 55. Escala de Meteorización de la roca ISRM	-125-

Tabla 56. Descripción litológica, Clasificación ISRM y Factor de seguridad de los taludes.....	-126-
Tabla 57. Sumario: Análisis de Estabilidad de Taludes.....	-154-
Tabla 58. Clasificación de las pendientes.....	-161-

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje mineral general de todas las muestras recolectadas en la Zona I. Se observa que los minerales más abundantes en todas las rocas son la calcita y el cuarzo.....	-21-
Gráfico 1. Gráfico de media exponencial.....	-28-
Gráfico 2. Resistencia al Corte obtenida de ensayos de laboratorio Vs Contenido de Cuarzo.....	-29-
Gráfico 3. Gráfico de media exponencial.....	-41-
Gráfico 5. Resistencia al Corte obtenida de ensayos de laboratorio Vs Contenido de Cuarzo.....	-42-
Gráfico 6. Porcentaje de calidad del macizo rocoso en función del índice RMR.....	-91-
Gráfico 7. Porcentaje de calidad del macizo rocoso en función del índice SMR.....	-91-
Gráfico 8. Comparación porcentual de la condición cinemática de los taludes.....	-113-

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1.- Generalidades:

Venezuela es considerado un país de excelentes recursos naturales y con un amplio territorio con condiciones favorables para la expansión urbanística y de proyectos de transporte; sin embargo, en las últimas décadas se ha observado notablemente un proceso de movilización y concentración de la población hacia la capital del país debido, principalmente, a factores económicos y de centralización de los poderes públicos. Este proceso no ha estado acompañado de la planificación pública requerida lo que ha resultado en superpoblación del Valle de Caracas y de las ahora denominadas ciudades dormitorio, entre las que destaca la ciudad de Los Teques.

La ciudad de Los Teques fue fundada en el año de 1777, pasando de ser un caserío rural de 99 habitantes a la capital del estado Miranda, cuyo registro de número de habitantes para el año 2011 es de más de 250.000 personas (INE, 2011), ubicándose como la décimo séptima(17°) ciudad del país con mayor número de habitantes. En la actualidad, la ciudad de Los Teques se encuentra rodeada de numerosas barriadas, que ocupan sus terrenos de relieve quebrantado y de alturas superiores a los 1000 msnm, con edificaciones que prescinden de los estudios geológicos-geotécnicos correspondientes (Zurita, 2011), entre otros elementos de diseño de igual importancia. Esta realidad ha venido a contribuir con el alto nivel de vulnerabilidad del país ante eventos naturales, es decir, ante los eventos sísmicos, lluvias torrenciales, deslizamientos y demás eventos que ocurren periódicamente como forma de renovación de la corteza y que son mal denominados desastres naturales.

Este tema de la sobrepoblación de las ciudades aledañas a Caracas trae otro factor negativo, que es la congestión de las vías existentes, las que en muchos casos se tratan de accesos rurales o pequeñas carreteras de interconexión entre zonas, no diseñadas para la movilización de un gran número de vehículos. En el caso de la ciudad de Los Teques, esta cuenta fundamentalmente con tres accesos vehiculares, que son la Carretera Panamericana, la Carretera Vieja que conecta con Las Adjuntas y la intrincada carretera Los Teques- El Jarillo. También cuenta con las nuevas estaciones del Sistema Metro los Teques como lo son Ayacucho, Alí Primera, Guaicaipuro e Independencia que conecta con la estación Las Adjuntas del Metro de Caracas (Ver Figura 1). Sin embargo, se hace necesaria una optimización del sistema vial propio de la ciudad de Los Teques que permita distribuir adecuadamente el flujo de vehículos que diariamente demanda del uso de las mencionadas vías y que en consecuencia contribuya a mejorar la calidad de transporte de los que hacen vida en la ciudad.

En síntesis, la ciudad de Los Teques es un buen ejemplo de una localidad con necesidad de mejoras en planificación urbana, lo cual conlleva necesariamente a la adecuación de los lugares y sistemas viales con base a estudios geológicos y geotécnicos que permitan garantizar la durabilidad y seguridad de las obras, con la reducción de los factores de riesgo y por ende la reducción de la vulnerabilidad.

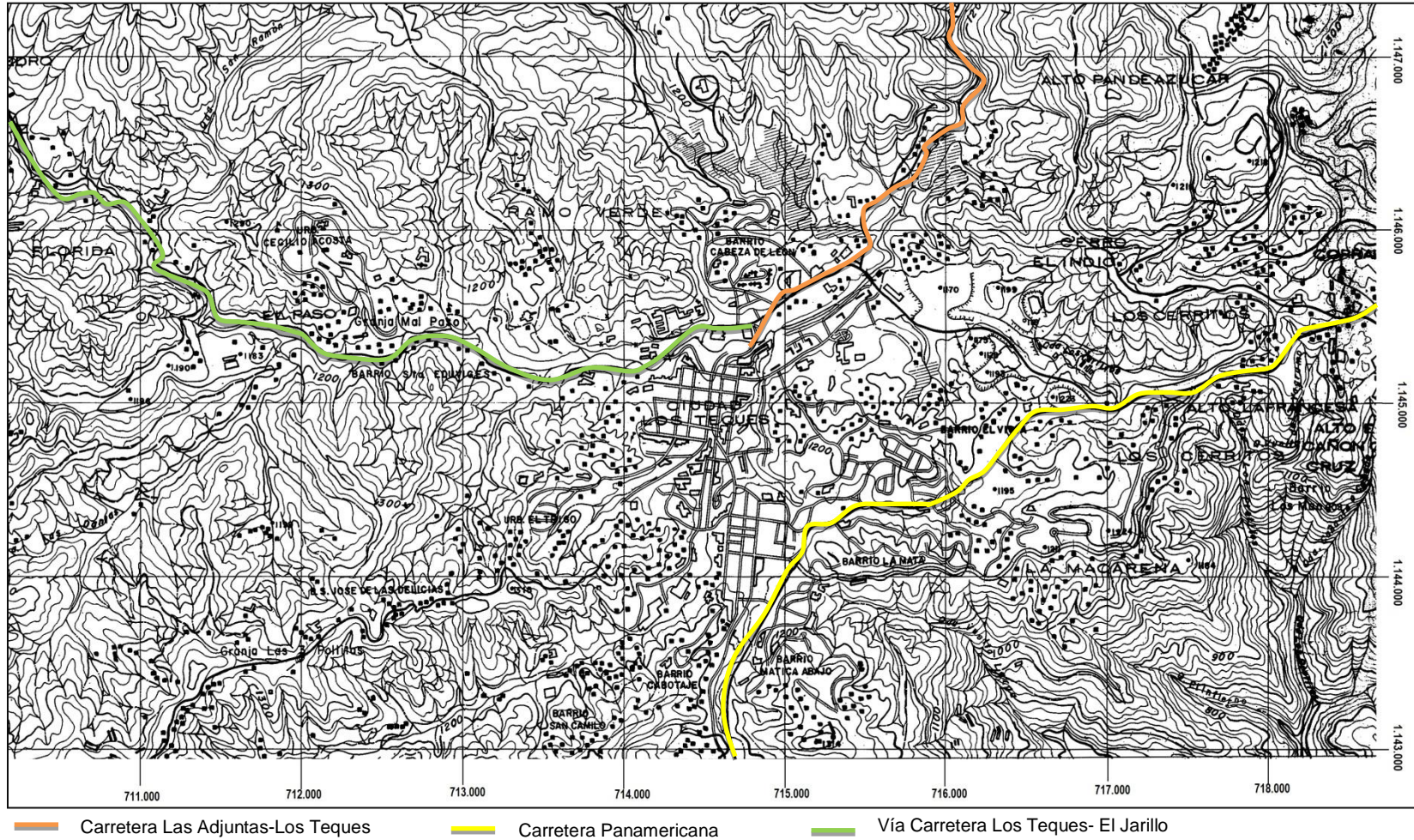


Figura 1. Vías de acceso a Los Teques (Extracto de mapa 6747-II-SE, IGVS).

1.2.- Ubicación del Área de Estudio:

El área de estudio comprende una extensión aproximada de 8 km² en las adyacencias de la Avenida Circunvalación Los Teques, coincidiendo el extremo más al norte del área de estudio con el sector El Paso, el extremo sur con el sector Las Dalías, el extremo oeste con las residencias Tina Antonia y el extremo más al este limita con el sector El Trigo. El área de estudio se ubica en el Municipio Guaicaipuro del estado Miranda (Ver Figura 2), siendo esta el área de mayor influencia del desarrollo vial y del estudio geológico en cuestión. Las cartas topográficas bases a utilizarse para el estudio de esta zona son las 6746 II NE, 6747 II SE a escala 1:25.000, disponibles en el IGVSB.



Figura 2. Ubicación del área de estudio, dentro del recuadro.
(Extraído de Google Earth 2016 y modificado por Puentes, 2016).

1.3.-Planteamiento del Problema:

La construcción de la Avenida Circunvalación Los Teques constituye un importante dispositivo vial que contribuirá a mejorar la movilidad en el congestionado casco central de la ciudad de Los Teques, ya que se trata de una zona con alta concentración poblacional. El desarrollo de esta obra supone una significativa modificación de la topografía y por ende del paisaje existente, con la creación de taludes y puentes conectores; esto amerita la realización de una caracterización geológica y geotécnica, a través de la ejecución de un trabajo geológico de campo, el análisis de estabilidad de taludes y los ensayos geotécnicos de rigor que permitan estimar el comportamiento geomecánico de la zona.

En este sentido, este Trabajo Especial de Grado estará orientado a responder, principalmente, interrogantes como:

1. ¿Cuáles son los parámetros litológicos y geológicos más resaltantes en las rocas de la zona y como es su tendencia en cuanto a la orientación espacial de dichos parámetros?
2. ¿Podrían estimarse unidades geotécnicas que permitan zonificar el área de estudio de acuerdo al nivel de riesgo geológico?
3. ¿Contribuyen las características litológicas y la geología general de la zona con el desarrollo de elementos constructivos y taludes en pro de la finalización de la Avenida Circunvalación Los Teques?

Los resultados que de estos estudios se deriven permitirán hacer las sugerencias necesarias para la ejecución eficiente de estabilidad de taludes, modelos de canalización y elementos de contención.

1.4.-Justificación:

Los estudios a realizarse responden a la necesidad de generar información geológica y geotécnica, que permita la disminución de la vulnerabilidad de las comunidades involucradas en el desarrollo de la avenida Circunvalación Los Teques, al conocer las características geomecánicas de las rocas y el suelo de las que depende la seguridad, estabilidad y durabilidad en el tiempo de la obra mencionada.

Adicionalmente, el estudio de la geodinámica y rasgos geomorfológicos generalizados de la zona de estudio, influenciada por sistemas de fallas conocidos y por otros locales que se encuentren al momento de desarrollar la investigación, servirá de soporte para la ejecución de nuevas obras tendientes a mejorar la calidad de vida y planificación urbana.

1.5.- Objetivos de la Investigación:

1.5.1.- Objetivo General:

Realizar un estudio geológico y geotécnico para optimizar el sistema vial, con la construcción de una circunvalación al noroeste de la ciudad de Los Teques, entre la avenida Víctor Batista, en el sector El Paso y la avenida Francisco de Miranda.

1.5.2.- Objetivos Específicos:

- Caracterizar las unidades litológicas de la zona a partir de análisis petrográficos en secciones delgadas de las muestras de roca recolectadas.

- Determinar la estabilidad de taludes naturales y modificados para fines constructivos, a través de parámetros geológicos determinados en campo.
- Discriminar unidades geotécnicas por medio de la interpretación de núcleos de perforación y ensayos geotécnicos.
- Generar un mapa de topografía modificada a escala 1:4500, en base a las cartas topográficas existentes de la zona.
- Identificar zonas de riesgo geológico y cartografiarlas en un mapa de riesgo a escala 1:4500.
- Elaborar un mapa geológico de documentación a escala 1:4500, donde se cartografíen las perforaciones recopiladas y elementos que muestren la geodinámica externa existente en la zona.

1.6.- Alcances y Limitaciones:

Considerando a la ciudad de Los Teques como un núcleo urbano en crecimiento continuo debido a su cercanía a Caracas, el siguiente estudio generará información geológica pertinente del área ya delimitada, además de integrar esta información con los estudios previos del mismo tipo, consolidando de esta manera las bases geológicas requeridas para ejecutar con éxito nuevas obras a nivel de vialidad y otros índoles. También se proporcionarán las sugerencias necesarias en cuanto a estabilidad de taludes y elementos de cimentación, en función de clasificaciones geomecánicas y parámetros geológicos, para asegurar la ejecución total y preservación de la avenida Circunvalación Los Teques, como una importante solución vial que conectará dos extremidades de la ciudad, reduciendo el caos vehicular en la zona centro.

Dentro de las limitaciones previstas está la dificultad de adquirir datos geológicos frescos, ya que la zona está rodeada de urbanizaciones y barrios populares en los que la exposición y preservación de evidencias geológicas

es escasa. Será necesario el análisis de perforaciones realizadas previamente o solicitar extracciones de roca fresca mediante maquinaria pesada a la compañía que ejecuta la obra actualmente.

1.7.- Metodología

1.7.1.- Etapa de Pre – Campo

Se obtuvieron las referencias de interés en cuanto a los diferentes aspectos geológicos del área de estudio. Se realizó la consulta del Código Geológico de Venezuela (2005), de donde se resumió la información en cuanto a las formaciones geológicas aflorantes en el espacio geográfico delimitado como área de estudio, además se recopiló la información relacionada a estudios previos en zonas aledañas, esto con el fin de enriquecer la investigación y tener una visión más objetiva de las descripciones y observaciones.

La distribución espacial de las diferentes formaciones geológicas aledañas y que constituyen el área de estudio fueron consultadas en el Mapa Geológico de Venezuela a escala 1:100000 y en el mapa 6747-SE a escala 1:25000 obtenido del Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa (URBANI F. &RODRÍGUEZ J., 2004).

El estudio fotogeológico comprendió el análisis de fotografías aéreas correspondientes a la misión 0301109 de año 1983, a escala 1:25000, secuencia 496, 497, 498 y 499, obtenidas de la fototeca del Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar. Estas sirvieron de base para la primera descripción en cuanto a elementos de interés para la investigación como:

a. Identificación y descripción de régimen hídrico de la zona, esto mediante la tipificación de patrones de drenajes permanentes e intermitentes.

b. Tipificación de elementos topográficos resaltantes como montañas, laderas, crestas, bajos topográficos, etc.

c. Diferenciación de los posibles tipos litológicos que se encuentran en el área de estudio.

d. Reconocimiento de estructuras geológicas presentes como fallas, pliegues y superficies de cabalgamiento, que afecten directamente la disposición del material litológico y su estabilidad en el tiempo.

e. Caracterización geomorfológica, esto para realizar la tipificación de las formas elementales del relieve y su relación con las estructuras geológicas.

1.7.2.- Etapa de Campo

Constituye la fase vital del trabajo de investigación, donde se inspeccionó directamente el área de estudio, en los cuales se procuró:

- Realizar un estudio de la geología de superficie a lo largo de los taludes, cortes y afloramientos del tramo de ejecución de la Avenida Circunvalación Los Teques (aproximadamente 4 km), haciendo con especial detalle el levantamiento geológico por bermas en los taludes modificados.

En esta etapa es fundamental el orden y la organización de los datos que se obtendrán, reducir la significación de errores en la medición de planos geológicos con la brújula y la descripción adecuada de cada talud o afloramiento en correspondencia con los datos. En este sentido, se utilizaron los formatos para recolección de datos mostrados en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Planilla a emplear para la recolección de datos en taludes naturales.

Talud n.-	Progresiva n.-	Berma	Punto	Plano de Foliación	Plano de Talud	Planos de Diaclasas	Separación entre Diaclasas	Longitud de las Diaclasas	Espesor y tipo de Relleno de las Diaclasas

Tabla 2. Planilla para la recolección de datos en afloramientos

Progresiva n.-	Punto	Plano de Foliación	Planos de Diaclasas	Separación entre Diaclasas	Longitud de las Diaclasas	Espesor y tipo de Relleno de las Diaclasas	Limbo de Pliegue

Además se procederá a:

- ✓ Reconocer el tipo de roca mediante la descripción litológica, composición mineralógica, tamaño de grano, color fresco y meteorizado de la roca, presencia o no de carbonatos y el grado de meteorización si fuese posible determinarlo.
- ✓ Medir las orientaciones de los planos de foliación, diaclasas o fallas encontradas a lo largo de todos los afloramientos.
- ✓ Para la recolección de las muestras se tomó en cuenta la distribución y variación del tipo litológico a lo largo de toda el área de estudio, el grado de meteorización de las mismas y la posibilidad de realización de ensayos y secciones finas; es por ello que se tomaron un total de 14 muestras de roca para la realización de ensayos de laboratorio, secciones finas y estudio petrográfico de las mismas.

✓ Se analizaron un total de 24 sondeos realizados con profundidades comprendidas entre 5 y 24 metros en los cuales se procedió de la siguiente forma:

- En suelos, se realizaron ensayos SPT a intervalos de 1 metro hasta los primeros 6 metros de profundidad y a cada 1.5 metros después de dicha profundidad.
- En roca meteorizada o muy meteorizada los ensayos SPT se realizaron a cada 1.5 metros de profundidad.

✓ Para generar la caracterización geomecánica y sistemática y el análisis de estabilidad de todos los taludes que se encuentren en el área de estudio, se procederá a incluir como parte principal del trabajo la medición de las discontinuidades presentes sobre cada afloramiento así como también la orientación e inclinación de los taludes.

✓ Se tomaran fotografías en todo momento de las actividades realizadas en campo, las mismas con su respectiva escala gráfica y numeración.

1.7.3.- Etapa 3: Post campo

1.7.3.1- Laboratorio

1.7.3.1.1 Ensayos y Estudios Petrográficos

✓ En esta etapa se realizaron los ensayos geotécnicos de rigor y el estudio petrográfico comprendido por 12 secciones finas, el cual permitió corroborar y ampliar el contenido mineralógico de la litología que constituye la zona de estudio.

✓ La clasificación geomecánica del macizo rocoso y el análisis de estabilidad de los taludes requiere de un conjunto de parámetros entre los cuales se encuentra el valor de resistencia a la compresión simple de la roca, es por ello, fue necesario ensayar varias muestras de roca que permitan obtener los parámetros necesarios. Además, durante la realización del

ensayo de compresión simple se podrá determinar la deformación de la roca y el módulo de elasticidad de la misma.

✓ El grado de meteorización de la roca está relacionado con la exposición a los agentes externos y su contenido mineral así como también con la capacidad de absorción de la misma, de esta manera, se realizarán ensayos de peso específico a cada cubo de roca ensayado en compresión simple para determinar su densidad y su porcentaje de absorción.

✓ El estudio petrográfico detallado a las rocas recolectadas en la etapa de campo ofrece una valiosa información relativa a la naturaleza de los componentes de la roca (esencialmente minerales), su abundancia, formas, tamaños, microestructuras y relaciones espaciales, lo cual permite clasificar la misma y establecer ciertas condiciones cualitativas o semicuantitativas de formación, así como posibles procesos evolutivos. Es por ello que mediante la descripción de los minerales y la forma como se han alterado debido a las condiciones climáticas permitirá realizar aportes en cuanto al tipo de meteorización presente en las rocas. Este estudio estará comprendido por 12 secciones finas, obtenidas de 14 muestras recolectadas en puntos de interés por su contraste litológico, que fueron analizadas mediante el uso del microscopio petrográfico en los laboratorios de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica.

1.7.3.2- Oficina

1.7.3.2.1 Procesamiento de Resultados

Se procedió a analizar los resultados tanto obtenidos en campo como los que se deriven de los ensayos geotécnicos y el estudio petrográfico, que permitieron generar las primeras conclusiones y sustentar las hipótesis planteadas durante el desarrollo de esta investigación.

Como un resultado adicional, la representación de planos geológicos a través del uso de redes estereográficas ayudó a respaldar y establecer la

estabilidad de los taludes. Además del modelado de taludes con el programa *Slope* (©2015 GeoStru Software).

También se realizó la redacción en forma general de los resultados, conclusiones y recomendaciones, que constituyen el Trabajo Especial de Grado.

1.7.3.2.2 Elaboración de Mapas Temáticos

Consiste en el aporte de mapas temáticos a escala 1:4500, elaborados en función de los resultados y conclusiones obtenidas, para lo cual se hará uso de programas útiles en el campo geológico como ArcGis 10.3® y Civil 3D 2014®.

1.8.- Antecedentes

Lomolino E. (1991) caracterizó un área al norte de la Ciudad de Los Teques en la parte central de la Cordillera de la Costa, en el estado Miranda. Las diferentes rocas presentes en el área fueron clasificadas, de acuerdo a sus asociaciones mineralógicas y ubicación geográfica, en tres unidades litológicas: unidad de gneis y esquistos anfíbolíticos, unidad de esquistos cuarzo micáceos, cuarcitas y filitas grafitosas, unidad de serpentinitas.

Lomolino indica que el área fue afectada por un metamorfismo de bajo grado en la facies de los esquistos verdes, reconociéndose dos sub-facies: cuarzo-albita-moscovita-clorita y cuarzo-albita-epidoto-biotita. Algunas de las características petrográficas son indicativas de la presencia de otro evento metamórfico en la facies de los esquistos glaucofánicos.

Estructuralmente el autor describió dos períodos de plegamientos: uno de tipo isoclinal y el otro caracterizado por el plegamiento de la foliación actual; también fueron definidos dos patrones de fallas, con rumbos N60W y N50-40E.

A nivel geotécnico, en la zona se identificaron cuatro unidades de rocas y dos de suelos: unidad de gneis cuarzo feldespático, unidad de filitas, unidad de esquistos cuarzo micáceos y esquistos cuarzo calcáreos, unidad de cuarcitas, unidad de suelos residuales y unidad de suelos transportados.

Díaz (1994) realizó un estudio que se extiende al norte de la ciudad de Los Teques, específicamente, en la zona de las haciendas El Carmen y Santa Rosa, ubicadas al noroeste de la Avenida Circunvalación Los Teques. Desde el punto de vista litológico el autor distingue rocas metasedimentarias y metaígneas, caracterizando mineralógica y texturalmente cinco grupos litológicos, constituidos por filitas sericiticas grafitosas, esquistos cuarzo micáceos, cuarcitas, mármoles, serpentinitas y esquistos anfibolíticos. Estructuralmente el autor interpretó, mediante fotografías aéreas, un sistema de fallas con rumbo N60W. De las asociaciones minerales reconocidas el autor concluyó que estas rocas fueron afectadas por un metamorfismo en la facies de los esquistos verdes, subfacies: cuarzo-albita-moscovita-clorita.

Salomón y Díaz (2010) realizaron el estudio de una zona que se encuentra situada en el estado Miranda, entre las coordenadas U.T.M. norte 1.143.000-1.147.000 y este 711.000-718.000, correspondiente al trazado de la línea 2 del Metro de los Teques. El estudio hidrogeológico se fundamentó en las interpretaciones de las pruebas de bombeo, con la ayuda de programas especializados para determinar los parámetros hidráulicos del acuífero, tomando en cuenta las pruebas realizadas en cada uno de los fosos, se determinó que el tipo de acuífero presente a lo largo del trazado corresponde a un acuífero libre. El nivel freático, a lo largo de la zona de estudio varía desde 8,80 m. de profundidad, en el Foso la Matica (Estación Independencia) a 1158,7 m.s.n.m., pasando por 10,80 m. de profundidad, en

el Foso Andrés Bello (Estación Guaicaipuro) a 1151,70 m.s.n.m, hasta los 16,0 m. de profundidad en el Foso Macarena Sur a 1176,0 m.s.n.m, esta variación obedece principalmente a la configuración topográfica de la zona, es decir, donde la cota del terreno sea mayor, el nivel freático estará a mayor profundidad, mientras que en los lugares con menor cota el nivel freático estará más cerca de la superficie del terreno. Se obtuvieron los valores de permeabilidad y transmisibilidad, recomendándose ejecutar en cada uno de los fosos una cantidad determinada de pozos, de profundidad variable en cada caso, distribuidos de forma adecuada alrededor de la excavación, para realizar el abatimiento durante la construcción, en condiciones más favorables. Con respecto al macizo rocoso, a lo largo de la zona de estudio, el autor expone que el mismo está compuesto en su totalidad por rocas metamórficas, las cuales se pueden encontrar como roca descompuesta blanda (RDb), roca descompuesta blanda fracturada (RDbf), roca meteorizada dura fracturada (RMdf) hasta roca fresca dura fracturada (RFdf) a mayores profundidades, las mismas pertenecen a la Formación Las Mercedes y están constituidas por esquistos grafitosos cuarzosos, con presencia de moscovita, micas, sericita, talco y en ocasiones también calcáreo, con una foliación media a incipiente y vetas de cuarzo.

Solórzano y Zurita (2011) realizaron el estudio Geológico - Geotécnico de los taludes de la Urb. La Quinta a través de información recopilada del tipo Geológico, Geotécnico, Cartográfico y Aerofotográfico. El tramo de trabajo se ubicó al norte de la Ciudad de Los Teques, con acceso por la carretera Los Teques — San Pedro de los Altos, localizándose al oeste de esta vía y del río San Pedro, específicamente frente al sector de Ramo Verde, y al sur de la cárcel de mujeres, colindando con la parte oeste con una tubería de gas perteneciente a PDVSA. El área de estudio presentó una extensión de 29,5 hectáreas, compuesta por 15 terrazas y 45 taludes con buzamientos que oscilan entre los 40° y 55°, sobre los cuales se elaboraron

diversos ensayos de caracterización geotécnica, entre estos destacan: Humedad Natural, Límites de Consistencia, Consolidación Unidimensional y Proctor Modificado. Las zonas de mayor elevación son diagnósticas del macizo rocoso meteorizado, el cual, corresponde al Esquisto de Las Mercedes, formado por esquistos calcíticos cuarzosos grafitosos algunas veces micáceos, conformado los taludes de suelo por limo areno-arcilloso no plástico (ML), Por otra parte, se aplicaron las clasificaciones geomecánicas, así como también, se estimaron los parámetros de resistencia del macizo rocoso (resistencia a la compresión del macizo (σ_{cm}), módulo de elasticidad (E_m), ángulo de fricción del macizo (ϕ_m) y cohesión del macizo (C_m)) según las correlaciones propuestas por HOEK & BROWN (1997) Como resultado se obtuvieron parámetros de ángulo de fricción $\phi = 20^\circ$ y cohesión $c=20 \text{ kpa/m}^2$, finalmente se propuso cubrir la superficie de los taludes con malla metálica, fijada mediante claveteo adecuado y construir cunetas de coronación en todos los taludes de corte considerados, para canalizar las aguas de lluvia provenientes de las áreas superiores periféricas.

CAPÍTULO II

2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 Generalidades

El área de estudio está delimitada por el Esquisto de Las Mercedes, unidad que según MENÉNDEZ (1966, P. 119) conforman la Faja Tectónica de la Cordillera de la Costa, cuyo límite sur coincide con la zona de fallas de La Victoria. En la Figura 3, puede observarse las distintas formaciones y rasgos estructurales en la zona circundante al área de estudio.

2.2 Marco Estratigráfico

2.2.1- Esquisto de Las Mercedes:

AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937) denominan como Esquisto de Las Mercedes a una extensa zona de afloramientos de esquisto calcáreo – grafitoso en la región de Caracas. Posteriormente, para el año 1938 estos mismos autores la elevan a rango formacional. La litología que conforma a esta formación no presenta grandes cambios en las regiones donde se aflora y ha sido estudiada por diversos autores.

2.2.1.1 Descripción Litológica

Según WEHRMANN (1972) la litología predominante consiste en esquistos grafitosos-calcáreos con intercalaciones de mármoles grafitosos en forma de lentes; los esquistos de la Formación Las Mercedes son esquistos cuarzo-moscovítico-grafitoso-calcáreos.

URBANI *ET AL.* (1989-A) realizaron la cartografía de cuatro unidades, en la zona de La Sabana – Chirimena – Capaya, Distrito Capital y Miranda, constituida mayoritariamente por un esquisto grafitoso y mármol, metaconglomerado cuarzo – feldespático – calcáreo, metaconglomerado y

metaarenisca y de esquistos albitico – grafitoso; todas correspondiente a un metamorfismo de bajo grado, facies esquistos verdes, zona de la clorita.

SMITH (1952), expone que la coloración rosada en los esquistos es producto de la meteorización de la sericita. En general las rocas presentan textura esquistosa, buena foliación y grano medio a fino; tiene alta presencia de pirita que al meteorizar infunde una coloración rojo ladrillo a la roca, su color es gris oscuro con color de meteorización gris parduzco. Los esquistos de esta formación están cruzados por numerosas vetas de cuarzo, calcita, ankerita recristalizadas; son bastante incompetentes, por lo cual han sufrido intensamente los efectos del plegamiento. Por otra parte la composición calcárea facilita la meteorización química y por ende mecánica, haciéndose la roca muy friable hasta el punto de dificultar el terreno.

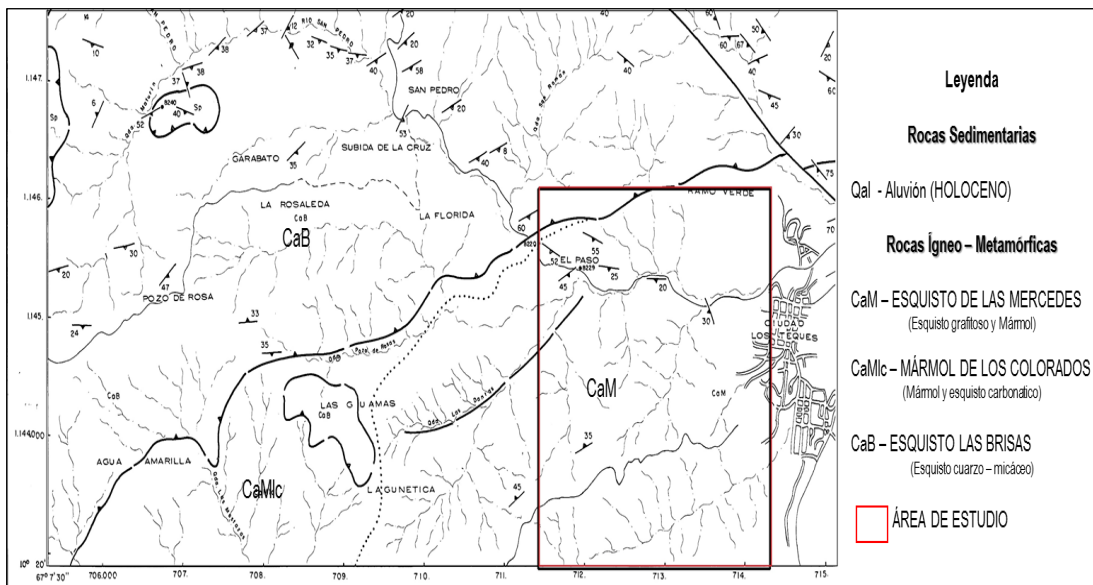


Figura 3. Principales formaciones geológicas presentes en las zonas circundantes a la Avenida Circunvalación los Teques (Tomada y modificada de mapa 6747-II-SE a escala 1:25000)

2.2.1.2 Extensión Geográfica

El Esquisto de Las Mercedes aflora en los alrededores de Caracas, Quebrada Tacagua, hacia Guarenas, Guatire, Los Teques, San Mateo, Maracay, Tinaquillo y hasta Guárico septentrional y Carabobo oriental.

2.2.1.3 Contactos

Los autores de los años 70 consideran que el contacto entre el Esquisto de Las Mercedes y el Esquisto de Las Brisas, es de tipo concordante y sedimentario; los autores más recientes consideran que el contacto es de tipo tectónico y que se conserva el paralelismo de la foliación en ambas unidades. Ostos (1990, p. 55) considera que el contacto con la Formación Las Brisas es de corrimiento; además CANTISANO (1989) considera que en la región de Mamera, Distrito Capital, las formaciones Las Mercedes y Antimano corresponde a una falla de corrimiento.

2.3 Marco Estructural

2.3.1 Foliación

AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937) expresan que existe paralelismo entre los planos de foliación y los planos de estratificación premetamórficos en las rocas que constituyen la Cordillera de La Costa.

GONZALES DE JUANA ET AL. (1980), consideran que el desarrollo de la foliación paralela en las rocas de la Península de Paria y zonas aledañas a Caracas se debe a que sufrieron un intenso plegamiento isoclinal.

2.3.2 Fallas

FANTI (1980), identifica tres sistemas de fallas en la región de Caracas y sus alrededores: fallas de rumbo E – W, fallas transversales con rumbo N – S y el último sistema es oblicuo de rumbo E – W, siendo este el más antiguo.

WEHRMANN (1972), describe tres sistemas de fallas en la región Guatire – Colonia Tovar: fallas oblicuas con rumbo aproximado N50-80E, tanto de gravedad como de corrimiento, siendo estas las más antiguas; fallas de rumbo E – W y fallas transversales con rumbo aproximado N60W en algunos casos con movimientos verticales, siendo estas las más jóvenes.

2.3.3 Pliegues

DENGO (1951), explica que los pliegues de mayor extensión son estructuras simétricas amplias y se encuentran al Sur de la Sierra de El Ávila, tienen ejes con dirección general N60-70E; siendo estos los anticlinales de Baruta y el Junquito, estando entre ellos el sinclinal de El Cementerio. Este mismo autor considera a la Sierra de El Ávila como un anticlinal modificado por el cabalgamiento posterior, cuya orientación es N75-89W en su parte occidental.

CAPÍTULO III

3. GEOLOGÍA LOCAL

3.1 Generalidades

El levantamiento geológico fue realizado en los taludes que constituyen la Avenida Circunvalación Los Teques y en zonas contiguas a la misma.

Los taludes fueron descritos berma por berma, agrupados por puntos de levantamiento y asociados de manera general según la predominancia de familias de diaclasas y la foliación. Estos puntos de levantamientos están distribuidos de manera no uniforme a lo largo de la zona de estudio.

La mayoría de los afloramientos están bien conservados, lo que facilito la determinación del tipo de roca y la medición de planos de foliación y diaclasas; sin embargo algunos de los taludes que constituyen la Av. Principal Circunvalación Los Teques y Puente 4 se encuentran bastante saprolitizados y algunos exhiben deslizamientos producto de la meteorización. A lo largo de toda el área de estudio se observan grandes deformaciones en la roca producto de esfuerzos compresivos que generaron diferentes etapas de plegamiento y diversas direcciones de fracturas en la roca. El área de estudio fue dividida en zonas para facilitar su análisis (Ver Figura 66, Apéndice 2)

3.2 Zona I: Av. Principal Circunvalación Los Teques

3.2.1 Observaciones de campo

Esta zona se encuentra comprendida por los puntos de levantamiento del 1 al 26 y sus alrededores (Ver Mapa de Topografía Modificada, Anexo I); fue la primera etapa de construcción de la obra y exhibe taludes que van desde los 9 metros hasta los 35 metros de altura.

La litología predominante en el sector corresponde a rocas metasedimentarias, en su mayoría se trata de esquistos cuarzo – micáceos, esquistos calcíticos – micáceos y a esquistos cuarzo – micáceos – grafitosos. También se observaron filitas cuarzo-micáceas-grafitosas y filitas calcíticas que corresponden con algunos niveles de poca extensión, en los que los planos de foliación de la roca son mucho más delgados. En cuanto a los colores de meteorización, son poco variables pasando de tonos marrón a anaranjado y tonos rojizos en determinados lugares donde el contenido de óxido en las rocas es alto. El color fresco para las rocas sin contenido de grafito varía entre gris claro o marrón, pasando a un gris más oscuro o negro para las que tienen contenido de grafito. A lo largo de la Zona I se observaron diversas direcciones de fracturas en las rocas así como vetas de calcita y cuarzo paralelas a la dirección de foliación y de plegamiento; algunas diaclasas no exhibían abertura en cambio las que si exhibían mostraban un relleno duro y rugoso correspondiente a cristales de calcita y cuarzo.



Figura 4. a) Esquisto cuarzo – micáceo con vetas de calcita y cuarzo paralelas al plegamiento resaltadas por la curva roja. b) Nivel de Filita cuarzo – micácea – grafitosa que muestra dos familias de diaclasas, además un color rojizo debido a la oxidación de las micas.

En todos los puntos del levantamiento geológico la roca se muestra fuertemente plegada variando así la dirección de foliación, con una y hasta tres familias de diaclasas. Los pliegues tienen hasta 1.20 metros de extensión de limbo a limbo y ángulos interlimbares de entre 70° y 120° . También se observaron lentes sin forma definida, que no se adaptan a la dirección de foliación ni de plegamiento.

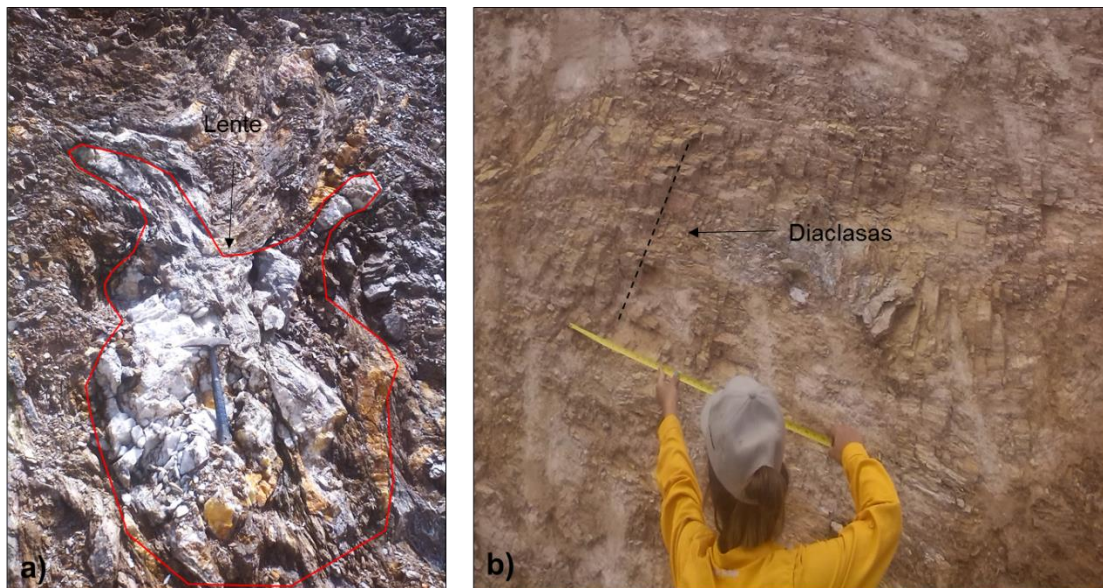


Figura 5. a) Esquisto calcáreo – micáceo con lente amorfo de calcita (cristales anaranjados) y cuarzo. b) Secuencia de familia de diaclasas sin abertura y sin relleno, además roca meteorizada con material suelto recubriéndola.

3.2.2 Contenido mineralógico

En la Zona I se recolectaron 5 muestras de rocas, de las cuales se obtuvieron 5 secciones finas; es importante resaltar que debido a la poca variación litológica y la meteorización que presentaba los afloramientos, se redujo el número de muestras de mano y por tanto de secciones finas.

Estas secciones finas fueron observadas bajo microscopio de luz polarizada, lo que permitió la identificación de los minerales constitutivos y clasificarla según los mismos; a continuación se muestra una tabla integrada con los porcentajes mineralógicos obtenidos por medio de conteo modal,

donde se compara el contenido mineral de cuarzo, micas, calcita, grafito, óxidos y plagioclasas en cada muestra.

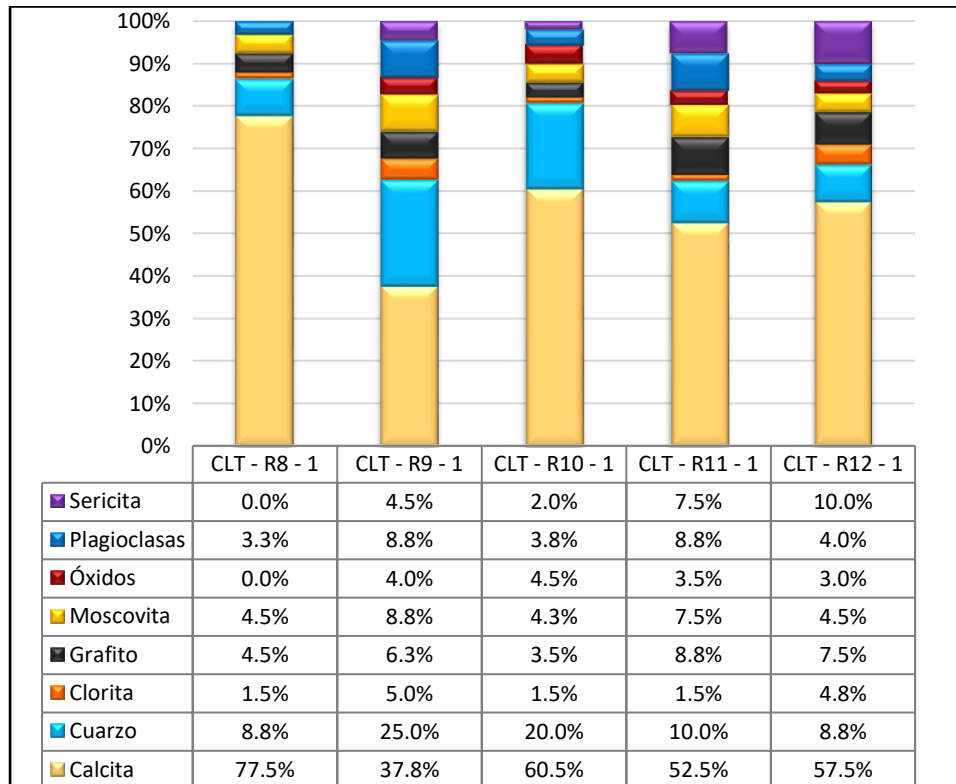


Tabla 3. Tabla integrada y grafico de barras que indican el porcentaje mineral existente en cada muestra de la Zona I – Circunvalación Los Teques.

Las plagioclasas identificadas en todas las muestras solo corresponden a cristales subhedrales y anhedrales de albita, siendo uno de los minerales junto con los óxidos y las micas con menor contenido porcentual en todas las muestras. Los óxidos, por su parte corresponden en las muestras CLT-R9-1 y CLT-R10-1 a cristales de pirita y goetita, en las demás muestras solo a cristales masivos de goetita y en la muestra CLT-R8-1 no se identificaron óxidos. El material carbonatico identificado en todas las muestras como calcita, se muestra desde cristales subhedrales a euhedrales y con el más alto contenido porcentual en todas las muestras. Las muestras

con mayor contenido de cuarzo y óxidos son las muestras CLT-R9-1 y CLT-R10-1. Hay poca abundancia de micas para la muestra CLT-R8-1 estando ausente la sericita.

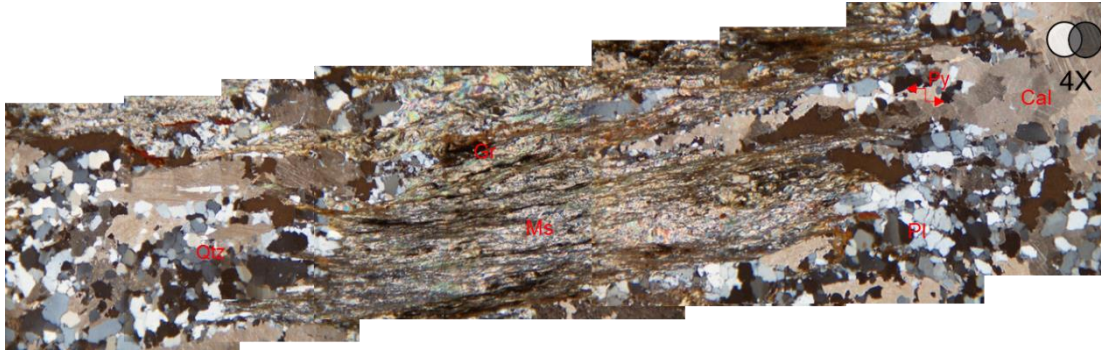


Figura 6. Secuencia de microfotografías de la muestra CLT-R9-1, se observan poros dentro de la muestra producto de la meteorización y disolución del material carbonático, además se encuentran identificados todos los minerales que la componen. Observación: esta área de la sección delgada es donde se observó el mayor contenido de micas, cuarzo y albita.

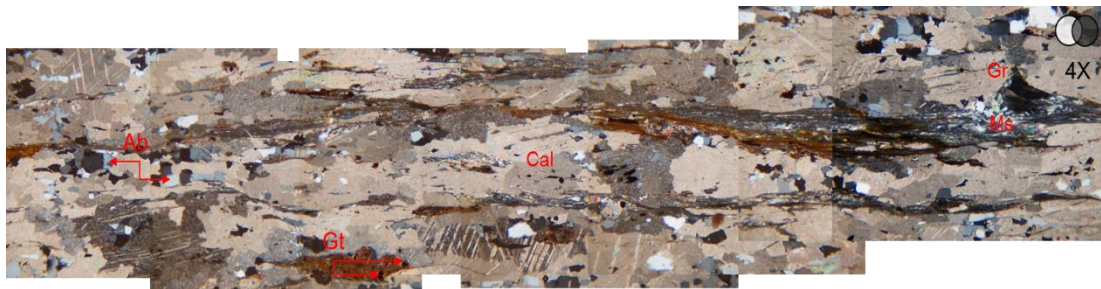


Figura 7. Secuencia de microfotografías de la muestra CLT-R10-1, se observa el alto contenido de calcita en toda la muestra, así como material marrón el cual podría describirse como una matriz de óxido producto de la meteorización de las micas.

El gráfico 1 muestra la asociación realizada para todas las muestras según su abundancia mineralógica. La calcita es el mineral más abundante con un 57%, luego el cuarzo con un 14% de abundancia, las micas en la zona representan el 14% de abundancia mientras que las plagioclasas, los óxidos y el grafito se encuentran por debajo del 6% de abundancia en toda la zona; lo que indica que los esquistos encontrados en el área están constituidos principalmente por calcita y cuarzo.

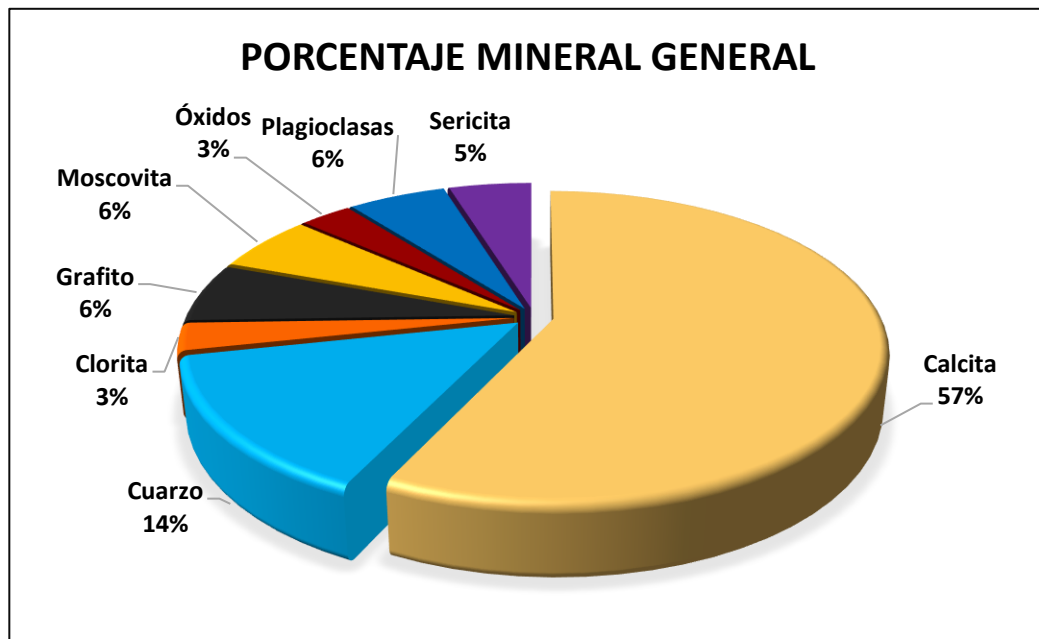


Gráfico 1. Porcentaje mineral general de todas las muestras recolectadas en la Zona I. Se observa que los minerales más abundantes en todas las rocas son la calcita y el cuarzo.

3.2.3 Meteorización

A lo largo de la Zona I el índice de meteorización es muy variable, pasando del Grado II al Grado VI en algunas áreas, según *El Documento Básico de Seguridad Estructural de la edificación*, en su *Apartado de Cimientos (CTE) de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas* (Ver Apéndice 1). En los puntos de levantamiento geológico 23 y 24 (Ver Mapa de

Topografía Modificada, Anexo I) se observan rocas tipo Filitas con varias familias de diaclasas y con un color rojo intenso debido a la alteración química de las micas; a pesar de ello el afloramiento se muestra medianamente competente, exhibiendo planos de foliación orientados en la dirección de corte del talud (Ver Figura 9-a), que permiten asignar un índice de meteorización Grado II. Al finalizar el punto 11 se encuentra un deslizamiento circular recubriendo toda la roca del área (Ver Figura 9-b), por lo cual la clasifica como Grado VI. En los puntos de levantamiento geológico 12 al 22, la roca presenta un índice de Grado III, color meteorizado anaranjado y recubrimiento de material suelto (Ver Figura 8-a). Por su parte en los puntos 3 al 5 y del 7 al 9 el Esquisto calcítico – cuarzoso se muestra bastante conservado con algunas zonas donde el macizo rocoso se presenta un poco deleznable (Ver Figura 8-b).

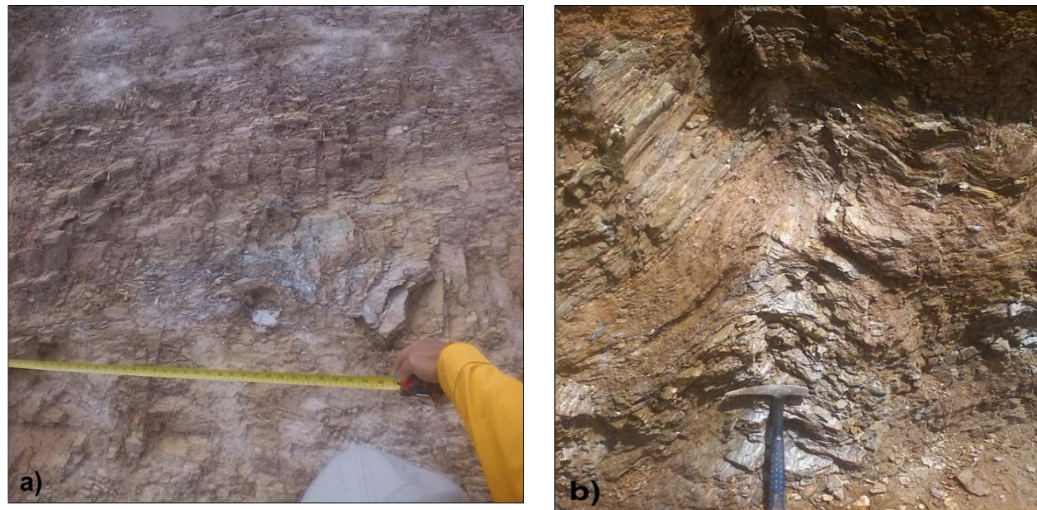


Figura 8. a) Esquisto calcítico – cuarzoso recubierto por material suelto producto de la meteorización de la roca. b) Plegamiento muy bien conservado de Esquisto calcítico – cuarzoso.

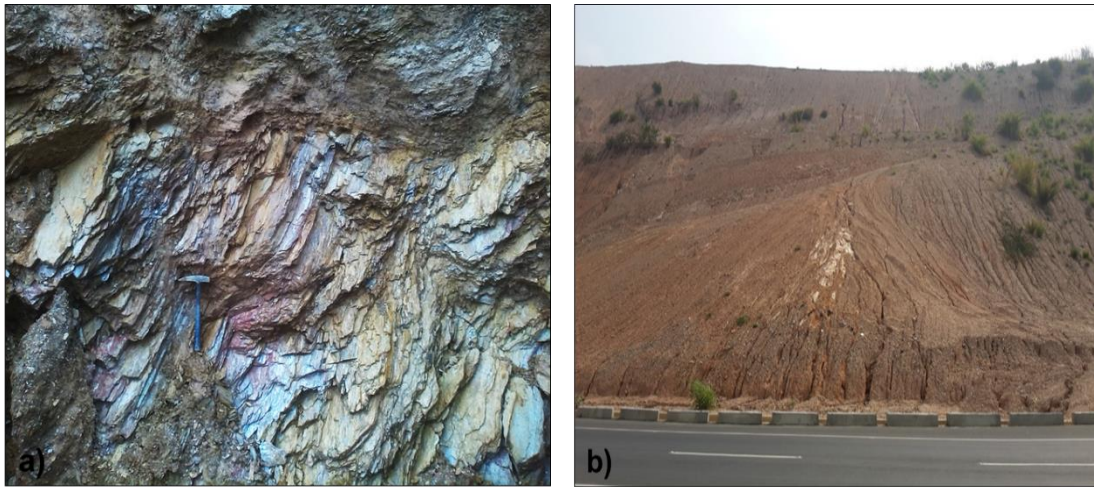


Figura 9. a) Filita cuarzo – micácea cuya foliación es la dirección de corte del talud, color meteorizado rojo intenso y amarillo en algunas zonas. b) Suelo residual con presencia de vegetación final del punto 11 de levantamiento.

De las muestras recolectadas en esta zona, tres fueron sometidas al ensayo de absorción; en relación al tipo de roca existente en toda el área de estudio para la cual el porcentaje de absorción normal es aproximadamente 4%, se determinó un índice de meteorización en base a la curva media exponencial que se genera del grafico 2.

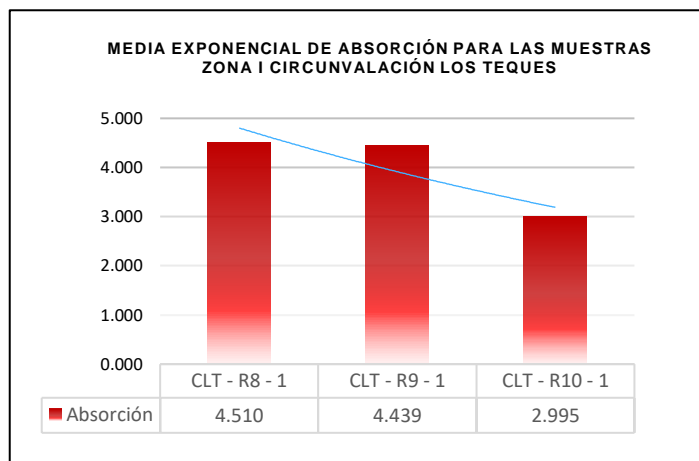


Gráfico 2. Gráfico de media exponencial, muestra una curva que va desde 3.2% hasta 4.8% de absorción.

3.2.4 Correlación entre el contenido de cuarzo, resistencia a la compresión simple y porcentaje de absorción

<i>Muestra</i>	<i>Resistencia al corte Kgf/cm²</i>	<i>% Cuarzo</i>	<i>% Absorción</i>
CLT - R8 - 1	54.79	8.8%	4.518
CLT - R9 - 1	125.53	25.0%	4.439
CLT - R10 - 1	102.93	20.0%	2.995

Tabla 4. Valores de Resistencia al Corte, Porcentaje de Cuarzo y Absorción.

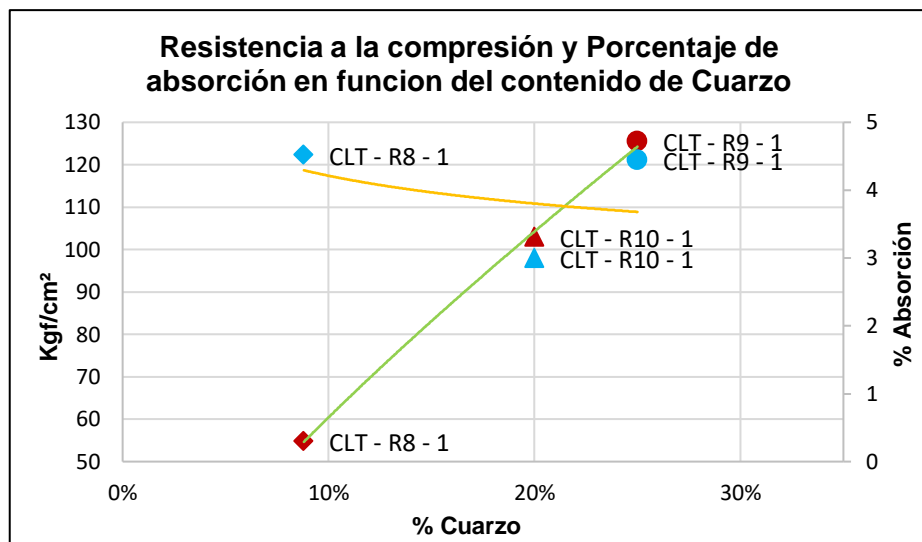


Gráfico 3. Se muestra la relación entre la Resistencia al Corte obtenida de ensayos de laboratorio Vs Contenido de Cuarzo y su tendencia potencial representada por la línea verde; y la relación entre Absorción obtenida de ensayos de laboratorio Vs Contenido de Cuarzo y su tendencia potencial representada por la línea anaranjada.

La correlación mostrada en el gráfico 3 permite definir la relación directa entre el contenido de cuarzo descrito en las muestras y los resultados obtenidos con los ensayos de laboratorio; se aprecia que a mayor contenido de cuarzo mayor es la resistencia de la roca a ser fracturada; la relación entre el contenido de cuarzo y el porcentaje de absorción en este gráfico es más variable, para la muestra CLT-R8-1 se cumple que a menor contenido de cuarzo mayor es la capacidad de la roca a retener agua en los espacios

porosos y ocurre de manera inversamente proporcional para la muestra CLT-R10-1; en este sentido la meteorización también tiene un rol fundamental.

3.3 Zona II: Puente 3 y Puente 4 Circunvalación Los Teques

3.3.1 Observaciones de campo

Esta zona se encuentra comprendida por los puntos de levantamiento del 27 al 38 y sus alrededores (Ver Mapa de Topografía Modificada, Anexo I); exhibe taludes de 25 metros de altura y afloramientos no tan bien conservados debido a la alta meteorización provocada por aguas residuales de las casas aledañas (Ver Figura 10-a).

La litología predominante en el sector corresponde a rocas metasedimentarias, en su mayoría filitas cuarzo – micáceas – grafitosas y filitas cuarzo - grafitosas – micáceas, así como en algunos niveles con poca extensión se observaron planos de foliación en la roca mucho más gruesos correspondiendo a esquistos cuarzo – micáceo y esquistos cuarzo – grafitosos – micáceos, ninguna de las muestras de roca reaccionó al HCL por tanto se concluye que no poseen CaCO_3 ; Los colores de meteorización comprende tonos de marrón o anaranjado, cambiando a vinotinto en lugares con alto contenido de óxido en sus rocas; el color fresco para las rocas no grafitosas varía entre gris claro o marrón y en rocas grafitosas es variable entre gris oscuro y negro. Las vetas de cuarzo lechoso que se disponen en su mayoría paralelas a la foliación exhiben un alto grado de meteorización, disgregándose fácilmente como “granos de sal”; las diaclasas no son abundantes, sin embargo presentan planos marcados con relleno duro de cristales de cuarzo.

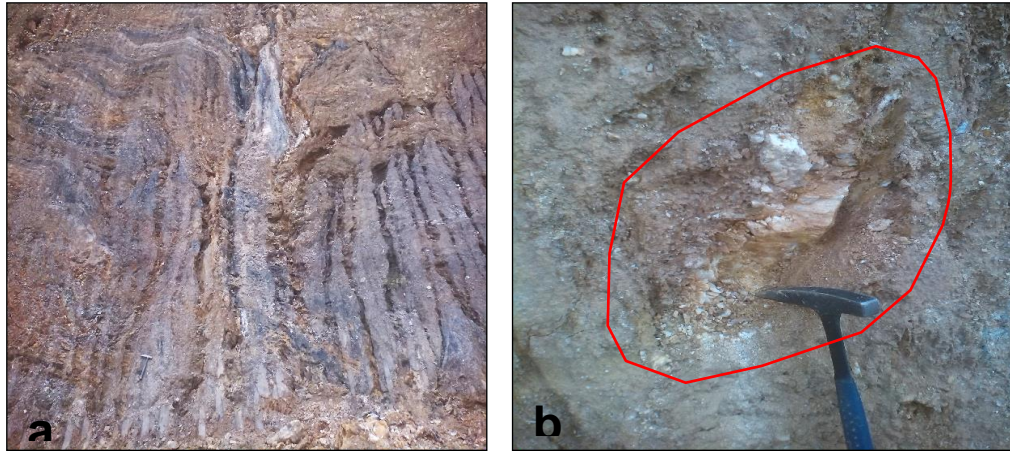


Figura 10. a) Filita cuarzo – grafitosa – micácea plegada, con cárcavas de hasta 2 metros de largo producto de la meteorización de aguas residuales. b) Afloramiento de una veta de cuarzo lechoso totalmente fracturado y disgregado como “granos de sal”.

En todos los puntos del levantamiento geológico la roca se muestra fuertemente plegada variando así la dirección de foliación, con una y hasta tres familias de diaclasas. Los afloramientos están constituidos en su mayoría por pliegues disarmónicos de 5 cm hasta 1.5 metros de extensión de limbo a limbo, con ángulos interlimbares de entre 50° y 100°.

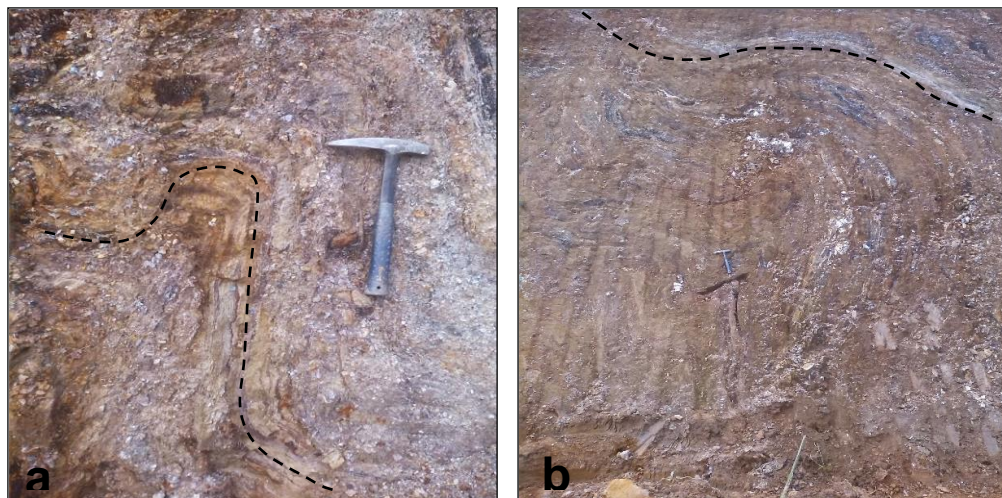


Figura 11. a) Filita cuarzo – micácea – grafitosa en pliegue tipo cofre, muy meteorizado, aproximadamente 20 cm de extensión de limbo a limbo. b) Filita cuarzo – grafitosa en pliegue disarmónico, con cárcavas y superficialmente muy meteorizada.

3.3.2 Contenido mineralógico

Debido a la alta meteorización existente en todos los afloramientos de esta zona, lo deleznable y poca resistencia que presentaban las rocas impidió la recolección de muestras para ensayos de laboratorio y secciones finas.

3.3.3 Meteorización

A lo largo de la Zona II el índice de meteorización es de Grado IV, según *El Documento Básico de Seguridad Estructural de la edificación*, en su *Apartado de Cimientos (CTE) de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas* (Ver Apéndice 1). En los puntos de levantamiento geológico 27 al 30 (Ver Mapa de Topografía Modificada, Anexo I) se observan rocas tipo Filitas cuarzo – grafitosas cubiertas por vegetación y con cárcavas de hasta 2 metros de longitud producto de la meteorización superficial provocada por aguas residuales (Ver Figura 12 a-b), lo cual permite determinar un índice de meteorización de Grado IV. En el afloramiento constituido por los puntos del 31 al 34 se encontró una Filita cuarzo – micácea – grafitosa cubierta por material suelto producto de la meteorización de la roca, localmente también se identificaron cárcavas generadas por la acción de las aguas residuales (Ver Figura 13 a-b), lo cual permite determinar un índice de meteorización de Grado IV. Finalmente en los puntos del 35 al 38 se observa la roca muy meteorizada y solo en un pequeño sector se encontró la roca aún más conservada exhibiendo un conjunto de diaclasas con ausencia de relleno y sin separación (Ver Figura 14).



Figura 12. a) Filitas cuarzo – grafitosas cubiertas por vegetación y con cárcavas de hasta 2 metros de longitud. b) Vista local de Filitas cuarzo – grafitosas y cárcavas producto de la meteorización de aguas residuales.

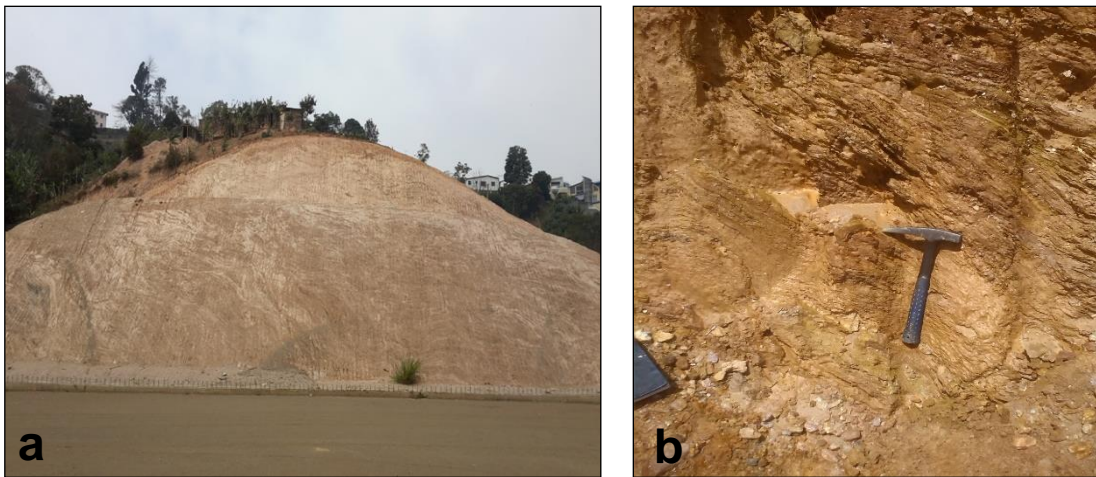


Figura 13. a) Filita cuarzo – micácea – grafitosa cubierta por material suelto producto de la meteorización de la roca. b) Vista local de Filita cuarzo – micácea – grafitosa, plegamiento estrecho muy meteorizado.

3.3.4 Correlación entre el contenido de cuarzo, resistencia a la compresión simple y porcentaje de absorción

Debido al alto grado de meteorización existente en todos los afloramientos de esta zona, lo deleznable y poca resistencia que

presentaban las rocas impidió la recolección de muestras para ensayos de laboratorio y secciones finas.



Figura 14. Familia de diaclasas con dirección perpendicular a la dirección de foliación, estas diaclasas no presentaban relleno ni separación.

3.4 Zona III: Puente 5 Circunvalación Los Teques

3.4.1 Observaciones de campo

Esta zona se encuentra comprendida por los puntos de levantamiento del 39 al 54 y sus alrededores (Ver Mapa de Topografía Modificada, Anexo I); exhibe taludes de hasta 45 metros de altura.

La litología predominante en el sector corresponde a rocas metasedimentarias, en su mayoría a esquistos calcínicos –grafitosos, esquistos calcínicos – micáceos y en algunos puntos de levantamiento se encontraron filitas micáceas intercaladas con estos esquistos, así como en algunos niveles se encuentran grandes masas de mármol moscovítico; en los esquistos el color meteorizado es anaranjado y el color fresco es gris claro u oscuro dependiendo del contenido de grafito; los afloramientos de roca tipo filita presentan un color anaranjado intenso debido a la alta meteorización y

el mármol moscovítico presenta un color meteorizado gris claro y fresco azul claro. En la Zona III se encontraron los mejores afloramientos de toda el área de estudio, debido a lo bien conservada que se exhibía la roca pudo determinarse con facilidad la dirección de foliación de la roca, medir plegamientos y discernir y clasificar las distintas familias de diaclasas; las diaclasas en su mayoría presentaban relleno duro de cristales de calcita en colores pardos y blancos así como cristales de cuarzo con caras bien desarrolladas en tamaños muy pequeños menores a 0.5 cm; también se encontraron lentes de calcita y cuarzo conectados con algunas diaclasas (Ver Figura 15 a-b).

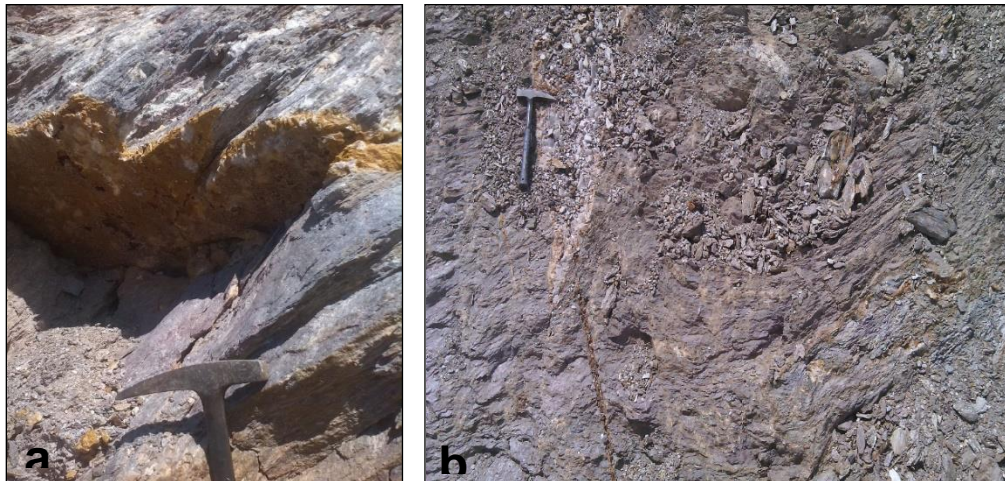


Figura 15. a) Se muestra diaclasa con relleno duro de calcita (color pardo y blanco) y cuarzo (incolore), tiene dirección perpendicular a la foliación del Esquisto calcítico – micáceo (Vista lateral). b) Afloramiento de Esquisto calcítico – micáceo con diaclasa perpendicular a la foliación en la parte inferior conectado con lente de calcita y cuarzo.

Este macizo presenta más de tres familias de diaclasas, se encuentra altamente fracturado con diaclasas que tienen longitudes desde los 5 cm hasta 1.5 metros. En algunos puntos se encontraron vetas de calcita y cuarzo paralelas a la foliación. Los plegamientos se caracterizan por ser amplios y de alto ángulo interlimbar.



Figura 16. a) Afloramiento de Esquisto calcítico – micáceo con vetas de calcita paralelas a la foliación.
b) Se señala en línea discontinua pliegue amplio y simétrico del mismo tipo de roca de la figura a.

3.4.2 Contenido mineralógico

En la Zona III se recolectaron 5 muestras de rocas, de las cuales se obtuvieron 7 secciones finas; es importante resaltar que debido a la poca variación litológica y la meteorización que presentaba los afloramientos, se redujo el número de muestras de mano y por tanto de secciones finas.

Estas secciones finas fueron descritas en cuanto los minerales constitutivos bajo el microscopio de luz polarizada; a partir de esto se generó una clasificación y una tabla integrada con los porcentajes mineralógicos obtenidos por medio de conteo modal, donde se compara el contenido mineral de cuarzo, micas, calcita, grafito, óxidos y plagioclasas en cada muestra.

Las muestras con alto contenido de grafito exhiben micropliegues disarmonicos así como también un alto contenido de calcita en cristales subhedrales y euhedrales. Los óxidos reconocidos en estas muestras corresponden a cristales de pirita y goetita. Las muestras CLT-R1-1, CLT-R1-2, CLT-R2-1 y CLT-R2-2 corresponden a cristales de pirita y goetita. Las muestras CLT-R1-1, CLT-R1-2, CLT-R2-1 y CLT-R2-2 corresponden a un mármol moscovítico, en las dos últimas muestras respectivamente se observan cristales euhedrales en sección basal de tremolita, con clivaje marcado en dos direcciones aproximadamente a 120°.

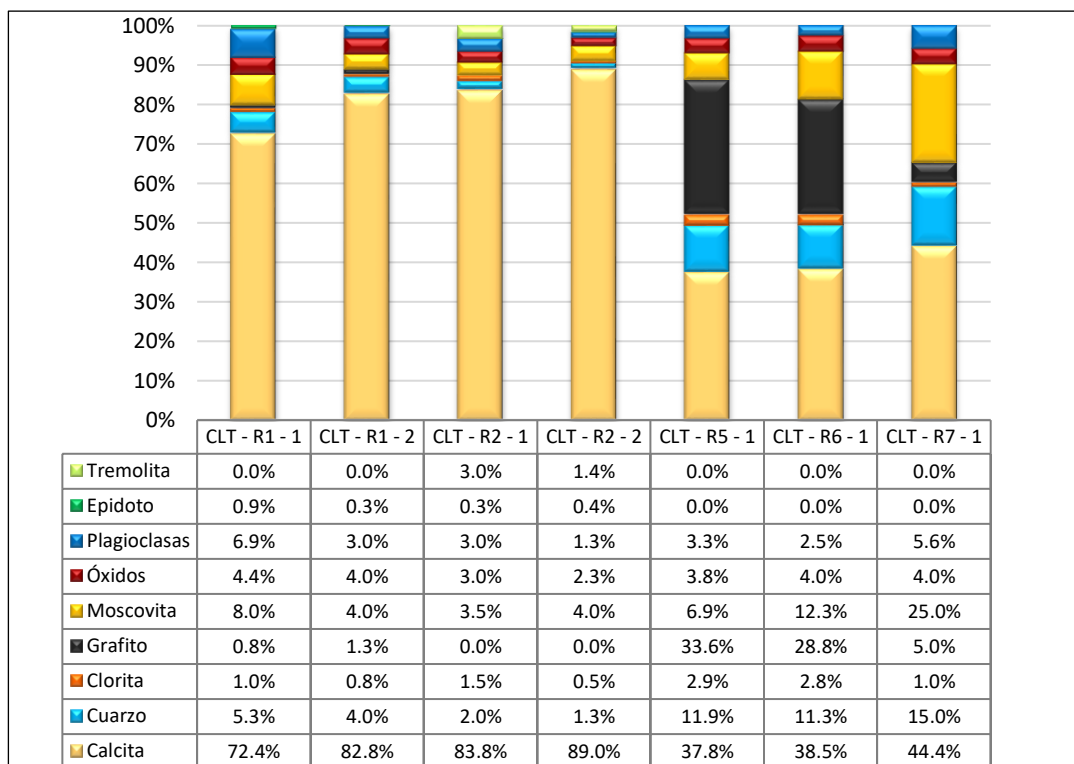


Tabla 5. Tabla integrada y gráfico de barras que indican el porcentaje mineral existente en cada muestra de la Zona III – Circunvalación Los Teques.

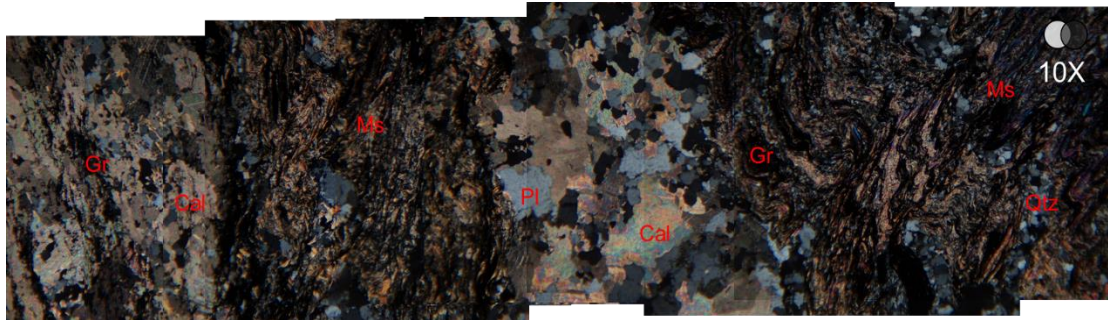


Figura 17. Secuencia de microfotografías de la muestra CLT-R6-1, se muestra micropliegue a la derecha de la imagen constituido por moscovita, grafito, calcita y algunos cristales de cuarzo policristalino; en la parte central de la imagen se observa gran cantidad de calcita con cristales de albita y cuarzo. Esta es una de las muestras con mayor contenido de grafito.

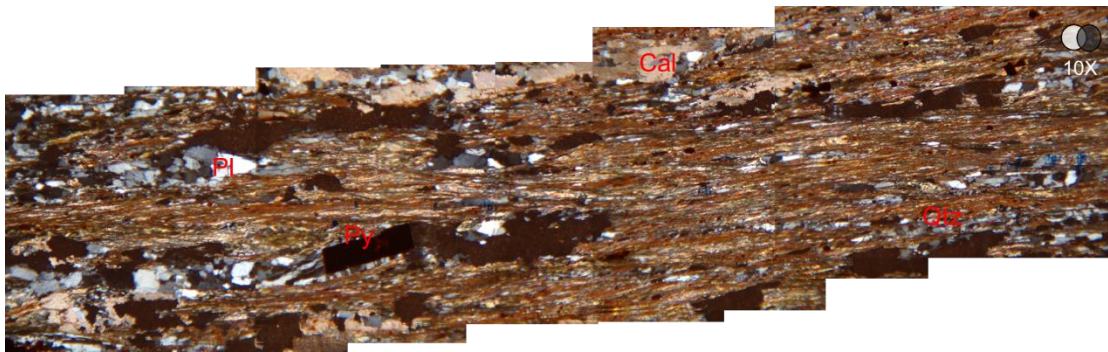


Figura 18. Secuencia de microfotografías de la muestra CLT-R7-1, se muestra la dirección de la foliación; esta muestra fue tomada en las bermas más altas de los taludes de la zona es por ello que se muestra el color anaranjado característico de la alta meteorización y se observa la matriz de óxido debido a la descomposición de las micas, además en algunas áreas de la sección se encuentran espacios poroso debido a la disolución de la calcita.

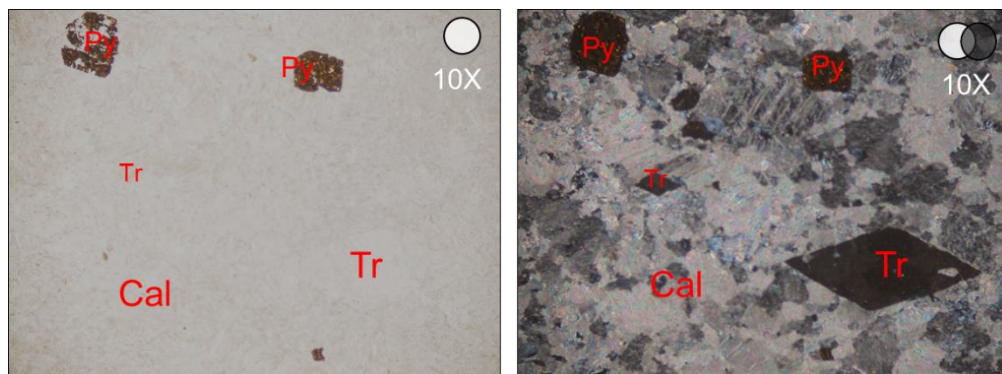


Figura 19. Microfotografía de la muestra CLT-R2-1, imagen de la izquierda nicoles paralelos y derecha nicoles cruzados. Se observan cristales subhedrales de pirita y cristales de tremolita en sección basal completamente euhedrales con clivaje en dos direcciones aproximadamente a 120°.

3.4.3 Meteorización

A lo largo de la Zona III el índice de meteorización es de Grado II y solo en algunos puntos de levantamiento la roca fue clasificada Grado IV, según *El Documento Básico de Seguridad Estructural de la edificación*, en su *Apartado de Cimientos (CTE) de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas* (Ver Apéndice 1). En los puntos de levantamiento geológico 39 al 44 (Ver Mapa de Topografía Modificada, Anexo I) se observan rocas tipo Esquisto calcítico –moscovítico con bastante resistencia pero bastante diaclasado, presenta un color meteorizado gris claro con algunas zonas anaranjadas y un color fresco gris (Ver Figura 20-a); el tope de los taludes de esta zona presenta una capa delgada de suelo con contenido vegetal (Ver Figura 20-b), lo cual permite determinar un índice de meteorización de Grado II. En el afloramiento constituido por los puntos 53 y 54 se encontró una Filita cuarzo – micácea – grafitosa completamente meteorizada y muy húmeda, presenta un color meteorizado vinotinto y anaranjado, no se observó roca sana, localmente también se identificaron cárcavas generadas por la acción de las aguas residuales (Ver Figura 21 a-b), lo cual permite determinar un índice de meteorización de Grado IV. En los puntos de levantamiento 47 y 48 se observó roca completamente fresca debido a que el corte del talud se estaba haciendo reciente, se encontró mármol moscovítico y esquisto calcítico – grafitoso hacia la base y parte media del talud y el esquisto calcítico – moscovítico hacia el tope del talud (Ver Figura 22), lo cual permite determinar un índice de meteorización de Grado II. Finalmente en los puntos del 49 al 52 se observa roca medianamente meteorizada, es un esquisto calcítico – moscovítico que se encuentra cubierto por vegetación y material suelto, lo cual permite determinar un índice de meteorización de Grado IV.



Figura 20. a) Parte alta de uno de los taludes de la zona, se observa un Esquisto calcítico – moscovítico con dos direcciones de diaclasas. b) En el tope del talud se observa una delgada capa vegetal, así como el color meteorizado anaranjado en algunas áreas del afloramiento.

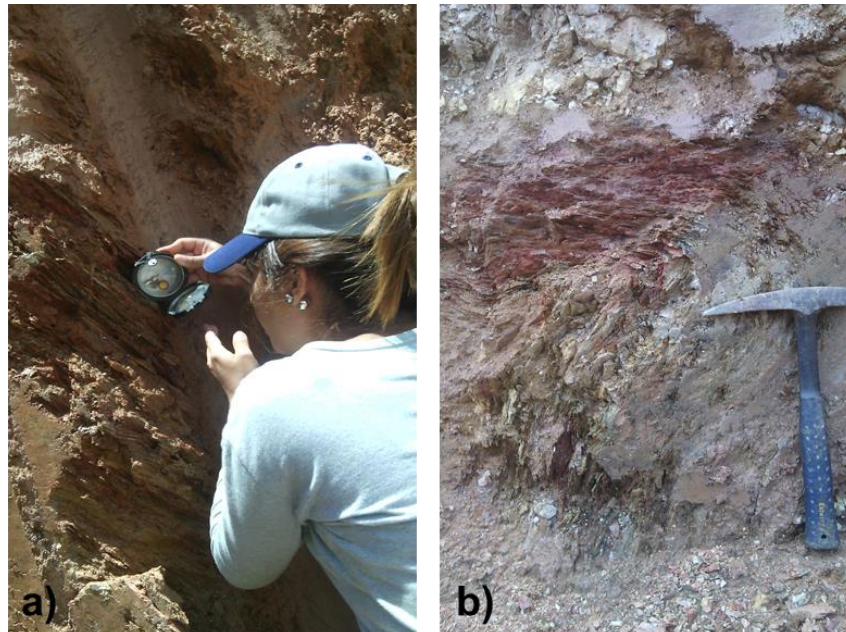


Figura 21. a) Filita cuarzo – micácea – grafitosa sobre la cual a pesar del alto grado de meteorización se pudo realizar la medición de la dirección de foliación. b) Filita cuarzo – micácea – grafitosa plegada y muy meteorizada de color vinotinto.



Figura 22. Panorámica realizada entre los puntos de levantamiento 47 y 48 donde se observa como realizan el corte del talud, además se observa el esquistos calcícticos – grafitosos hacia la base del afloramiento.

De las muestras recolectadas en esta zona, cuatro fueron sometidas al ensayo de absorción; en relación al tipo de roca existente en toda el área de estudio para la cual el porcentaje de absorción normal es aproximadamente 4%, se determinó un índice de meteorización en base a la curva media exponencial que se genera del grafico 2.

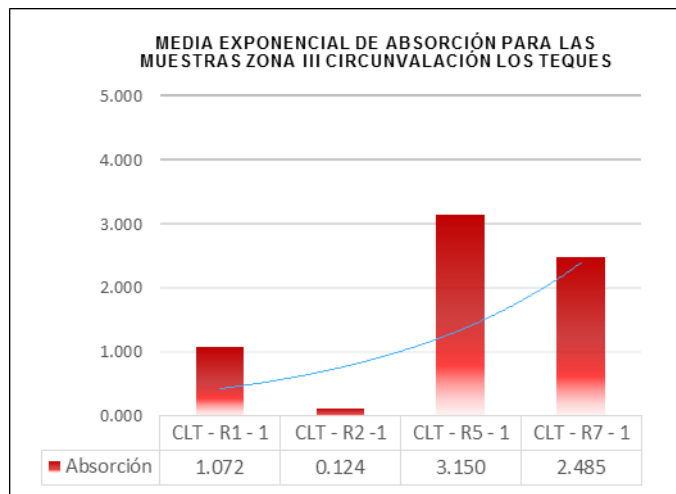


Gráfico 4. Gráfico de media exponencial, muestra una curva que va desde 0.5% hasta 2.5% de absorción

3.4.4 Correlación entre el contenido de cuarzo, resistencia a la compresión simple y porcentaje de absorción

Muestra	Resistencia al corte Kg/cm ²	% Cuarzo	% Absorción
CLT - R1 - 1	323.83	5.3%	1.072
CLT - R2 - 1	502.31	2.0%	0.124
CLT - R5 - 1	185.85	11.9%	3.15
CLT - R7 - 1	102.33	15%	2.485

Tabla 6. Valores de Resistencia al Corte, Porcentaje de Cuarzo y Absorción.

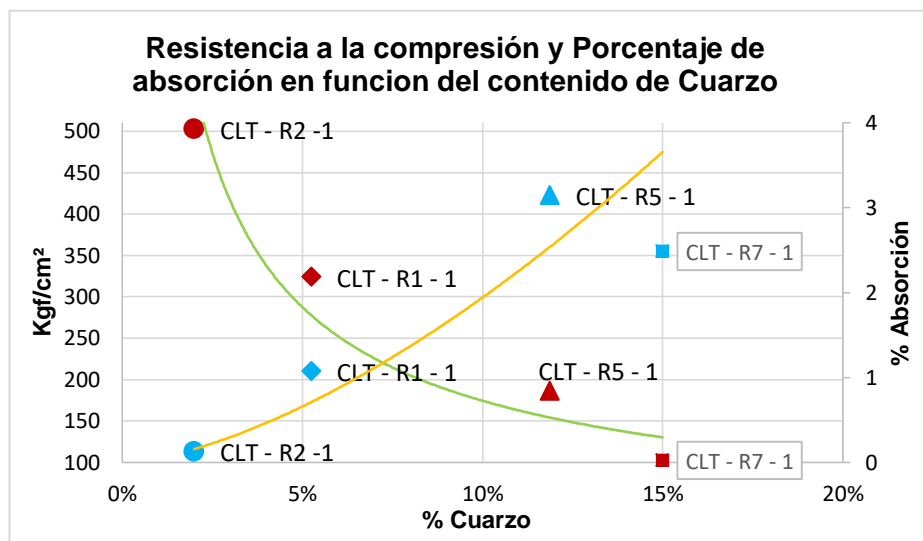


Gráfico 5. Se muestra la relación entre la Resistencia al Corte obtenida de ensayos de laboratorio Vs Contenido de Cuarzo y su tendencia potencial representada por la línea verde; y la relación entre Absorción obtenida de ensayos de laboratorio Vs Contenido de Cuarzo y su tendencia potencial representada por la línea anaranjada.

La correlación mostrada en el gráfico 5 permite definir la relación directa entre el contenido de cuarzo descrito en las muestras y los resultados obtenidos con los ensayos de laboratorio; las muestras descritas en esta zona presentan un contenido de cuarzo menor al 15%, se caracterizan es por el alto contenido de calcita que tienen; con base en esto es considerable para estas muestras relacionar la resistencia obtenida en el ensayo de compresión simple con el contenido de calcita que presentan en su composición; por ejemplo, para la muestra CLT-R2-1 el contenido de cuarzo

es solo del 2% y es la roca con más de 50 Mpa de resistencia a la compresión (Ver Tabla 6), para este caso resulta que el contenido de cuarzo es inversamente proporcional a la resistencia de la roca y que es la calcita en toda la composición de este mármol lo que beneficia esta resistencia, también es importante destacar que esta muestra es la que arrojo el porcentaje de absorción más bajo lo que indica que los espacios porosos resultan ser casi nulos, esto favorecido por el estado de la roca la cual era totalmente fresca y donde no se observaron rastros de que la meteorización química haya afectado a la calcita. La muestra CLT-R7-1 presentaba un estado altamente meteorizado (Ver Figura 18) y conjuntamente con la muestra CLT-R5-1 presentan los valores de absorción y porcentaje de cuarzo más altos en toda la zona III (Ver Tabla 6) y valores de resistencia a la compresión simple muy cercanos; en este caso podría decirse que el contenido de cuarzo no favorece a la resistencia de la roca y que el porcentaje de absorción en cada una de ellas está estrechamente relacionado con el grado de meteorización de las mismas.

3.5 Geomorfología

El análisis geomorfológico se realizó en su primera fase mediante la interpretación de fotografías aéreas correspondientes a la misión 0301109 de año 1983, a escala 1:25000, secuencia 496, 497, 498 y 499 y de la carta topográfica digital del año 2014 (base topográfica LiDAR). Esta integración generó como resultado la interpretación de unidades geomorfológicas principales: Unidad de Relieve Alto y Unidad de Relieve Bajo.

La clasificación de estas unidades son el resultado de la interpretación de las expresiones del relieve y la acción de la geodinámica externa en contraste con la litología. La figura 23 muestra la división geomorfológica por unidades de relieve de la zona de estudio.

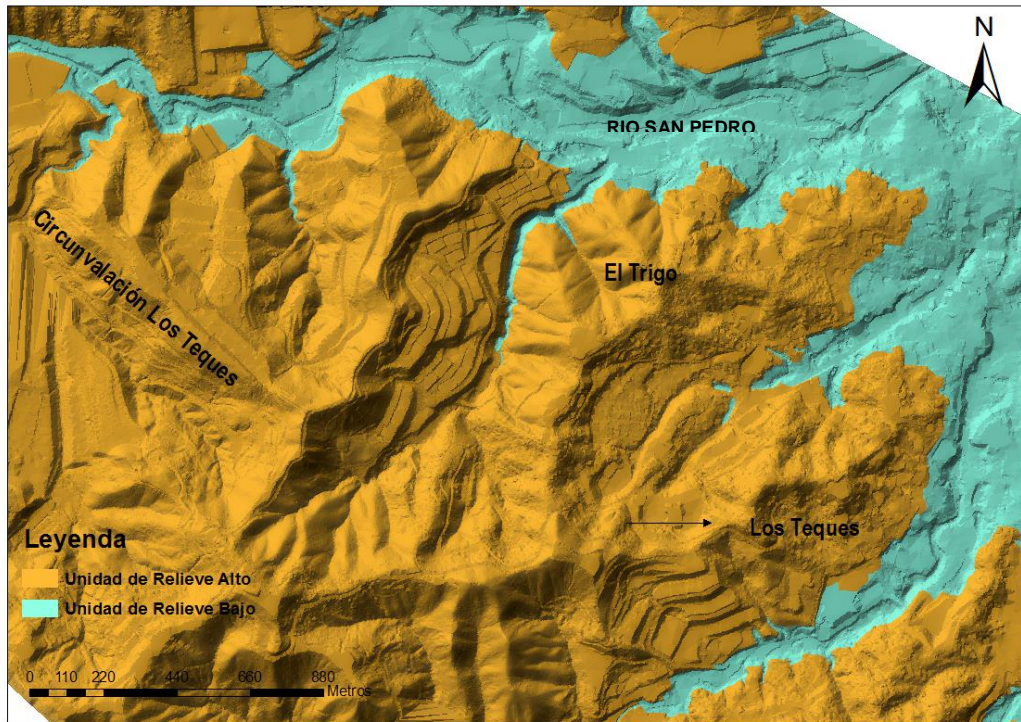


Figura 23. Mapa de sombras o Hillshade en combinación con superficie de elevación (TIN) modificado. Muestra el contraste entre las áreas de bajos y altos topográficos así como las modificaciones artificiales realizadas a la topografía.

3.5.1 Unidades

3.5.1.1 Unidad de Relieve Alto

Constituye aproximadamente el 75% del área de estudio, con cotas que van desde los 1180m hasta los 1365m, siendo esta última la cota más alta. Esta unidad se compone fundamentalmente de un relieve montañoso de filas y colinas interconectadas, regidas por un drenaje principal (Rio San

Pedro), quebradas (Qda. Las Dantas y Qda. El Rincón) y sus afluentes. Las filas son de gran magnitud y las líneas de cresta en su mayoría presentan una trayectoria sinuosa. Partiendo de estas características, la unidad se subdivide en las siguientes tipificaciones:

3.5.1.1.1 Filas sinuosas

Se ubican en la parte central de la zona de estudio, al este de la Av. Circunvalación Los Teques y al oeste de la ciudad de Los Teques, entre las Residencias La Quinta y El Trigo y al sur del sector El Paso (Ver Figura 24-a). Estas filas presentan perfil transversal simétrico, crestas irregulares y con estribaciones poco marcadas, con cotas que van desde los 1180m hasta los 1300m. La fila ubicada en las Res. La Quinta presenta una cresta con dirección aproximada suroeste; las pendientes en la ladera oeste varían entre los 5° y los 30° y en la ladera este las pendientes alcanzan valores superiores a los 45°; el drenaje es de tipo dendrítico intermitente y se localiza solo en la ladera oeste. La fila correspondiente al sector El Trigo, es pseudoparalela a la fila anterior, con cresta irregular y sinuosa de dirección suroeste; las pendientes en este sector varían entre los 15° y 30° siendo más abruptas las pendientes de la ladera oeste, con valores superiores a los 45°; la ladera oeste presenta un drenaje paralelo intermitente. Por último, la fila ubicada al sur de las dos anteriores, presenta una cresta irregular sinuosa con dirección casi este – oeste; exhibe pendientes de entre 15° y 30° en toda su extensión y >45° hacia la ladera sur (Ver Figura 24-b); el drenaje sobre esta fila es escaso.

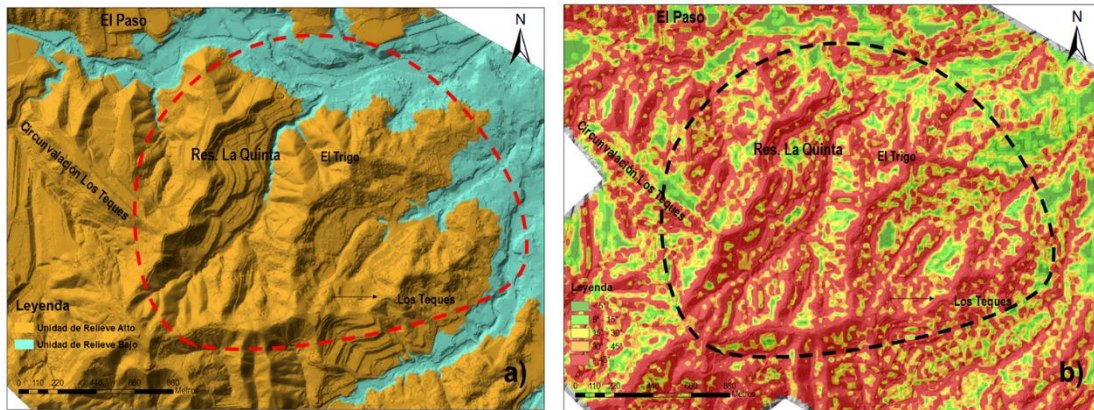


Figura 24. a) Ubicación de las filas sinuosas. b) Mapa de pendiente de la zona de estudio, los colores más oscuros corresponden a valores de pendientes más abruptas $> 45^\circ$ son los más predominantes sobre las filas sinuosas. .

3.5.1.1.2 Colinas rectas

Se ubican al suroeste y al noroeste del área de estudio, al norte de la Av. Circunvalación Los Teques y al sur de la misma (Ver Figura 25-a). Las colinas ubicadas en la parte norte, presentan un perfil transversal simétrico, con crestas rectilíneas con dirección norte, laderas cóncavas y pendientes entre 15° y 45° (Ver Figura 25-b), el drenaje es adaptado del tipo dendrítico intermitente y solo está presente en la ladera este de las colinas. Las colinas ubicadas en la zona sur, presentan un perfil transversal asimétrico, crestas rectilíneas con dirección noroeste, laderas cóncavas y pendientes entre 15° y 30° (Ver Figura 25-b), el drenaje es adaptado del tipo paralelo permanente (Qda. Las Dalias). Por último, hacia el sureste del área de estudio se encuentra una colina alargada, de cresta rectilínea con dirección noreste, perfil transversal asimétrico y laderas convexas, presenta un drenaje paralelo adaptado (Qda. El Rincón).

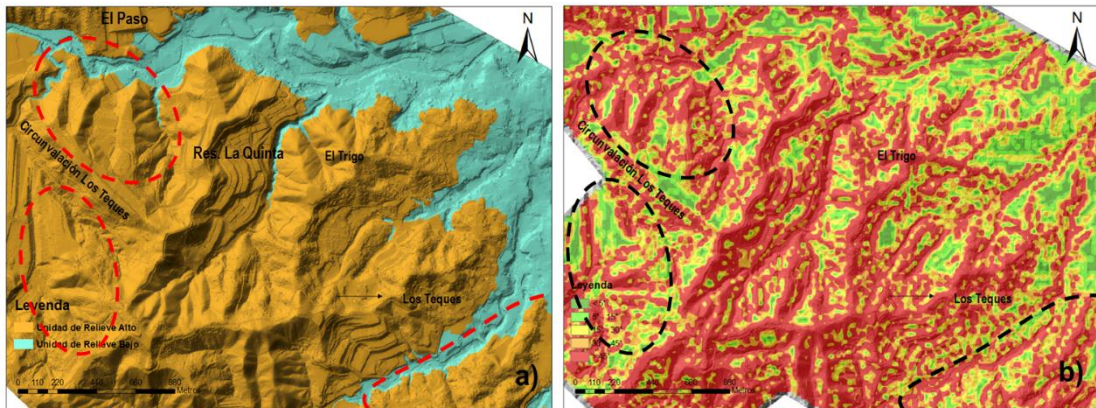


Figura 25. a) Ubicación de las colinas alargadas. b) Mapa de pendiente de la zona de estudio, los colores más oscuros corresponden a valores de pendientes más abruptas; hacia el sur las pendientes son más suaves entre 15° y 30° y hacia el norte predominan pendientes $>45^\circ$.

3.5.1.2 Unidad de Relieve Bajo

Constituye el 25% de área de estudio y está representada por valles amplios hacia el norte y estrechos al este de la zona de estudio, con cotas que van desde los 1141m hasta los 1180m, regidas por un drenaje principal (Río San Pedro), quebradas (Qda. Las Dantas y Qda. El Rincón) y sus afluentes. Partiendo de estas características, la unidad se subdivide en las siguientes tipificaciones:

3.5.1.2.1 Valle amplio

Se ubica al norte del área de estudio, entre el sector El Paso y El Trigo, (Ver figura 26-a). Esta expresión corresponde a un valle amplio en forma de U, con cotas que van desde los 1141m hasta los 1180m, regido por un drenaje principal adaptado, Río San Pedro, quien tiene una geometría rectilínea y drena sus aguas en dirección oeste-este; las laderas que rodean el valle son de pendiente suave en la mayoría las áreas con valores de entre 5° y 30° (Ver Figura 26-b).

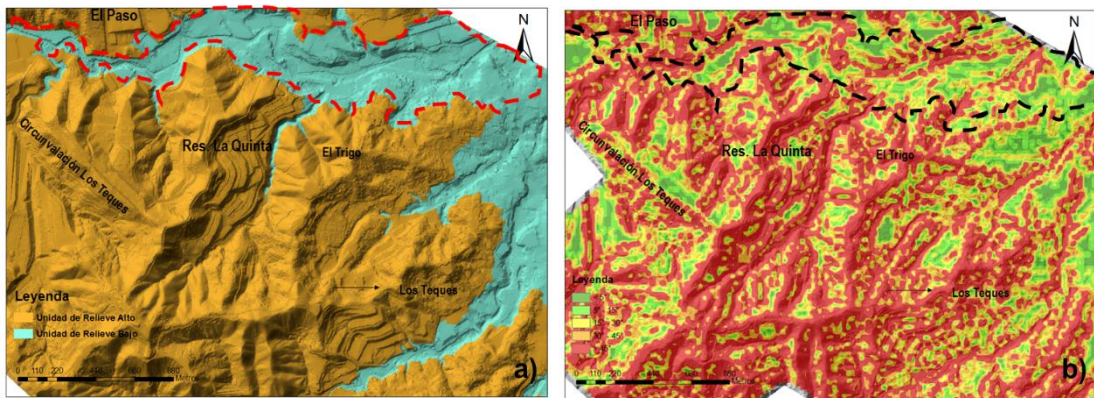


Figura 26. a) Ubicación de Valle amplio. b) Mapa de pendiente de la zona de estudio. Sobre el valle amplio abundan pendientes de entre 5° y 30°.

3.5.1.1.4 Valles estrechos

Se determinaron dos (2) topofomas ubicadas al este de la zona de estudio, entre Res. La Quinta y el sector El Trigo y al sur de la ciudad de Los Teques (Ver Figura 27-a). El valle intramontino entre Res. La Quinta y el sector El Trigo, con cotas que van entre los 1160m y 1180m, tiene una dirección aproximada noreste, con drenaje adaptado e intermitente cuyas aguas desembocan en el Rio San Pedro que es el drenaje principal del sector, tiene laderas cóncavas y asimétricas con pendientes superiores a los 45°. El segundo valle estrecho tiene forma de U, con cotas que van entre los 1141m y 1180m, se encuentra al sur del sector El Trigo y la ciudad de Los Teques tiene una dirección aproximada noreste, con drenaje adaptado y permanente correspondiente a la Qda. El Rincón, tiene laderas convexas y simétricas con pendientes suaves entre 15° y 30° (Ver Figura 27-b).

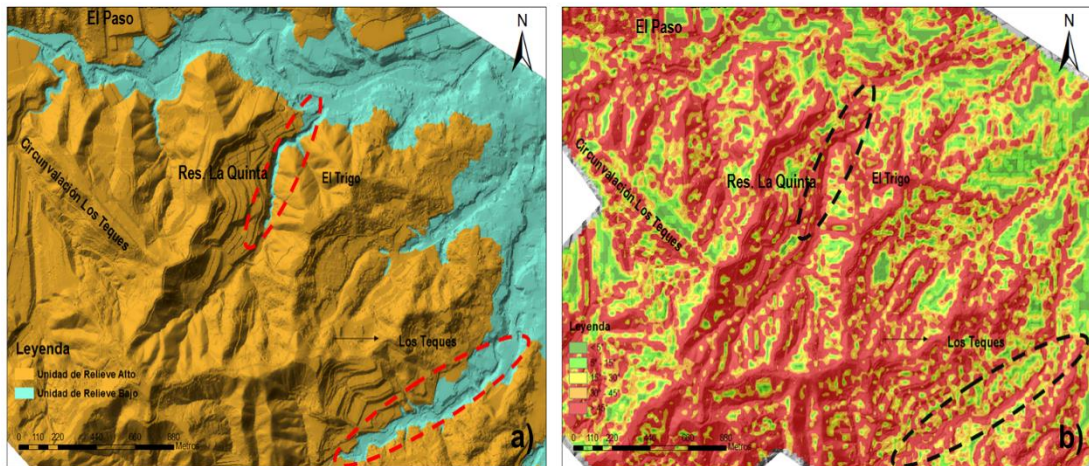


Figura 27. a) Ubicación de los Valles estrechos. b) Mapa de pendiente de la zona de estudio. El valle al sur de la ciudad de Los Teques presenta pendientes suaves entre los 15° y 30°, mientras que el valle intramontino del sector El Trigo tiene pendientes abruptas superiores a los 45°.

3.6 Marco Estructural Local

La zona de estudio forma parte del Sistema Montañoso del Caribe; las estructuras geológicas que constituyen a todo este sistema tienen gran influencia tectónica de las fallas de Boconó, San Sebastián y El Pilar, quienes han sido propuestas como límite principal entre la placa del Caribe y Sudamericana. Para establecer los eventos tectónicos que afectaron el área de estudio se analizaron los elementos estructurales tales como pliegues, fallas, foliaciones y familias de diaclasas.

Localmente se identificaron estructuras de régimen dúctil y frágil originadas por esfuerzos compresivos; de manera generalizada los ejes de inmersión de los pliegues tienen dirección norte. El comportamiento de la foliación es variable debido a los diversos eventos tectónicos que ha sufrido la región. Las fallas de gran extensión fueron interpretadas en las fotografías aéreas y las de menor extensión fueron identificadas en campo.

3.6.1 Foliación

La foliación es la estructura plana más común, por ello permitió realizar la clasificación del tipo de roca en campo; la orientación es muy variable debido a los diversos eventos tectónicos que ha sufrido el área de estudio. Esta estructura está definida por la orientación de los minerales micáceos y dependiendo de su abundancia y todo el contenido mineral se clasifica a la roca como un esquisto o una filita, que son las rocas más abundantes en la zona. En las rocas con mayor contenido de minerales micáceos hay mayor variación en la orientación de la foliación, caso contrario ocurre en las rocas donde la granulometría aumenta y los minerales no son foliados. La tendencia de la foliación es 53° hacia el oeste con buzamiento al norte (Ver Figura 29).



Figura 28. Afloramiento de los puntos 27 al 30, se muestra la variación de foliación.

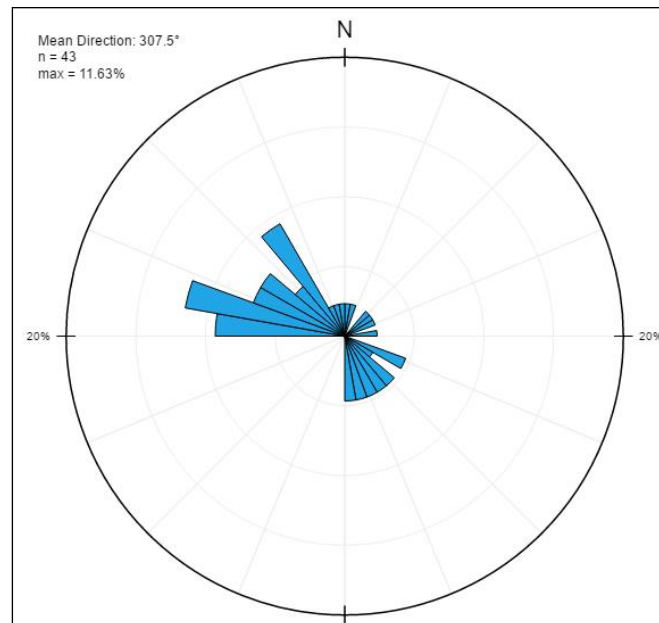


Figura 29. Diagrama de Rosa que representa la tendencia del rumbo de la foliación en la zona de estudio.

3.6.2 Pliegues y Fallas

A partir de los datos recolectados en campo se pueden evidenciar al menos tres (3) eventos asociados a regímenes dúctiles que deformaron las rocas presentes en la zona de estudio. El primer evento (D_1) está relacionado con la formación de pliegues a menor escala, la mayoría de ellos disarmonicos y rectos con planos axiales perpendiculares a la foliación (Ver Figura 30-a).

Posteriormente, el segundo evento (D_2) está caracterizado por bascular, replegar y hasta generar cabalgamientos locales en los pliegues generados en la primera fase de deformación (Ver Figura 30-b).

Por último, la tercera fase de deformación (D_3) se caracteriza por generar plegamientos a escala regional, incluyendo a la zona en un plegamiento mayor a los observados en campo, esto se analizó en base a

las orientaciones de la foliación, con las fotografías aéreas y con el procesamiento de datos en el programa ArcGIS 10.3.

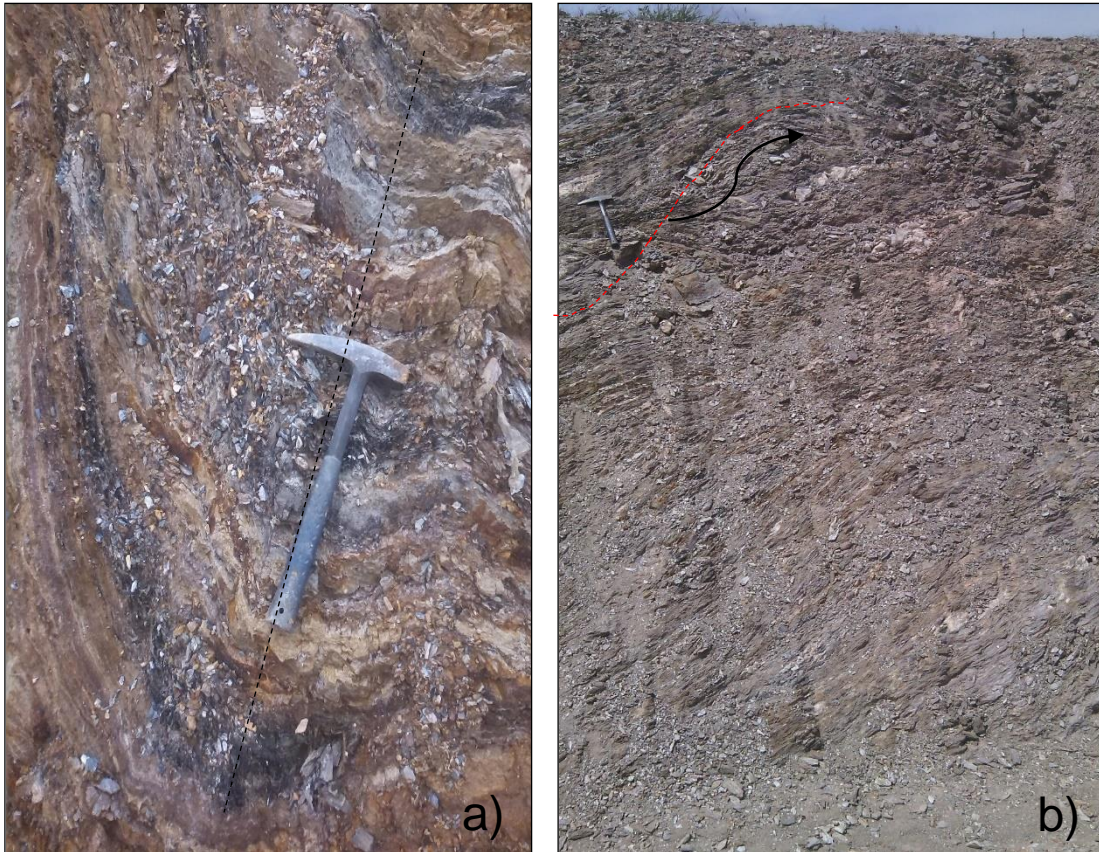


Figura 30. a) Pliegue recto con línea segmentada señalando dirección aproximada del plano axial. b) Cabalgamiento local, con dirección de oeste – este.

Esta tercera etapa de deformación estructural se denomina como un sinclinatorio, el cual se define como un conjunto de pliegues yuxtapuesto que forman una deformación negativa, dando origen a una expresión superficial cóncava o de sinclinal. En la figura 31 se muestra la ubicación de estas depresiones, al Nor-este y al Sur-este de la zona de estudio; consiste en un pliegue que repliega de manera elástica a los pliegues generados previamente.

Con base a la interpretación realizada con las fotografías aéreas, mapa topográfico digital y el mapa de sombras (Hillshade) generado con

ArcGIS se logró identificar una (1) falla. Se ubica al suroeste de la zona de estudio, con rumbo aproximado N10W y se interpretó un movimiento dextral. Esta falla corresponde con una falla definida en el mapa 6747-SE a escala 1:25000 obtenido del Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa (URBANI F. & RODRÍGUEZ J., 2004), es por ello que esta cartografiada en este trabajo como una Falla dextral (Ver Figura 31).

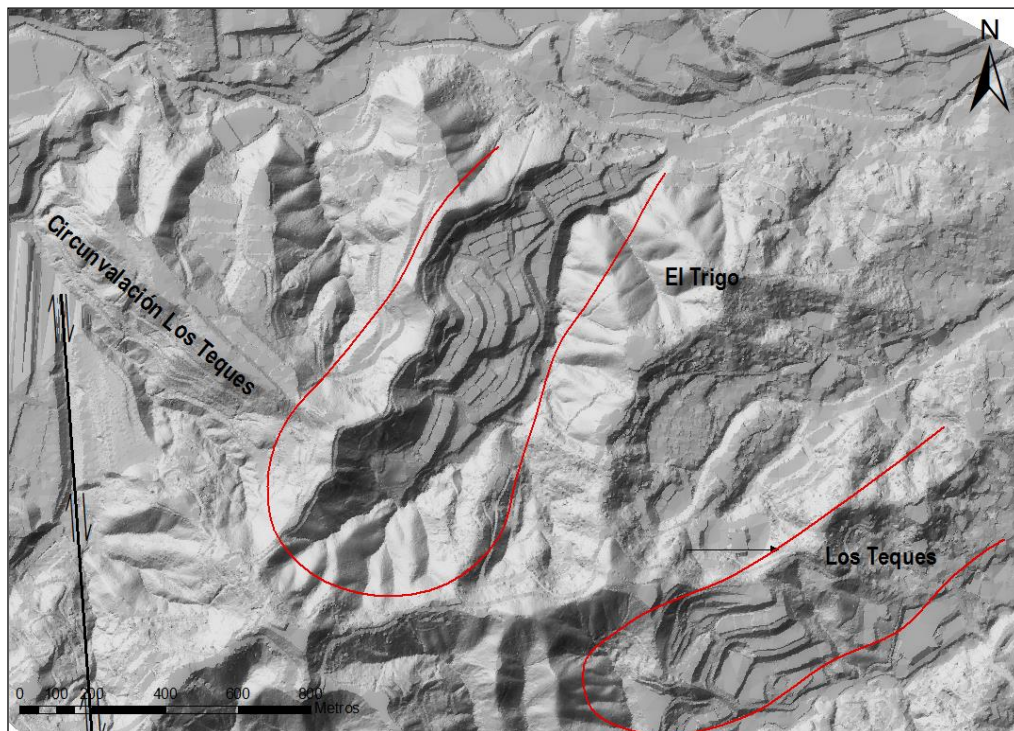


Figura 31. Mapa de sombras (Hillshade) muestra en las curvas rojas la expresión de las topografías. Al oeste de la zona de estudio se observa la falla dextral.

3.7 Perforaciones

Las perforaciones se llevan a cabo mediante el Ensayo de Penetración Estándar o mejor conocido como SPT. El SPT representa la resistencia del terreno a ser penetrado por un toma muestras de 30 cm, circular y de acero, que permite la recuperación de muestras naturalmente alteradas con fines de identificación y ensayos.

El ensayo consiste en dejar caer una masa de 63.5Kg sobre una cabeza de hinca, desde 76 cm de altura, se cuentan el número de golpes (N) necesarios para que se penetren 30 cm de suelo con el toma muestra (sin contar los 15cm de la hinca para apoyo y el descenso natural por gravedad); este número de golpes es lo que se reporta como NSPT. Cuando el SPT supera los 80 golpes de penetración, se utiliza la rotación para la obtención de las muestras, que por lo general son de roca. Para levantar la masa constantemente, se utiliza un mecate de yute con dos vueltas alrededor del tambor del malacate; por minuto se aplican alrededor de 30 golpes lo que representa un golpe por cada 2 segundos.

Se debe asegurar que al momento de tomar las muestras estas no sean alteradas por aire o agua, para ello el extremo superior del toma muestras (cuchara partida) debe tener una válvula sin retorno, con agujeros de alivio que expulsen el aire o el agua que pueda entrar al sistema.

La unión de varias perforaciones permite generar perfiles geotécnicos que muestren la distribución en profundidad de los suelos y las rocas.

En toda la extensión de la Av. Circunvalación Los Teques se realizaron 24 perforaciones cuya ubicación se muestra en el Mapa Geológico - Geotécnico (Ver Mapa CLT-03), con las cuales pudieron generarse 6 perfiles geotécnicos, es importante destacar que las perforaciones fueron

realizadas cuando se estaba comenzando a ejecutar el proyecto, es decir, fueron hechas antes de los cortes de talud actuales. La longitud máxima de perforación de SPT fue de 274 metros y de rotación fue de 44 metros para un total de longitud de perforación de 318 metros. En la figura 32 se muestra la secuencia de las perforaciones junto con la dirección de los perfiles geotécnicos realizados (Ver Mapa Geológico).

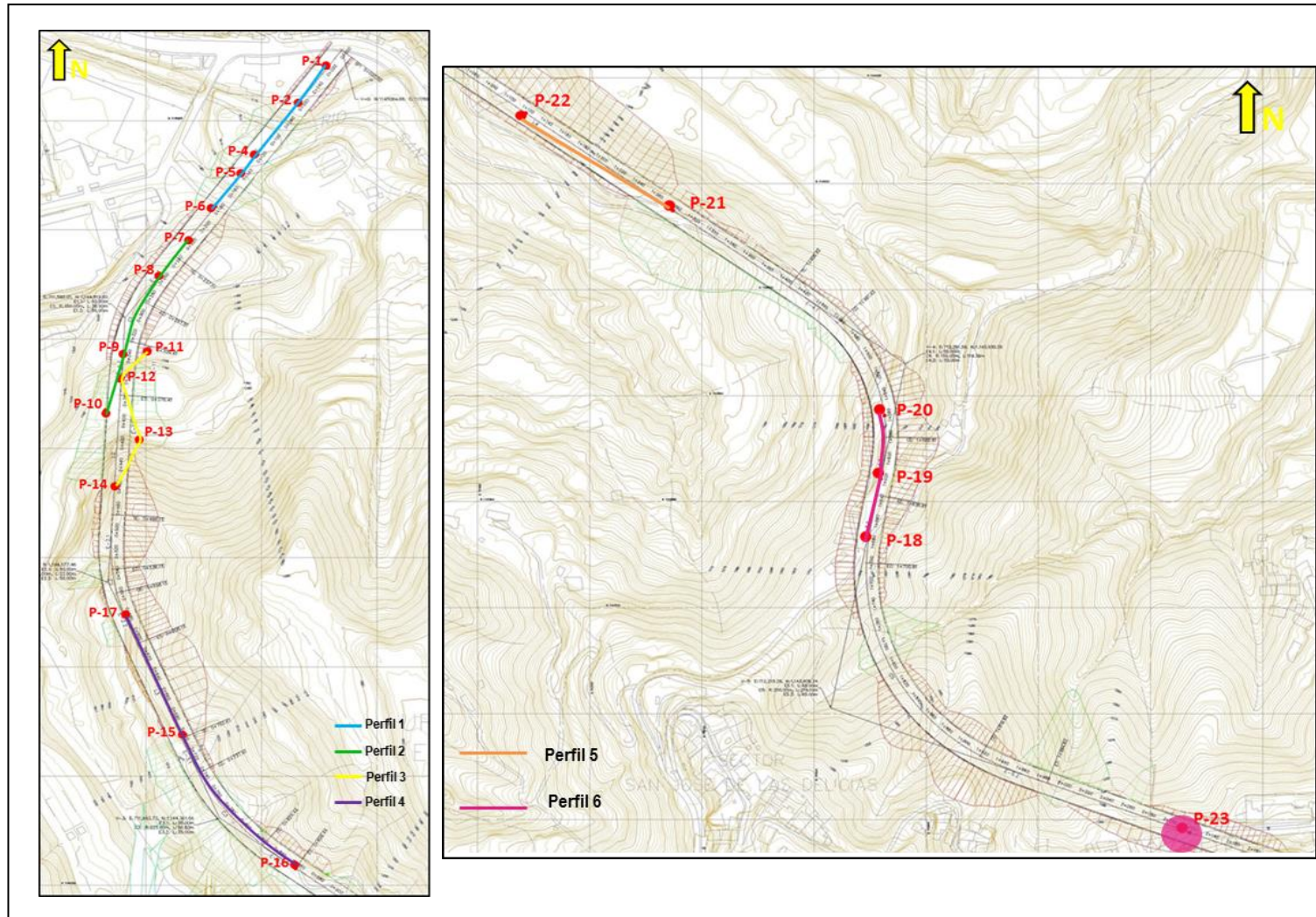


Figura 32. Ubicación de los perfiles geotécnicos a lo largo de la Circunvalación Los Teques

Perfil Geotécnico 1:

Está constituido por las perforaciones P-1, P-2, P-4, P-5 Y P-6, tiene una longitud aproximada de 160 metros. En la perforación P-1 se encontró un relleno de aproximadamente 7 metros clasificado en su mayoría como una arena limosa con grava de compacidad suelta, además tiene 3 metros de suelo aluvial/coluvial constituido por arena limosa con grava de compacidad media. Hacia el sur, en la perforación P-2 se encontró un relleno en los primeros 7 metros, la misma arena limosa con grava encontrada en la perforación P-1, a los 13 metros de profundidad se identificó una roca descompuesta blanda (RDb), descrita como una filita cuarzo-micácea-grafitosa y aproximadamente a los 16 metros de profundidad se identificó un esquisto cuarzo-micáceo-grafitoso de color gris claro. En la perforación P-4 se identificó aproximadamente 4 metros de relleno con contenido de escombros y materia vegetal acompañado por sedimentos de tipo arena limosa de compacidad de media a suelta, además a los 9 metros de perforación se describió una roca descompuesta blanda que resulto ser la filita cuarzo-micácea-grafitosa de la perforación P-3, a los 12 metros en esta misma perforación se identificó el esquisto cuarzo-micáceo-grafitoso de color gris claro. En la perforación P-5 se obtuvo aproximadamente 10 metros de suelo aluvial/coluvial que variaba entre arenas arcillosas de compacidad suelta y arenas arcillosas con contenido de grava de compacidad media, a los 11 metros de perforación se identificó una roca descompuesta blanda descrita como filita cuarzo-micácea-grafitosa de color gris oscuro, a los 15 metros de profundidad se encontró el esquisto cuarzo-micáceo-grafitoso de color gris claro (Ver Figura 33).

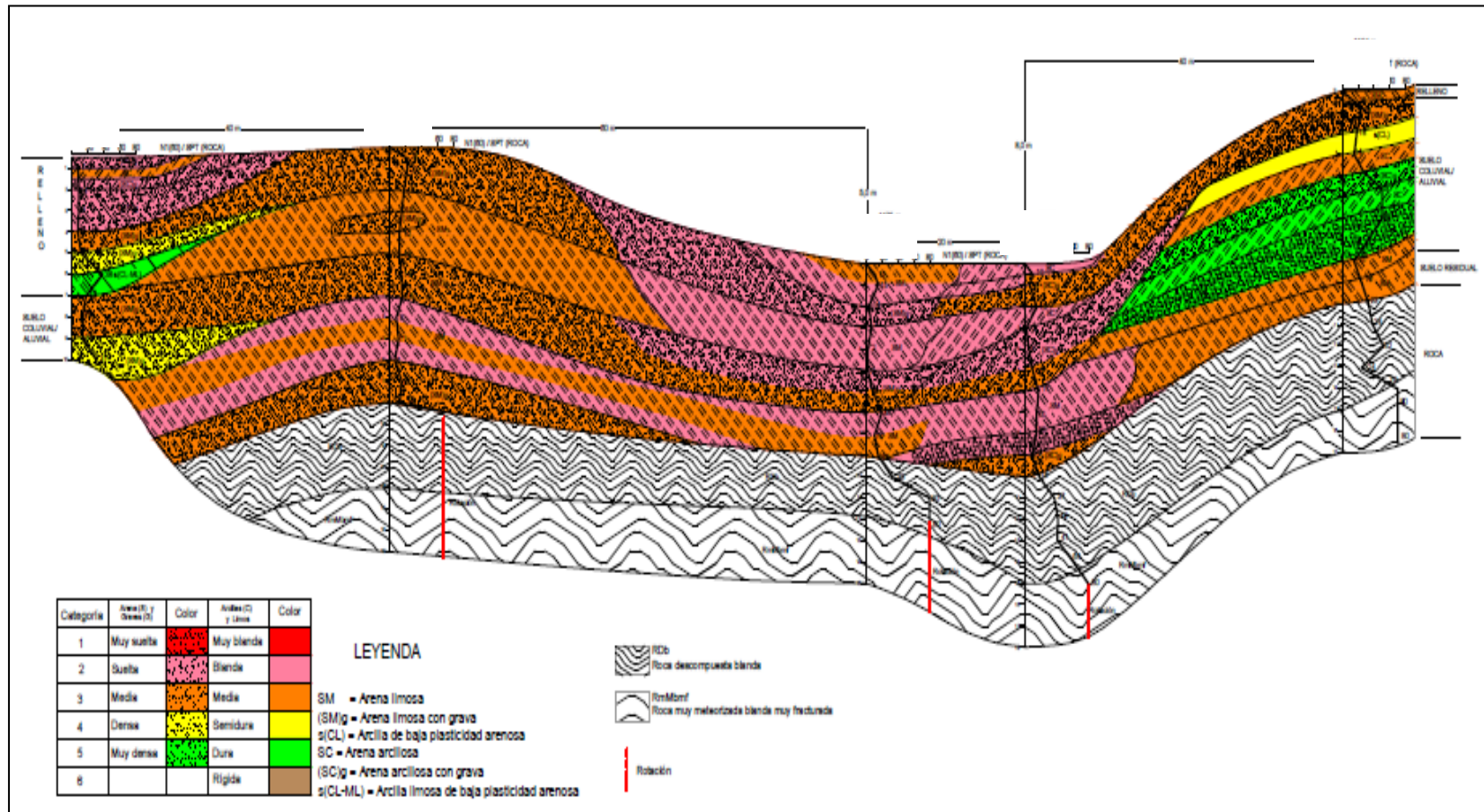


Figura 33. Perfil Geotécnico 1. Se observa que en la perforación 1 (P-1) no se encontró roca; para las perforaciones 2, 4 y 5 (P-2, P-4 Y P-5) fue necesario perforar con rotación al llegar a la roca.

Perfil Geotécnico 2:

Está constituido por las perforaciones P-7, P-8, P-9 Y P10 y tiene una longitud de 200 metros. En la perforación P-7 se observa un relleno constituido por arena arcillosa de medio metro de espesor, por debajo de este relleno se identificó una arcilla arenosa de baja plasticidad de 3,5 metros de espesor, que constituye la capa de sedimentos aluviales/coluviales; a los 7 metros de perforación y hasta los 11 metros de perforación se identificó una roca descompuesta blanda (RDb), descrita como una filita cuarzo-micácea-grafitosa. Hacia el sur, la perforación P-8 está constituida por medio metro de arena limosa clasificada como un relleno, los sedimentos aluviales/coluviales en esta perforación están constituidos por una arena limosa de compacidad suelta-media, a los 9 metros de profundidad se identificó una roca descompuesta blanda (RDb), descrita como una filita cuarzo-micácea-grafitosa similar a la de la perforación P-7. La perforación P-9 solo presenta medio metro de relleno de arena limosa de compacidad media, suelo residual de arena limosa con contenido de grava de 2 metros de espesor, no hay presencia de suelos aluviales/coluviales en esta perforación y la roca se identificó a los 3 metros de profundidad, correspondiendo a la filita cuarzo-micácea-grafitosa identificada en las demás perforaciones; esta filita es encontrada en la perforación P-10 a los 9 metros de profundidad y a los 19 metros de esta misma perforación se identificó una roca muy meteorizada blanda muy fracturada (RmMbf) correspondiente a un Esquisto cuarzo-micáceo-grafitoso (Ver Figura 34).

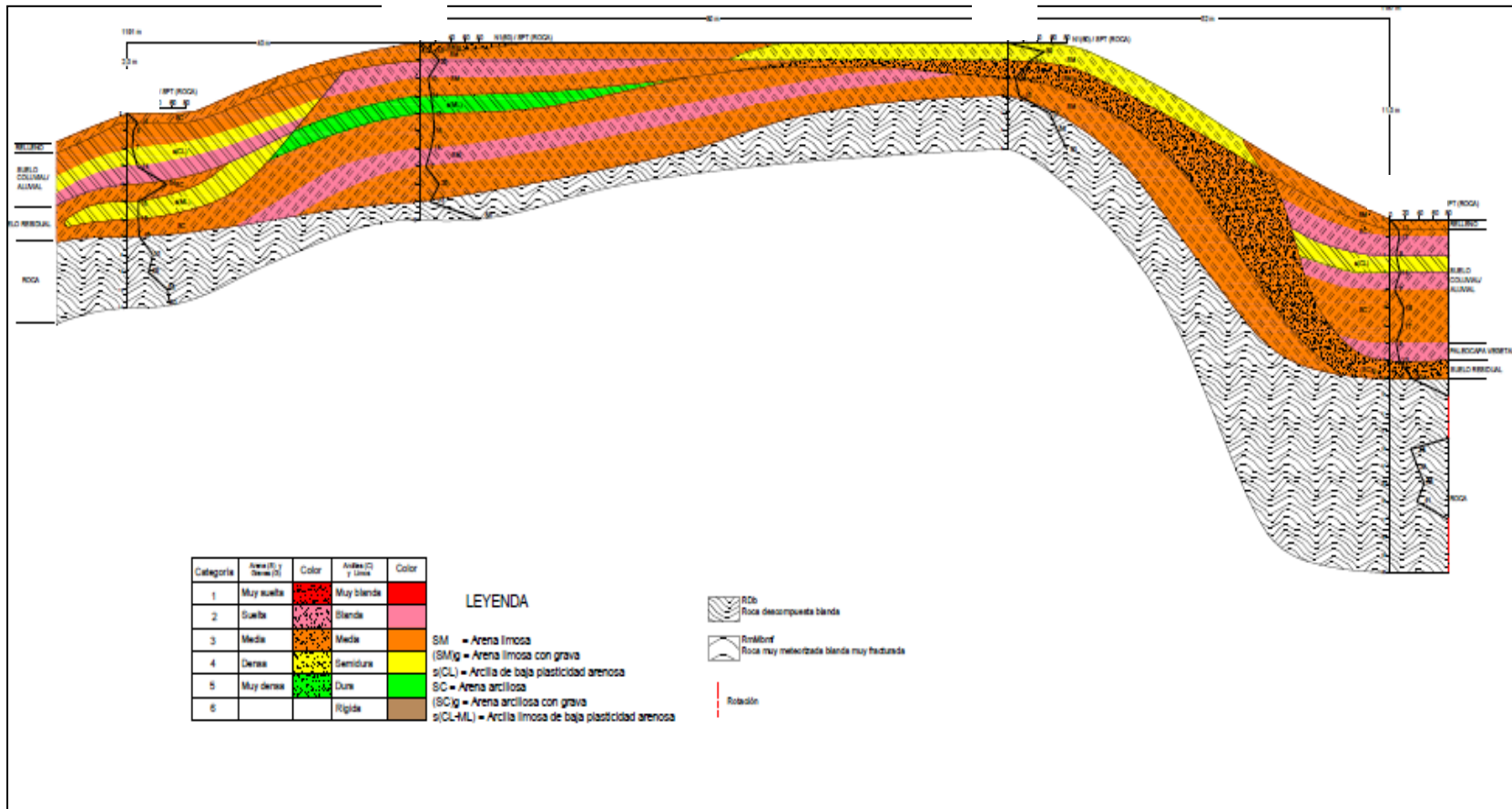


Figura 34. Perfil Geotécnico 2. Se observa que la perforación 10 (P-10) es la única donde se encontró el Esquisto cuarzo-micáceo-grafítico a los 19 metros de perforación.

Perfil Geotécnico 3:

Está constituido por las perforaciones P-11, P-12, P-13 Y P-14 y tiene una longitud de 128 metros aproximadamente. El relleno de la perforación P-11 está constituido por medio metro de grama limosa de compacidad media, el suelo aluvial/coluvial tiene un espesor de 2,5 metros y está constituido por una arena limosa, seguida de una arena limosa con grava y un limo de baja plasticidad; la roca se encontró a partir de los 5 metros hasta los 21 metros de perforación se clasificó como una roca descompuesta blanda (RDb) descrita como una Filita cuarzo-micácea-feldespática. El espesor del relleno en las perforaciones P-12, P13 Y P14 es variable: pasando por medio metro de arena arcillosa y medio metro de arcilla de baja plasticidad en la perforación 12, luego por un metro de arena limosa arcillosa, 2 metros de arenas limosas y un metro de arenas limosas arcillosas con grava en la perforación 13; por último, se tienen 10 metros de arenas arcillosas limosas con porcentaje variable de grava y 3 metros de arena limosa de compacidad suelta para la perforación 14. La perforación P-12, presenta 9 metros de suelo aluvial/coluvial, variando desde una arena arcillosa de compacidad suelta hasta una arena limosa arcillosa de compacidad media; se identificó a los 12 metros de perforación una RDb descrita como Filita cuarzo-micácea-feldespática y a los 16 metros de perforación una RmMbf descrita como un Esquisto cuarzo-micáceo-grafitoso. En las perforaciones P-13 Y P-14 también fueron encontradas este tipo de rocas pero a diferentes profundidades (Ver Figura 35).

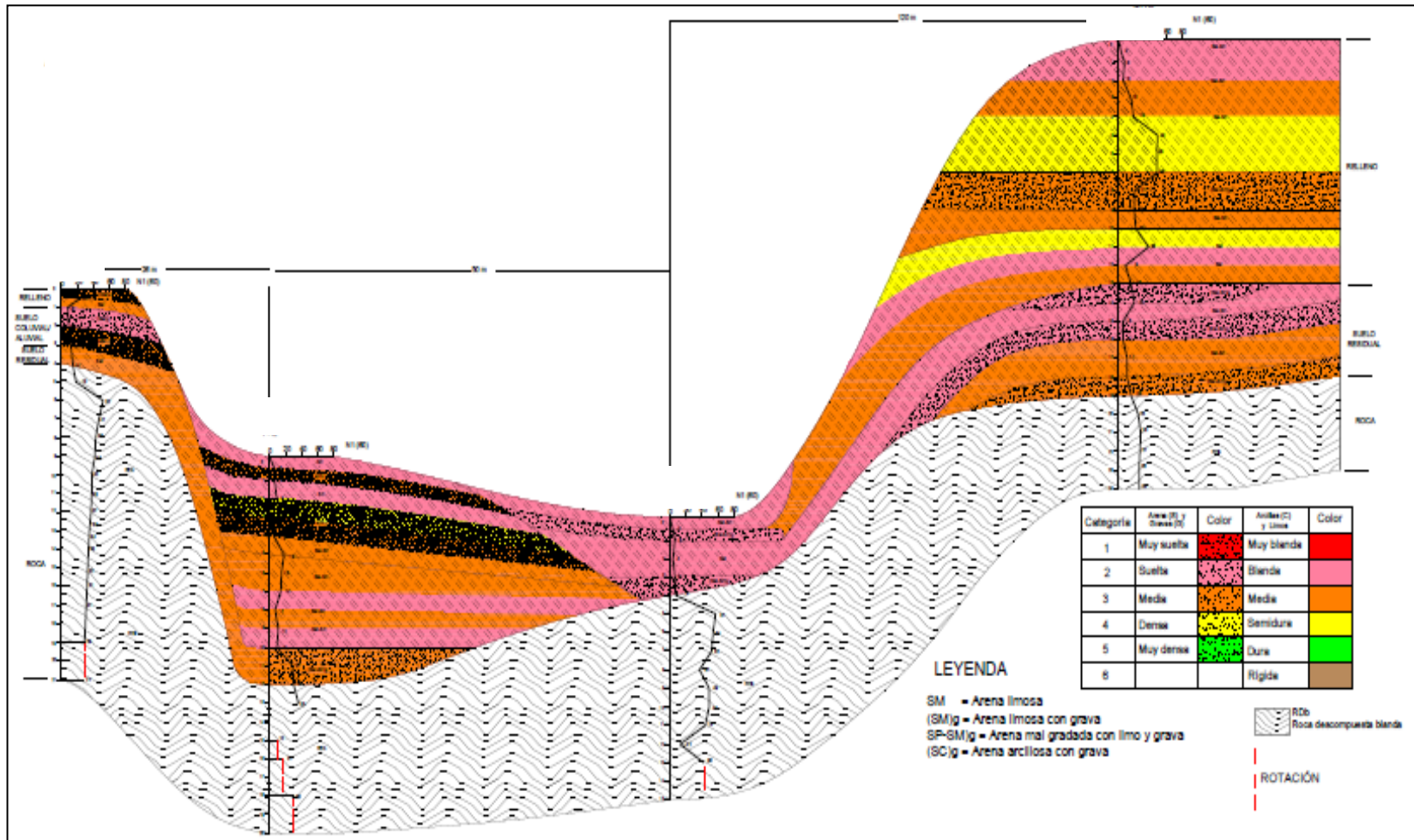


Figura 35. Perfil Geotécnico 3. Se observa que la perforación 14 (P-14) tiene 13 metros de material clasificado como relleno; fue necesaria la perforación por rotación al llegar a la roca en las perforaciones 11, 12 y 13 (P-11, P-12 Y P-13)

Perfil Geotécnico 4:

Está constituido por las perforaciones P-15, P-16 y P-17, tiene una longitud de 360 metros aproximadamente. En las tres perforaciones se identificó un suelo residual constituido por una arena limosa con porcentaje variable de grava, el espesor y la compacidad varia para cada perforación, siendo 4 metros para la perforación 15 (P-15) de compacidad suelta, 9 metros para la perforación 16 (P-16) de compacidad muy suelta y 7 metros de espesor y compacidad media para la perforación 17 (P-17). También se identificó en todas las perforaciones una roca descompuesta blanda, descrita como una Filita cuarzo-micácea-feldespática; en la perforación P-15 se encontró a los 4 metros, en la P-16 a los 9 metros y en la P-17 a los 7 metros de perforación (Ver Figura 36).

Perfil Geotécnico 5:

Está constituido por las perforaciones P-21 y P-22, tiene una longitud de 160 metros aproximadamente. El suelo residual, constituido por una arena arcillosa con porcentaje variable de grava tiene un espesor de 5 metros en la perforación P-21 y tiene una compacidad media, en la perforación P-22 tiene 5 metros de espesor y su compacidad es media-densa-media. A los 5 metros de profundidad de las perforaciones P-21 y P-22, se encontró una roca descompuesta blanda, descrita como una Filita micácea-grafitosa; en la perforación P-22 a los 10 metros de profundidad se encontró un Esquisto cuarzo-micáceo grafitoso, clasificado como una roca descompuesta blanda (Ver Figura 37).

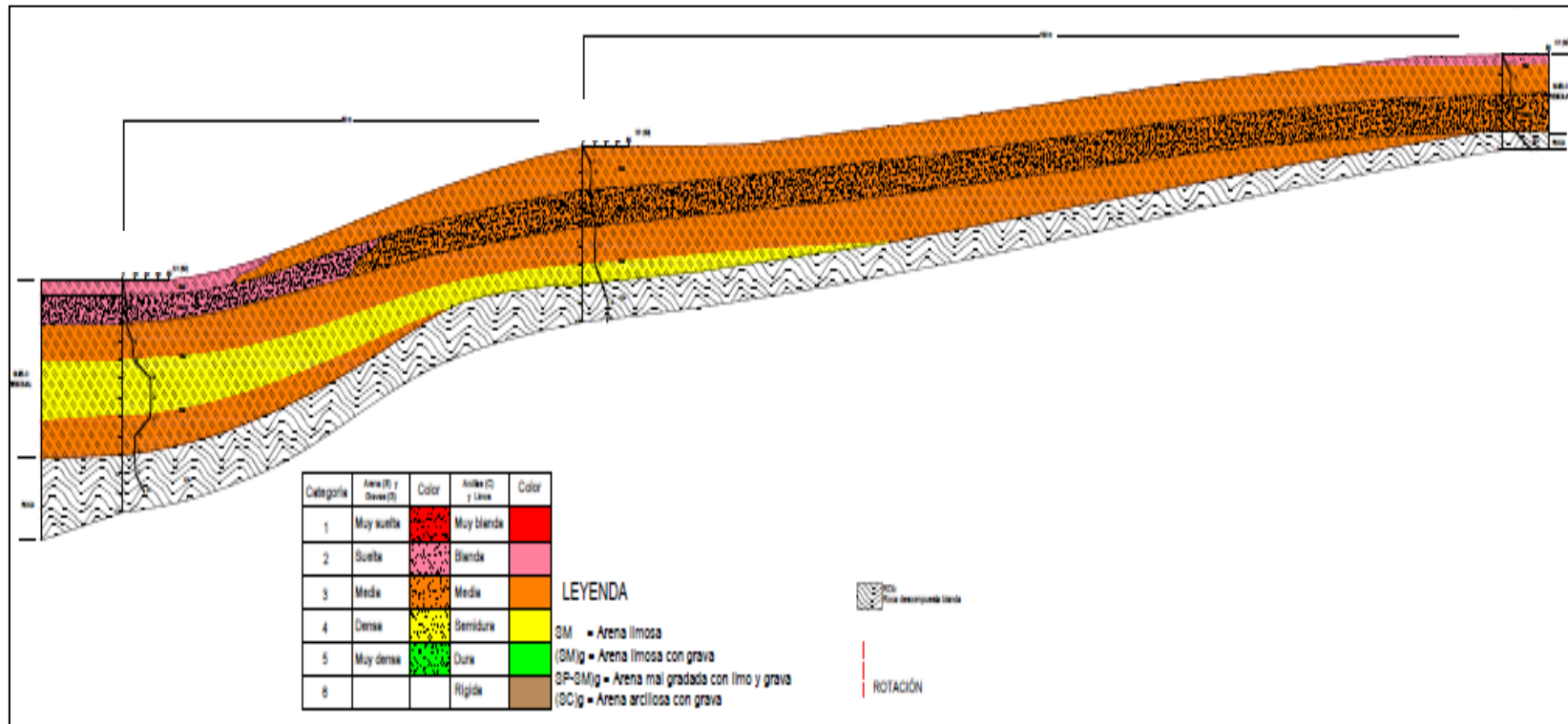


Figura 36. Perfil Geotécnico 4. Se observa como el suelo residual disminuye su espesor hacia el sur, hacia la perforación P-16.

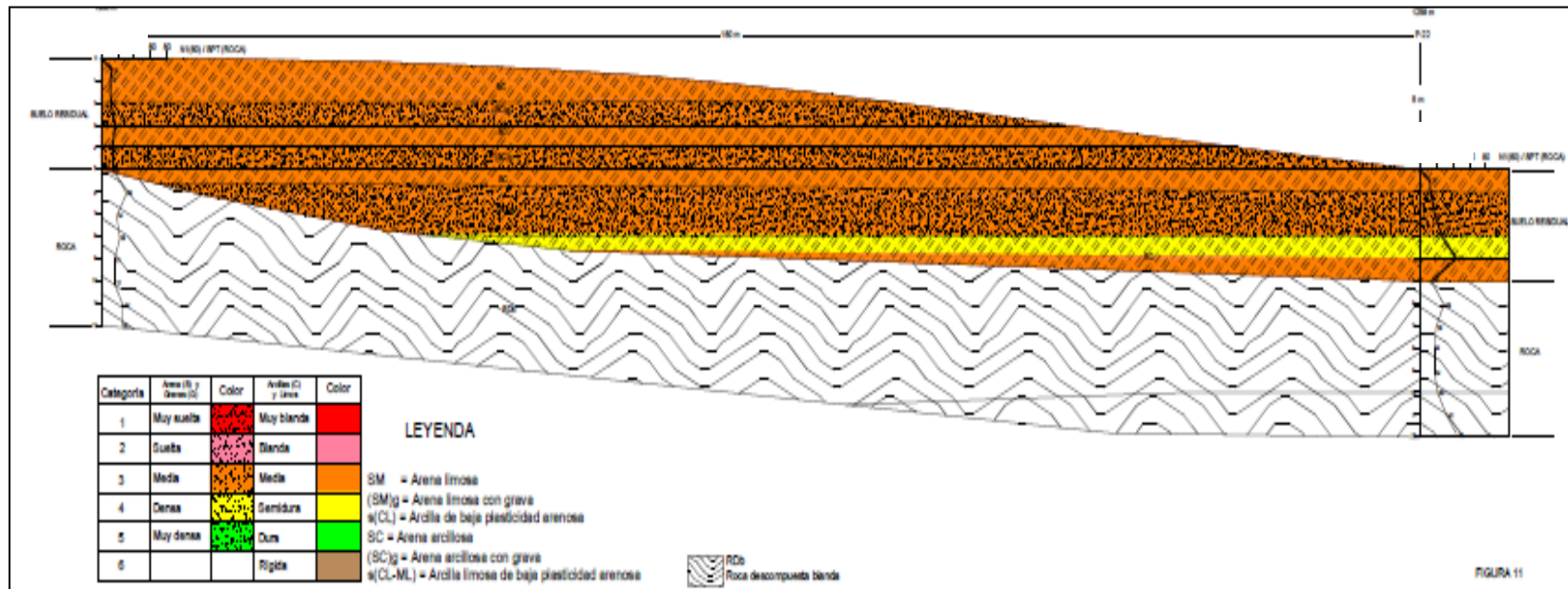


Figura 37. Perfil Geotécnico 5. Se observa que las perforaciones P-21 y P-22 tienen roca a los 5 metros de profundidad.

Perfil Geotécnico 6:

Está constituido por las perforaciones P-18, P-19 y P-20, tiene una longitud de 115 metros aproximadamente. El suelo residual, constituido por una arena arcillosa con porcentaje variable de grava tiene un espesor de 7 metros en la perforación P-20 y tiene una compacidad media, hacia las perforaciones P-18 y P-19 se identifica la misma arena pero con espesor variable, en la perforación P-19 se identifica hasta los 6 metros de profundidad y en la perforación P-18 se identifica hasta los 4 metros de profundidad. En las tres perforaciones se identificó una roca descompuesta blanda a los 7 metros de profundidad, descrita como una filita cuarzo-micácea-grafitosa; en la perforación P-18 se identifica a los 9 metros de profundidad un Esquisto cuarzo-micáceo-grafitoso con vetas de calcita, clasificada como una roca descompuesta blanda (Ver Figura 38).

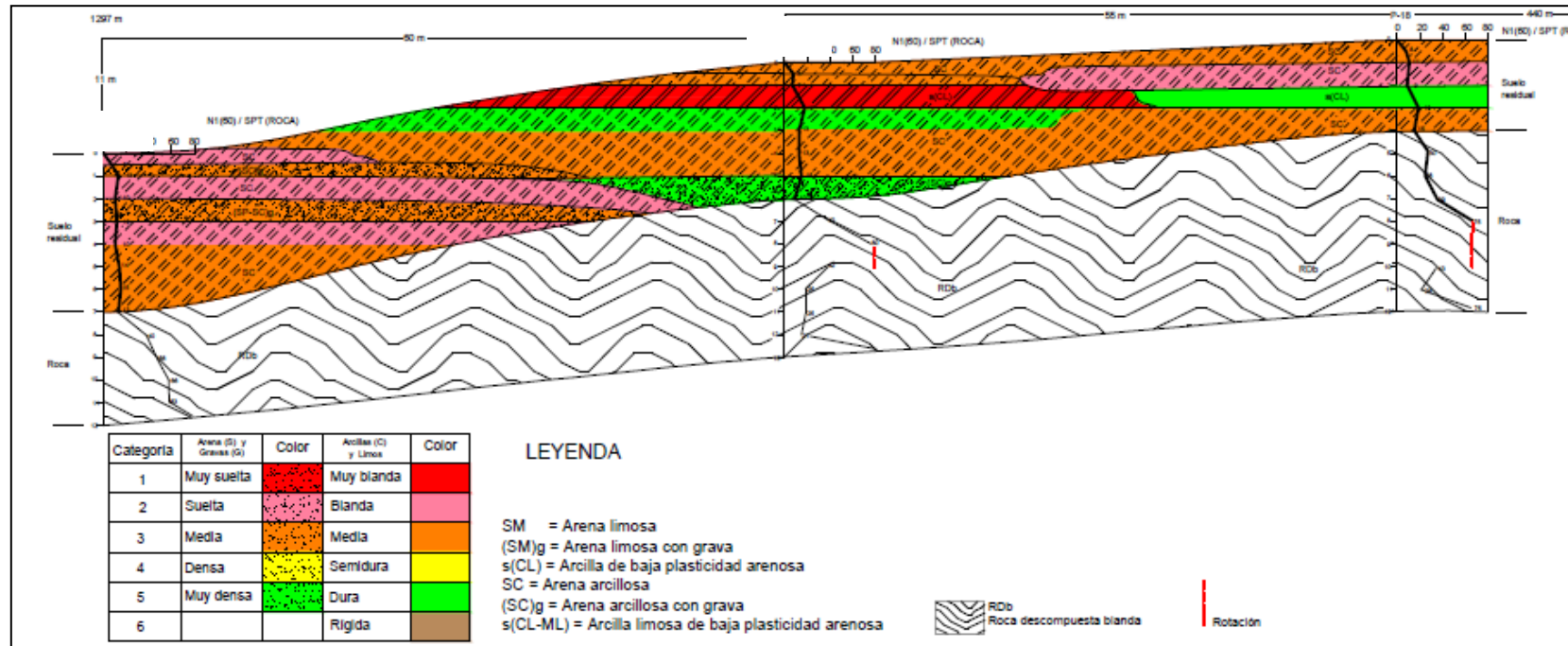


Figura 38. Perfil Geotécnico 6. Se observa que el espesor del suelo residual es mayor hacia el Norte, es decir hacia la perforación P-20.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Geología

4.1.1 Geología de Campo

En esta etapa se evaluaron y se describieron litológicamente los afloramientos encontrados a lo largo del área de estudio, se estableció el grado de meteorización del macizo rocoso así como la calidad del mismo, se tomaron muestras de mano para la elaboración de secciones delgadas y muestras más grandes para ser ensayadas en el laboratorio por compresión simple y absorción; también se realizó la medición de las discontinuidades. La siguiente tabla muestra un resumen de los puntos evaluados en campo.

Punto	Planos de foliación	Familia de Diaclasas	Muestras para petrografías	Muestras para ensayos	Descripción del afloramiento
(1-2)	N10E11N	D1: N70W35S	-	-	Filita micácea - grafitosa con vetas de cuarzo dispuestas en el sentido de la foliación.
(3-4)	N85E57N	D1: N70E83S D2: N20W75S	-	-	Esquisto cuarzo - micáceo con vetas de cuarzo y calcita de espesor aproximado 2.2 cm. El afloramiento se encuentra bastante plegado.
(4-5)	N13E35N N75E20S	D1: N55W73S	-	-	Esquisto cuarzo - micáceo con vetas de cuarzo y calcita. Presenta pliegues simétricos en toda la extensión del afloramiento.
(5-6)	-	-	-	-	Deslizamiento circular de material residual, color anaranjado, presenta cárcavas delgadas en toda la extensión y no se observan rocas aflorando.
(6-7)	N45E45S N30W32N N80W30S	D1: N70W60N D2: N50E60N	CLT-R8-1	M#8	Esquisto calcítico - cuarzo - moscovítico, con zonas donde se encontró una roca más masiva con alto contenido de calcita, clasificado como Mármol cuarzo - moscovítico.

Tabla 7. Descripción de los afloramientos en campo. Puntos del 1 al 7.

(7-8)	-	-	-	-	En este punto se encontró material suelto de color anaranjado, similar al del punto 5-6, pero en este caso no se observa deslizamiento circular, el afloramiento se encuentra cubierto en su totalidad por material residual.
(8-9)	N40E35N N87E35S N62E65N N85E45S	-	-	-	Esquisto calcítico - cuarzo - moscovítico, exhibe pliegues simétricos en toda su extensión, además se observaron vetas de cuarzo y calcita paralelas a la foliación. No se observaron planos de diaclasas.
(9-10)	N20W35N N80W17S N22W44N N60E21S	D1: N10W77N D2: N21E63N	CLT-R9-1	M#9	Esquisto calcítico - cuarzo - moscovítico. Se observaron diaclasas con relleno de cuarzo en color blanco y calcita en color ocre con cristales muy bien desarrollados.
(10-11)	N75E50S	D1: N29E79N D2: N15E63N	CLT-R10-1	M#10	Mármol cuarzo - moscovítico - albitico con zonas con mayor contenido de micas. En algunas zonas del afloramiento la roca se encuentra más foliada, constituida por un Esquisto - calcítico - moscovítico. Al finalizar el punto 11 se observó un deslizamiento circular constituido por material residual de color anaranjado.
(12-13)	N45E45N	D1: N32W80N	-	-	Esquisto cuarzo - micáceo con vetas de cuarzo y calcita. El afloramiento se encuentra cubierto por material residual de color anaranjado con tonos rojizos, producto de la alta meteorización de la roca.
(13-14)	N60E42N	D1: N56W88N	-	-	Esquisto cuarzo - micáceo con vetas de cuarzo y calcita. En este punto se encontraron dos vetas de cuarzo con rastros de alta meteorización.
(14-15)	N20E5N	D1: N45W57N	-	-	Esquisto cuarzo - micáceo de color fresco gris claro y meteorizado anaranjado; en este punto se muestra la roca menos meteorizada que en el anterior.
(15-16)	N71E46N	D1: N60W82N	-	-	Esquisto cuarzo - micáceo, cubierto en su mayoría por material residual de color anaranjado. Se observaron dos grandes cárcavas en un área del afloramiento con profundidad de 43 cm aproximadamente.
(16-17)	N54E41N	D1: N55W67N	-	-	Filita micácea - grafitosa con vetas de cuarzo dispuestas en el sentido de la foliación. En este punto la foliación es más delgada y el afloramiento muestra menos rastros de meteorización que el anterior.

Tabla 7. Descripción de los afloramientos en campo. Puntos del 7 al 17

(17-18)	-	-	-	-	En este punto se encontró material suelto de color anaranjado, cubriendo todo el afloramiento. Así como también cárcavas de hasta 1.5 m de longitud.
(18-19)	N10E24N	D1: N22E85N	-	-	Esquisto cuarzo - micáceo con vetas de cuarzo de 20 cm de espesor aproximadamente. Presenta pliegues pequeños de 2 cm de limbo a limbo.
(19-20)	N15E25N	D1: N16W81N	-	-	Filita micácea - grafitosa cubierta en su mayoría por material residual producto de la meteorización de la roca.
(20-21)	N19E32N	D1: N55W72N D2: N9W60N D3: N10E50N D4: N85W79N	-	-	Esquisto cuarzo - micáceo mucho más conservado que los anteriores afloramientos.
(21-22)	N10E30N	D1: N24W82N D2: N64W84N	-	-	Esquisto calcítico - cuarzoso cubierto en su mayoría por material residual producto de la meteorización de la roca.
(22-23)	-	-	-	-	Afloramiento de roca completamente descompuesta a material residual.
(23-24)	N24E40S	D1: N80W50S D2: N35E76S	-	-	Filita cuarzo - micácea presenta colores rojo y amarillo producto de la alta meteorización de la roca.
(24-25)	-	-	-	-	En este punto se encontró un deslizamiento superficial con material suelto de color marrón claro, además hay presencia de vegetación.
(25-26)	N22E34N	D1: N38W73S D2: N50W52S D3: N50W56N	-	-	Esquisto calcítico - cuarzoso. En este afloramiento se observó varias familias de diaclasas.
(27-28)	N65E65S N35E32S	D1: N5E62S D2: N30W84S D3: N10E78S	-	-	Filita grafitosa - micácea muy meteorizada, con pliegues disarmónicos, de color fresco gris oscuro y color meteorizado gris con tonos de oxidación vinotinto. Con vetas de cuarzo que se disponen en su mayoría paralelas a la foliación y exhiben un alto grado de meteorización.

Tabla 7. Descripción de los afloramientos en campo. Puntos del 17 al 28.

(29-30)	N46E35S N78W20S	D1: N65E35S D2: N17E73S D3: N10W51S	-	-	Filita grafitosa - micácea muy meteorizada, fuertemente plegada. El afloramiento está cubierto por vegetación y tiene afluentes de aguas negras que han producido gran meteorización sobre la roca.
(31-32)	N30E17S	-	-	-	Filita micácea - grafitosa muy meteorizada y cubierta por material suelto; presenta vetas de cuarzo paralelas a la foliación. No se pudo identificar diaclasas en este afloramiento debido a la alta meteorización.
(33-34)	N56E57S	D1: N15E70S D2: N10W51S	-	-	Filita micácea - grafitosa muy meteorizada, fuertemente plegada. Se observaron vetas de cuarzo de espesores de entre 6 cm y 13 cm, en su mayoría el cuarzo adquiere una tonalidad castaña oscura.
(35-36)	N38E45N	D1: N25W72N	-	-	Esquisto calcítico - cuarzoso. En este afloramiento se observaron diaclasas perpendiculares a la dirección de foliación.
(37-38)	N65E72S	D1: N5W76N	-	-	Se trata del mismo esquisto del punto anterior pero con diferente familia de diaclasa.
(39-40)	N28E50N	D1: N24W66N D2: N10W71N D3: N45W76N	CLT-R11-1 CLT-R12-1		En este afloramiento se encontró un esquisto calcítico y un esquisto sericitico, muy bien conservados. También se observaron diaclasas con relleno duro de cristales de calcita y cuarzo.
(41-42)	N21E33N	D1: N30W66N D2: N42W87N	CLT-R7-1	M#7 A-B	Esquisto calcítico - moscovítico con grado intermedio de meteorización, se observaron vetas de cuarzo y calcita de hasta 2 mm paralelas a los planos de foliación.
(43-44)	N59E44N	D1: N11W71N D2: N20W70N D3: N30W78N	CLT-R1-1 CLT-R1-2	M#1	En este afloramiento se encontró un esquisto calcítico - moscovítico - cuarzoso y un mármol moscovítico. Las diaclasas en este afloramiento alcanzan hasta los 17 cm de abertura.
(45-46)	N55E61N	D1: N15W84N D2: N40W81N D3: N60W89N	CLT-R2-1 CLT-R2-2	M#2	Se identificó un esquisto calcítico - moscovítico - cuarzoso y un mármol moscovítico.

Tabla 7. Descripción de los afloramientos en campo. Puntos del 29 al 46.

(47-48)	N45E43N	D1: N29W71N D2: N35W79N	CLT-R5-1 CLT-R6-1	M#5	En este afloramiento se encontraron un conjunto de litologías: esquistos calcíticos - moscovíticos, mármol moscovítico y un esquistos calcítico - grafitoso.
(49-50)	N20E28N N45E30N N34W18N	D1: N55W65N	-	-	Esquistos calcíticos - moscovíticos de color meteorizado negro y fresco gris claro, el mismo se encuentra fuertemente plegado.
(51-52)	N45W56N N10E14N	D1: N50W80N	-	-	Se trata del mismo esquistos del punto anterior.
(53-54)	N35E37N	-	-	-	Filita cuarzo - micácea - grafitosa, fuertemente plegada, presenta colores rojo y amarillo producto de la alta meteorización de la roca.

Tabla 7. Descripción de los afloramientos en campo. Puntos del 47 al 54.

4.1.2 Estudio Petrográfico

Este estudio ofrece una valiosa información relativa a los componentes minerales de las rocas, sus abundancias, formas, tamaños y relaciones espaciales, lo cual permite clasificar la roca y establecer ciertas condiciones cualitativas o semicuantitativas de formación. Las muestras para realizar las secciones delgadas analizadas bajo luz polarizada se recolectaron a lo largo de toda la zona de estudio (Ver Anexos, Mapa Geológico-Geotécnico CLT-03). Se recogieron un total de 12 muestras para realizar secciones finas, solo 10 muestras resistieron el embate de la tronzadora, de dos muestras de roca se obtuvieron dos secciones finas, sumando así un total de 12 secciones finas a las que se les realizó el estudio petrográfico. Las abreviaciones de los nombres minerales utilizadas en este estudio fueron tomadas del *IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks. Web versión 01-02-2007.*

Muestra CLT-R1-1 / Muestra CLT-R1-2

Mármol moscovítico – albitico – cuarzoso: Roca metamórfica no foliada, hipidioblástica. Las muestras presentan un alto contenido de calcita de entre 70% y 83%, en grandes cristales de color rosado pálido y una gama variable de colores, presenta textura granoblástica. Las plagioclasas son poco abundantes, corresponden a cristales de albita con inclusiones de grafito y de pequeños cristales de tremolita en sección transversal. Se observó bajo contenido de micas orientadas en una misma dirección, los cristales de clorita se encuentran atravesando a los cristales de albita o relacionados con cristales de cuarzo. Tiene minerales accesorios como la titanita y el circón, que se encuentran en su mayoría como inclusiones en los cristales de albita. El porcentaje de óxidos en la muestra es bajo, hay cristales de pirita rodeados por una matriz naranja siendo indicio de limonitización, también se encontraron cristales de goetita. En la sección CLT-R1-2, se encontró un cristal de tremolita en sección basal con forma romboidal casi perfecta atravesado por un cristal de moscovita (Ver Figura 32-a y b); la tremolita no se incluyó en el conteo ya que solo se observó un cristal en toda la muestra. También se observó epidoto, presentando un color azul en nicoles cruzados e incoloro en nicoles paralelos, en menor proporción y en cristales muy pequeños.

CLT-R1-1	
Minerales	Porcentaje en la muestra
Calcita	72.4%
Cuarzo	5.3%
Clorita	1.0%
Epidoto	0.9%
Grafito	0.8%
Moscovita	8.0%
Óxidos	4.4%
Plagioclasas	6.9%
Total	100%

CLT-R1-2	
Minerales	Porcentaje en la muestra
Calcita	82.8%
Cuarzo	4.0%
Clorita	0.8%
Epidoto	1.3%
Grafito	4.0%
Moscovita	4.0%
Óxidos	3.0%
Plagioclasas	0.3%
Total	100%

Tabla 8. Porcentaje mineral obtenido para las muestras CLT-R1-1 y CLT-R1-2.

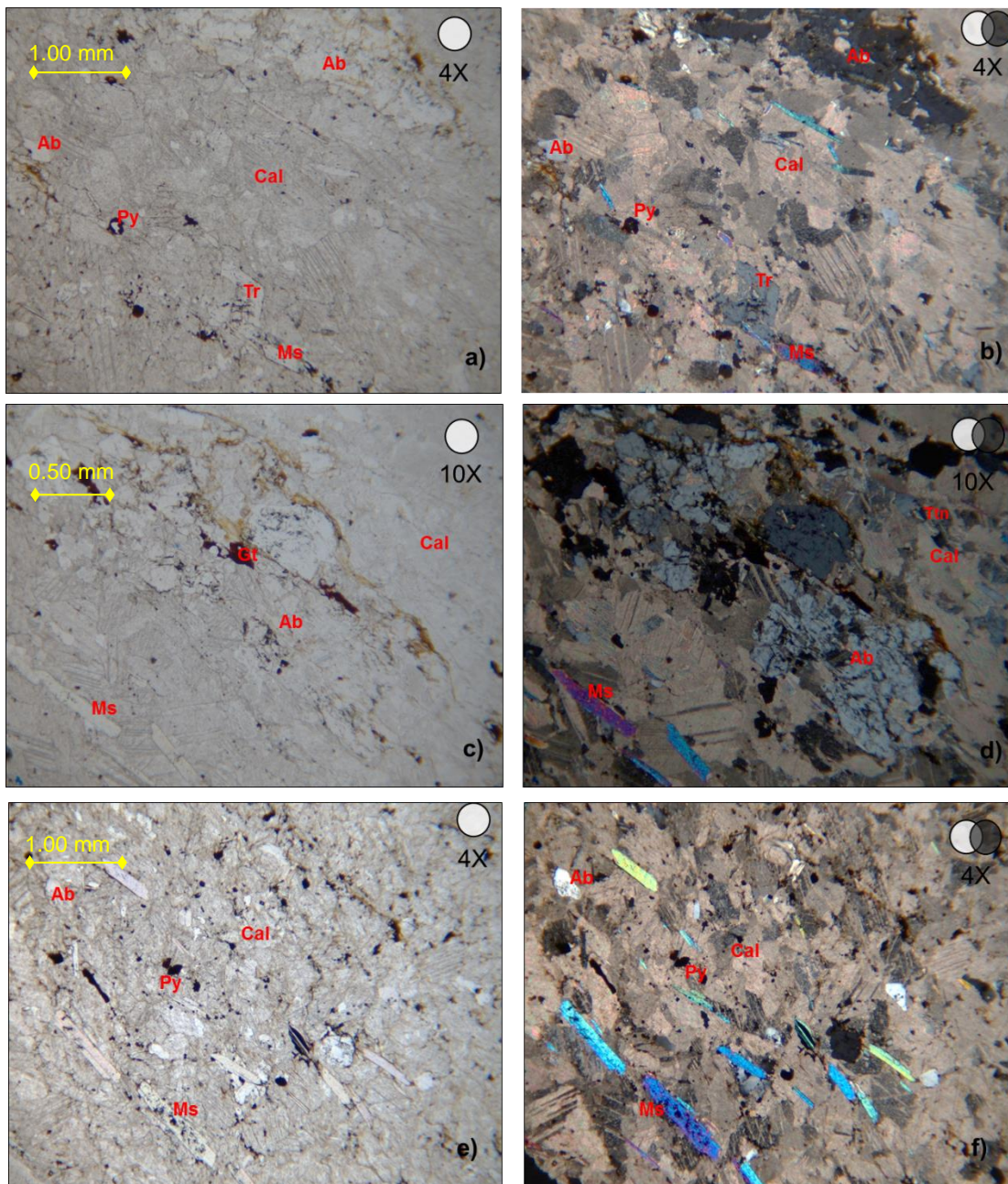


Figura 39. a) y b) Fotomicrografía de la sección CLT-R2-2, en nicoles paralelos (N//) y nicoles cruzados (NX) respectivamente, se muestra el cristal de tremolita cruzado con el cristal de moscovita. c) y d) Fotomicrofotografía de la sección CLT-R2-1, en nicoles paralelos (N//) y nicoles cruzados (NX) respectivamente, vista de cristales de albita rodeado de material marrón claro producto de la limonitización de la pirita. e) y f) Fotomicrofotografía de la sección CLT-R2-1, en nicoles paralelos (//) y nicoles cruzados (NX) respectivamente, se observa la alineación de las micas y sus colores de interferencia característicos.

Muestra CLT-R2-1 / CLT-R2-2

Mármol moscovítico – tremolítico – cuarzoso: Roca metamórfica no foliada, hipidioblástica. Los cristales de tremolita exhiben en su mayoría un corte basal, forma romboidal casi perfecta, con clivaje perfecto en dos direcciones y color de interferencia gris claro, los cristales son de gran tamaño. La calcita es el mineral más abundante, con color de interferencia rosado pálido y con textura granoblástica con presencia de algunas micas alineadas. Las muestras presentan pequeños cristales de titanita y circón incoloros en nicols paralelos y con diversos colores en nicols cruzados, de alto relieve, con formas redondeadas y angulosas; así como cristales de epidoto con color de interferencia azul. Se observó moscovita en cristales aislados dentro de la masa de cristales de calcita y alineada en una misma dirección, con colores de interferencia azul y verde; así como grandes cristales de albita con inclusiones de moscovita. Los óxidos observados en las muestras corresponden a cristales de pirita subhedrales y euhedrales.

CLT-R2-1	
Minerales	Porcentaje en la muestra
Calcita	83.8%
Cuarzo	2.0%
Clorita	1.5%
Moscovita	3.5%
Óxidos	3.0%
Plagioclasas	3.0%
Epidoto	0.3%
Tremolita	3.0%
Total	100%

CLT-R2-2	
Minerales	Porcentaje en la muestra
Calcita	89.0%
Cuarzo	1.3%
Clorita	0.5%
Moscovita	4.0%
Óxidos	2.3%
Plagioclasas	1.3%
Epidoto	0.4%
Tremolita	1.4%
Total	100%

Tabla 9. Porcentaje mineral obtenido para las muestras CLT-R2-1 y CLT-R2-2.

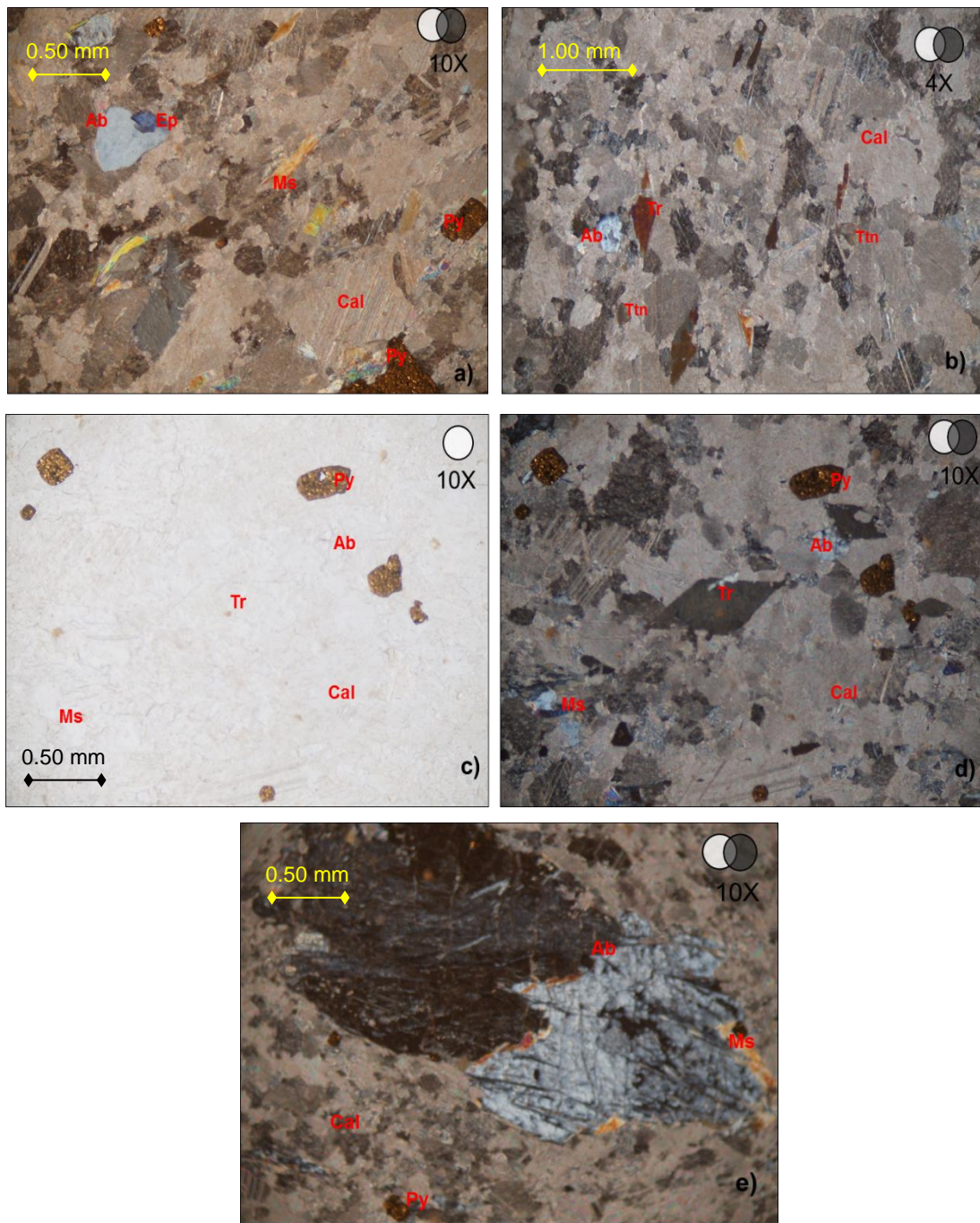


Figura 40. a) Vista (NX) de la sección CLT-R2-2, se muestran los cristales constitutivos de la sección, entre ellos en color azul y con alto relieve un cristal de epidoto y a la derecha de la imagen grandes cristales de pirita. b) Vista (NX) de la sección CLT-R2-2, se muestran cristales de tremolita en sección basal así como un cristal de titanita resaltante por su alto relieve. c) y d) Vista (NX izq.) (N// der.) Muestra CLT-R2-1, grandes cristales de pirita, los cuales son abundantes en toda la muestra y cristal de tremolita en el centro de la imagen. e) Vista (NX) de la sección CLT-R2-1, se observa un gran cristal de albita maclado, fracturado y con inclusiones de muscovita.

Muestra CLT-R5-1

Esquisto calcítico – grafitoso – cuarzoso: Roca metamórfica foliada, con textura deformada y granolepidoblastica. En esta sección se observó como el grafito y las micas se encontraban rodeando a los cristales de cuarzo, formando microlentes (Ver Figura 34), estos mismos minerales de habito laminar muestran diferentes orientaciones formando micropliegues en la muestra. La muestra tiene alto contenido de calcita. Se logró distinguir pequeños cristales de plagioclasas correspondientes a albita, en su mayoría exhibiendo dos maclas. Los óxidos encontrados en la muestra corresponden a cristales de piritita completamente euhedrales.

CLT-R5-1	
Minerales	Porcentaje en la muestra
Calcita	37.8%
Cuarzo	11.9%
Clorita	2.9%
Grafito	33.6%
Moscovita	6.9%
Óxidos	3.8%
Plagioclasas	3.3%
Total	100%

Tabla 10. Porcentaje mineral obtenido para la muestra CLT-R5-1.

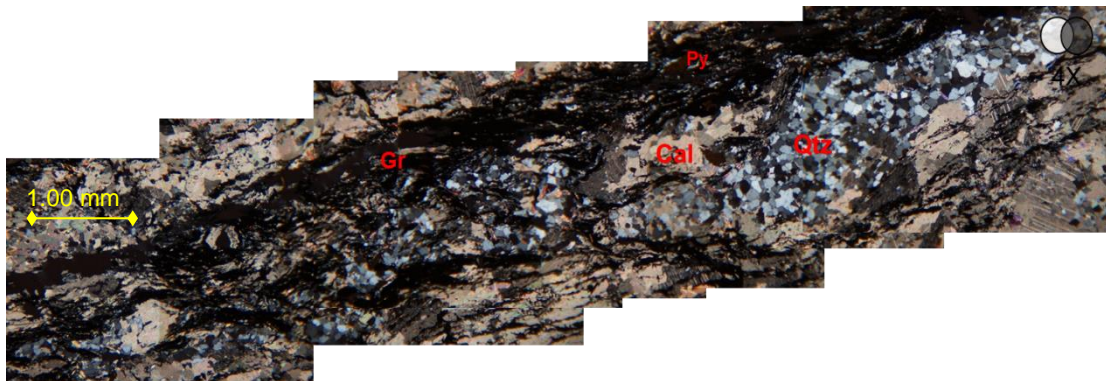


Figura 41. Secuencia de fotomicrográficas de la muestra, se observa a la derecha microlente de cuarzo rodeado por calcita y grafito.



Figura 42. A la der. Se muestra sección delgada de la muestra CLT-R5-1 y a la izq. Taco de donde se tomó la muestra; se observa en el centro, lente de cuarzo rodeado por gran cantidad de grafito.

Muestra CLT-R6-1

Esquisto calcítico – grafitoso – moscovítico: Roca metamórfica foliada, con textura deformada y granolepidoblastica. La muestra exhibe un gran micropliegue constituido por cuarzo, calcita, grafito y moscovita (Ver Figura 17). Presenta grandes cristales de pirita embebidos en el grafito. En nicoles paralelos (N//) los cristales de calcita, cuarzo y las plagioclasas se muestran incoloros, mientras que el grafito es negro en ambas condiciones.

CLT-R6-1	
Minerales	Porcentaje en la muestra
Calcita	38.5%
Cuarzo	11.3%
Clorita	2.8%
Grafito	28.8%
Moscovita	12.3%
Óxidos	4.0%
Plagioclasas	2.5%
Total	100%

Tabla 11. Porcentaje mineral obtenido para la muestra CLT-R6-1.

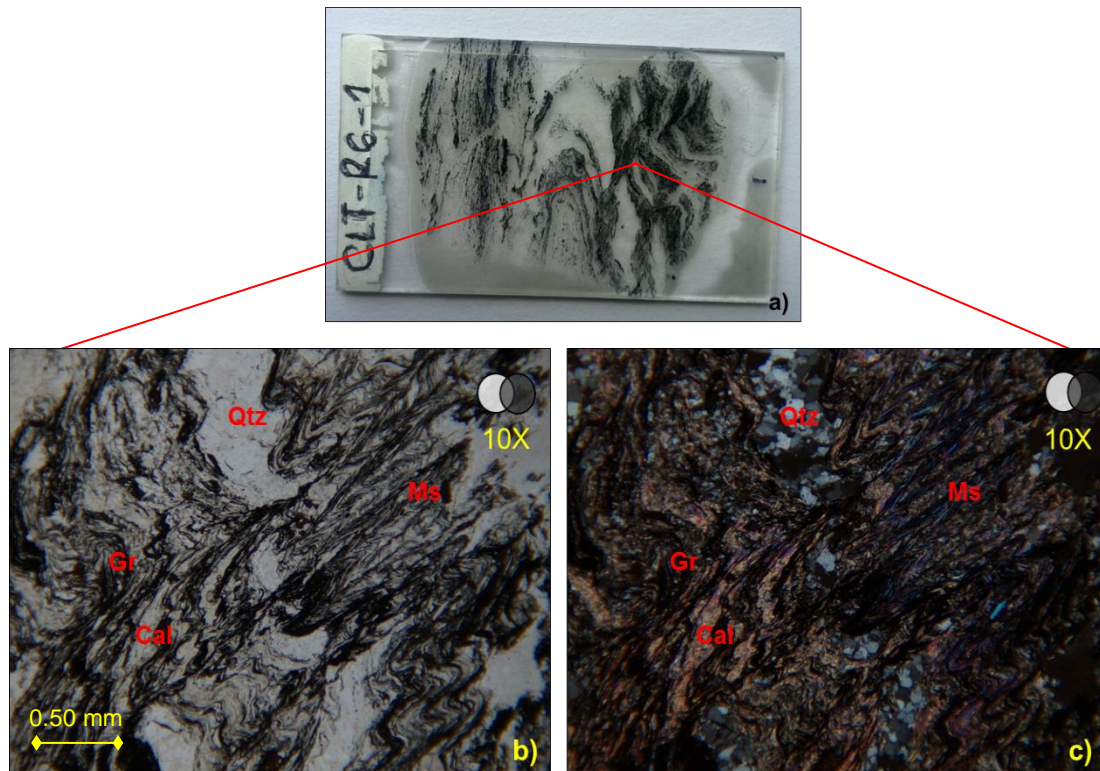


Figura 43. Se muestra sección delgada (a) con imágenes de fotomicrografías en nicols paralelos (N//) (b) y nicols cruzados (NX). c) de una sección de la muestra. Se destacan los micropliegues constituidos por calcita, grafito, cuarzo y moscovita.

Muestra CLT-R7-1

Esquisto calcítico – moscovítico – cuarzoso: Roca metamórfica foliada, hipidioblastica con textura granolepidoblastica. Aunque no son abundantes las plagioclasas, hay pequeños cristales de albita exhibiendo dos maclas. La moscovita se encuentra orientada en una misma dirección junto con el poco grafito presente en la muestra (Ver Figura 18). La muestra tiene un contenido considerable de óxidos, entre ellos cristales de pirita limonitizada de gran tamaño. Los cristales de cuarzo y albita se muestran suturados con textura nematoblastica, el cuarzo presenta extinción ondulatoria. La clorita encontrada en la muestra se encuentra alternada con moscovita, en colores verdes y grises, con estructura en peine (Ver Figura 37).

CLT-R7-1	
Minerales	Porcentaje en la muestra
Calcita	44.4%
Cuarzo	15.0%
Clorita	1.0%
Grafito	5.0%
Moscovita	25.0%
Óxidos	4.0%
Plagioclasas	5.6%
Total	100%

Tabla 12. Porcentaje mineral obtenido para la muestra CLT-R7-1.

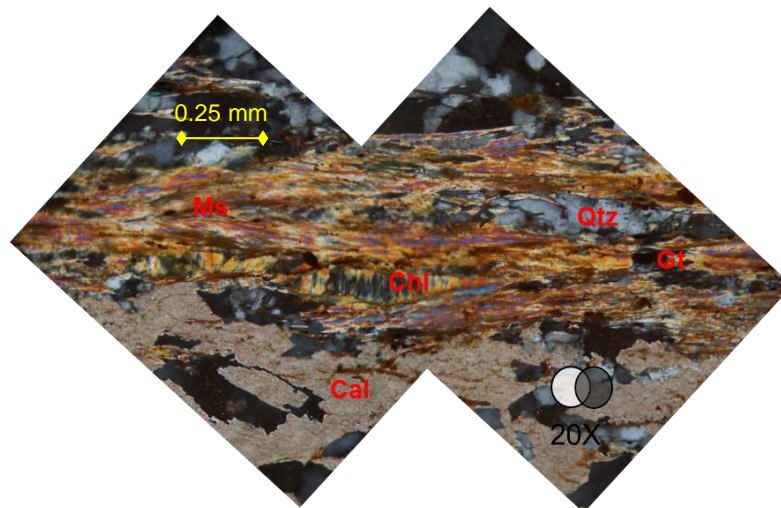


Figura 44. La muestra tiene un contenido de óxidos considerables, así como también presenta espacios vacíos que se presume pueden ser por la disolución de algunos minerales como la calcita. En el centro de la imagen se observa la clorita con estructura en peine bordeada por moscovita.

Muestra CLT-R8-1

Mármol cuarzo – moscovítico – grafitoso: Roca metamórfica no foliada con textura granoblástica. La sección muestra grandes rasgos de meteorización con espacios vacíos producto de la disolución de la calcita así como limonitización de la pirita. La calcita es el mineral más abundante en toda la muestra. Se observaron cristales aislados de moscovita y clorita. Existe contacto suturado entre los cristales de cuarzo contenidos en la muestra; las

plagioclasas que constituyen la muestra corresponden a cristales de albita sin maclas visibles. El contenido de óxidos es menor al 0.5% y corresponde con cristales de goetita.

CLT-R8-1	
Minerales	Porcentaje en la muestra
Calcita	77.5%
Cuarzo	8.8%
Clorita	1.5%
Grafito	4.5%
Moscovita	4.5%
Plagioclasas	3.3%
Total	100%

Tabla 13. Porcentaje mineral obtenido para la muestra CLT-R8-1.

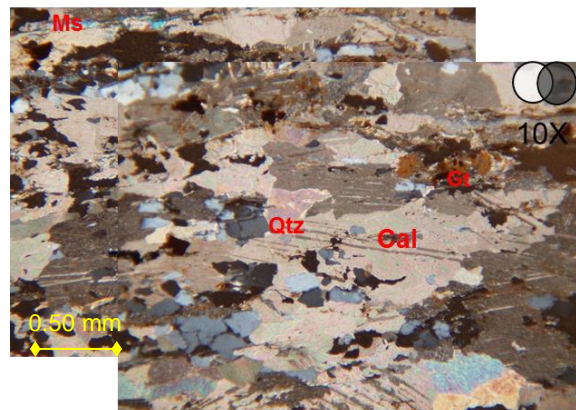


Figura 45. Se muestran los minerales constitutivos de la roca, así como los espacios vacíos de color marrón oscuro producto de la disolución de la calcita.

Muestra CLT-R9-1

Esquisto calcítico – cuarzo – moscovítico: Roca metamórfica foliada hipidioblástica con textura granolepidoblástica. La sección tiene un alto contenido de goetita y muestra una masa de color naranja característico de la limonita. La moscovita se presenta en cristales alargados con colores de interferencia azul y verde, además también se encuentra alterada a sericita, en cristales pequeños luciendo colores de alta birrefringencia (Ver Figura 6).

Los cristales de cuarzo y albita se encuentran alineados en la dirección de la foliación, producida por las micas, con contacto suturado entre ellos. Asimismo, se observan espacios vacíos en la sección que pueden estar relacionados con la disolución de la calcita (Ver Figura 39).

CLT-R9-1	
Minerales	Porcentaje en la muestra
Calcita	37.8%
Cuarzo	25.0%
Clorita	5.0%
Grafito	6.3%
Moscovita	8.8%
Óxidos	4.0%
Plagioclasas	8.8%
Sericita	4.5%
Total	100%

Tabla 14. Porcentaje mineral obtenido para la muestra CLT-R9-1.

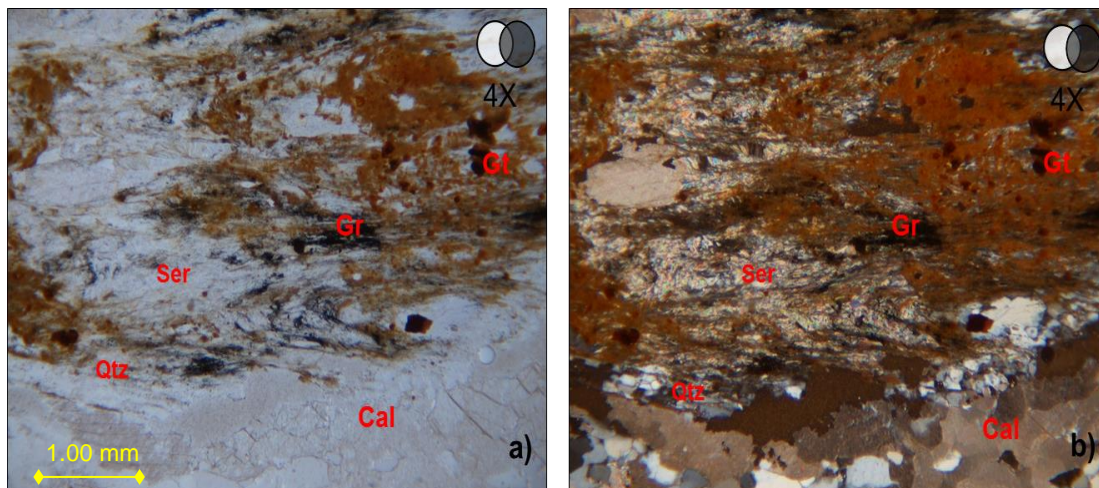


Figura 46. a) Vista en nicoles paralelos (N//), se muestra material masivo naranja característico de la limonita. b) Vista en nicoles cruzados (NX), se observan pequeños cristales de sericita con altos colores de birrefringencia.

Muestra CLT-R10-1

Mármol cuarzo - moscovítico – albitico: Roca metamórfica, con textura granoblástica. Se trata de un mármol foliado, debido a que el contenido de calcita es muy alto y en muestra de mano así como en la sección delgada aún se observa cierta dirección preferencial de foliación (Ver Figura 40). Las micas encontradas corresponden a cristales de moscovita y sericita en menor proporción. Las plagioclasas observadas, coinciden con cristales de albita que exhiben dos maclas. Los cristales de cuarzo tienen un contacto suturado y se alinean de acuerdo a la dirección de foliación. También hay gran contenido de goetita y pirita pero en menor proporción.

CLT-R10-1	
Minerales	Porcentaje en la muestra
Calcita	60.5%
Cuarzo	20.0%
Clorita	1.5%
Grafito	3.5%
Moscovita	4.3%
Óxidos	4.5%
Plagioclasas	3.8%
Sericita	2.0%
Total	100%

Tabla 15. Porcentaje mineral obtenido para la muestra CLT-R10-1.

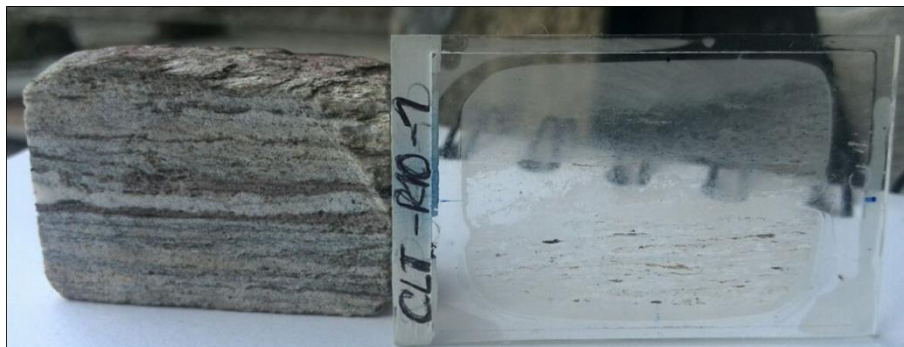


Figura 47. A la izq. taco de donde se obtuvo la sección delgada exhibiendo dirección de foliación del Mármol. A la der. Sección delgada.

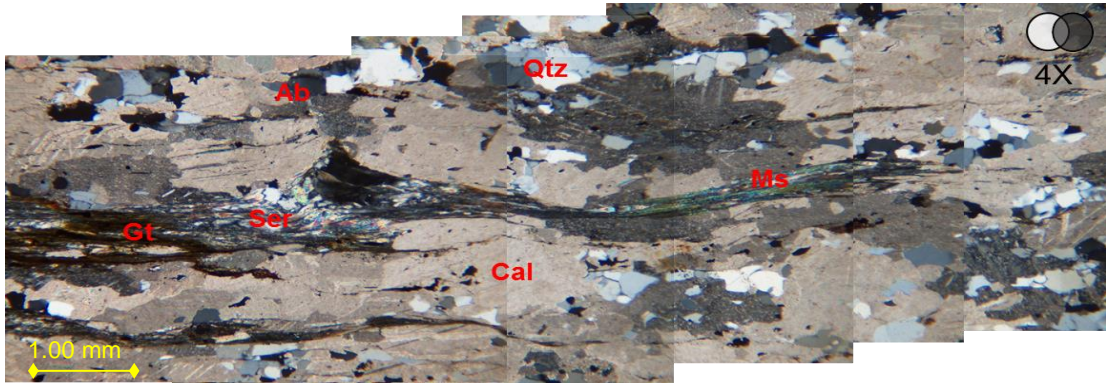


Figura 48. Secuencia de fotomicrografías de Mármol foliado, se observa alineación de las micas junto con el gran porcentaje de calcita que tiene la muestra.

Muestra CLT-R11-1

Esquisto calcítico - cuarzo – grafitoso: Roca metamórfica foliada, con textura granolepidoblastica. La muestra presenta microplegues constituidos por grafito, calcita, sericita, muscovita y cuarzo. Los cristales de moscovita presentan colores de interferencia azul y rosado, también se observaron pequeños cristales de sericita producto de la alteración de la moscovita. Presenta un alto contenido de plagioclasas, correspondiente a cristales de albita. En nicoles paralelos (N//) se observa solo una coloración rojiza perteneciente a la goetita y a la oxidación de la moscovita, el grafito se observa en N// y NX de color negro, de resto los cristales que constituyen la muestra son incoloros.

CLT-R11-1	
Minerales	Porcentaje en la muestra
Calcita	52.5%
Cuarzo	10.0%
Clorita	1.5%
Grafito	8.8%
Moscovita	7.5%
Óxidos	3.5%
Plagioclasas	8.8%
Sericita	7.5%
Total	100%

Tabla 16. Porcentaje mineral obtenido para la muestra CLT-R11-1.

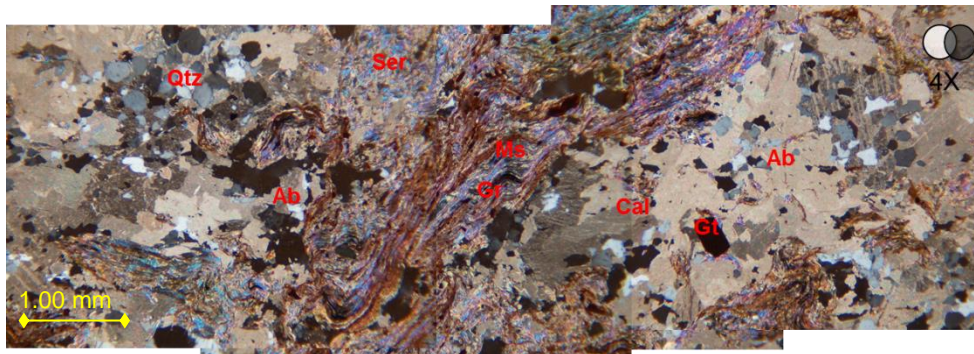


Figura 49. Secuencia de fotomicrografías, se muestra micropliegue constituido en su mayoría por calcita, moscovita y sericita, así como la coloración rojiza correspondiente a la oxidación de la moscovita.

Muestra CLT-R12-1

Esquisto sericítico - cuarzo – grafitoso: Roca metamórfica foliada, con textura granolepidoblastica. En nicols paralelos y cruzados se aprecian cristales de goetita en color rojo, así como el grafito en color negro. La muestra tiene alto contenido de calcita con textura granoblástica. El cuarzo y las micas no muestran orientación preferencial, ya que la muestra se encuentra replegada. Se observó gran porcentaje de sericita con colores de birrefringencia altos y de clorita incolora en nicols paralelos y grisácea en

nicos cruzados. Las plagioclasas observadas en la muestra corresponde con cristales de albita.

CLT-R12-1	
Minerales	Porcentaje en la muestra
Calcita	57.5%
Cuarzo	8.8%
Clorita	4.8%
Grafito	7.5%
Moscovita	4.5%
Óxidos	3.0%
Plagioclasas	4.0%
Sericita	10.0%
Total	100%

Tabla 17. Porcentaje mineral obtenido para la muestra CLT-R12-1.

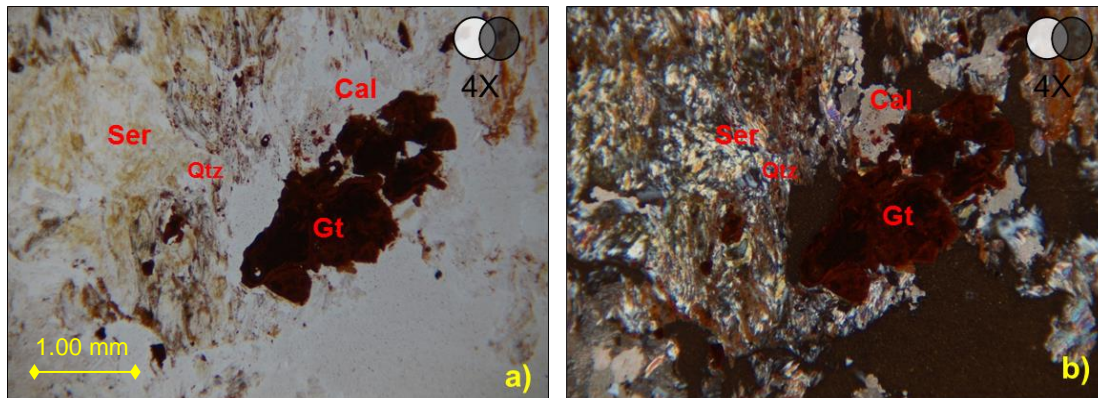


Figura 50. a) N// se observa cristal de goetita de gran tamaño y coloración rojiza. b) NX se observa el alto contenido de sericita en la muestra.

4.2 Clasificación Geomecánica

4.2.1 Clasificación del macizo rocoso según Bieniawski (1989) y corrección por Romana (1992)

La clasificación de Bieniawski o también conocida con el nombre de RMR (Rock Mass Rating), designa al macizo rocoso dentro de una categoría en base a parámetros definidos. De esta clasificación el índice obtenido es el RMR, con el que se define la calidad del macizo rocoso, en función de los siguientes parámetros:

1. Resistencia a la compresión simple de la roca: se utiliza para determinar la resistencia del material ante un esfuerzo compresivo.
2. Índice RQD: Grado de fracturación del macizo rocoso.
3. Separación entre diaclasas.
4. Estado de las discontinuidades.
 - ❖ Longitud de la discontinuidad.
 - ❖ Abertura de la discontinuidad.
 - ❖ Rugosidad.
 - ❖ Relleno de la discontinuidad.
 - ❖ Alteración de la roca.
5. Hidrología: existencia de nivel freático el cual tiene gran influencia en el comportamiento del macizo rocoso.

En la Tabla 18 Parámetros de clasificación geomecánica se muestra la puntuación que le da la clasificación Bieniawski (1989) a cada parámetro anteriormente descrito. La suma de la puntuación dada a cada parámetro permite obtener un valor RMR entre 0 y 100, este valor se ubicará en la Tabla 19 Clasificación del macizo rocoso en función del RMR.

1	Compresión simple (Mpa)	>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 de diaclasas	>2m	60cm-2m	20-60cm	6-20cm	<6cm		
	Puntuación	20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m	
		Puntuación	6	4	2	1	0	
		Abertura	Nada	<0.1mm	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	
5	Hidrología	seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0	

Tabla 18. Parámetros de Clasificación Geomecánica (BIENIAWSKI, 1989).

CLASE	CALIDAD	VALORACION RMR	COHESION (Kg/cm ²)	ANGULO DE ROZAMIENTO (°)
I	MUY BUENA	100 - 81	4	>45
II	BUENA	80 - 61	3 - 4	35 - 45
III	MEDIA	60 - 41	2 - 3	25 - 35
IV	MALA	40 - 21	1 - 2	15 - 25
V	MUY MALA	<20	< 1	< 15

Tabla 19. Clasificación del macizo rocoso en función del RMR.

La corrección hecha por Romana Ruíz en 1992, adapta el índice RMR de la clasificación de Bieniawski (1989) a taludes. Con esta clasificación se obtiene un índice SMR (Slope Mass Rating), el cual se deriva del índice RMR básico, más la suma del producto de tres subfactores (F_1 , F_2 y F_3) conocidos como el factor de ajuste y un factor de excavación (F_4). El resultado del índice SMR se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$SMR = RMR_{BÁSICO} + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

Donde F_1 depende del ángulo existente entre la dirección de rumbo del talud y el rumbo de las discontinuidades. Se obtiene de la siguiente ecuación:

$$F_1 = (1 - \text{sen}(\alpha_d - \alpha_t))^2$$

Siendo α_d el rumbo de las discontinuidades y α_t el rumbo de la cara del talud.

El factor F_2 depende directamente del buzamiento de las discontinuidades cuando existe rotura plana. Se obtiene de la siguiente ecuación:

$$F_2 = \tan^2(\beta_d)$$

Y el factor F_3 representa la relación entre los buzamientos de las discontinuidades y las del talud. En la Tabla 20 Factores de ajuste, se aprecian los casos según como es el comportamiento del talud, tanto si existe rotura plana (P) y rotura por vuelco (T), además también se observa el valor asignado directamente para el factor F_4 que depende del tipo de talud. Por último en la Tabla 22 Clases de estabilidad según índice SMR, se presenta la descripción, la estabilidad y el tipo de tratamiento para cada talud según sea su índice SMR.

FACTOR DE AJUSTE POR LA ORIENTACIÓN DE LAS JUNTAS (F_1, F_2 Y F_3)						
CASO		MUY FAVORABLE	FAVORABLE	NORMAL	DEFAVORABLE	MUY DEFAVORABLE
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180° $					
P/T	F_1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
P	$ \beta_j $	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
	F_2	0,15	0,4	0,7	0,85	1
T	F_2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< -10°
T	$\beta_j + \beta_s$	< 110°	110° - 120°	> 120°	-----	-----
P/T	F_3	0	-6	-25	-50	-60

Tabla 20. Factores de ajuste según las orientaciones de las discontinuidades. (Extraído y modificado de Romana 1992)

FACTOR DE AJUSTE POR EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN (F_4)					
MÉTODO	TALUD NATURAL	PRECORTE	VOLADURA SUAVE	VOLADURA O EXCAVACIÓN MECÁNICA	VOLADURA DEFICIENTE
F_4	+15	+10	+8	0	-8

Tabla 21. Factores de ajuste según el método de excavación. (Extraído y modificado de Romana 1992)

CLASES DE ESTABILIDAD					
CASO	V	IV	III	II	I
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Buena	Muy buena
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Tabla 22. Clases de estabilidad según índice SMR. (Extraído y modificado de Romana 1992)

Con base sobre estas clasificaciones y con los datos recopilados en campo se generaron las Tablas 23 hasta la 53, en las mismas se muestra la clasificación del macizo rocoso en cada punto en donde se realizaron levantamientos geológicos. Los valores obtenidos permitieron generar el Grafico 6 Clase de macizo rocoso en función del índice RMR; este señala que el 90,3% de la roca pertenece a la Clase III que de acuerdo con la Tabla 19 es de calidad Media, tiene una cohesión de 2 – 3 Kg/cm² y ángulo de rozamiento de 25°- 35°, un 9,7% pertenece a la Clase IV que según la Tabla 19 es de calidad Mala, tiene cohesión de 1 – 2 Kg/cm² y ángulo de rozamiento de 15° - 25.

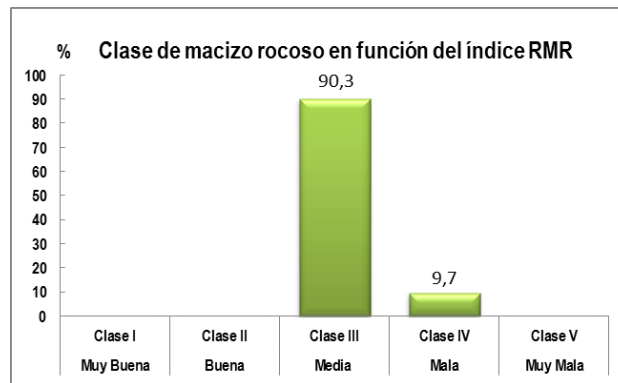


Gráfico 6. Porcentaje de calidad del macizo rocoso en función del índice RMR

Con la corrección hecha por Romana (1992) a la clasificación de Bieniawski y enfocada a estabilidad de taludes, se obtuvo que el 64,5% de la roca observada en cada uno de los puntos de levantamiento geológico pertenece a la Clase Normal, la cual otorga al talud la categoría de parcialmente estable, donde se requerirá un tratamiento sistemático, tendiendo a sufrir roturas locales producidas por las discontinuidades y con probabilidad de sufrir fallas en cuñas. El 35,5% de las rocas pertenece a la Clase II, la cual considera a la roca y la estabilidad como Buena, el tratamiento requerido para la estabilidad del talud es ocasional y las roturas tenderán a ser producidas por las discontinuidades, en forma de bloques.

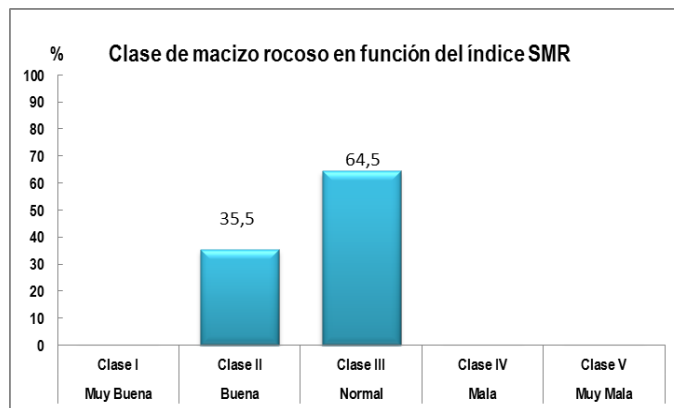


Gráfico 7. Porcentaje de calidad del macizo rocoso en función del índice SMR

En la Figura.64 Mapa Geológico-Geotécnico se muestra la ubicación de los puntos donde se realizó la recolección de los datos geológicos. A continuación se presentan las tablas generadas a partir de estos datos geológicos:

Punto 1 - 2.

Parámetros	D ₁	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-1 Mpa	1
RQD	<25%	3
Separación de diaclasas:	15cm	8
Longitud de la discontinuidad:	1,3m	4
Abertura (mm):	<0,1 mm	5
Rugosidad:	Rugosa	5
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	15
Total (RMR)		48

Tabla 23-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 1 - 2.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 23-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 1- 2.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
59	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 23-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 1- 2.

Punto 3 - 4.

Parámetros	D ₁	D ₂	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-1Mpa		1
RQD	<25%		3
Separación de diaclasas:	15cm	42cm	10
Longitud de la discontinuidad:	0,8m	1,4m	4
Abertura (mm):	<0,1 mm	<0,1 mm	5
Rugosidad:	Rugosa	Rugosa	5
Relleno	Ninguno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	Seco	15
Total (RMR)			50

Tabla 24-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 3 - 4.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 24-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 3 - 4.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
62	Buena	Buena	Algunos bloques	Ocasional

Tabla 24-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 3- 4.**Punto 4 - 5.**

Parámetros	D ₁	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-1Mpa	1
RQD	<25%	3
Separación de diaclasas:	11 cm	8
Longitud de la discontinuidad:	1,6m	4
Abertura (mm):	<0,1 mm	5
Rugosidad:	Rugosa	5
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Ligeramente alterada	5
Hidrología	Seco	15
Total (RMR)		52

Tabla 25-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 4 -5

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 25-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 4 - 5.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
64	Buena	Buena	Algunos bloques	Ocasional

Tabla 25-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 4-5.

Punto 6 - 7.

Parámetros	D ₁	D ₂	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-1 Mpa		1
RQD	< 25%		3
Separación de diaclasas:	15cm	14cm	8
Longitud de la discontinuidad:	1m	1,6m	4
Abertura (mm):	0,1 mm	0,1 mm	6
Rugosidad:	Muy Rugosa	Muy Rugosa	6
Relleno	Ninguno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	Seco	15
Total (RMR)			50

Tabla 26-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 6 -7.

Nota: Ver resultado de compresión simple M#8 Apéndice 1.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 26-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 6 - 7.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
61	Buena	Buena	Algunos bloques	Ocasional

Tabla 26-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 6-7.

Punto 9 -10.

Parámetros	D ₁	D ₂	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	25-5Mpa		2
RQD	<25%		3
Separación de diaclasas:	13cm	23cm	10
Longitud de la discontinuidad:	2,45m	1m	4
Abertura (mm):	1-5mm	1-5mm	1
Rugosidad:	Rugosa	Rugosa	5
Relleno	Relleno duro >5mm	Relleno duro >5mm	2
Alteración	Ligeramente alterada	Ligeramente alterada	5
Hidrología	Seco	Seco	15
Total (RMR)			47

*Tabla 27-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 9 -10.**Nota: Ver resultado de compresión simple M#9 Apéndice 1.*

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 27-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 9 -10.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
58	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

*Tabla 27-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 9-10.***Punto 10 -11.**

Parámetros	D ₁	D ₂	Puntuación
Resistencia a la compresión	25-5Mpa		2
RQD	<25%		3
Separación de diaclasas:	60cm	11cm	10
Longitud de la discontinuidad:	1,20m	0,53m	4
Abertura (mm):	5mm	5mm	1
Rugosidad:	Ligeramente Rugosa	Ligeramente Rugosa	3
Relleno	Relleno duro <5mm	Relleno duro <5mm	4
Alteración	Ligeramente alterada	Ligeramente alterada	5
Hidrología	Seco	Seco	15
T total (RMR)			47

*Tabla 28-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 10 -11.**Nota: Ver resultado de compresión simple M#10 Apéndice 1.*

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 28-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 10-11.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
59	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 28-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 10-11.

Punto 12 -13.

Parámetros	D ₁	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-1Mpa	1
RQD	<25%	3
Separación de diaclasas:	12 cm	8
Longitud de la discontinuidad:	1,70m	4
Abertura (mm):	Nada	6
Rugosidad:	Rugosa	5
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	15
Total (RMR)		49

Tabla 29-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 12 -13.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 29-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 12 -13.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
59	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 29-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 12-13.

Punto 13 - 14.

Parámetros	D ₁	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-1Mpa	1
RQD	<25%	3
Separación de diaclasas:	23cm	10
Longitud de la discontinuidad:	1m	4
Abertura (mm):	Nada	6
Rugosidad:	Rugosa	5
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	15
Total (RMR)		51

Tabla 30-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 13 -14.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm2)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 30-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 13 -14.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
61	Buena	Buena	Algunos bloques	Ocasional

Tabla 30-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 13-14.

Punto 14 -15.

Parámetros	D ₁	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-1Mpa	1
RQD	<25%	3
Separación de diaclasas:	23cm	10
Longitud de la discontinuidad:	1m	4
Abertura (mm):	Nada	6
Rugosidad:	Rugosa	5
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	15
Total (RMR)		51

Tabla 31-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 14-15.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 31-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 14-15.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
62	Buena	Buena	Algunos bloques	Ocasional

Tabla 31-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 14-15.

Punto 15 -16.

Parámetros	D ₁	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-1Mpa	1
RQD	<25%	3
Separación de diaclasas:	12cm	8
Longitud de la discontinuidad:	1m	4
Abertura (mm):	Nada	6
Rugosidad:	Rugosa	5
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	15
Total (RMR)		49

Tabla 32-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 15 -16.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 32-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 15 -16.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
59	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 32-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 15-16.

Punto 16 -17.

Parámetros	D ₁	Puntuación
Resistencia a la compresión	5-1Mpa	1
RQD	<25%	3
Separación de diaclasas:	17cm	8
Longitud de la discontinuidad:	1m	4
Abertura (mm):	Nada	6
Rugosidad:	Rugosa	5
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	15
Total (RMR)		49

Tabla 33-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 16-17.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 33-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 16-17.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
59	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 33-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 16-17.**Punto 18-19:**

Parámetros	D ₁	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-1Mpa	1
RQD	<25%	3
Separación de diaclasas:	13cm	8
Longitud de la discontinuidad:	1m	4
Abertura (mm):	Nada	6
Rugosidad:	Rugosa	5
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	15
Total (RMR)		49

Tabla 34-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 18-19.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 34-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 18-19.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
60	Buena	Buena	Algunos bloques	Ocasional

Tabla 34-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 18-19.

Punto 19-20:

Parámetros	D ₁	Puntuación
Resistencia a la compresión	5-1Mpa	1
RQD	<25%	3
Separación de diaclasas:	20cm	8
Longitud de la discontinuidad:	1m	4
Abertura (mm):	Nada	6
Rugosidad:	Rugosa	5
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	15
Total (RMR)		49

Tabla 35-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 19-20.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 35-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 19-20.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
59	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 35-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 19-20.

Punto 20-21:

Parámetros	D ₁	D ₂	D ₃	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-1Mpa			1
RQD	<25%			3
Separación de diaclasas:	28cm	20cm	38cm	10
Longitud de la discontinuidad:	1m	0,80m	0,55m	6
Abertura (mm):	0,1mm	0,1mm	0,1mm	5
Rugosidad:	Rugosa	Rugosa	Rugosa	5
Relleno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	Muy alterada	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	Seco	Seco	15
Total (RMR)				52

Tabla 36-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 20-21.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 36-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 20-21.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
62	Buena	Buena	Algunos bloques	Ocasional

Tabla 36-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 20-21.**Punto 21-22:**

Parámetros	D ₁	D ₂	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-1Mpa		1
RQD	<25%		3
Separación de diaclasas:	40cm	82cm	10
Longitud de la discontinuidad:	1m	2,24m	4
Abertura (mm):	0,1mm	0,1mm	6
Rugosidad:	Rugosa	Rugosa	5
Relleno	Ninguno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	Seco	15
Total (RMR)			51

Tabla 37-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 21-22.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 37-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 21-22.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
61	Buena	Buena	Algunos bloques	Ocasional

Tabla 37-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 20-21.

Punto 22-23:

Parámetros	D ₁	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-1Mpa	1
RQD	<25%	3
Separación de diaclasas:	15cm	8
Longitud de la discontinuidad:	1m	4
Abertura (mm):	3mm	1
Rugosidad:	Muy Rugosa	6
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	15
Total (RMR)		45

Tabla 38-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 22-23.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	3-4	25-35

Tabla 38-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 22-23.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
55	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 38-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 22-23.

Punto 23-24:

Parámetros	D ₁	D ₂	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-1Mpa		1
RQD	<25%		3
Separación de diaclasas:	20,5cm	12cm	8
Longitud de la discontinuidad:	0,80m	1m	6
Abertura (mm):	0,1mm	0,1mm	1
Rugosidad:	Rugosa	Rugosa	6
Relleno	Ninguno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	Seco	15
Total (RMR)			47

Tabla 39-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 23-24.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 39-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 23-24.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
57	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 39-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 23-24.**Punto 24-25:**

Parámetros	D ₁	D ₂	Puntuación
Resistencia a la compresión	5-1Mpa		1
RQD	<25%		3
Separación de diaclasas:	44cm	26cm	10
Longitud de la discontinuidad:	1m	1m	6
Abertura (mm):	0,1mm	0,1mm	1
Rugosidad:	Rugosa	Rugosa	6
Relleno	Ninguno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	Seco	15
Total (RMR)			49

Tabla 40-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 24-25.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 40-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 24-25.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
60	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 40-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 24-25.

Punto 25-26:

Parámetros	D ₁	D ₂	D ₃	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-1Mpa			1
RQD	<25%			3
Separación de diaclasas:	17cm	4cm	20cm	8
Longitud de la discontinuidad:	1m	1m	1m	4
Abertura (mm):	Nada	Nada	Nada	6
Rugosidad:	Rugosa	Rugosa	Rugosa	5
Relleno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	Muy alterada	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	Seco	Seco	15
Total (RMR)				49

Tabla 41-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 25-26.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 41-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 25-26.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
59	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 41-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 25-26.

Punto 27-28:

Parámetros	D ₁	D ₂	D ₃	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-1Mpa			1
RQD	<25%			3
Separación de diaclasas:	11cm	6cm	15cm	8
Longitud de la discontinuidad:	2,65m	1m	1,5m	4
Abertura (mm):	>5mm	>5mm	>5mm	0
Rugosidad:	Rugosa	Rugosa	Rugosa	5
Relleno	Relleno duro >5mm	Relleno duro >5mm	Relleno duro >5mm	2
Alteración	Muy alterada	Muy alterada	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	Seco	Seco	15
Total (RMR)				39

Tabla 42-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 27-28.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
II	Mala	40-21	1-2	15-25

Tabla 42-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 27-28.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
50	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 42-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 27-28.**Punto 29-30:**

Parámetros	D ₁	D ₂	D ₃	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-1Mpa			1
RQD	<25%			3
Separación de diaclasas:	24cm	36cm	15cm	10
Longitud de la discontinuidad:	1m	1.90m	0,8m	4
Abertura (mm):	>5mm	>5mm	>5mm	0
Rugosidad:	Rugosa	Rugosa	Rugosa	5
Relleno	Relleno duro >5mm	Relleno duro >5mm	Relleno duro >5mm	2
Alteración	Muy alterada	Muy alterada	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	Seco	Seco	15
Total (RMR)				41

Tabla 43-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 29 -30.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 43-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 29 -30.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
51	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 43-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 29-30.

Punto 33-34:

Parámetros	D ₁	D ₂	Puntuación
Resistencia a la compresión	5-1Mpa		1
RQD	<25%		3
Separación de diaclasas:	52cm	150cm	15
Longitud de la discontinuidad:	1,50m	3,87m	4
Abertura (mm):	>5mm	>5mm	0
Rugosidad:	Rugosa	Rugosa	5
Relleno	Relleno duro >5mm	Relleno duro >5mm	2
Alteración	Muy alterada	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	Seco	15
Total (RMR)			46

Tabla 44-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 33-34.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 44-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 33-34.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
56	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 44-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 33-34.

Punto 35-36:

Parámetros	D ₁	Puntuación
Resistencia a la compresión	5-1Mpa	1
RQD	<25%	3
Separación de diaclasas:	10cm	8
Longitud de la discontinuidad:	1,3m	4
Abertura (mm):	>5mm	0
Rugosidad:	Ligeramente Rugosa	3
Relleno	Relleno duro >5mm	2
Alteración	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	15
Total (RMR)		37

Tabla 45-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 35-36.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
II	Mala	40-21	1-2	15-25

Tabla 45-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 35-36.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
47	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 45-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 35-36.**Punto 37-38:**

Parámetros	D ₁	Puntuación
Resistencia a la compresión	5-1Mpa	1
RQD	<25%	3
Separación de diaclasas:	56cm	10
Longitud de la discontinuidad:	1m	2
Abertura (mm):	1-5mm	1
Rugosidad:	Rugosa	5
Relleno	Relleno duro >5mm	2
Alteración	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	15
Total (RMR)		40

Tabla 46-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 37-38.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
II	Mala	40-21	1-2	15-25

Tabla 46-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 37-38.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
51	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 46-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 37-38.

Punto 39-40:

Parámetros	D ₁	D ₂	D ₃	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-25 Mpa			1
RQD	<25%			3
Separación de diaclasas:	52cm	135cm	114cm	15
Longitud de la discontinuidad:	1m	0,80m	0,55m	4
Abertura (mm):	>5mm	>5mm	>5mm	0
Rugosidad:	Rugosa	Rugosa	Rugosa	5
Relleno	Relleno duro >5mm	Relleno duro >5mm	Relleno duro >5mm	2
Alteración	Moderadamente alterada	Moderadamente alterada	Moderadamente alterada	5
Hidrología	Seco	Seco	Seco	15
Total (RMR)				50

Tabla 47-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 39-40.

Nota: Ver resultado de compresión simple M#7A apéndice 2.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 47-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 39-40.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
60	Buena	Buena	Algunos bloques	Ocasional

Tabla 47-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 39-40.

Punto 41-42.

Parámetros	D ₁	D ₂	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	25-5 Mpa		2
RQD	<25%		3
Separación de diaclasas:	24cm	38cm	10
Longitud de la discontinuidad:	1m	1,2m	4
Abertura (mm):	0.1-1.0mm	0.1-1.0mm	3
Rugosidad:	Rugosa	Rugosa	5
Relleno	Relleno duro >5mm	Relleno duro >5mm	2
Alteración	Ligeramente alterada	Ligeramente alterada	5
Hidrología	Seco	Seco	15
Total (RMR)			49

Tabla 48-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 41-42.

Nota: Ver resultado de compresión simple M#7B apéndice 2.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 48-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 41-42.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
59	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 48-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 41-42.**Punto 43-44.**

Parámetros	D ₁	D ₂	D ₃	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	50-25 Mpa			4
RQD	<25%			3
Separación de diaclasas:	107cm	46cm	354cm	15
Longitud de la discontinuidad:	1,5m	2,2m	1,8m	4
Abertura (mm):	0.1-1.0mm	0.1-1.0mm	>5mm	3
Rugosidad:	Rugosa	Rugosa	Rugosa	5
Relleno	Relleno duro >5mm	Relleno duro >5mm	Relleno duro >5mm	2
Alteración	Moderadamente alterada	Moderadamente alterada	Moderadamente alterada	3
Hidrología	Seco	Seco	Seco	15
Total (RMR)				54

Tabla 49-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 43-44.

Nota: Ver resultado de compresión simple M#1 Apéndice 1.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 49-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 43-44.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
64	Buena	Buena	Algunos bloques	Ocasional

Tabla 49-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 43-44.

Punto 45-46.

Parámetros	D ₁	D ₂	D ₃	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	50-25 Mpa			4
RQD	<25%			3
Separación de diaclasas:	105cm	54cm	218cm	15
Longitud de la discontinuidad:	1,3m	2,5m	1,8cm	4
Abertura (mm):	0.1-1.0mm	0.1-1.0mm	0.1-1.0mm	3
Rugosidad:	Rugosa	Rugosa	Rugosa	5
Relleno	Relleno duro >5mm	Relleno duro >5mm	Relleno duro >5mm	2
Alteración	Ligeramente alterada	Ligeramente alterada	Ligeramente alterada	5
Hidrología	Seco	Seco	Seco	15
Total (RMR)				56

Tabla 50-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 45-46.

Nota: Ver resultado de compresión simple M#2 Apéndice 1.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 50-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 45-46.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
66	Buena	Buena	Algunos bloques	Ocasional

Tabla 50-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 45-46.

Punto 47-48.

Parámetros	D ₁	D ₂	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	25-5 Mpa		2
RQD	<25%		3
Separación de diaclasas:	52cm	51cm	15
Longitud de la discontinuidad:	1,80m	4,10m	4
Abertura (mm):	>5mm	>5mm	0
Rugosidad:	Rugosa	Rugosa	5
Relleno	Relleno duro >5mm	Relleno duro >5mm	2
Alteración	Moderadamente alterada	Moderadamente alterada	3
Hidrología	Seco	Seco	15
Total (RMR)			49

Tabla 51-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 47-48.

Nota: Ver resultado de compresión simple M#5 apéndice 2.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 51-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 47-48.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
59	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 51-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 47-48.

Punto 49-50.

Parámetros	D ₁	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	5-1 Mpa	1
RQD	<25%	3
Separación de diaclasas:	66cm	15
Longitud de la discontinuidad:	7m	2
Abertura (mm):	>5mm	0
Rugosidad:	Rugosa	5
Relleno	Relleno duro >5mm	2
Alteración	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	15
Total (RMR)		44

Tabla 52-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 49-50.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 52-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 49-50.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
54	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Tabla 52-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 49-50.

Punto 51-52.

Parámetros	D ₁	Puntuación
Resistencia a la compresión simple	25-5 Mpa	2
RQD	<25%	3
Separación de diaclasas:	24m	20
Longitud de la discontinuidad:	3m	4
Abertura (mm):	>5mm	0
Rugosidad:	Rugosa	5
Relleno	Relleno duro >5mm	2
Alteración	Muy alterada	1
Hidrología	Seco	15
Total (RMR)		52

Tabla 53-a. Clasificación de Bieniawski. Punto 51-52.

Nota: La compresión simple se toma por asociación con puntos cercanos y ensayo realizado al mismo tipo de roca.

Clase	Calidad	Valoración	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
III	Media	60-41	2-3	25-35

Tabla 53-b. Clase de macizo rocoso en función del índice RMR. Punto 51-52.

Corrección Romana (1992) para taludes				
SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
62	Buena	Buena	Algunos bloques	Ocasional

Tabla 53-c. Corrección de clase de macizo rocoso en función del índice SMR. Punto 51-52.

4.3 Análisis de estabilidad de taludes

4.3.1 Análisis de estabilidad por discontinuidades

La disposición espacial de los planos de discontinuidad como las diaclasas y las foliaciones permiten determinar el comportamiento cinemático de los taludes naturales, es decir, que dependiendo de la orientación que estas tengan con respecto al talud se pueden generar diversos tipos de fallas o movimientos en masa. En el Grafico 8 se muestra la agrupación porcentual del resultado de las proyecciones estereográficas según el tipo de condición cinemática. Se tiene que 39% de los taludes estudiados son estables con poca probabilidad de ocurrencia de fallas globales, solo el 5% pueden sufrir falla plana, el 45% constituye posibles fallas en cuña que se producen por la intersección de uno o varios planos de diaclasas y la foliación formando una cuña, puede manifestarse en un movimiento desfavorable sobre el talud permitiendo que este ceda. En los puntos 5-6, 7-8, 17-18 y 22-23, donde no se pudieron medir planos de orientación de las discontinuidades y en algunos casos tampoco planos de talud, la roca se observa muy meteorizada, debido a estas características hay tendencia de que en estos puntos ocurra un deslizamiento (Ver Tabla 7).

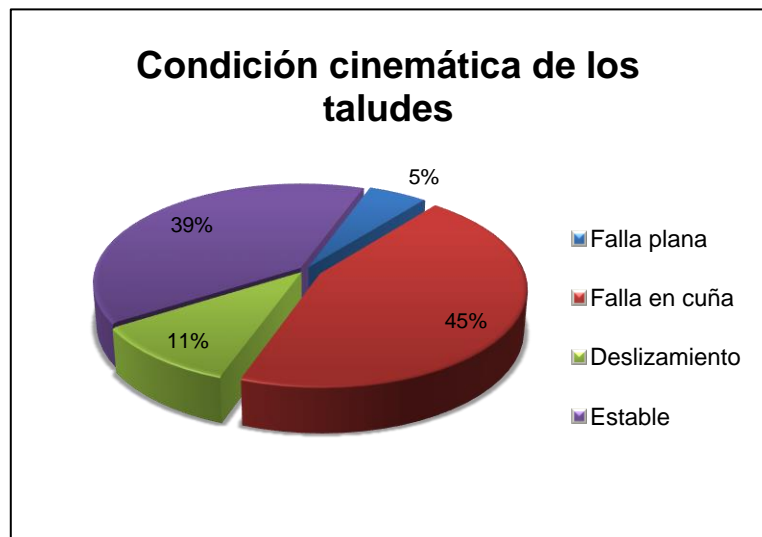


Grafico 8. Comparación porcentual de la condición cinemática de los taludes.

En la siguiente tabla se muestra la secuencia de datos adquiridos producto del levantamiento geológico en campo, mostrando sus respectivas discontinuidades, orientación y buzamiento del talud natural junto con las proyecciones estereográficas de estos datos y se analiza en base a estas orientaciones la estabilidad del talud.

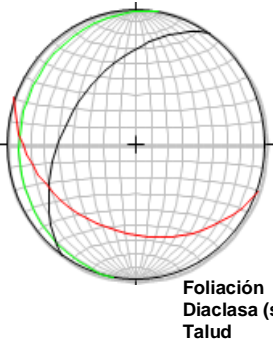
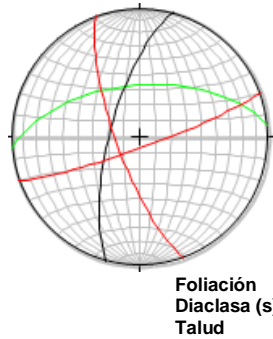
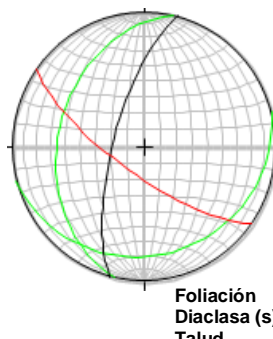
Punto	Discontinuidades		Estereografías	Observación
	Discontinuidad	Orientación		
(1-2)	Foliación 1 (F1)	N10E11N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Estable. Poca probabilidad de fallas globales
	Diaclasa 1 (D1)	N70W35S		
	Diaclasa 2 (D2)			
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N35E45N		
(3-4)	Foliación 1 (F1)	N85E57N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Estable. Poca probabilidad de fallas globales
	Diaclasa 1 (D1)	N70E83S		
	Diaclasa 2 (D2)	N20W75S		
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N15E71N		
(4-5)	Foliación 1 (F1)	N13E35N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Fallas locales en cuña por F1 - D1 y F1 - F2. Posible falla plana por F1.
	Foliación 2 (F2)	N75E20S		
	Diaclasa 1 (D1)	N55W73S		
	Diaclasa 2 (D2)			
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N15E71N		

Tabla 54. Representación espacial de discontinuidades y plano de taludes naturales. Secuencia de puntos de levantamiento 1-5.

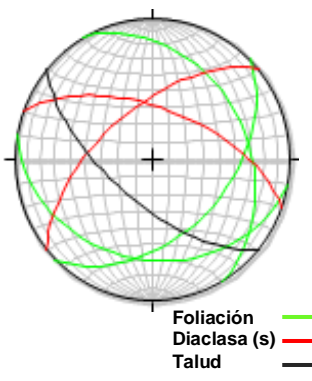
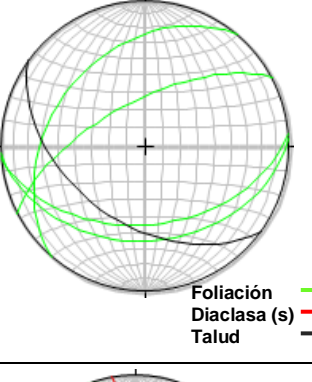
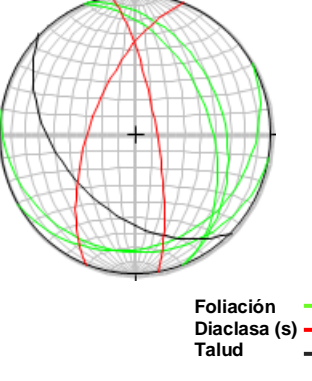
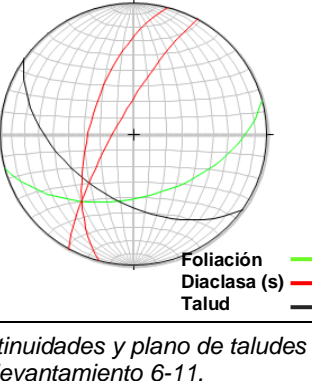
(6-7)	Foliación 1 (F1)	N45E45S	 <p>Foliación ——— Diaclassa (s) ——— Talud ———</p>	Fallas locales en cuña por F1-F3 y D2 - F3.
	Foliación 2 (F2)	N30W32N		
	Foliación 3 (F3)	N80W30S		
	Diaclassa1 (D1)	N70W60N		
	Diaclassa 2 (D2)	N50E60N		
	Diaclassa 3 (D3)			
Talud	N50W65S			
(8-9)	Foliación 1 (F1)	N40E35N	 <p>Foliación ——— Diaclassa (s) ——— Talud ———</p>	Fallas locales tipo cuña producidas por F1-F2, F2-F3, F1-F4 y F3-F4.
	Foliación 2 (F2)	N87E35S		
	Foliación 3 (F3)	N62E65N		
	Foliación 4 (F4)	N85E45S		
	Diaclassa1 (D1)			
	Talud	N54W46S		
(9-10)	Foliación 1 (F1)	N20W35N	 <p>Foliación ——— Diaclassa (s) ——— Talud ———</p>	Fallas locales tipo cuña producidas por F2-D1, F2-D2, F4-D1 y F4-D2.
	Foliación 2 (F2)	N80W17S		
	Foliación 3 (F3)	N22W44N		
	Foliación 4 (F4)	N60E21S		
	Diaclassa1 (D1)	N10W77N		
	Diaclassa 2 (D2)	N21E63N		
	Diaclassa 3 (D3)			
	Talud	N45W45S		
(10-11)	Foliación 1 (F1)	N75E50S	 <p>Foliación ——— Diaclassa (s) ——— Talud ———</p>	Fallas locales tipo cuña producidas por D1-D2.
	Diaclassa1 (D1)	N29E79N		
	Diaclassa 2 (D2)	N15E63N		
	Diaclassa 3 (D3)			
	Talud	N55W49S		

Tabla 54. Representación espacial de discontinuidades y plano de taludes naturales. Secuencia de puntos de levantamiento 6-11.

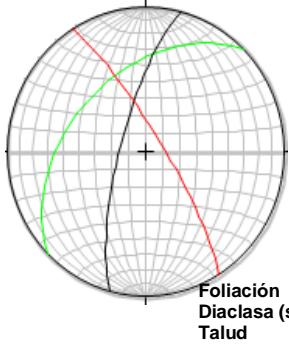
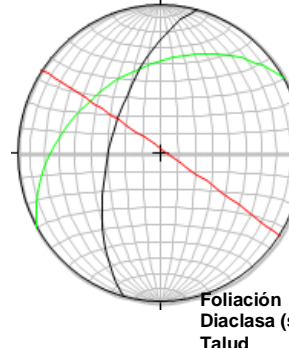
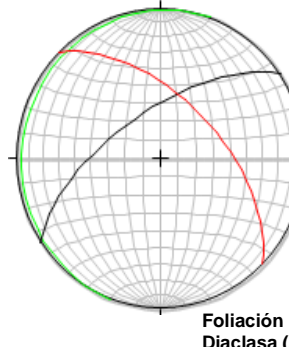
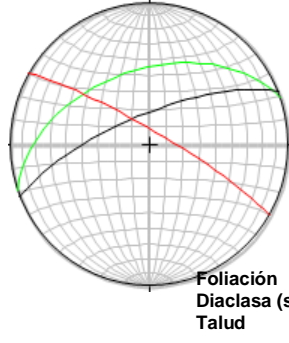
(12-13)	Foliación 1 (F1)	N45E45N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Fallas locales tipo cuña producidas por F1-D1.
	Diaclasa1 (D1)	N32W80N		
	Diaclasa 2 (D2)			
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N15E75N		
(13-14)	Foliación 1 (F1)	N60E42N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Fallas locales tipo cuña producidas por F1-D1.
	Diaclasa1 (D1)	N56W88N		
	Diaclasa 2 (D2)			
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N15E61N		
(14-15)	Foliación 1 (F1)	N20E5N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Estable. Poca probabilidad de fallas globales
	Diaclasa1 (D1)	N45W57N		
	Diaclasa 2 (D2)			
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N56E64N		
(15-16)	Foliación 1 (F1)	N71E46N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Posible falla plana por F1 y fallas locales en cuña producidas por F1-D1.
	Diaclasa1 (D1)	N60W82N		
	Diaclasa 2 (D2)			
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N68E73N		

Tabla 54. Representación espacial de discontinuidades y plano de taludes naturales. Secuencia de puntos de levantamiento 12-16..

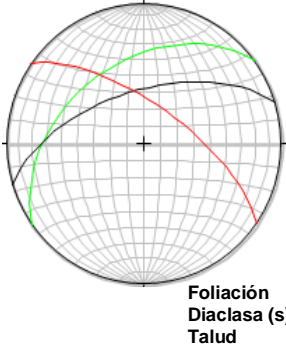
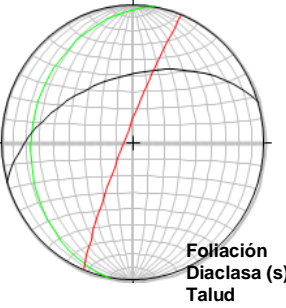
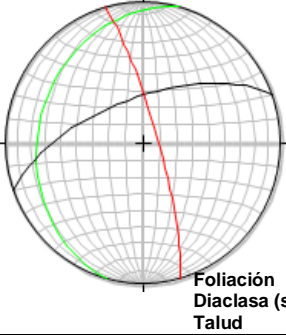
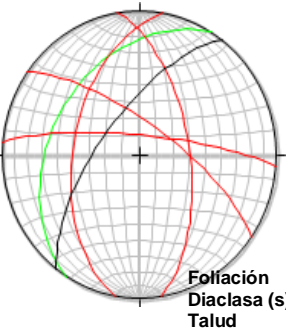
(16-17)	Foliación 1 (F1)	N54E41N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Fallas locales tipo cuña producidas por F1-D1.
	Diaclasa1 (D1)	N55W67N		
	Diaclasa 2 (D2)			
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N73E59N		
(18-19)	Foliación 1 (F1)	N10E24N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Estable. Poca probabilidad de fallas globales.
	Diaclasa1 (D1)	N22E85N		
	Diaclasa 2 (D2)			
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N73E50N		
(19-20)	Foliación 1 (F1)	N15E25N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Estable. Poca probabilidad de fallas globales.
	Diaclasa1 (D1)	N16W81N		
	Diaclasa 2 (D2)			
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N70E64N		
(20-21)	Foliación 1 (F1)	N19E32N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Falla plana por F1 . Fallas locales tipo cuña producidas por D2-D3, F1-D2, D1-F1, D4-F1, D4-D3 y D3-D1.
	Diaclasa1 (D1)	N55W72N		
	Diaclasa 2 (D2)	N9W60N		
	Diaclasa 3 (D3)	N10E50N		
	Diaclasa 4 (D4)	N85W79N		
	Talud	N20E69N		

Tabla 54. Representación espacial de discontinuidades y plano de taludes naturales. Secuencia de puntos de levantamiento 16-21.

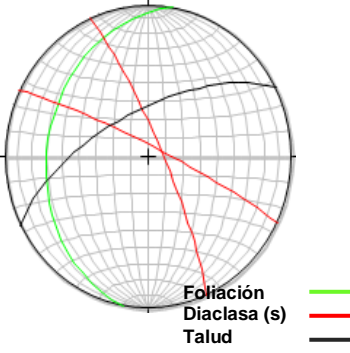
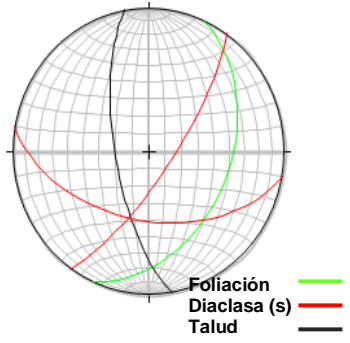
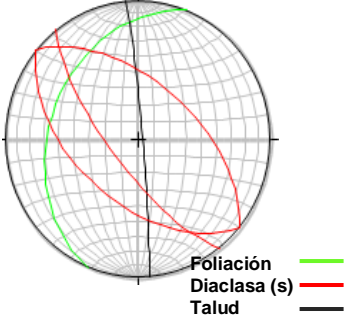
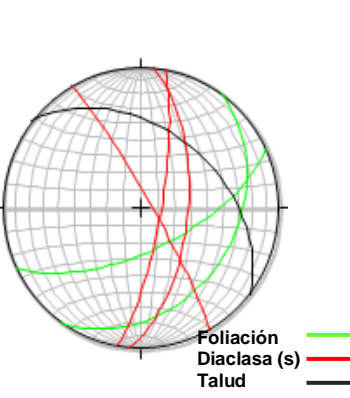
(21-22)	Foliación 1 (F1)	N10E30N	 <p>Foliación Diaclasa (s) Talud</p>	Falla en cuña por F1 con D1 y D2.
	Diaclasa1 (D1)	N24W82N		
	Diaclasa 2 (D2)	N64W84N		
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N63E65N		
(23-24)	Foliación 1 (F1)	N24E40S	 <p>Foliación Diaclasa (s) Talud</p>	Posible falla en cuña por D1-D2.
	Diaclasa1 (D1)	N80W50S		
	Diaclasa 2 (D2)	N35E76S		
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N10W70S		
(25-26)	Foliación 1 (F1)	N22E34N	 <p>Foliación Diaclasa (s) Talud</p>	Fallas locales en cuña producidas por F1 con D1, D2 y D3.
	Diaclasa1 (D1)	N38W73S		
	Diaclasa 2 (D2)	N50W52S		
	Diaclasa 3 (D3)	N50W56N		
	Talud	N5W87N		
(27-28)	Foliación 1 (F1)	N65E65S	 <p>Foliación Diaclasa (s) Talud</p>	Fallas locales en cuña producidas por F1 con F2 y D1 con D2.
	Foliación 2 (F2)	N35E32S		
	Diaclasa1 (D1)	N5E62S		
	Diaclasa 2 (D2)	N30W84S		
	Diaclasa 3 (D3)	N10E78S		
	Talud	N52W43N		

Tabla 54. Representación espacial de discontinuidades y plano de taludes naturales. Secuencia de puntos de levantamiento 21-28..

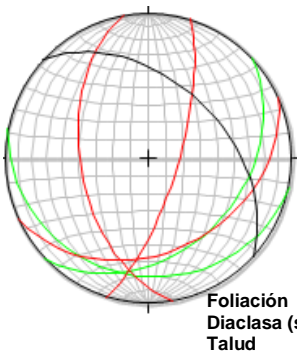

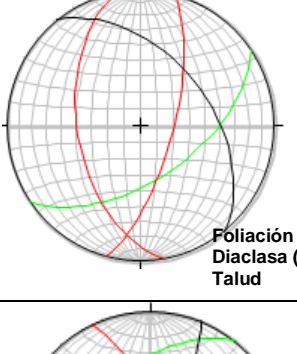
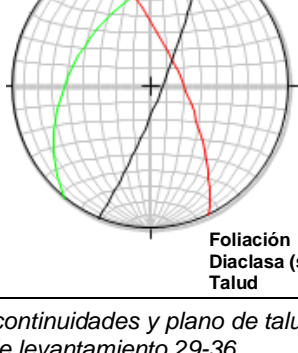
(29-30)	Foliación 1 (F1)	N46E35S	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Estable. Poca probabilidad de fallas globales.
	Foliación 2 (F2)	N78W20S		
	Diaclasa1 (D1)	N65E35S		
	Diaclasa 2 (D2)	N17E73S		
	Diaclasa 3 (D3)	N10W51S		
	Talud	N47W46N		
(31-32)	Foliación 1 (F1)	N30E17S	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Estable. Poca probabilidad de fallas globales
	Diaclasa1 (D1)			
	Diaclasa 2 (D2)			
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N35W65N		
(33-34)	Foliación 1 (F1)	N56E57S	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Estable. Poca probabilidad de fallas globales.
	Diaclasa1 (D1)	N15E70S		
	Diaclasa 2 (D2)	N10W51S		
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N39W47N		
(35-36)	Foliación 1 (F1)	N38E45N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Estable. Poca probabilidad de fallas globales.
	Diaclasa1 (D1)	N25W72N		
	Diaclasa 2 (D2)			
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N22E83S		

Tabla 54. Representación espacial de discontinuidades y plano de taludes naturales. Secuencia de puntos de levantamiento 29-36..

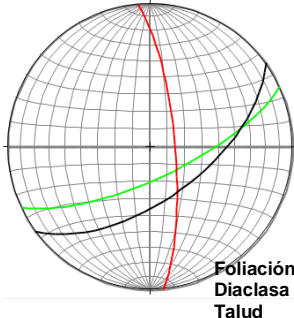
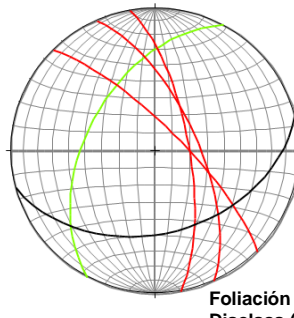
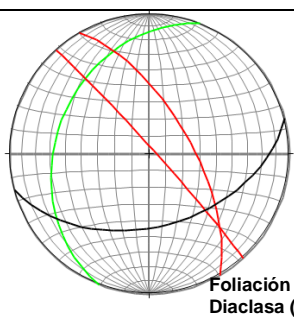
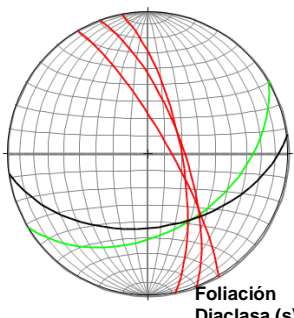
(37-38)	Foliación 1 (F1)	N65E72S	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Estable. Poca probabilidad de falla en cuña.
	Diaclasa1 (D1)	N5W76N		
	Diaclasa 2 (D2)			
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N54E60S		
(39-40)	Foliación 1 (F1)	N28E50N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Estable. Poca probabilidad de falla en cuña.
	Diaclasa1 (D1)	N24W66N		
	Diaclasa 2 (D2)	N10W71N		
	Diaclasa 3 (D3)	N45W76N		
	Talud	N75E42S		
(41-42)	Foliación 1 (F1)	N21E33N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Falla en cuña por D1 con D2.
	Diaclasa1 (D1)	N30W66N		
	Diaclasa 2 (D2)	N42W87N		
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N75E47S		
(43-44)	Foliación 1 (F1)	N59E44N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Estable. Poca probabilidad de falla en cuña de F1 con D1, D2 y D3.
	Diaclasa1 (D1)	N11W71N		
	Diaclasa 2 (D2)	N20W70N		
	Diaclasa 3 (D3)	N30W78N		
	Talud	N82E47S		

Tabla 54. Representación espacial de discontinuidades y plano de taludes naturales. Secuencia de puntos de levantamiento 37-44..

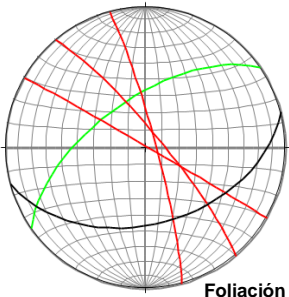
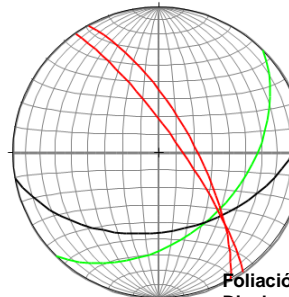
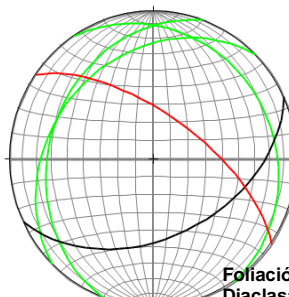
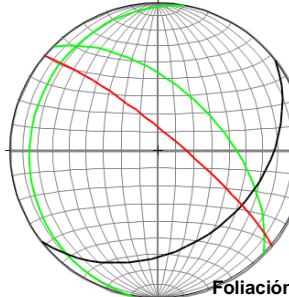
(45-46)	Foliación 1 (F1)	N55E61N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Estable.
	Diaclasa1 (D1)	N15W84N		
	Diaclasa 2 (D2)	N40W81N		
	Diaclasa 3 (D3)	N60W89N		
	Talud	N75E45S		
(47-48)	Foliación 1 (F1)	N45E43N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Estable.
	Diaclasa1 (D1)	N29W71N		
	Diaclasa 2 (D2)	N35W79N		
	Diaclasa 3 (D3)			
	Talud	N80E45S		
(49-50)	Foliación 1 (F1)	N20E28N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Estable. Probabilidad de falla en cuña de F3 con D1.
	Foliación 2 (F2)	N45E30N		
	Foliación 3 (F3)	N34W18N		
	Diaclasa1 (D1)	N55W65N		
	Talud	N65E46S		
(51-52)	Foliación 1 (F1)	N45W56N	 <p>Foliación — Diaclasa (s) — Talud —</p>	Fallas locales tipo cuña producidas por F1 y D1.
	Foliación 2 (F2)	N10E14N		
	Diaclasa1 (D1)	N50W80N		
	Diaclasa 2 (D2)			
	Talud	N52E35S		

Tabla 54. Representación espacial de discontinuidades y plano de taludes naturales. Secuencia de puntos de levantamiento 45-52..

(53-54)	Foliación 1 (F1)	N35E37N	<p style="font-size: small;"> Foliación — Diaclasa (s) — Talud — </p>	Estable. Poca probabilidad de fallas globales.
	Diaclasa1 (D1)	/		
	Diaclasa 2 (D2)	/		
	Talud	N51W75N		

Tabla 54. Representación espacial de discontinuidades y plano de taludes naturales. Secuencia de puntos de levantamiento 53-54..

4.3.2 Análisis de estabilidad por modelado de taludes en roca

Los métodos de análisis de estabilidad se basan en planteamientos físico – matemáticos, donde se evalúa la acción de las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras sobre el talud (SANHUEZA ET AL. , 2013). Existen dos tipos: métodos determinísticos que agrupan los métodos de equilibrio limite y los tenso-deformacionales y los métodos probabilísticos. El método de equilibrio limite es el más utilizado, ya que permite analizar el equilibrio de una masa potencialmente inestable comparando las fuerzas tendentes al movimiento con las fuerzas resistentes al mismo sobre una superficie de rotura. Este método se subdivide en exactos y no exactos; dentro de los no exactos están aquellos que dividen la masa deslizante en fracciones pequeñas para simplificar el análisis, denominado método de las rebanadas o dovelas, desarrollado por Fellenius (1936), Bishop (1955), Janbu (1956), entre otros.

En el apartado anterior se examinó la estabilidad local de los taludes por el método de las discontinuidades, ahora se procederá a modelar los taludes que constituyen la zona de estudio mediante el método de Bishop (1955), el cual ayudará a determinar la estabilidad desde el punto de vista de fallas globales haciendo uso de parámetros equivalentes provenientes de las clasificaciones geomecánicas.

4.3.2.1 Slope (© 2015 GeoStru Software)

Slope es un software que permite modelar taludes naturales en roca, en suelos heterogéneos y estratigrafía compleja y calcular su estabilidad mediante distintos métodos.

Para realizar el diseño de un talud en roca se define su geometría, distancias horizontales y cotas, así como el contacto entre las diferentes litologías (también se puede importar un archivo DXF™).

Este software aplica métodos circulares que naturalmente se utilizan solo en suelos a macizos rocosos, estableciendo parámetros equivalentes obtenidos de las clasificaciones geomecánicas. Es por ello que para incluir el parámetro geomecánico en este modelado de taludes es necesario tener en cuenta que a diferencia de los taludes en suelo, para los taludes en roca *Slope* no aplica el criterio de rotura de Mohr-Coulomb para definir la resistencia del material, sin embargo con base sobre este método se desarrolló un procedimiento que permite aplicar los métodos clásicos del Equilibrio Límite para taludes en roca. Es por ello que este software utiliza el procedimiento de Hoek y Brown (1980) para el cálculo del ángulo de resistencia al corte (φ) y la cohesión (c) existente a lo largo de la superficie de deslizamiento, dependiendo netamente del valor de la clasificación geomecánica (Índice RMR) asignado para el macizo rocoso que compone al talud, obteniendo así parámetros equivalentes se obtienen mediante las siguientes expresiones;

$$tg\varphi = AB \left(\frac{N}{\sigma_c} - T \right)^{B-1}$$

$$c = A\sigma_c \left(\frac{N}{\sigma_c} - T \right)^B - Ntg\varphi$$

Donde σ_c es la resistencia a la compresión de la roca, N corresponde a la fuerza normal que actúa sobre cada dovela y las constantes A, B y T dependen del tipo y de la calidad de la roca y se determinan en base a la clasificación de la roca según Bieniawski (índice RMR) y según Barton (índice Q) (Ver Apéndice 2).

Una vez se realice el diseño total del talud, se procede a elegir el método de análisis de estabilidad, el software ofrece métodos como el de Bishop (1955), Janbu (1956), Fellenius (1936), entre otros; se establece la zona sísmica para el área de estudio según el mapa de Zonificación Sísmica con

finde de Ingeniería Normas COVENIN 1756-1:2001 a escala 1:3.500.000. Por último, se agrega la malla desde donde saldrá el radio que dará forma a las dovelas de cálculo sobre el talud. Una vez se ejecute el análisis, se podrá obtener la distribución de las dovelas consideradas dentro de la masa deslizante, las superficies de deslizamiento crítico y sus factores de seguridad asociados.

Se modelaron ocho (8) taludes existentes en toda la Avenida Circunvalación los Teques, utilizando los parámetros equivalentes asociados a las clasificaciones geomecánicas, los valores de compresión y peso específico obtenidos con los ensayos de laboratorio y se empleó el modelo propuesto por Bishop (1955) (método de las dovelas) para el cálculo del factor de seguridad (Ver Apéndice 1).

4.3.2.2 Escala de meteorización de la roca (ISRM)

La escala de meteorización ISRM (1981) es una clasificación propuesta por la *Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas* para evaluar el nivel de meteorización de las rocas según como se observan en afloramientos rocosos. Cuenta con seis niveles o grados de meteorización, siendo el grado I el nivel de roca sana hasta el grado VI de roca totalmente descompuesta.

GRADO	DENOMINACIÓN	CRITERIO DE RECONOCIMIENTO
I	Roca sana o fresca	La roca no presenta signos visibles de meteorización, pueden existir ligeras pérdidas de color o pequeñas manchas de óxidos en los planos de discontinuidad
II	Roca ligeramente meteorizada	La roca y los planos de discontinuidad presentan signos de decoloración. Toda la roca ha podido perder su color debido a la meteorización y superficialmente ser más débil que la roca sana
III	Roca moderadamente meteorizada	Menos de la mitad del material está descompuesto a suelo. Aparece roca sana o ligeramente meteorizada de forma continua o en zonas aisladas
IV	Roca meteorizada a muy meteorizada	Más de la mitad del material está descompuesto a suelo. Aparece roca sana o ligeramente meteorizada de forma discontinua
V	Roca completamente meteorizada	Todo el material está descompuesto a un suelo. La estructura original de la roca se mantiene intacta
VI	Suelo residual	La roca está totalmente descompuesta en un suelo y no puede reconocerse ni la textura ni la estructura original. El material permanece «in situ» y existe un cambio de volumen importante

Tabla 55. Escala de Meteorización de la roca ISRM. (Tomado y modificado de Documento Básico SE-C Cimientos)

En la Tabla 55 Escala de Meteorización de la roca ISRM, se muestra el grado de meteorización, la denominación de la roca y el criterio de reconocimiento en campo. En base a esto se generó la Tabla 56, clasificando según los puntos del levantamiento geológico ocho (8) taludes (Ver Tabla.).

Talud	Punto	Descripción del talud	Grado de meteorización aparente	Factor de seguridad mínimo según la superficie de deslizamiento crítico
1	(1-2)	Hacia el tope del talud se observa una roca completamente meteorizada. En la parte media y baja del talud se observa una Filita micácea-grafitosa cubierta con material suelto muy meteorizado, aun se observan planos de foliación y plegamientos desde los 0,5 cm. Color fresco es gris claro y meteorizado anaranjado con manchas de óxido.	IV	Deslizamiento global FS=2,51
2	(3-4)	Hacia el tope del talud se observa la roca mucho más meteorizada que hacia la base, la roca es un Esquisto cuarzo - micáceo con vetas de cuarzo y calcita de hasta 22 cm paralelas a la foliación. Además está muy replegada, con pliegues de ángulo interlimbar de hasta 120°. Color fresco es gris claro y meteorizado anaranjado con manchas de óxido.	III	Deslizamiento superficial FS=1,50 Deslizamiento a medio talud FS=1,68 Deslizamiento global FS=2,62
3	(4-5)	El talud está constituido por un Esquisto cuarzo - micáceo en toda su extensión, hacia el tope del talud se encuentra más meteorizado que hacia la base, presenta vetas de cuarzo y calcita en cristales con catas bien desarrolladas. La orientación de la foliación es variable debido a que la roca se encuentra replegada, los pliegues alcanzan extensiones de 1,20 metros de limbo a limbo. Color fresco es gris claro y meteorizado anaranjado con manchas de óxido.	III	Deslizamiento superficial FS=1,14 Deslizamiento a medio talud FS=2,26 Deslizamiento global FS=2,40
4	(10-11)	En todo el talud se exhibe un Esquisto cuarzo - micáceo cubierto con material suelto muy meteorizado, aun se observan planos de foliación en algunos puntos del afloramiento. Color fresco es gris claro y meteorizado anaranjado con abundante contenido de micas. Al final de este afloramiento se observa un gran deslizamiento circular que abarca las 3 bermas del talud además presenta cárcavas delgadas y alargadas de aproximadamente 1,5 metros.	III	Deslizamiento superficial FS=0,74 Deslizamiento a medio talud FS=1,21 Deslizamiento global FS=1,26

Tabla 56. Descripción litológica, Clasificación ISRM y Factor de seguridad de los taludes 1 al 4.

5	(27-30)	<p>Filita grafitosa - micácea cubierta con material suelto muy meteorizado, tiene vetas de cuarzo en su mayoría paralelas a la foliación desde 6 cm hasta 13 cm, el cuarzo se presenta muy meteorizado y disgregado (como granos de sal); la roca no reacciona al HCL; las diaclasas no son abundantes, sin embargo las que se observan se encuentran rellenas de cuarzo; el afloramiento presenta en toda su extensión pliegues disarmonicos de tamaños variables entre los 3 cm y los 25 cm. En la parte baja del talud se observa un gran pliegue anticlinal constituido por capas de grafito y vetas de cuarzo el cual tiene dirección de sus limbos N60E75N y N79E21N. Color fresco es gris oscuro y meteorizado anaranjado con tonos de oxidación vinotinto.</p>	IV	<p>Deslizamiento superficial FS=1,20 Deslizamiento global FS=1,45</p>
6	(31-34)	<p>El talud está constituido por una Filita micácea - grafitosa cubierta con material suelto muy meteorizado, el contenido de grafito en este talud es más bajo, aun se observan planos de foliación y plegamientos desde los 3 cm hasta los 25 cm; presenta vetas de cuarzo paralelas a la foliación y algunas diaclasas rellenas de cuarzo muy fracturado y meteorizado; se observan pliegues disarmonicos con extensiones entre 4 cm y 10 cm. Color fresco es gris claro y meteorizado anaranjado con manchas de óxido.</p>	IV	<p>Deslizamiento superficial FS=1,05 Deslizamiento global FS=3,28</p>
7	(39-46)	<p>Hacia el tope del talud se encontró un Esquisto calcáreo - micáceo con vetas de cuarzo y calcita paralelas a la foliación de hasta 10,5 cm de espesor; presenta diaclasas rellenas de calcita y algunas tienen abertura de hasta 17 cm y 3 cm de profundidad, con indicios de que perdieron el relleno por disolución. La roca se encuentra replegada con pliegues disarmonicos de hasta 170° de ángulo interlimbar. El tope del talud se encuentra muy meteorizado con capa vegetal de hasta 1 metro de espesor. Hacia la base del talud se observa una roca no foleada con alto contenido de carbonato de calcio (CaCO₃), descrita como un Mármol con contenido de micas. Color fresco gris claro y meteorizado gris con tonalidades anaranjadas y rojas.</p>	II	<p>Deslizamiento superficial FS=1,84 Deslizamiento a medio talud FS=2,90 Deslizamiento global FS=4,58</p>

Tabla 56. Descripción litológica, Clasificación ISRM y Factor de seguridad de los taludes 5 al 7.

8	(47-48)	<p>Hacia el tope del talud se encontró un Esquisto calcáreo - micáceo con vetas de cuarzo y calcita paralelas a la foliación de hasta 20 cm de espesor; presenta diaclasas rellenas de calcita de hasta 5 cm. El tope del talud se encuentra muy meteorizado, 60 cm de espesor de suelo con contenido de materia orgánica. Se encontró un lente de aproximadamente 1,43 metros de ancho con minerales de habito foliado color azul oscuro y verde similares a la clorita y a la serpentina, siendo esta sección bastante deleznable. Hacia la base del talud se encontró un afloramiento de Esquisto calcáreo - grafitoso. Color fresco es gris claro en las zonas donde el contenido de grafito es menor y gris oscuro las que tienen alto contenido, el color meteorizado es gris con tonalidades anaranjadas.</p>	II	<p>Deslizamiento superficial FS=1,84 Deslizamiento a medio talud FS=2,90 Deslizamiento global FS=4,59</p>
---	---------	--	----	---

Tabla 56. Descripción litológica, Clasificación ISRM y Factor de seguridad del talud 8.

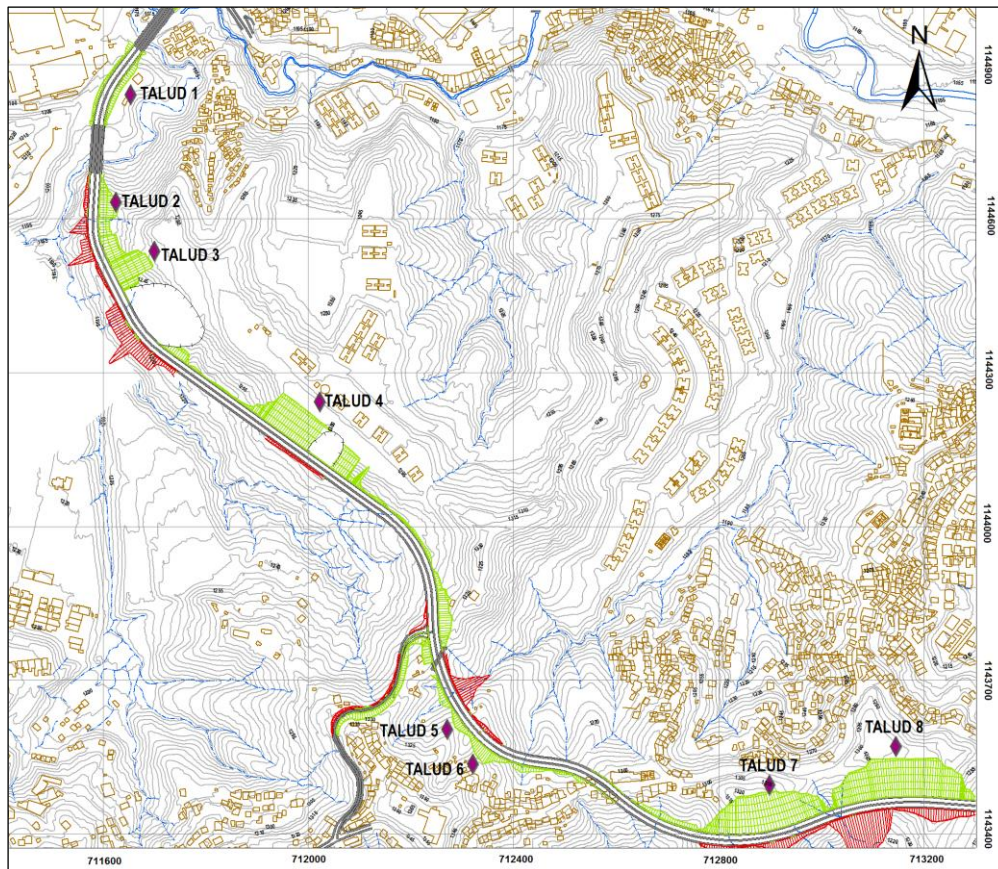


Figura 51. Distribución de los taludes a lo largo de la Av. Circunvalación Los Teques.

En la Figura 51 se muestra la ubicación de los taludes modelados en toda la Av. Circunvalación Los Teques, siendo los más prominentes los taludes 4, 7 y 8, los cuales tienen alturas de 33 m, 45 m y 40 m respectivamente.

Es preciso señalar que debido a la exposición directa de la roca en estos taludes, los valores de RMR, Resistencia a la Compresión Simple y Peso específico utilizados para el modelado de los mismos, se verán afectados a medida que transcurra el tiempo y la meteorización física y química tenga un desempeño más importante en la transformación de la calidad de la roca.

A continuación se describirán los resultados obtenidos de dichos modelado:

Talud 1 (Punto 1-2)

- **Ubicación:** se encuentra entre las progresivas 0+200 y 0+250 de la Circunvalación Los Teques.
- **Dimensiones:** 11 metros de altura, con pendiente 1:1.
- **Resumen litológico:** hacia el tope del talud la roca está completamente meteorizada (Grado V), en la parte intermedia está muy meteorizada (Grado IV) y por debajo de esta roca se encuentra la roca meteorizada (Grado III) mucho más competente (Ver Figura 52 y Tabla 56)
- **Observaciones:** En la Figura 52-a se muestra el talud con cárcavas delgadas y superficiales en su parte media, producidas por la meteorización física y química sobre la roca.

La Figura 52-b muestra la superficie de deslizamiento de radio 16,2 metros y $FS= 2,51$, clasificando al talud como estable.



Figura 52. a) Fotografía Talud 2 (Vista de frente).

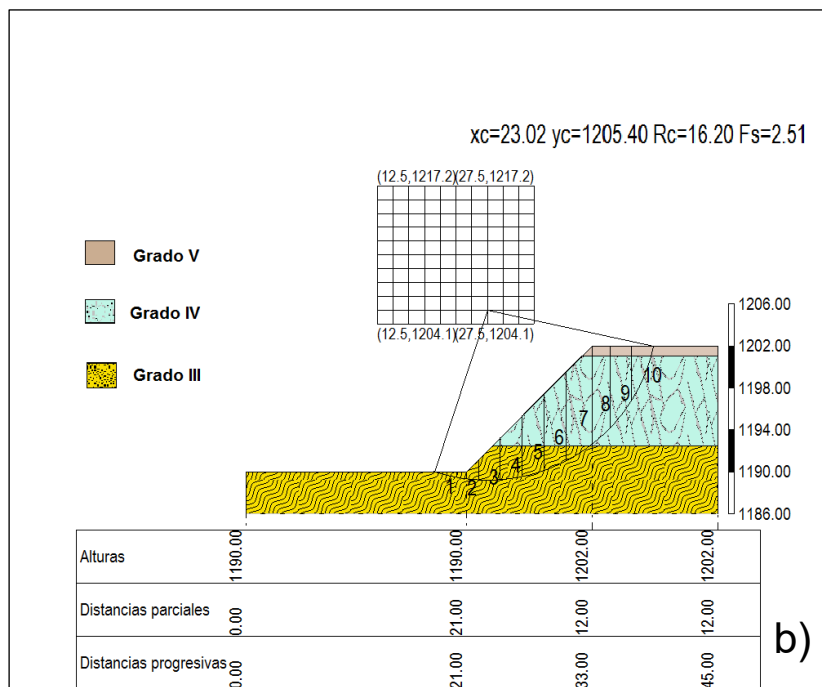


Figura 52. b) Talud Modelado 1, inestabilidad global.

Para el Talud 1 se obtuvo una única zona de inestabilidad global, correspondiente al factor de seguridad (FS) mínimo 2.5, clasificando al talud como estable. Está representada por la superficie de intersección de radio 16,2 metros (Ver Figura 52-b).

La roca que constituye al talud es una Filita micácea-grafitosa. Está clasificada como Grado IV según la escala ISRM; en la Figura 52-a se observan las características estructurales que conserva la roca como lo es la dirección de foliación y los plegamientos, aun así se encuentra cubierta por material suelto producto de la misma erosión de la roca.

El análisis por el método de las discontinuidades realizado en este talud indica que localmente el talud es estable y según la clasificación Romana (1992) si existiesen roturas, estas se producirán por bloques o en pequeñas cuñas, por lo cual se propone un tratamiento sistemático y localizado donde se produzcan los pequeños deslizamientos, si los hubiese. Este tratamiento puede llevarse a cabo mediante técnicas de estabilización de taludes, principalmente controlar las aguas superficiales, realizar revestimiento con vegetación que modere el proceso de erosión del talud y por tanto mejore la estabilidad local del mismo, también podría realizarse recubrimiento con concreto lanzado que permite la protección del talud contra los agentes erosivos y actúa como agente de contención.

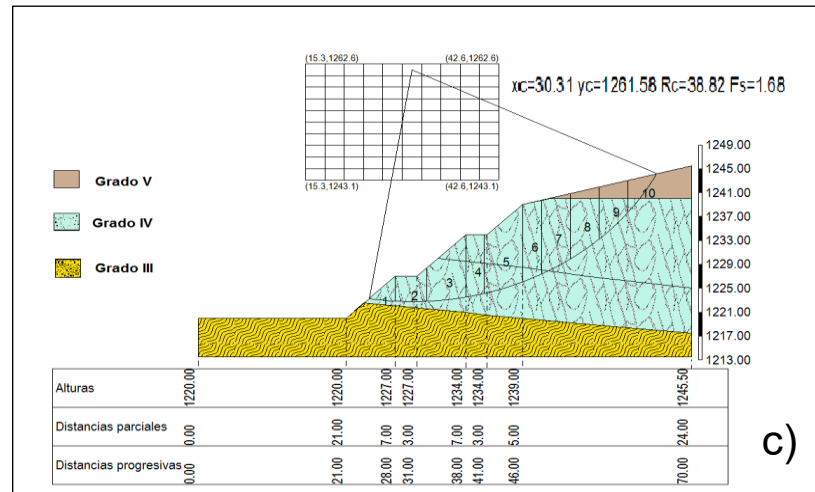
De esta manera, se tiene que el talud resulta ser estable para el deslizamiento global; sin embargo, quizás amerite de ciertas estabilizaciones superficiales y localizadas pero a menor escala.

Talud 2 (Puntos 3-4)

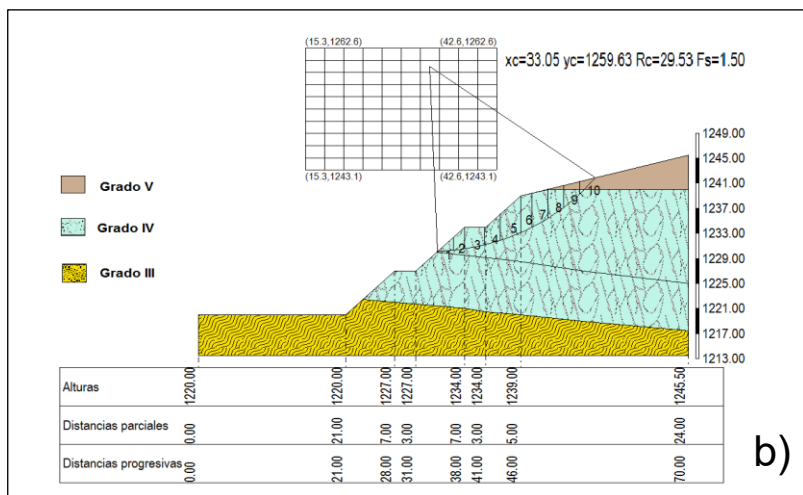
- **Ubicación:** se encuentra entre las progresivas 0+450 y 0+550 de la Circunvalación Los Teques.
- **Dimensiones:** tiene 25 metros de altura distribuidos en 4 bermas, cada talud tiene pendiente 1:1.
- **Resumen litológico:** hacia el tope del talud la roca está completamente meteorizada (Grado V) y cubierta por vegetación, en las dos bermas superiores la roca se exhibe muy meteorizada (Grado IV), hacia la berma de la base la roca se encuentra ligeramente meteorizada (Grado III) conservando aun los colores característicos del cuarzo y la calcita que componen los plegamientos y por debajo de esta roca se encuentra la roca sana (RS) mucho más competente (Ver Figura 53 y Tabla 56)
- **Observaciones:** En la Figura 53-a puede verse un pliegue de ángulo amplio con alto contenido de cuarzo y calcita, que presenta una fractura con un ligero desplazamiento vertical.



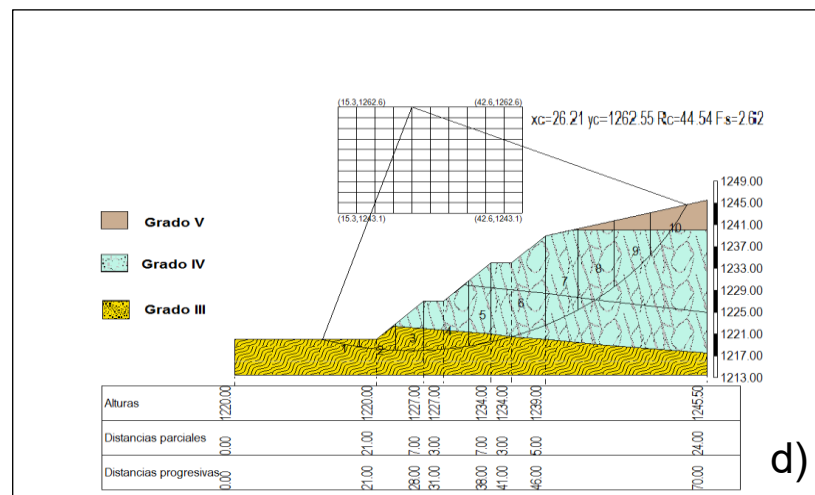
a)



c)



b)



d)

Figura 53. a) Fotografía Talud 2 (Vista de frente) b) Talud 2 Modelado, inestabilidad superficial c) Talud Modelado 2, inestabilidad a medio talud d) Talud Modelado 2, inestabilidad global.

Para el Talud 2 se obtuvo una zona de inestabilidad a medio talud, correspondiente al factor de seguridad (FS) mínimo 1.68, clasificando al talud como estable. Está representada por la superficie de intersección de radio 38,82 metros (Ver Figura 53-a).

También se generaron cálculos para la inestabilidad superficial y la global del talud en los cuales se obtuvieron valores de FS de 1,50 y 2,62 respectivamente (Ver Figura 53- b y d), siendo valores por encima del FS aceptable, lo que se traduce en la reducción de la ocurrencia de deslizamientos superficiales y globales.

La roca que constituye al talud es un Esquisto cuarzo-micáceo con grandes vetas de calcita, está clasificada como Grado III según la escala ISRM y a pesar de estar meteorizada y replegada, la roca se conserva bien, exhibiendo pliegues amplios de hasta 120° de ángulo interlimbar (Ver Tabla 56).

El análisis por el método de las discontinuidades realizado en este talud indica que el talud localmente es estable con pocas probabilidades de fallas globales (Ver Tabla 54), según la clasificación Romana (1992) la estabilidad general del talud es buena, las roturas se producirán por bloques o en pequeñas cuñas y el tratamiento que pueda aplicarse será ocasionalmente. Sin embargo, como medida preventiva se puede realizar algún revestimiento con vegetación que mitigue el proceso de erosión del talud y evite posibles volcamientos, así como también es fundamental el control de las aguas superficiales.

De esta manera, se tiene que el talud resulta ser estable para los tres tipos de inestabilidades analizadas; sin embargo, quizás amerite de ciertas estabilizaciones superficiales y localizadas pero a menor escala y ocasionalmente.

Talud 3 (Puntos 4-5)

- **Ubicación:** se encuentra entre las progresivas 0+600 y 0+800 de la Circunvalación Los Teques.
- **Dimensiones:** tiene 26 metros de altura distribuidos en 3 bermas, cada talud tiene pendiente 1:1.
- **Resumen litológico:** hacia el tope del talud la roca está completamente meteorizada (Grado V) y cubierta por vegetación, en la primera berma (de arriba hacia abajo) se muestra la roca muy meteorizada (Grado IV), hacia la berma de la base la roca se encuentra meteorizada mostrando amplias vetas de cuarzo y calcita, por debajo de esta roca se encuentra la roca sana mucho más competente (Grado III) (Ver Figura 54 y Tabla 56)
- **Observaciones:** en la Figura 54-a se observa una secuencia completa de vetas de calcita en las tres bermas que componen el talud, señalada por la curva roja.
- **Volumen aproximado de la posible masa deslizante:**
 - > Deslizamiento superficial: 66,97 m³ por metro lineal.

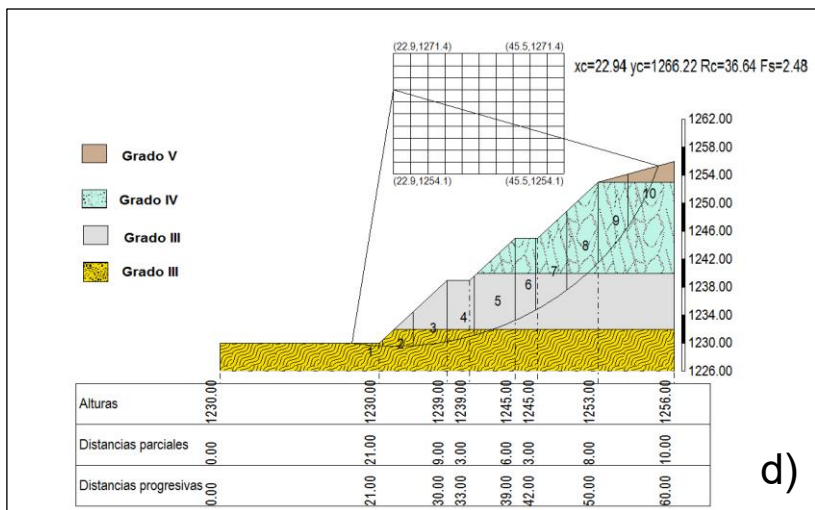
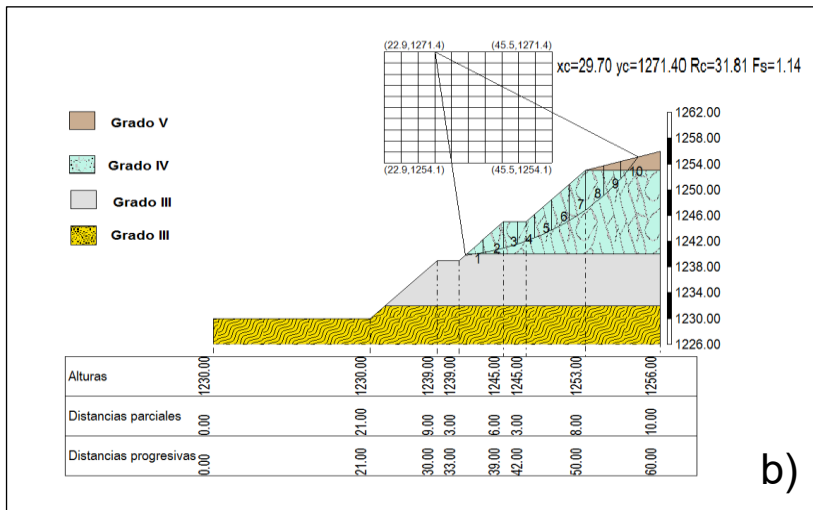
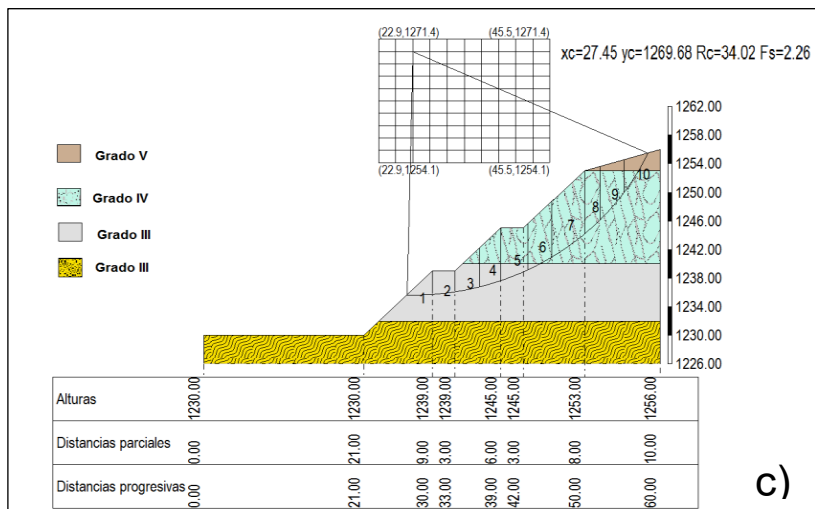


Figura 54. a) Fotografía Talud 3 (Vista de frente) b) Talud 3 Modelado, inestabilidad superficial c) Talud Modelado 3, inestabilidad a medio talud d) Talud Modelado 3, inestabilidad global.

Para el Talud 3 se obtuvo una zona de inestabilidad superficial, correspondiente al factor de seguridad (FS) mínimo 1.14, lo que le confiere al talud la clasificación de inestable. Está representada por la superficie de intersección de radio 31,81 metros (Ver Figura 54-b).

También se generaron cálculos para la inestabilidad a medio talud y global en los cuales se obtuvieron valores de FS de 2,26 y 2,48 respectivamente (Ver Figura 54- c y d), lo que se traduce en la reducción de la ocurrencia de deslizamientos a medio talud y globales.

La roca que constituye al talud es un Esquisto cuarzo-micáceo muy similar al del talud 2 y la roca también se encuentra bastante replegada, de manera general está clasificada como Grado III según la escala ISRM, la orientación de la foliación es variable debido a que la roca se encuentra replegada (Ver Tabla 56).

El análisis por el método de las discontinuidades realizado en este talud indica que localmente pueden existir fallas en cuñas ocasionadas por las discontinuidades (Ver Tabla 54), según la clasificación Romana (1992) la estabilidad general del talud es buena, las roturas se producirán por bloques o en pequeñas cuñas y el tratamiento que pueda aplicarse será ocasionalmente.

Debido a la inestabilidad superficial que se obtuvo mediante el análisis de círculos teóricos de fallas utilizando parámetros equivalentes y la ocurrencia de fallas locales en cuña, es necesario realizar obras de contención sobre el talud; si no se han producido deslizamientos aún, se puede controlar la inestabilidad superficial mediante el revestimiento con vegetación que disminuya el proceso de erosión o podría realizarse recubrimiento con concreto lanzado que permite la protección del talud contra los agentes erosivos, previene la caída de la roca fracturada y actúa como agente de contención; también es fundamental el control de las aguas superficiales, tratar de dirigir la descarga de las mismas fuera de las posibles masas deslizantes

con la creación de cunetas abiertas o canales pavimentados. Si ya han ocurrido deslizamientos superficiales localizados, se recomienda remover la masa deslizada y dependiendo de su extensión, podría colocarse una pequeña pantalla con pernos.

De esta manera, se tiene que el talud solo resulta ser estable para deslizamientos a medio talud y deslizamientos globales; quizás amerite de ciertas estabilizaciones superficiales y localizadas pero a menor escala y ocasionalmente.

Talud 4 (Puntos 9-11)

- **Ubicación:** se encuentra entre las progresivas 1+300 y 1+400 de la Circunvalación Los Teques.
- **Dimensiones:** tiene 33 metros de altura distribuidos en 4 bermas, cada talud tiene pendiente 1:1.
- **Resumen litológico:** hacia el tope del talud la roca está completamente meteorizada y cubierta por vegetación (Grado VI), superficialmente se muestra la roca muy meteorizada de color marrón oscuro (Grado V), solo hacia la berma de la base se encuentra la roca sana mucho más competente (Grado III) (Ver Figura 55 y Tabla 56).
- **Observaciones:** en la Figura 55-a se observa una sección de roca completamente meteorizada desde las bermas superiores, solo en la berma de la base se puede observar la roca fresca y replegada.
- **Volumen aproximado de la posible masa deslizante:**
 - >Deslizamiento superficial: 14,92 m³ por metros lineales.

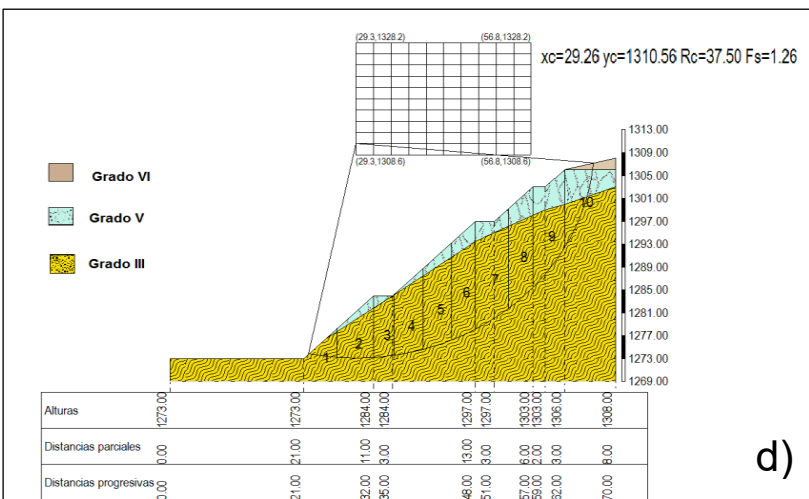
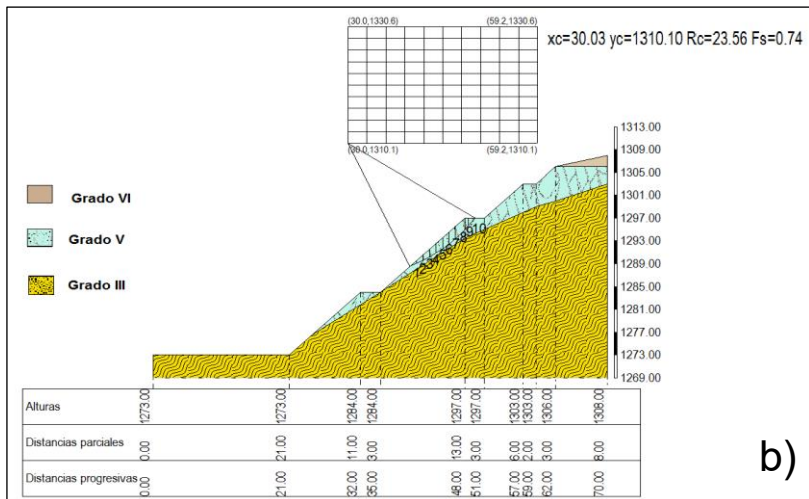
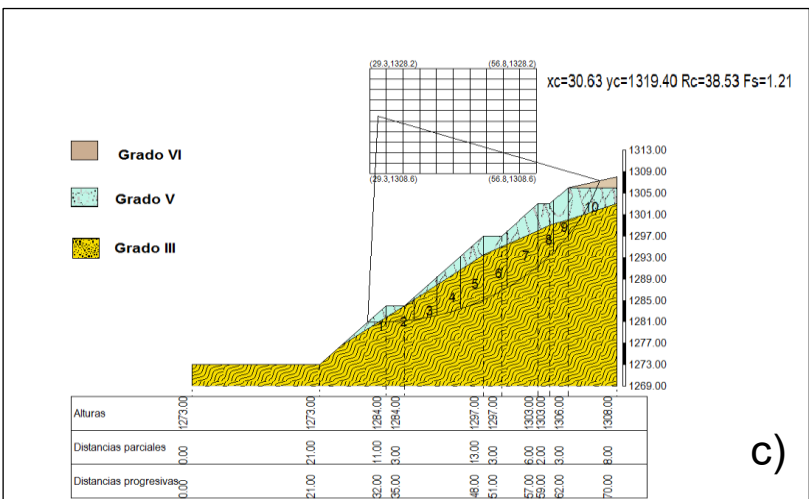


Figura 55. a) Fotografía Talud 4 (Vista de frente) b) Talud 4 Modelado, inestabilidad superficial c) Talud Modelado 4, inestabilidad a medio talud d) Talud Modelado 4, inestabilidad global.

Para el Talud 4 se obtuvo una zona de inestabilidad superficial, correspondiente al factor de seguridad (FS) mínimo 0.74, lo que le confiere al talud la clasificación de inestable para el deslizamiento superficial. Está representada por la superficie de intersección de radio 23.56 metros (Ver Figura 55-b).

También se generaron cálculos para la inestabilidad a medio talud y global en los cuales se obtuvieron valores de FS de 1,21 y 1,26 respectivamente (Ver Figura 55-c y d), lo que se traduce en la reducción de la ocurrencia de deslizamientos a medio talud y globales.

La roca que constituye al talud es un Esquisto cuarzo-micáceo muy similar al del talud 3, la roca se encuentra bastante replegada y presenta grandes vetas de cuarzo y calcita, está clasificada como Grado III según la escala ISRM (Ver Tabla 56).

El análisis por el método de las discontinuidades realizado en este talud indica que localmente las diaclasas generan fallas en cuñas (Ver Tabla 54), según la clasificación Romana (1992) las roturas se producirán por bloques o en pequeñas cuñas, por lo cual se propone un tratamiento sistemático y localizado donde se produzcan los pequeños deslizamientos, si los hubiese.

La presencia de masas potencialmente inestables de tipo superficial obtenidas mediante análisis de círculos teóricos de falla usando parámetros equivalentes, la ubicación del posible deslizamiento y el volumen del mismo, permiten recomendar medidas de contención o mitigantes, fundamentalmente el control de sistemas de drenajes para evitar escurrimientos concentrados, haciendo uso de cunetas y torrenteras así como también la reforestación del talud para garantizar una durabilidad de su geometría y reducir la posibilidad de cárcavas. Si ya han ocurrido deslizamientos superficiales localizados, se

recomienda remover la masa deslizada y disminuir la pendiente del talud hasta conseguir la roca de mejor calidad y donde la foliación siga siendo favorable.

De esta manera, se tiene que el talud solo resulta ser estable para deslizamientos a medio talud y deslizamientos globales; ameritara de ciertas estabilizaciones superficiales y localizadas pero a menor escala y ocasionalmente.

Talud 5 (Puntos 27-30)

- **Ubicación:** se encuentra entre las progresivas 1+850 y 1+900 de la Circunvalación Los Teques.
- **Dimensiones:** tiene 25 metros de altura distribuidos en 2 bermas, cada talud tiene pendiente 1:1.
- **Resumen litológico:** hacia el tope del talud la roca está completamente meteorizada (Grado VI) y cubierta por vegetación, superficialmente se muestra la roca muy meteorizada (Grado V), además presenta un alto contenido de grafito y cárcavas delgadas de hasta 2 metros de longitud, solo hacia la berma de la base se encuentra la roca sana (Grado IV) mucho más competente (Ver Figura 56 y Tabla 56)
- **Observaciones:** en la Figura 56-a se observan los pliegues de la roca y como aumenta el contenido de grafito hacia la berma de la base.

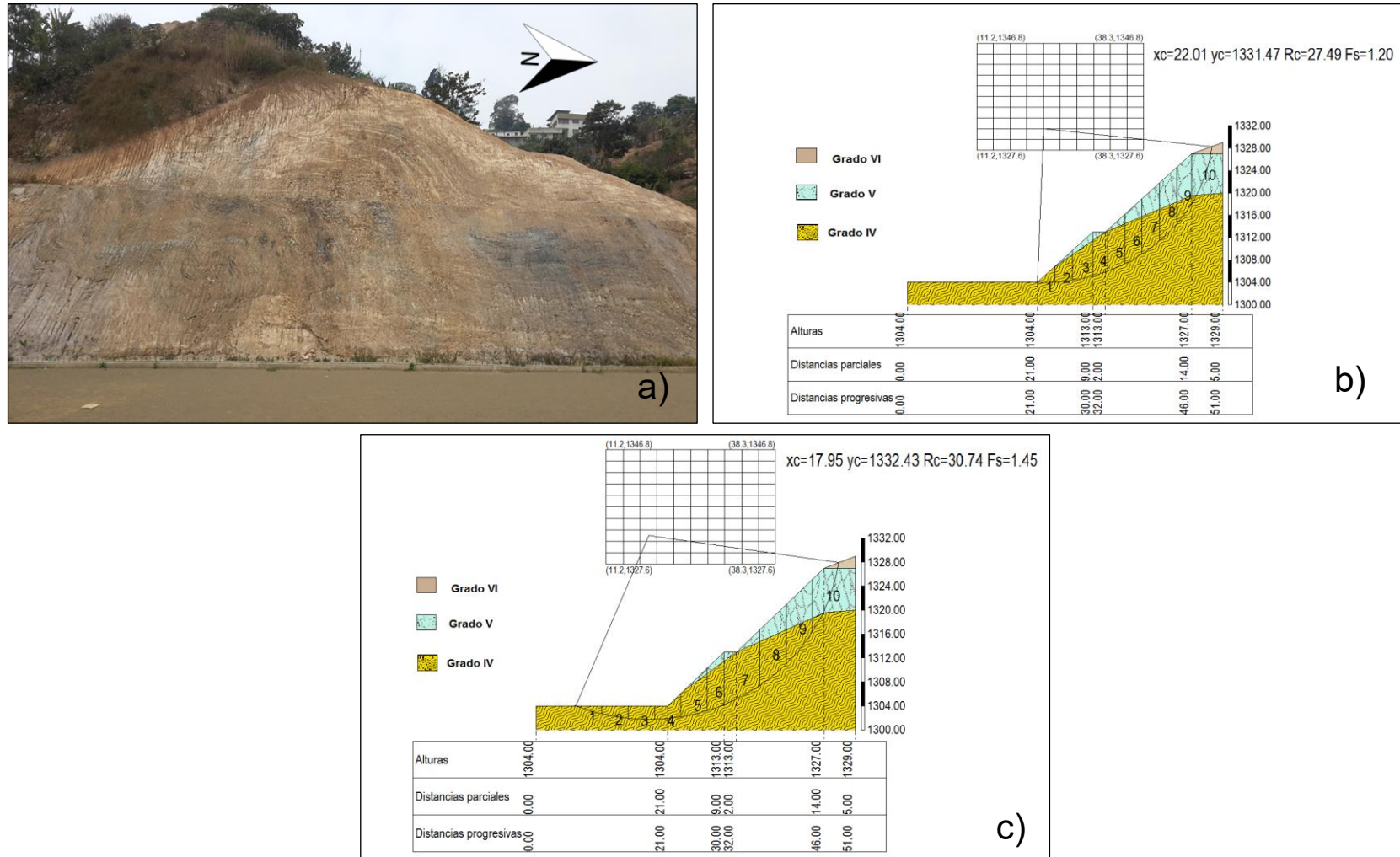


Figura 56. a) Fotografía Talud 5 (Vista de frente) b) Talud Modelado 5, inestabilidad a medio talud c) Talud Modelado 5, inestabilidad global.

Para el Talud 5 se obtuvo una zona de inestabilidad a medio talud, correspondiente al factor de seguridad (FS) mínimo 1.20, lo que le confiere al talud la clasificación de estable. Está representada por la superficie de intersección de radio 27.49 metros (Ver Figura 56-b).

También se calculó la inestabilidad global del talud para lo cual se obtuvo un factor de seguridad $FS=1,26$ (Ver Figura 56-c), lo que se traduce en la reducción de la ocurrencia de deslizamientos globales.

La roca que constituye al talud es un Filita grafitosa-micácea, se encuentra bastante replegada, presenta grandes pliegues disarmónicos y está muy meteorizada, está clasificada como Grado IV según la escala ISRM (Ver Tabla 56).

El análisis por el método de las discontinuidades realizado en este talud indica que localmente pueden generarse fallas en cuñas provocadas por la interacción de las orientaciones de la foliación y las diaclasas (Ver Tabla 54), según la clasificación Romana (1992) las roturas se producirán por bloques o en pequeñas cuñas, por lo cual se propone un tratamiento sistemático y localizado donde se produzcan los pequeños deslizamientos, si los hubiese.

Debido a la alta meteorización superficial que se observó en el talud, producto de la acción de aguas residuales proveniente de casas aleñadas es necesario realizar obras de contención sobre el talud; fundamentalmente el control de las aguas superficiales para tratar de dirigir la descarga de las mismas fuera de las posibles masas deslizantes, con la creación de cunetas abiertas o canales pavimentados. Si ya han ocurrido deslizamientos superficiales localizados, se recomienda remover la masa deslizada y realizar recubrimiento con concreto lanzado que permite la protección del talud contra los agentes erosivos, previene la caída de la roca fracturada y actúa como agente de contención. Es necesaria la reforestación de los taludes para reducir

la generación de nuevas cárcavas y para garantizar la durabilidad de su geometría.

De esta manera, se tiene que el talud resulta ser estable para deslizamientos a medio talud y deslizamientos globales; por la alta meteorización superficial ameritara de ciertas estabilizaciones, localizadas pero a menor escala y ocasionalmente.

Talud 6 (Puntos 31-34)

- **Ubicación:** se encuentra entre las progresivas 1+800 y 1+850 de la Circunvalación Los Teques.
- **Dimensiones:** tiene 25 metros de altura distribuidos en 2 bermas, cada talud tiene pendiente 1:1.
- **Resumen litológico:** superficialmente se muestra la roca muy meteorizada (Grado V), este talud presenta un bajo contenido de grafito con respecto al talud 5, solo hacia la berma de la base se encuentra la roca sana (Grado IV) mucho más competente (Ver Figura 57 y Tabla 56)
- **Observaciones:** en la Figura 57-a se observa un color anaranjado predominante sobre todo el talud, está cubierto por material suelto producto de la misma meteorización de la roca.
- **Volumen aproximado de la posible masa deslizante:**
 - > Deslizamiento superficial: 30,20 m³ por metro lineal.

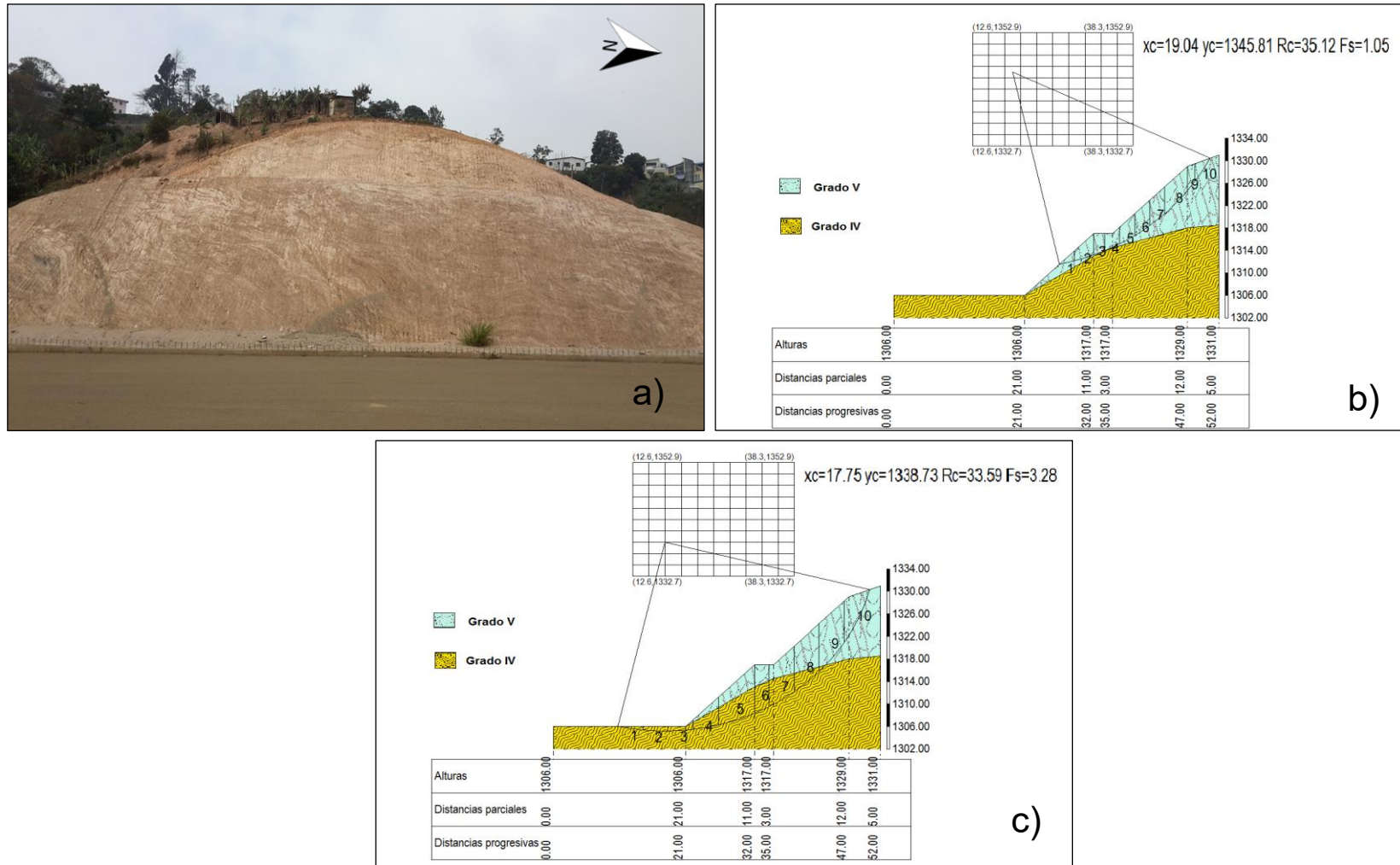


Figura 57. a) Fotografía Talud 6 (Vista de frente) b) Talud 6 Modelado, inestabilidad superficial c) Talud Modelado 6, inestabilidad global.

Para el Talud 6 se obtuvo una zona de inestabilidad superficial, correspondiente al factor de seguridad (FS) mínimo 1.05, lo que le confiere al talud la clasificación de inestable. Está representada por la superficie de intersección de radio 35.12 metros (Ver Figura 57-b).

También se generó el cálculo para la inestabilidad global del talud para lo cual se obtuvo un factor de seguridad $FS=3.28$ (Ver Figura 57-c), lo que se traduce en la reducción de la ocurrencia de deslizamientos globales.

La roca que constituye al talud es un Filita micácea-grafitosa, el contenido de grafito en este talud es menor al anterior, la roca está muy meteorizada, está clasificada como Grado IV según la escala ISRM (Ver Tabla 56).

El análisis por el método de las discontinuidades realizado en este talud indica que las discontinuidades no generan ninguna inestabilidad, por lo tanto localmente es estable (Ver Tabla 54), según la clasificación Romana (1992) las roturas se producirán por bloques o en pequeñas cuñas, por lo cual se propone un tratamiento sistemático y localizado donde se produzcan los pequeños deslizamientos, si los hubiese.

Debido a la presencia de masas potencialmente inestables de tipo superficial obtenidas mediante el análisis de círculos teóricos de falla usando parámetros equivalentes y la alta meteorización superficial que se observó en el talud, producto de la acción de aguas residuales proveniente de casas aleñadas, se recomiendan medidas de contención o mitigantes sobre el talud; fundamentalmente el control de las aguas superficiales para tratar de dirigir la descarga de las mismas fuera de las posibles masas deslizantes, con la creación de cunetas abiertas y torrenteras así como el revestimiento con vegetación que evite la producción de cárcavas sobre el talud y garantice la durabilidad de su geometría. Si ya han ocurrido deslizamientos superficiales localizados, se recomienda remover la masa deslizada y realizar recubrimiento

con concreto lanzado que permite la protección del talud contra los agentes erosivos, previene la caída de la roca fracturada y actúa como agente de contención.

De esta manera, se tiene que el talud resulta ser estable para deslizamientos superficiales y deslizamientos globales; por la alta meteorización superficial ameritara de ciertas estabilizaciones, localizadas pero a menor escala y ocasionalmente.

Talud 7 (Puntos 39-46)

- **Ubicación:** se encuentra entre las progresivas 2+300 y 2+500 de la Circunvalación Los Teques.
- **Dimensiones:** tiene 45 metros de altura distribuidos en 4 bermas, cada talud tiene pendiente 1:1.
- **Resumen litológico:** la roca se muestra muy meteorizada en el tope del talud (Grado IV), en las bermas inferiores la roca está ligeramente meteorizada (Grado III), se observan los planos de foliación y plegamientos bien conservados, así como las familias de diaclasas y el relleno de calcita en muchas de ellas, hacia la base del talud se encuentra la roca sana (Grado II) y más competente (Ver Figura 58 y Tabla 56)
- **Observaciones:** el talud es uno de los más altos de todos los analizados, lo que le confiere cierta inestabilidad.

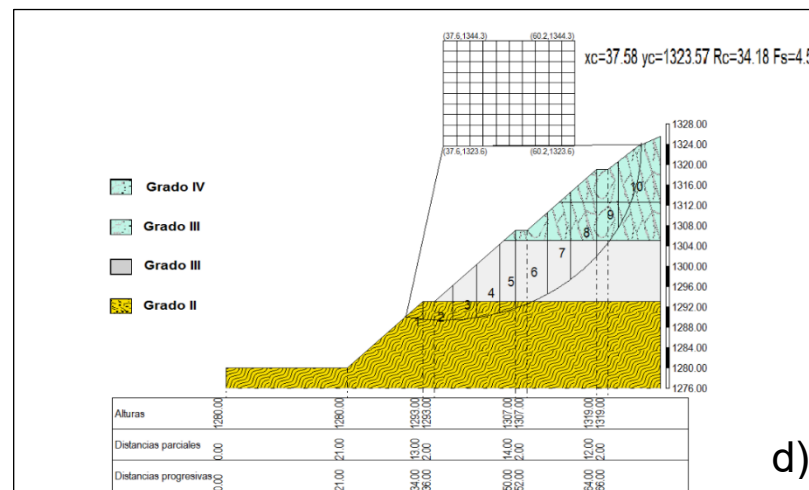
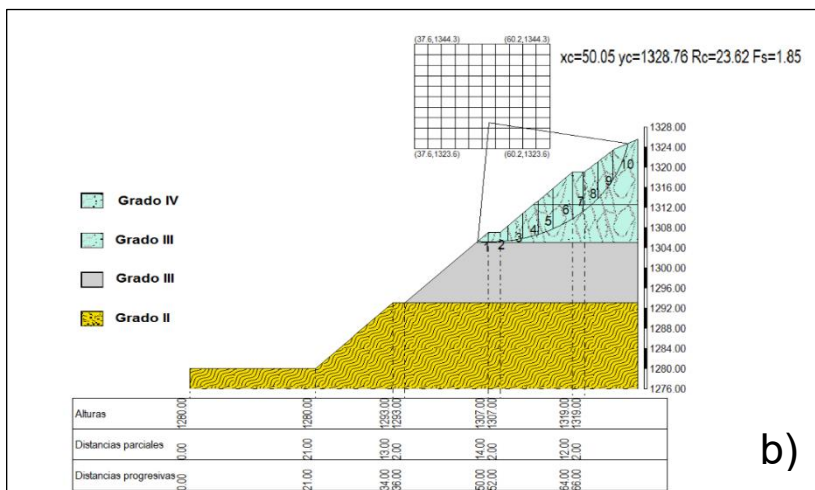
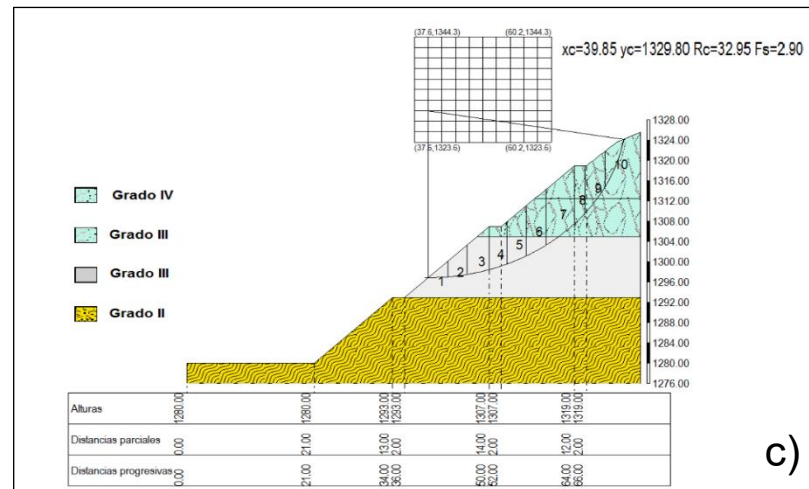


Figura 58. a) Fotografía Talud 7 (Vista de frente) b) Talud 7 Modelado, inestabilidad superficial c) Talud Modelado 7, inestabilidad a medio talud d) Talud Modelado 7, inestabilidad global.

Para el Talud 7 se obtuvo una zona de inestabilidad superficial, correspondiente al factor de seguridad (FS) mínimo 1.85, lo que le confiere al talud la clasificación de estable para el deslizamiento superficial. Está representada por la superficie de intersección de radio 23.62 metros (Ver Figura 58-b).

También se generó el cálculo para la inestabilidad a medio talud y global para los cuales se obtuvo un factor de seguridad de 2.90 y 4.5 respectivamente (Ver Figura 58-c y), lo que se traduce en la reducción de la ocurrencia de deslizamientos a medio talud y globales.

La roca que constituye al talud es un Esquisto calcáreo hacia el tope del talud, y por un Mármol con muscovita hacia berma de la base, está clasificada como Grado II según la escala ISRM (Ver Tabla 56).

El análisis por el método de las discontinuidades realizado en este talud indica que localmente las diaclasas generan fallas en cuñas (Ver Tabla 54), según la clasificación Romana (1992) la estabilidad general del talud es buena, en algunos casos se producirán roturas por bloques o en pequeñas cuñas, por lo cual se propone un tratamiento sistemático y localizado donde se produzcan los pequeños deslizamientos, si los hubiese.

La roca está bastante replegada y las orientaciones de las discontinuidades son variables, sin embargo de manera general la foliación observada en las cuatro bermas del talud es favorable. A pesar de que la roca presenta un nivel bajo de meteorización para evitar futuras inestabilidades superficiales se recomienda realizar el revestimiento con vegetación que mitigue el proceso de erosión y reduzca la generación de carcavas así como el control de las aguas superficiales para tratar de dirigir la descarga de las mismas fuera de las posibles masas deslizantes, con la creación de cunetas abiertas o canales pavimentados.

De esta manera, se tiene que el talud resulta ser estable para todos los tipos de deslizamientos analizados; y se recomienda realizar la reforestación del mismo para disminuir la acción de los procesos erosivos que afectan su estabilidad y así maximizar la durabilidad de su geometría.

Talud 8 (Puntos 47-48)

- **Ubicación:** se encuentra entre las progresivas 2+500 y 2+800 de la Circunvalación Los Teques.
- **Dimensiones:** tiene 40 metros de altura distribuidos en 4 bermas, cada talud tiene pendiente 1:1.
- **Resumen litológico:** la roca se muestra muy meteorizada en el tope del talud (Grado IV), en la berma inferior la roca está muy meteorizada y fracturada (Grado III), se observan los planos de foliación y plegamientos bien conservados, así como las familias de diaclasas y el relleno de calcita en muchas de ellas, hacia la base del talud se encuentra la roca sana (Grado II) y más competente, el esquisto grafitoso que se observa en la base es lo más resaltante en todo el talud (Ver Figura 59 y Tabla 56)
- **Observaciones:** en la Figura 59-a se observa un deslizamiento superficial en la segunda berma (de abajo hacia arriba), el FS para este tipo de inestabilidad es de 1,10 estando por debajo del aceptable.
- **Volumen aproximado de la posible masa deslizante:**
 - > Deslizamiento superficial: 70,03 m³ por metro lineal.

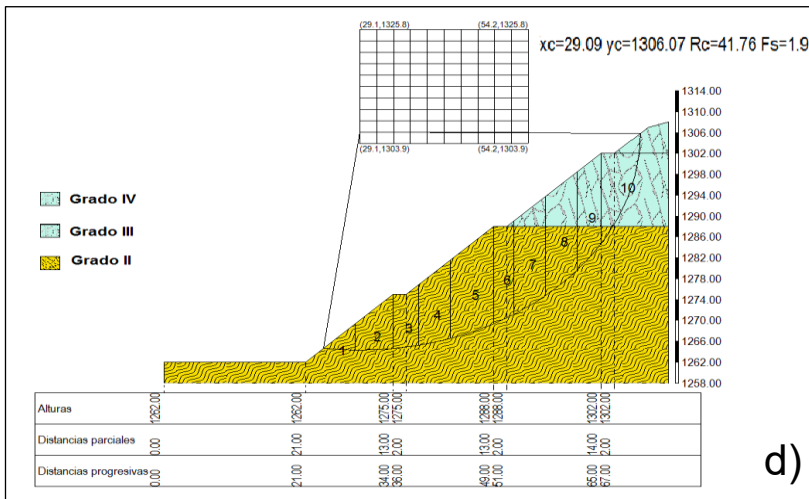
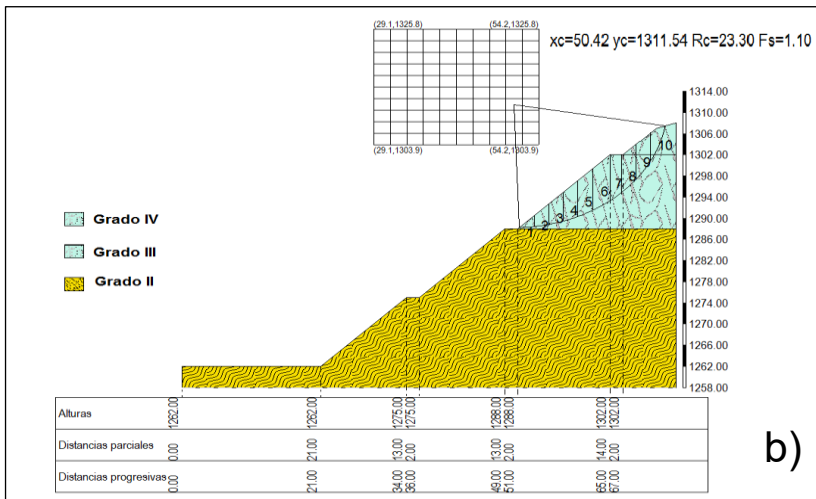
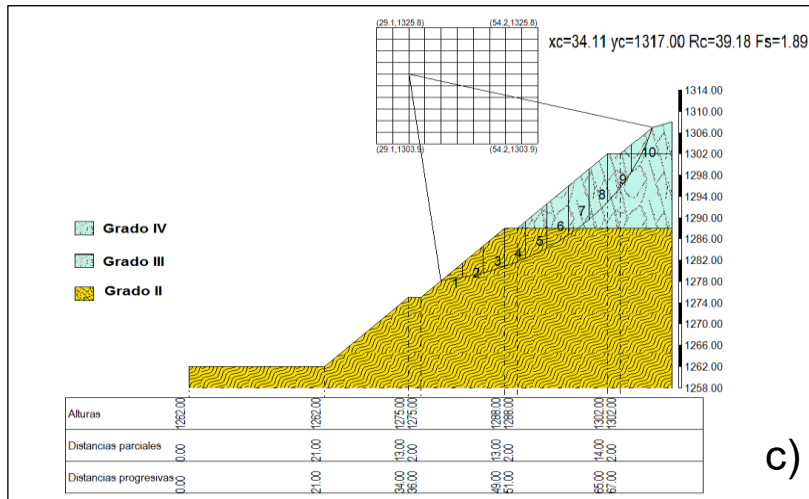


Figura 59. a) Fotografía Talud 8 (Vista de frente) con deslizamiento local b) Talud 8 Modelado, inestabilidad superficial c) Talud Modelado 8, inestabilidad a medio talud d) Talud Modelado 8, inestabilidad global.

Para el Talud 8 se obtuvo una zona de inestabilidad superficial, correspondiente al factor de seguridad (FS) mínimo 1.10, lo que le confiere al talud la clasificación de inestable para el deslizamiento superficial. Está representada por la superficie de intersección de radio 23.30 metros (Ver Figura 59-b).

También se generó el cálculo para la inestabilidad a medio talud y global para los cuales se obtuvo un factor de seguridad de 1.89 y 1.91 respectivamente (Ver Figura 59-c y d), lo que se traduce en la reducción de la ocurrencia de deslizamientos a medio talud y globales.

La roca que constituye al talud es un Esquisto calcáreo, y hacia la berma de la base se encuentra un Esquisto cuarzo-grafitoso muy replegado, está clasificada como Grado II según la escala ISRM (Ver Tabla 56).

El análisis por el método de las discontinuidades realizado en este talud indica que las discontinuidades no generan ninguna inestabilidad, por lo tanto es estable (Ver Tabla 54), según la clasificación Romana (1992) el talud es parcialmente estable, en algunos casos se producirán roturas por bloques o en pequeñas cuñas, por lo cual se propone un tratamiento sistemático y localizado donde se produzcan los pequeños deslizamientos.

Sobre las zonas donde ya han ocurrido pequeños deslizamientos se recomienda remover la masa deslizada y realizar recubrimiento con concreto lanzado que permite la protección del talud contra los agentes erosivos, previene la caída de la roca fracturada y actúa como agente de contención. A pesar de que la roca presenta un nivel bajo de meteorización para evitar futuras inestabilidades superficiales se recomienda realizar el revestimiento con vegetación que mitiguen el proceso de erosión así como el control de las aguas superficiales para tratar de dirigir la descarga de las mismas fuera de las posibles masas deslizantes, con la creación de cunetas abiertas o canales pavimentados.

De esta manera, se tiene que el talud resulta ser estable para la inestabilidad a medio talud y global; se recomienda realizar la reforestación del mismo para mitigar la acción de los procesos erosivos que afectan su estabilidad y prevenir posibles deslizamientos superficiales a largo plazo.

Considerando que la mayoría de los taludes presentan inestabilidad de tipo superficial con volúmenes por debajo de los 100 m³ por metro lineal, se sugieren soluciones enfocadas en mejorar el sistema de drenajes para evitar escurrimientos concentrados, por medio de cunetas y torrenteras y la reforestación de los taludes para garantizar una durabilidad mayor de su geometría y reducir la posibilidad de generación de cárcavas y posibles deslizamientos.

Talud	Punto	Factor de Seguridad (Fs)	Discontinuidades que generan inestabilidad local	Tipo de roca predominante	Grado de meteorización	SMR asociado	Observaciones	Clasificación
1	(1-2)	Deslizamiento global FS=2,51	F: N10E11N	· Filita micácea - grafitosa	IV	59	· Roca muy meteorizada superficialmente.	· Inestabilidad superficial. · Estable a deslizamientos globales.
2	(3-4)	Deslizamiento superficial FS=1,50 Deslizamiento a medio talud FS=1,68 Deslizamiento global FS= 2,62	-	· Esquisto cuarzo - micáceo	III	62	· Roca replegada.	· Estable
3	(4-5)	Deslizamiento superficial FS=1,14 Deslizamiento a medio talud FS=2,26 Deslizamiento global FS= 2,40	F: N13E35N D: N75E20S D: N55W73S	· Esquisto cuarzo - micáceo	III	67	· Fallas locales en cuña por foliación (F) y diaclasas (D).	· Inestabilidad superficial. · Estable a deslizamientos globales y a medio talud.
4	(10-11)	Deslizamiento superficial FS=0,74 Deslizamiento a medio talud FS=1,21 Deslizamiento global FS= 1,26	D: N29E79N D: N15E63N	· Esquisto calcítico - micáceo	IV	59	· Fallas locales en cuña por diaclasas (D).	· Inestabilidad superficial. · Parcialmente estable a deslizamientos globales y a medio talud.
5	(27-30)	Deslizamiento superficial FS=1,20 Deslizamiento global FS= 1,45	F: N65E65S F: N35E32S D: N5E62S D: N30W84S	· Filita grafitosa - micácea	IV	51	· Fallas locales en cuña por foliación (F) y diaclasas (D).	· Parcialmente estable a deslizamientos superficiales. · Estable a deslizamientos globales.
6	(31-34)	Deslizamiento superficial FS=1,05 Deslizamiento global FS= 3,28	-	· Filita micácea - grafitosa	IV	56	· Roca muy meteorizada superficialmente.	· Inestabilidad superficial. · Estable a deslizamientos globales.
7	(39-46)	Deslizamiento superficial FS=1,84 Deslizamiento a medio talud FS=2,90 Deslizamiento global FS= 4,58	D: N30W66N D: N42W87N	· Esquisto calcítico - micáceo · Mármol	II	62	· Fallas locales en cuña por diaclasas (D).	· Parcialmente estable a deslizamientos superficiales. · Estable a deslizamientos globales y a medio talud.
8	(47-48)	Deslizamiento superficial FS=1,10 Deslizamiento a medio talud FS=1,82 Deslizamiento global FS= 1,91	-	· Esquisto calcítico micáceo · Esquisto calcítico grafitoso	II	59	· Roca poco meteorizada con alto contenido de calcita.	· Parcialmente estable a deslizamientos superficiales. · Estable a deslizamientos globales y a medio talud.

Tabla 57. Sumario: Análisis de Estabilidad de Taludes.

4.3.2.3 Estabilidad a largo plazo

La preservación de los afloramientos de roca en el tiempo depende fundamentalmente de la acción de los agentes exodinámicos, lo que se traduce en la variación de la calidad del macizo rocoso en el tiempo. Los parámetros geomecánicos no se incrementan, por el contrario, la resistencia de la roca a la compresión, el grado de meteorización y el estado de las discontinuidades se van degradando.

Con la creación de la obra “*Construcción de la Av. Circunvalación Los Teques*” que dio origen a esta investigación, se tuvo la oportunidad de estudiar taludes de gran envergadura, obtenidos de cortes en el relieve montañoso que compone la región de Los Teques, más específicamente en el sector El Trigo donde las condiciones climatológicas para este sector es de mucha lluvia y clima templado, es decir, de meteorización intensa.

Esta obra de más de 4 km de extensión, requirió de grandes movimientos de tierra así como de cortes que generaron los taludes de hasta 45 metros de altura, lo cual también tiene como consecuencia un gran impacto ambiental que generó la demolición de gran parte del bosque que compone el área. Es por ello que resultó interesante realizar el análisis de la durabilidad de estos taludes en el tiempo, estimando parámetros geomecánicos equivalentes para 50 años.

Para realizar este análisis de durabilidad se tomaron los taludes 3 y 4 sobre los cuales se modificó la litología y sus parámetros geomecánicos equivalentes, disminuyendo la calidad del macizo rocoso y por ende aumentando el grado de meteorización de la roca. Los valores de RMR de cada talud fueron degradados en comparación con los que tienen los taludes actualmente y fueron asignados tomando en cuenta la máxima meteorización que puede alcanzar la roca en 50 años.

En la Figura 60 se puede observar como es la posible evolución de la meteorización aproximadamente en 50 años. Superficialmente y hasta una profundidad aproximada de 20 metros de capa de roca totalmente descompuesta a suelo, se alcanza el Grado VI en la escala de meteorización ISRM, mientras que en profundidad la roca conserva sus características geomecánicas.

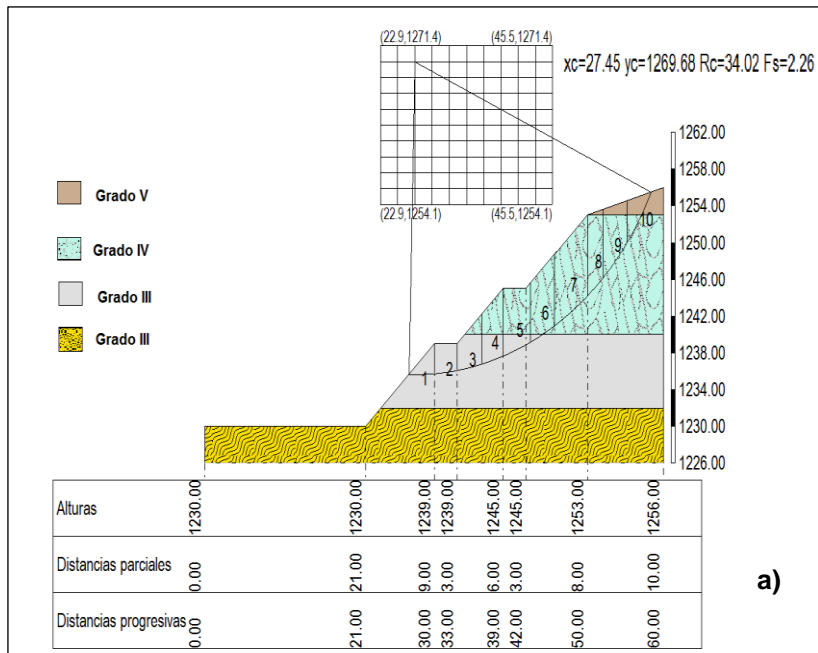
Con este análisis se demuestra que si en 50 años como mínimo que es en lo que se basa esta estimación, se alcanzan valores de meteorización dos grados por encima del grado de meteorización actual y se disminuye la calidad del macizo rocoso, que eso incluye la reducción del índice RMR y por tanto la reducción de los parámetros geomecánicos equivalentes, se generaran inestabilidades superficiales y hasta globales que en la actualidad no se consideran. Es el caso del Talud 3, donde actualmente para la inestabilidad superficial se tiene un $FS= 2.26$ y para la proyección de 50 años el mismo talud con características litológicas y geomecánicas degradadas el factor de seguridad $FS= 0.93$, generando potencialmente fallas superficiales. Esto también basado en la premisa de que no se realice ningún tipo de contención sobre el talud ni la reforestación de la zona, medidas que mitigarían la acción de agentes exodinámicos.

En el caso del Talud 4 (Figura 61) ocurre algo muy similar, siendo el factor de seguridad actual para el deslizamiento global $FS= 1.26$ mientras que existe una disminución en el valor del factor de seguridad para la estimación realizada para el talud en 50 años, siendo $FS= 0.88$. Se interpretó que el talud estará constituido superficialmente casi en su totalidad por roca descompuesta a suelo, de Grado VI, conservando en profundidad roca de Grado III. Produciendo a largo plazo una inestabilidad global sobre el talud.

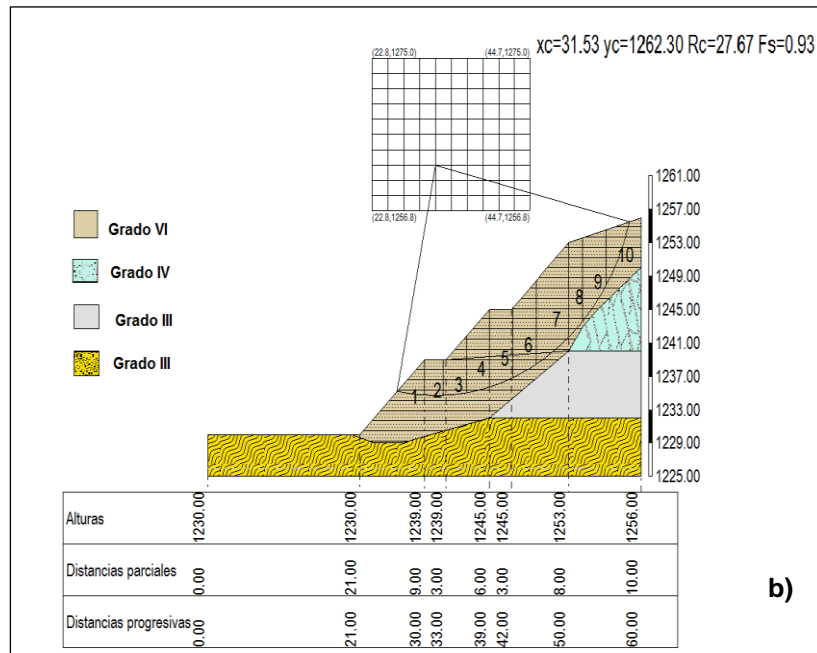
En base a estos resultados obtenidos se podría decir que el modelo de construcción de esta obra está basado en métodos que resultan económicos

y con un tiempo de ejecución relativamente corto, pero que no consideran los efectos a largo plazo. Siendo Venezuela, un país tropical, donde la meteorización es mucho más intensa, no se le da importancia actualmente al ámbito de la durabilidad de las obras. Es por ello que se sugiere la reducción del uso de movimiento de tierra en zonas montañosas donde se destruya el medio ambiente y se exponga la roca a la meteorización, ya que estos taludes además de generar vulnerabilidad, generan costos de mantenimiento constante a largo plazo; es necesario evaluar económicamente si se apuesta por la utilización de estructuras como túneles y viaductos que garanticen la durabilidad en el tiempo de las obras realizadas y que no tengan un gran impacto ambiental pero que su costo sea mayor y tiempo de ejecución sea mucho más lento.

Con este análisis queda demostrado que si la calidad de la roca disminuye en el tiempo, pasando de Grado III a Grado VI en la escala de meteorización ISRM (1981) como se mostró en los casos expuestos, el factor de seguridad para cualquier tipo de deslizamiento también disminuirá potenciando la ocurrencia de posibles fallas sobre los taludes, reduciendo así la durabilidad de la obra y aumentando la vulnerabilidad de la misma.



a)

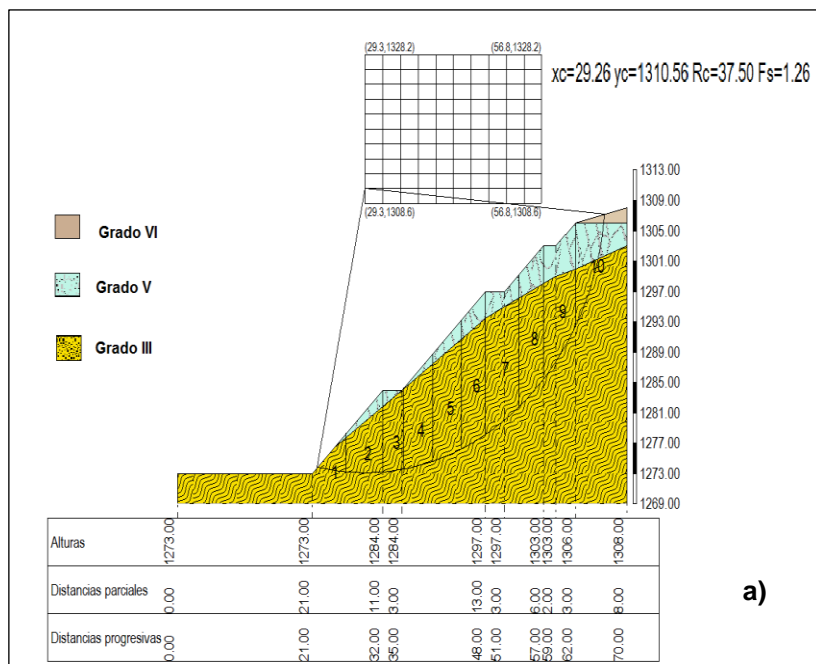


b)

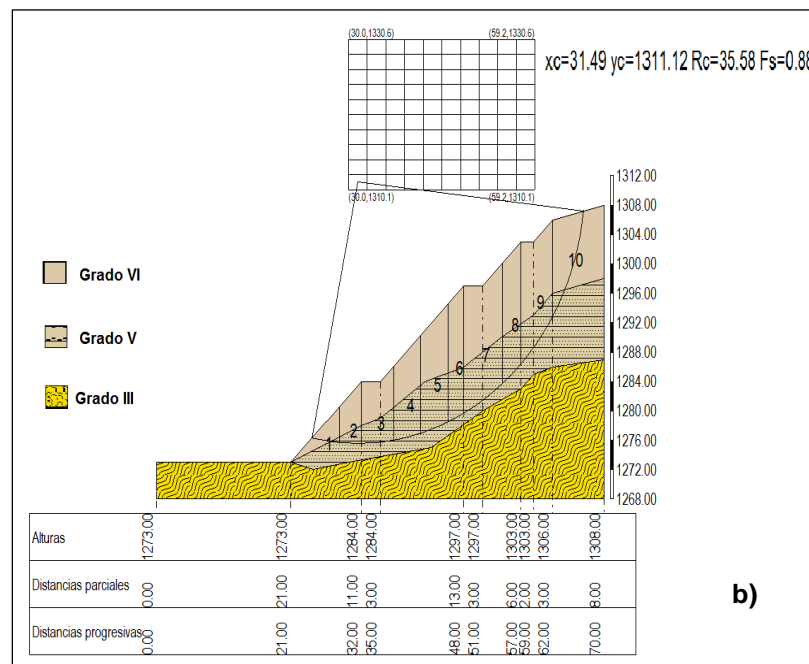
Meteorizacion	Resistencia a la compresion (kgf/cm2)	RMR
Grado V	2	10
Grado IV	40	44
Grado III	55	50
Grado III	70	61

Meteorizacion	Resistencia a la compresion (kgf/cm2)	RMR
Grado VI	10	15
Grado IV	40	44
Grado III	55	50
Grado III	70	61

Figura 60. a) Se muestra el Talud 3 diseñado con los parámetros geomecánicos equivalentes actuales. b) Se muestra el Talud 3 diseñado en base a parámetros geomecánicos equivalentes estimados para 50 años. (Ver en Apéndice 2 los valores A, B y T asociados a cada RMR)



a)



b)

Meteorizacion	Resistencia a la compresion (kgf/cm2)	RMR
Grado VI	2	15
Grado V	40	23
Grado III	102	44

Meteorizacion	Resistencia a la compresion (kgf/cm2)	RMR
Grado VI	2	10
Grado V	10	21
Grado III	102	44

Figura 61. a) Se muestra el Talud 4 diseñado con los parámetros geomecánicos equivalentes actuales. b) Se muestra el Talud 4 diseñado en base a parámetros geomecánicos equivalentes estimados para 50 años. (Ver en Apéndice 2 los valores A, B y T asociados a cada RMR)

4.4 Mapas temáticos

4.4.1 Mapa de Topografía Modificada

Para la realización del Mapa de Topografía modificada se hizo uso de mapas digitalizados obtenidos por levantamiento topográfico aéreo con sistema *LIDAR* proporcionados por la empresa que ejecuta la obra *Construcción de la Avenida Circunvalación Los Teques*, cuya secuencia de hojas son A-1, A-2, A-3, B-1, B-2, B-3, C-1 y C-2 a escala 1:2500 y del programa *Google Earth* para obtener con más detalles la ubicación de deslizamientos y puntos de levantamiento geológicos. Estos mapas digitalizados mostraban la topografía de la zona y ciertas modificaciones hechas a la topografía como parte del proyecto, es decir, la vialidad y algunos cortes y rellenos realizados; con la ayuda del programa *Google Earth* y modificaciones a la topografía realizadas con el programa *ArcGIS® 10.3* se pudo completar la modificación actual sobre la zona (Ver Figura 62).

Fue necesaria la integración de todas estas hojas en un solo documento para trabajarlas en conjunto en *ArcGIS® 10.3*, para definir el sistema de coordenadas de las mismas y la escala del Mapa de Topografía Modificada en la hoja CLT-01.

4.4.2 Mapa de Pendientes

Una vez efectuada la integración de las hojas se procedió a realizar la interpretación del comportamiento de las curvas de nivel haciendo uso de los modelos de elevación del programa *ArcGIS® 10.3* Para ello se generó un TIN o red irregular de triángulos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno y permite la creación de mapas de elevaciones.

El mapa de elevación generado es editado con la herramienta existente en *Arctoolbox*: “*Conversion*” → “*From TIN*” → “*TIN to Raster...*” para crear una imagen Raster de las variaciones de pendientes en grados de la zona, esta

imagen Raster debe ser reclasificada para escoger los intervalos de clasificación de pendientes mostrados en la Tabla 58, utilizando Arctoolbox → “3D Analyst Tools” → “Raster Reclass” → “Reclassify”. El mapa después de realizar la reclasificación es mucho más nítido respecto a las variaciones estadísticas de las pendientes. Es importante destacar que para darle mucha más profundidad y relieve a este mapa se superpuso el mapa de sombras o *Hillshade* de la zona de estudio (Ver Figura 63).

<i>Pendiente</i>	<i>Grados</i>
Muy Baja	< 5°
Baja	5° - 15°
Media	15° - 30°
Alta	30° - 45°
Muy Alta	>45°

Tabla 58. Clasificación de las pendientes.

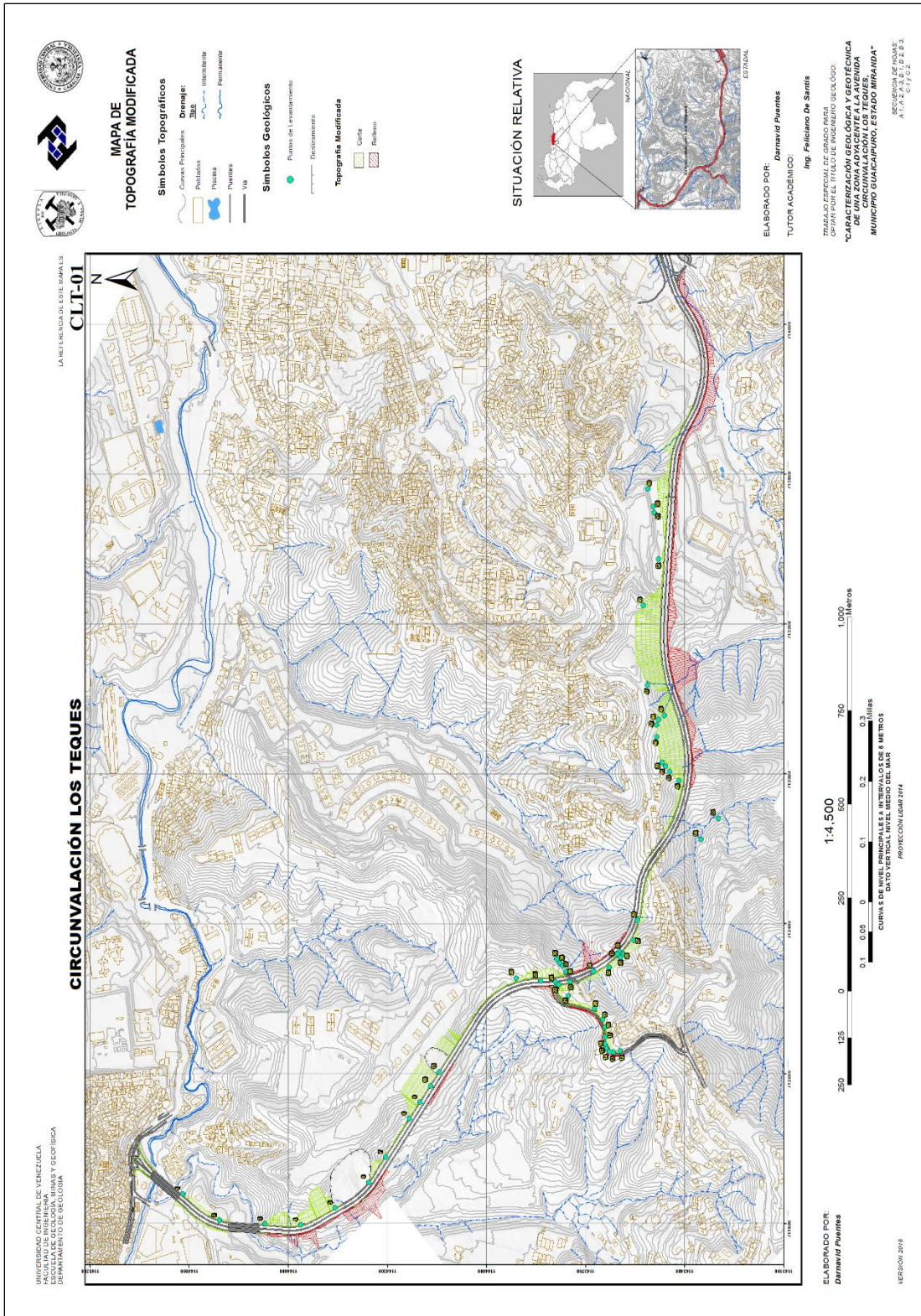


Figura 62. Mapa de Topografía Modificada.

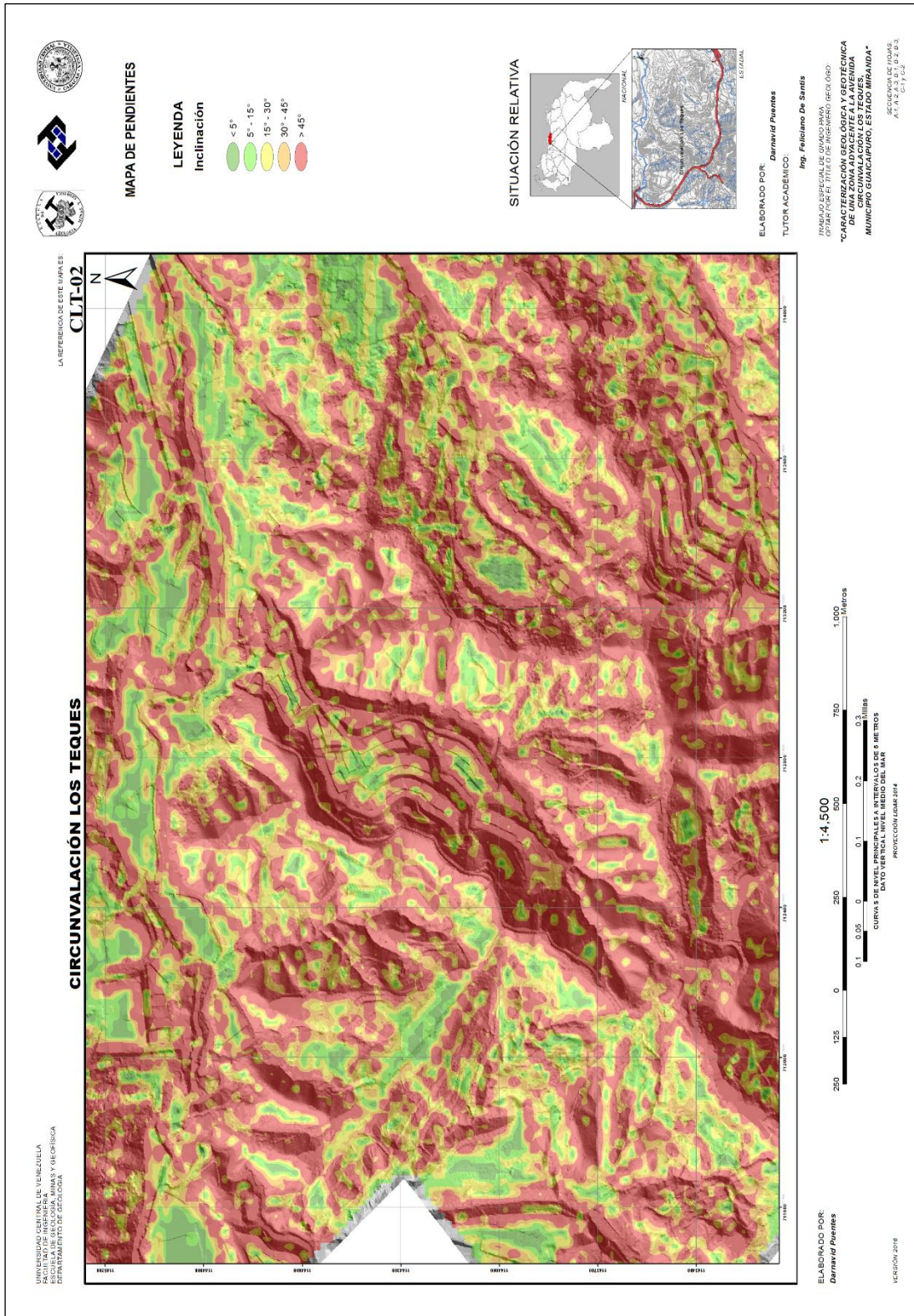


Figura 63. Mapa de Pendientes.

4.4.3 Mapa Geológico – Geotécnico

Este mapa fue realizado con la finalidad de elaborar una integración en planta de las características geomecánicas y geológicas de la zona de estudio. Se realizó inicialmente el mapa geológico de la zona, en el programa ArcGIS® 10.3, haciendo uso de los datos recolectados en campo expuesto en el Capítulo III así como de las interpretaciones realizadas con las fotografías aéreas y datos obtenidos con el programa Google Earth; además se tomó en consideración la información existente en Mapa Geológico de Venezuela a escala 1:100000 y en el mapa 6747-SE a escala 1:25000 obtenido del Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa (URBANI F. & RODRÍGUEZ J., 2004).

Las características geotécnicas incorporadas a este mapa están dadas por una capa que incluye las condiciones generales del macizo rocoso, es decir, por la clasificación geomecánica según Romana (1992) para los 54 puntos de levantamiento. Para representar la calidad de la roca aflorante, según Romana (1992), se utilizaron círculos de radios variables, realizando el cálculo estadístico de las distancias entre cada punto de levantamiento, este procedimiento dio como resultado radios variables que generan círculos de probabilidad en los que se simula la calidad de la roca en un área específica; se recomienda revisar el Apéndice 2 para comprender los cálculos efectuados.

Cabe resaltar que en campo se recolectaron doce muestras para ensayos de laboratorio (compresión simple, peso específico y absorción) las cuales solo siete resistieron el embate de la tronzadora y solo a diez pudo realizárseles sección delgada. En este mapa también se encuentran reflejados los 25 puntos de perforaciones realizadas en la zona de estudio.

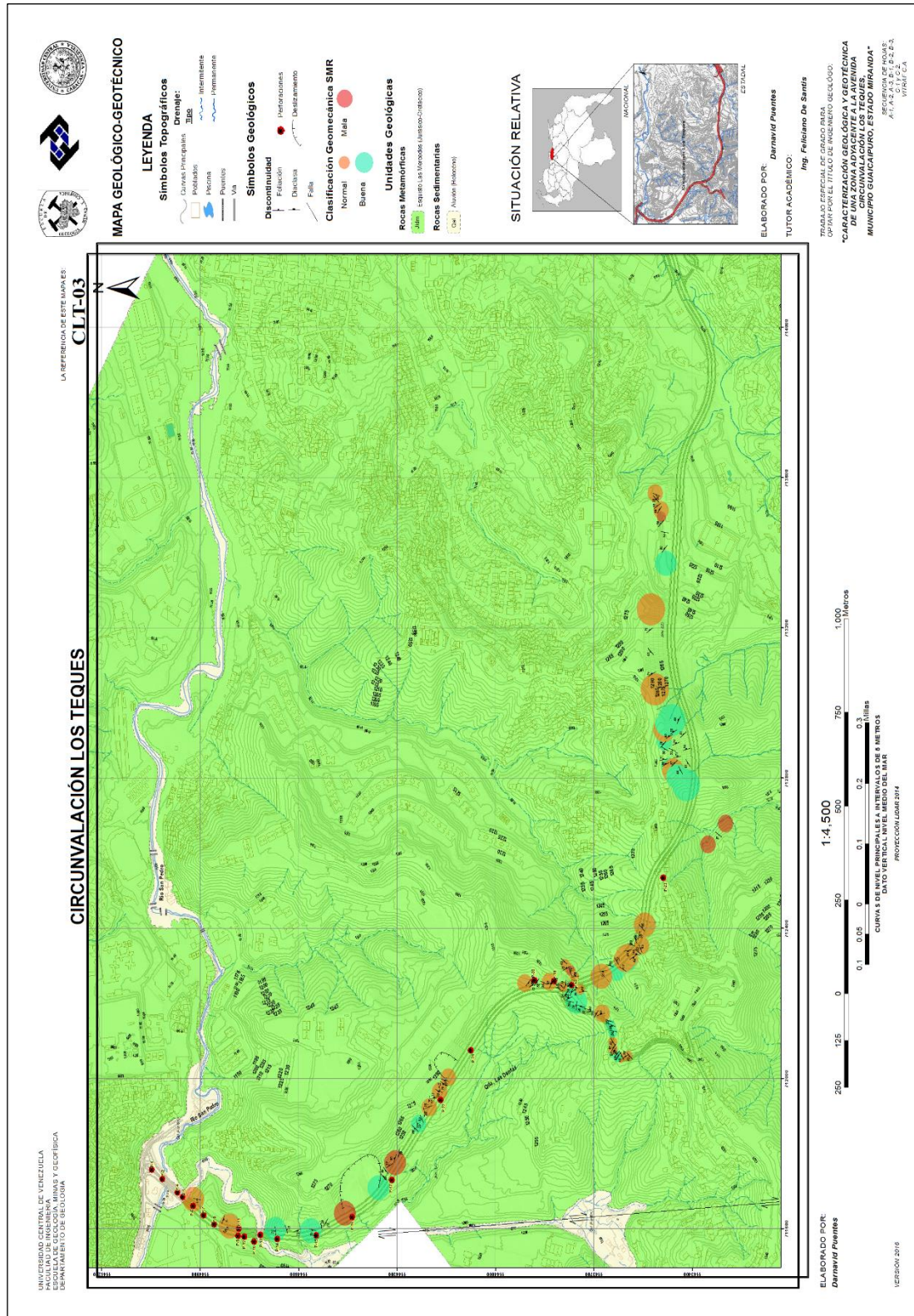


Figura 64. Mapa Geológico - Geotécnico

4.4.4 Mapa de Riesgo

Este mapa fue realizado con la finalidad de mostrar la interacción de las condiciones geotécnicas de la zona con las características topográficas de la misma, es decir, por ejemplo la calidad de la roca, las inclinaciones de los taludes y la dirección general de los planos de discontinuidad existentes en cada punto. Se utilizó un mapa de sombras o Hillshade superpuesto con un modelo de elevación o TIN. Para generar las zonas de riesgo medio y alto, se comparan las situaciones de las discontinuidades y el talud; dependiendo del grado de inestabilidad existente en la zona, se genera una capa de puntos de Riesgo Medio y Riesgo Alto y luego se crea un “*Viewshed*” para cada tipo de riesgo. Arctoolbox → 3D Analyst Tools → Visibility → Viewshed.

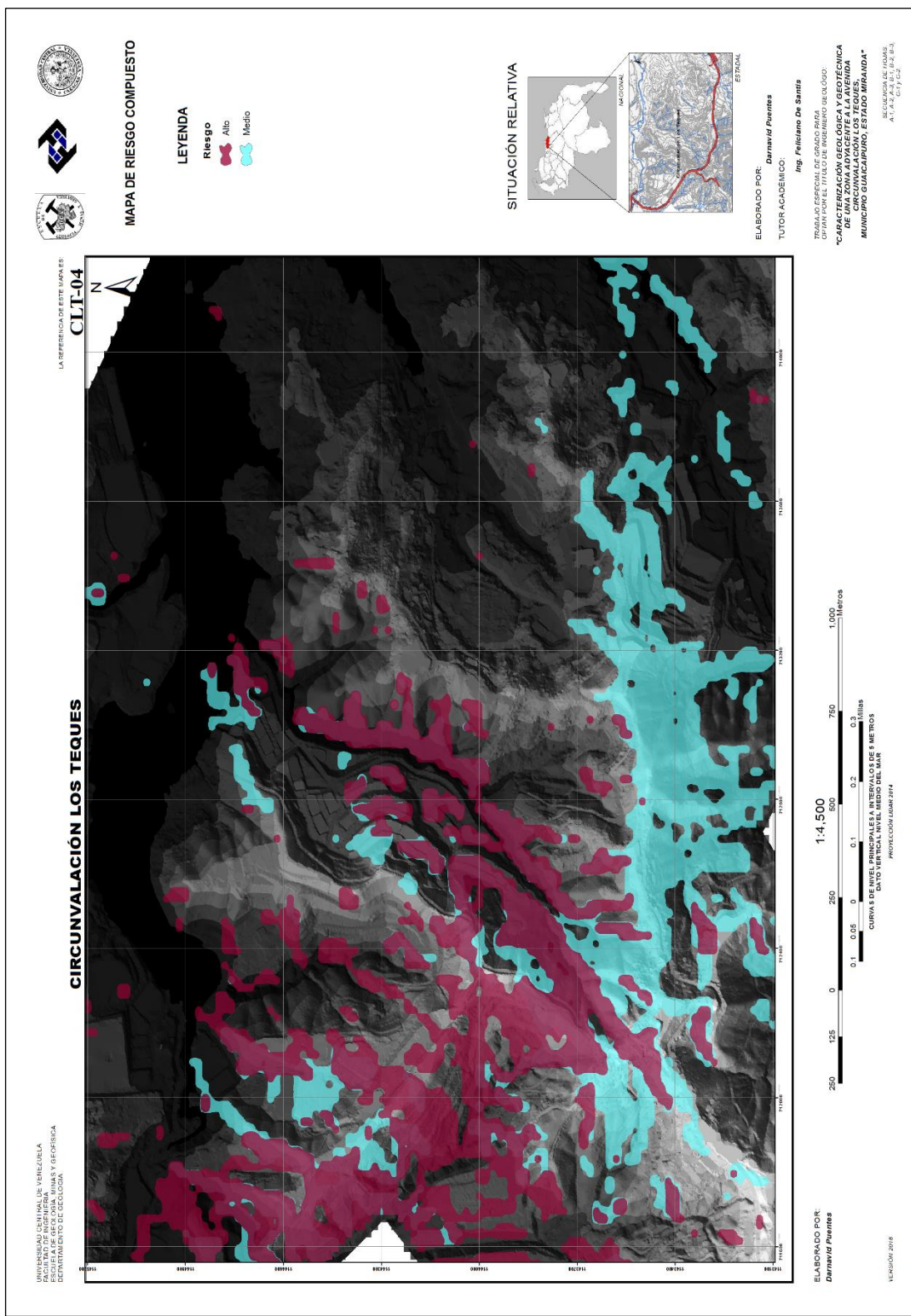


Figura 65. Mapa de Riesgo

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El área de estudio está conformada por rocas metamórficas foliadas correspondientes con la unidad del Esquisto de las Mercedes, constituida por esquistos – calcíticos – grafitosos, esquistos calcíticos – moscovíticos y en algunas zonas por filitas grafitosas – micáceas y filitas micáceas – grafitosas; en menor proporción se encontraron mármol – moscovíticos – tremolíticos y mármol – moscovítico – albiticos.
- La orientación de la foliación en el área de estudio es muy variable debido a los diversos eventos tectónicos de deformación que ha sufrido; la tendencia de foliación es N53W con buzamiento hacia el norte.
- La zona de estudio pudo estar afectada por al menos tres (3) eventos de deformación dúctil que generaron pliegues disarmonicos y rectos con planos axiales perpendiculares a la foliación, bascularon y replegaron estos pliegues y produjeron cabalgamientos locales.
- El análisis geomorfológico permitió clasificar dos unidades principales: Unidad de Relieve Alto constituida por filas sinuosas y colinas rectas y la Unidad de Relieve Bajo constituida por un valle amplio y dos valles estrechos.
- El levantamiento geológico de campo, los ensayos de absorción junto con el estudio petrográfico permitieron determinar el grado de meteorización de la zona de estudio, dando como resultado un área con meteorización desde Grado II hasta Grado IV.

- Se logró teorizar una posible relación entre el contenido de cuarzo existente en las rocas y la Resistencia a la Compresión Simple junto con el Porcentaje de Absorción, siendo esta una relación no lineal. Se concluyó que a mayor contenido de cuarzo es mayor la resistencia a la compresión de la roca y en la mayoría de los casos el porcentaje de absorción es menor. En el caso de la Zona III, el contenido de cuarzo es menor al 15% es por ello que se asoció la resistencia a la compresión simple de la roca con el alto contenido de calcita presente en las muestras; es importante resaltar que esto es favorecido por el estado fresco de la roca, la cual no presentaba rastros de meteorización química.
- Las perforaciones permitieron recrear mediante los perfiles geotécnicos el estado del subsuelo antes y durante la ejecución de la obra. Se perforaron 274 m de SPT y 44 m de rotación para un total de 318 m de longitud de perforación en toda la zona.
- El parámetro de resistencia de la roca a la compresión simple, utilizado en la clasificación de Bieniawski, fue empleado por asociación en los afloramientos próximos de donde no fue posible realizar dicho ensayo. Esto debido a que los afloramientos presentaban características litológicas y minerales similares.
- Con la clasificación geomecánica de Bieniawski (1989) para macizos rocosos se obtuvo que el 90.3% de las rocas que constituyen el área corresponden a rocas de Clase III de Calidad Media y con la clasificación Romana (1992) para taludes se obtuvo que el 64.5% de los taludes pertenecen a la Clase Normal la cual es de categoría Parcialmente Estable.
- El análisis por el método de las discontinuidades arrojó que el 45% de los taludes pueden sufrir fallas en cuña, 39% es estable y solo el 5%

puede sufrir falla plana. El 11% representa a los deslizamientos encontrados a lo largo de toda la zona de estudio.

- La zona de estudio presenta grandes deslizamientos superficiales que pueden observarse en la hoja CLT-01 Mapa de Topografía Modificada.
- El análisis de estabilidad realizado con el diseño de taludes naturales en roca en el software *Slope* (© 2015 GeoStru Software) arrojó que los taludes 3, 4, 6 y 8 son potencialmente inestables a deslizamientos superficiales. Para los demás tipos de deslizamientos todos los taludes son estables.
- Con el análisis de estabilidad a largo plazo queda demostrado que si la calidad de la roca disminuye en el tiempo, pasando de Grado III a Grado VI en la escala de meteorización ISRM como se mostró en los caso expuestos, el factor de seguridad para cualquier tipo de deslizamiento también disminuirá potenciando la ocurrencia de posibles fallas sobre los taludes, reduciendo así la durabilidad de la obra y aumentando la vulnerabilidad de la misma.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar un estudio más detallado haciendo uso de un número mayor de muestras para ensayos de compresión simple, peso específico y absorción que permitan tener datos más precisos para las clasificaciones geomecánicas y para las comparaciones realizadas con estos datos y el porcentaje de cuarzo que ayudan a determinar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso.
- Aunque las condiciones geológicas de la zona en su mayoría son favorables y los análisis de estabilidad realizados no arrojaron la ocurrencia de grandes catástrofes, el hecho de realizar taludes de gran

magnitud y extensión convierte a la Av. Circunvalación Los Teques en una zona de alta vulnerabilidad que requerirá mantenimiento y reparaciones que implican grandes costos; es por ello que debe evaluarse económicamente la realización de este tipo de construcciones y considerar si se debe invertir constantemente en el mantenimiento de las mismas o si se realizan grandes inversiones en obras que aunque tienen tiempo de ejecución mayor, garantizaran su durabilidad en el tiempo y no tendrán un gran impacto ambiental

- Se sugiere la reducción del uso de movimiento de tierra en zonas montañosas donde se destruya el medio ambiente y se exponga la roca a la meteorización, ya que estos taludes además de generar vulnerabilidad, generan costos de mantenimiento constante a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Código Técnico de la Edificación. “*Documento Básico de Seguridad Estructural, Apartado Cimientos*”. (pp. 118) Disponible en <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-C.pdf>
2. Díaz E. (1994). Geología y Geotecnia de las haciendas Santa Rosa y El Carmen, Distrito Guaicaipuro, Estado Miranda. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
3. González de Juana, C., Iturralde, C., & Picard, X., (1980). “*Geología de Venezuela y De Sus Cuencas Petrolíferas*”. Edic. Foninvés, Caracas. 2 Vols., 1031 p.
4. Hackley Paul C. et al., (2005). Mapa Geológico de Venezuela a Escala 1:750,000.
5. Hoek, E. and Brown, E.T. (1997). “*Practical estimates or rock mass strength. Intl. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts*”. 34 (8), 1165–1186.
6. Iasiello E. (1991). Geología y Geotecnia preliminar de un área ubicada al norte de la ciudad de Los Teques, Estado Miranda. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
7. IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks. “*List of Mineral Abbreviations*”. Web versión 01.02.07. Disponible en: https://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper_12.pdf
8. Méndez Baamonde, J. (2006), “*Petrología*”, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
9. PDVSA – Intevep (1997). “*III Léxico Estratigráfico de Venezuela (LEV III)*” disponible en www.pdv.com/lexico, actualizado en abril de 2005.

10. Rock Engineering Practice & Design. *“Lecture 3 Rock Mass Classification & Empirical Design”*. *ISRM Edition*. Disponible en: http://isrm.net/fotos/gca/1301309369eberhardt_-_l3-empiricaldesign.pdf
11. Salomón M. Díaz A. (2010). Estudio hidrogeológico del sector circundante a los fosos de acceso y estaciones de la línea 2 del Metro Los Teques, tramo San Antonio-El Tambor, municipio Guaicaipuro, Carrizal y Los Salias, estado Miranda. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
12. Seiders, V. M. (1965), Geología de Miranda Central, Venezuela.
13. Smith, R. J. (1952), Geología de la Región de Los Teques- Cúa.
14. Solórzano N. & Zurita P. (2011). Estudio geológico-geotécnico de los taludes de la Urb. La Quinta Los Teques, municipio Guaicaipuro, Edo. Miranda. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
15. Wehrmann, M. (1972), Geología de la Región de Caracas-Colonia Tovar. IV Congreso Geológico de Venezuela.