

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

“CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE MASAS ROCOSAS ÍGNEO-METAMÓRFICAS DE LA AUTOPISTA VALENCIA-PUERTO CABELLO, ENTRE LOS KILÓMETROS 181 Y 186, PARA EL DESARROLLO DE SOLUCIONES INGENIERILES A LOS PROBLEMAS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PRESENTES EN LA ZONA”

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
POR EL Br. NÉSTOR DOMÍNGUEZ F.
PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO.**

CARACAS, JUNIO DEL 2005.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

“CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE MASAS ROCOSAS ÍGNEO-METAMÓRFICAS DE LA AUTOPISTA VALENCIA-PUERTO CABELLO, ENTRE LOS KILÓMETROS 181 Y 186, PARA EL DESARROLLO DE SOLUCIONES INGENIERILES A LOS PROBLEMAS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PRESENTES EN LA ZONA”

TUTOR ACADÉMICO: Ing. Feliciano De Santis.

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. José Vicente Heredia.

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
POR EL Br. NÉSTOR DOMÍNGUEZ F.
PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO.**

CARACAS, JUNIO DEL 2005.

D E D I C A T O R I A

Mi pasar por las aulas de esta magna casa de estudio ha sido largo y constructivo, muchos fueron los escenarios vividos, algunos buenos y otros muy aleccionadores, pero lo más importante de todo fue poder lograr la meta de culminar la carrera de Ingeniero Geólogo.

Todo este esfuerzo realizado habría sido en vano, si no hubiese podido compartir con mis seres más queridos este importante logro lleno de sacrificios, el cual sé, que los llena de felicidad. A todos ustedes dedico este trabajo, quienes en todo momento me brindaron su apoyo, amor y creyeron en mí incondicionalmente durante toda mi carrera de estudios.

A ti Mamá, por ser la persona más importante en mi vida, siendo siempre un gran ejemplo de lucha, constancia y perseverancia en todo aspecto de la vida. A ti Papá por ser siempre un ejemplo de éxito y excelencia tanto académica como profesional, y por ser el más importante apoyo durante la mayoría de carrera. A los dos los amo....

A mis hermanas Glenis, Nesuri, Nicole y Mariana, a mi sobrina Antoinette. Espero que les sirva de ejemplo en todo momento, gracias por su cariño.

A mis Abuelos Néstor y Soledad, sé que se sentirán muy orgullosos de mí, gracias por toda la ayuda que me prestaron durante mi carrera.

A ti Gabby, por ser el amor de mi vida, pilar importante en los últimos años de mi carrera. Gracias por ser tan paciente y siempre estar a mi lado, este logro también es tuyo.... ¡Je amo!

A la Sra. Irma Garrido de Agüero, y a toda su familia. Gracias por ser mi familia durante tanto tiempo y gracias por haber sido tan especial conmigo... los aprecio a todos.

AGRADECIMIENTOS

A la ilustre *Universidad Central De Venezuela*. A todo su personal tanto docente como administrativo.

A la facultad de Ingeniería y en especial a los Departamentos de Geología y Geofísica, a su personal docente y administrativo, quienes en todo momento me brindaron su apoyo en mi formación profesional.

A los Profesores Feliciano de Santis, mi Tutor Académico, y Ricardo Alezones, pilares importantes en mi formación profesional.

A todos aquellos docentes que de una u otra forma contribuyeron con el desarrollo del presente trabajo.

Al Ing. José Heredia, al Sr. Rodrigo Loaiza y a todo el personal de la empresa Oficina Técnica Ing. José Heredia & Asociados, sin su apoyo y orientación jamás hubiese sido posible realizar y culminar este trabajo.

A mis tíos Javier, Gregory y Milkrey, demás tíos y primos los cuales me sirvieron siempre de ayuda y soporte durante la duración de mi carrera y elaboración del presente trabajo.

A mis mejores amigos, los cuales siempre me brindaron su apoyo como compañeros de clase y amigos. Nombrarlos no es necesario, ellos saben quienes son.

A todos mis demás compañeros de clases y compañeros ucevistas, que siempre me entendieron y ayudaron en mi carrera.

Muchas gracias a todos.....

Domínguez F. Néstor J.
**“CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE MASAS ROCOSAS
ÍGNEO-METAMÓRFICAS DE LA AUTOPISTA VALENCIA-
PUERTO CABELLO, ENTRE LOS KILÓMETROS 181 Y 186,
PARA EL DESARROLLO DE SOLUCIONES INGENIERILES
A LOS PROBLEMAS DE ESTABILIDAD DE TALUDES
PRESENTES EN LA ZONA”**

**Tutor Académico: Prof. Feliciano De Santis. Tutor Industrial: Ing.
José V. Heredia. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.
Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2005, 253 p.**

Palabras Claves: Taludes, SMR (Slope Mass Rating), Clasificaciones Geomecánicas, Análisis Cinemático de Estabilidad, Diaclasas.

Resumen. La presente investigación fue desarrollada debido a la gran problemática de derrumbes y deslizamientos que afecta en el tramo Valencia-Puerto Cabello de la Autopista Regional del Centro (ARC), la cual se ha venido incrementando desde agosto del 2003. En ese sentido, se ha dirigido el objetivo principal de este trabajo a la caracterización geotécnica de los taludes presentes en la (ARC) tramo Valencia- Puerto Cabello entre los kilómetros 181 y 186. Esto con el fin de definir a partir de estudios técnicos especializados, las propiedades geomecánicas de las masas rocosas, para luego cuantificar el nivel de riesgo geotécnico que estos taludes presentan, y plantear sugerencias de las posibles soluciones de ingeniería para la reducción del latente riesgo.

La primera fase del trabajo consistió en caracterizar y clasificar a cada uno de los Taludes según diversas metodologías propuestas para macizos rocosos, tales como: *RMR-Bieniawski (1979)*, *SMR-Romana (1985)*, *Q index-Barton (1973)*, *GSI-Hoek (1994)* y *Rmi-Palmstrom (1995)*. Para ello se realizaron una serie de toma de datos en campo, así como ensayos de laboratorio.

Posteriormente a la etapa de caracterización y clasificación geomecánica, se realizó el análisis de estabilidad para toda la zona. Aquí se hicieron los diferentes análisis tanto geométricos como analíticos para conocer el nivel de estabilidad de cada talud. Primero se procedió a realizar el análisis cinemático, y luego al conocer cuales de los planos de diaclasas resultaban inestables y por cual de los tipos de rotura característicos se fracturaban, se continuaba con el cálculo del factor de seguridad para cada familia de diaclasas inestables.

Luego del análisis y evaluación de los sistemas de clasificación y estabilidad de los taludes, estos se jerarquizaron según su nivel de riesgo geotécnico. La clasificación de los taludes es la siguiente: taludes estables, taludes inestables con alto riesgo, taludes inestables de mediano riesgo, taludes inestables de bajo riesgo y taludes en zonas abiertas (estables).

Con base en la clasificación hecha a los taludes, se procedió a plantear una serie de posibles soluciones ingenieriles a dichos problemas de estabilidad presentes en la autopista Valencia-Puerto Cabello.

En otro sentido, el trabajo propone varias metodologías para el análisis más simple y efectivo de estabilidad de taludes, las mismas son adaptaciones de metodologías ya establecidas y se pueden apreciar al final de este trabajo en la sección de apéndices.

Se espera, que los resultados de la presente investigación representen una ayuda y una contribución importante, para la solución de los diversos problemas de estabilidad presentes en tan importante arteria vial del País.

2.2.1.1.2. Foliación	22
2.2.1.1.3. Grietas	23
2.2.1.1.4. Fallas	23
2.2.1.2. Espaciamiento	23
2.2.1.3. Rugosidad	25
2.2.1.4. Relleno	26
2.2.1.5. Separación de los bordes	27
2.2.1.6. Persistencia	28
2.2.1.7. Grado de meteorización de la Masa Rocosa	29
2.2.1.8. Flujo de Agua	30
2.2.1.9. Dureza Relativa de la Roca	31
2.2.1.10. Orientación de los planos de discontinuidad	31
2.2.1.11. Índice de Diaclasado (Jv)	32
2.2.1.11. Índice RQD	33
2.3. Clasificaciones Geomecánicas	34
2.3.1. Clasificación de Bieniawski (RMR)	34
2.3.2. Clasificación de Romana (SMR)	37
2.3.3. Clasificación de Barton (Q index)	43
2.3.4. Clasificación de Hoek (GSI)	47
2.3.5. Clasificación de Palmström (Rmi)	49
2.4. Análisis Cinemático de Estabilidad para Taludes según Proyecciones Hemisféricas.	51
2.4.1. Análisis de Rotura Planar.	51
2.4.2. Análisis de Rotura en Cuña	52
2.4.3. Análisis de Rotura por Volcamiento	53
2.5. Calculo del Factor de Seguridad para Taludes en Macizos Rocosos.	55
2.5.1. Factor de Seguridad para Rotura Plana.	55
2.5.2. Factor de Seguridad para Rotura en Cuña.	56
Capítulo 3. Consideraciones Geológicas.	
3.1. Granito de Guaremal	57
3.1.1. Generalidades	57
3.1.2. Ubicación y Extensión	58
3.1.3. Edad	58
3.1.4. Litología	59
3.1.4.1. Granito no foliado	59
3.1.4.2. Gneis y augengneis granítico	60
3.1.5. Contactos	61
3.2. Geología Estructural Regional	61
Capítulo 4. Metodología de Trabajo y Métodos de Investigación del Proyecto	66
4.1. Etapa de Campo	66
4.2. Etapa de Laboratorio	67

4.2.1. Ensayo de Absorción	67
4.2.2. Ensayo del Peso Unitario	68
4.2.3. Ensayo de Corte Directo Saturado	69
4.2.4. Ensayo de Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	70
4.2.5. Ensayo de Comprensión simple sin confinar a la roca intacta (δ_c)	71
4.3. Etapa de Oficina	73
4.3.1. Cálculo y estimación de los índices y parámetros adicionales para la caracterización	73
4.3.2. Clasificación Geomecánica de los Taludes	73
4.3.3. Análisis de Estabilidad de los Taludes	74
4.3.4. Índices de Meteorización	74
4.3.5. Planteamiento de las posibles soluciones ingenieriles a los problemas de estabilidad	74
CAPÍTULO 5. Caracterización y Clasificación Geomecánica de los Taludes.	
5.1. Talud # 1	75
5.1.1. Información General del Talud	75
5.1.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	75
5.1.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	76
5.1.4. Parámetros Físicos	76
5.1.5. Clasificaciones Geomecánicas	76
5.2. Talud # 2	77
5.2.1. Información General del Talud	77
5.3. Talud # 3	77
5.3.1. Información General del Talud	77
5.3.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	77
5.3.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	78
5.3.4. Parámetros Físicos	78
5.3.5. Clasificaciones Geomecánicas	78
5.4. Talud # 4	79
5.4.1. Información General del Talud	79
5.5. Talud # 5	79
5.5.1. Información General del Talud	79
5.5.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	79
5.5.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	80
5.5.4. Parámetros Físicos	80
5.5.5. Clasificaciones Geomecánicas	80
5.6. Talud # 6	81
5.6.1. Información General del Talud	81
5.7. Talud # 7	81
5.7.1. Información General del Talud	81
5.7.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	81
5.7.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	82

5.7.4. Parámetros Físicos	82
5.7.5. Clasificaciones Geomecánicas	82
5.8. Talud # 8	83
5.8.1. Información General del Talud	83
5.9. Talud # 9	83
5.9.1. Información General del Talud	83
5.9.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	84
5.9.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	84
5.9.4. Parámetros Físicos	84
5.9.5. Clasificaciones Geomecánicas	85
5.10. Talud # 10	85
5.10.1. Información General del Talud	85
5.11. Talud # 11	86
5.11.1. Información General del Talud	86
5.11.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	86
5.11.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	86
5.11.4. Parámetros Físicos	87
5.11.5. Clasificaciones Geomecánicas	87
5.12. Talud # 12	88
5.12.1. Información General del Talud	88
5.12.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	88
5.12.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	88
5.12.4. Parámetros Físicos	89
5.12.5. Clasificaciones Geomecánicas	89
5.13. Talud # 13	90
5.13.1. Información General del Talud	90
5.14. Talud # 14	90
5.14.1. Información General del Talud	90
5.14.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	91
5.14.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	91
5.14.4. Parámetros Físicos	91
5.14.5. Clasificaciones Geomecánicas	92
5.15. Talud # 15	92
5.15.1. Información General del Talud	92
5.15.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	92
5.15.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	93
5.15.4. Parámetros Físicos	93
5.15.5. Clasificaciones Geomecánicas	93
5.16. Talud # 16	94
5.16.1. Información General del Talud	94
5.17. Talud # 17	94
5.17.1. Información General del Talud	94
5.17.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	94
5.17.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	95
5.17.4. Parámetros Físicos	95
5.17.5. Clasificaciones Geomecánicas	95

5.18. Talud # 18	96
5.18.1. Información General del Talud	96
5.18.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	96
5.18.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	96
5.18.4. Parámetros Físicos	97
5.18.5. Clasificaciones Geomecánicas	97
5.19. Talud # 19	98
5.19.1. Información General del Talud	98
5.20. Talud # 20	98
5.20.1. Información General del Talud	98
5.20.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	99
5.20.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	99
5.20.4. Parámetros Físicos	99
5.20.5. Clasificaciones Geomecánicas	100
5.21. Talud # 21	100
5.21.1. Información General del Talud	100
5.22. Talud # 22	101
5.22.1. Información General del Talud	101
5.22.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	101
5.22.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	101
5.22.4. Parámetros Físicos	102
5.22.5. Clasificaciones Geomecánicas	102
5.23. Talud # 23	103
5.23.1. Información General del Talud	103
5.24. Talud # 24	103
5.24.1. Información General del Talud	103
5.24.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	104
5.24.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	104
5.24.4. Parámetros Físicos	104
5.24.5. Clasificaciones Geomecánicas	105
5.25. Talud # 25	105
5.25.1. Información General del Talud	105
5.26. Talud # 26	106
5.26.1. Información General del Talud	106
5.26.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	106
5.26.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	106
5.26.4. Parámetros Físicos	107
5.26.5. Clasificaciones Geomecánicas	107
5.27. Talud # 27	108
5.27.1. Información General del Talud	108
5.27.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	108
5.27.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	108
5.27.4. Parámetros Físicos	109
5.27.5. Clasificaciones Geomecánicas	109
5.28. Talud # 28	110
5.28.1. Información General del Talud	110

5.29. Talud # 29	110
5.29.1. Información General del Talud	110
5.30. Talud # 30	111
5.30.1. Información General del Talud	111
5.30.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	111
5.30.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	111
5.30.4. Parámetros Físicos	112
5.30.5. Clasificaciones Geomecánicas	112
5.31. Talud # 31	113
5.31.1. Información General del Talud	113
5.31.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	113
5.31.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	113
5.31.4. Parámetros Físicos	114
5.31.5. Clasificaciones Geomecánicas	114
5.32. Talud # 32	115
5.32.1. Información General del Talud	115
5.32.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	115
5.32.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	115
5.32.4. Parámetros Físicos	116
5.32.5. Clasificaciones Geomecánicas	116
5.33. Talud # 33	117
5.33.1. Información General del Talud	117
5.33.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	117
5.33.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	117
5.33.4. Parámetros Físicos	118
5.33.5. Clasificaciones Geomecánicas	118
5.34. Talud # 34	119
5.34.1. Información General del Talud	119
5.35. Talud # 35	119
5.35.1. Información General del Talud	119
5.36. Talud # 36	120
5.36.1. Información General del Talud:	120
5.37. Talud # 37	120
5.37.1. Información General del Talud	120
5.38. Talud # 38	121
5.38.1. Información General del Talud	121
5.38.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	121
5.38.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	121
5.38.4. Parámetros Físicos	122
5.38.5. Clasificaciones Geomecánicas	122
5.39. Talud # 39	123
5.39.1. Información General del Talud	123
5.40. Talud # 40	123
5.40.1. Información General del Talud	123
5.40.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	124
5.40.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	124

5.40.4. Parámetros Físicos	124
5.40.5. Clasificaciones Geomecánicas	125
5.41. Talud # 41	125
5.41.1. Información General del Talud	125
5.42. Talud # 42	126
5.42.1. Información General del Talud	126
5.42.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	126
5.42.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	126
5.42.4. Parámetros Físicos	127
5.42.5. Clasificaciones Geomecánicas	127
5.43. Talud # 43	128
5.43.1. Información General del Talud	128
5.44. Talud # 44	128
5.44.1. Información General del Talud	128
5.44.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	128
5.44.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	129
5.44.4. Parámetros Físicos	129
5.44.5. Clasificaciones Geomecánicas	129
5.45. Talud # 45	130
5.45.1. Información General del Talud	130
5.46. Talud # 46	130
5.46.1. Información General del Talud	130
5.47. Talud # 47:	131
5.47.1. Información General del Talud	131
5.47.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	131
5.47.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	131
5.47.4. Parámetros Físicos	132
5.47.5. Clasificaciones Geomecánicas	132
5.48. Talud # 48:	133
5.48.1. Información General del Talud	133
5.48.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas	133
5.48.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas	133
5.48.4. Parámetros Físicos	134
5.48.5. Clasificaciones Geomecánicas	134

Capítulo 6. Análisis de Estabilidad y Evaluación de Resultados

6.1. Análisis de Estabilidad	135
6.1.1. Análisis del Talud # 1: Progresiva "181+980"	136
6.1.2. Análisis del Talud # 3: Progresiva "182+042"	137
6.1.3. Análisis del Talud # 5: Progresiva "182+104"	138
6.1.4. Análisis del Talud # 7: Progresiva "182+166"	140
6.1.5. Análisis del Talud # 9: Progresiva "182+256"	141
6.1.6. Análisis del Talud # 11: Progresiva "182+348"	142
6.1.7. Análisis del Talud # 12: Progresiva "182+388"	144
6.1.8. Análisis del Talud # 14: Progresiva "182+558"	145

6.1.9. Análisis del Talud # 15: Progresiva "182+658"	146
6.1.10. Análisis del Talud # 17: Progresiva "182+870"	148
6.1.11. Análisis del Talud # 18: Progresiva "182+920"	149
6.1.12. Análisis del Talud # 20: Progresiva "182+985"	150
6.1.13. Análisis del Talud # 22: Progresiva "183+316"	152
6.1.14. Análisis del Talud # 24: Progresiva "183+508"	153
6.1.15. Análisis del Talud # 26: Progresiva "183+683"	154
6.1.16. Análisis del Talud # 27: Progresiva "183+738"	156
6.1.17. Análisis del Talud # 30: Progresiva "184+485"	157
6.1.18. Análisis del Talud # 31: Progresiva "184+560"	158
6.1.19. Análisis del Talud # 32: Progresiva "184+586"	160
6.1.20. Análisis del Talud # 33: Progresiva "184+686"	161
6.1.21. Análisis del Talud # 38: Progresiva "185+148"	162
6.1.22. Análisis del Talud # 40: Progresiva "185+197"	164
6.1.23. Análisis del Talud # 42: Progresiva "185+482"	165
6.1.24. Análisis del Talud # 44: Progresiva "185+600"	166
6.1.25. Análisis del Talud # 47: Progresiva "185+915"	168
6.1.26. Análisis del Talud # 48: Progresiva "185+950"	169
6.1.27 Taludes sin Información	170
6.1.28 Resumen del Análisis de Estabilidad de los Taludes	171
6.2. Índices de Meteorización	172
6.3 Comparación entre los tipos de Clasificación utilizados para los macizos rocosos	178
6.4. Propuestas Ingenieriles a los Problemas de Estabilidad	181
6.4.1. Soluciones según el valor del SMR	181
6.4.2. Soluciones específicas para los problemas de estabilidad presentes en la autopista Valencia-Puerto cabello	182
6.4.2.1. Pantalla Atirantada con anclajes de tipo activo	182
6.4.2.2. Estructura compuesta por malla de guiado y muro de pie	185
6.4.2.3. Pantalla de Concreto con Anclajes Pasivos	188
6.4.2.4. Muro de pie (gavión o concreto armado)	189
6.4.2.5. Zanjas Recolectoras de Rocas	190
6.4.2.6. Pantalla Dinámica para Protección Contra Caída de Bloques.	191
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	193
BIBLIOGRAFÍA	200
APÉNDICE A. Tabla Resumen de los parámetros obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio	203
APÉNDICE B. Tabla Resumen de los parámetros RQD y J_v calculados para cada talud	204
APÉNDICE C. Metodología Gráfica simplificada para el Análisis de Estabilidad por Proyección Hemisférica	205

APENDICE D. Representación de las Hojas de cálculo en formato Excel, para la obtención de los parámetros RMR-SMR, Q y Rmi	208
APENDICE E. Ábacos para el Calculo del Fs por Cuña	212
APENDICE F. Guía sobre el diseño y construcción de alguna de las soluciones ingenieriles propuestas	216
APENDICE G. Manual para la estimación en campo del SMR	244
APENDICE H. Formato Simplificado y generalizado para la toma de datos en la caracterización de Taludes	253

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área en estudio.	4
Figura 2. Desprendimientos.	7
Figura 3. Algunas inestabilidades de bloques por desprendimiento.	8
Figura 4. Volcamiento	9
Figura 5. Deslizamiento rotacional en macizo rocoso muy fracturado.	10
Figura 6. Diferentes superficies circulares de rotura	11
Figura 7. Deslizamiento traslacional en macizo rocoso.	12
Figura 8. Deslizamiento traslacional de tipo rotura plana.	13
Figura 9. Deslizamiento traslacional de tipo rotura en cuña.	13
Figura 10. Medición del espaciamiento de una discontinuidad	24
Figura 11. Tabla de rugosidad de BARTON & CHOUBEY	26
Figura 12. Diagrama explicativo de la separación de los bordes.	27
Figura 13. Características espaciales de los diferentes tipos de persistencias.	28
Figura 14. Intervalos de valores del índice Q y el tipo de sostenimiento asociado.	45
Figura 15. Clasificación del GSI para rocas metamórficas de HOEK (1998), modificada por TUZMAN (1999) y posteriormente por SALCEDO (1999).	48
Figura 16. Rotura Plana de un macizo rocoso y su representación estereográfica.	52
Figura 17. Rotura en Cuña de un macizo rocoso y su representación estereográfica	53
Figura 18. Rotura por Volcamiento de un macizo rocoso y su representación estereográfica.	54
Figura 19. Diagrama de rotura plana	55
Figura 20. Diagrama sobre parámetros para Factor de seguridad en cuña.	56
Figura 21. Ubicación del Granito de Guaremal.	58
Figura 22. Ábaco para el cálculo de la compresión sin confinar por medio del rebote de Schmidt	71
Figura 23. Proyección hemisférica del Talud 1.	136
Figura 24. Proyección hemisférica del Talud 3.	137
Figura 25. Proyección hemisférica del Talud 5.	139
Figura 26. Proyección hemisférica del Talud 7.	140
Figura 27. Proyección hemisférica del Talud 9.	141
Figura 28. Proyección hemisférica del Talud 11.	143
Figura 29. Proyección hemisférica del Talud 12.	144
Figura 30. Proyección hemisférica del Talud 14.	145
Figura 31. Proyección hemisférica del Talud 15.	147
Figura 32. Proyección hemisférica del Talud 17.	148
Figura 33. Proyección hemisférica del Talud 18.	149
Figura 34. Proyección hemisférica del Talud 20.	151

Figura 35. Proyección hemisférica del Talud 22.	152
Figura 36. Proyección hemisférica del Talud 24.	153
Figura 37. Proyección hemisférica del Talud 26.	155
Figura 38. Proyección hemisférica del Talud 27.	156
Figura 39. Proyección hemisférica del Talud 30.	157
Figura 40. Proyección hemisférica del Talud 31.	159
Figura 41. Proyección hemisférica del Talud 32.	160
Figura 42. Proyección hemisférica del Talud 33.	161
Figura 43. Proyección hemisférica del Talud 38.	163
Figura 44. Proyección hemisférica del Talud 40.	164
Figura 45. Proyección hemisférica del Talud 42.	165
Figura 46. Proyección hemisférica del Talud 44.	167
Figura 47. Proyección hemisférica del Talud 47.	168
Figura 48. Proyección hemisférica del Talud 48.	169
Figura 49. Pantalla atirantada con anclajes activos.	183
Figura 50. Muro de Gavión con Malla de Guiado.	185
Figura 51. Muro de Concreto Armado con Malla de Guiado.	186
Figura 52. Esquema de planta de la Malla de Guiado con anclajes pasivos.	187
Figura 53. Vista de perfil de la Malla de Guiado con anclajes pasivos.	187
Figura 54. Detalle de la pantalla y acero de refuerzo.	188
Figura 55. Muro de Gavión.	189
Figura 56. Muro de Concreto Armado.	189
Figura 57. Trayectoria de la caída de una roca en un talud según sea su pendiente.	190
Figura 58. Pantalla Dinámica para Protección Contra Caída de bloques.	191

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación para el espaciamiento de las diaclasas (Romana 1992).	25
Tabla 2. Tabla de persistencia, propuesta por la ISRM (1981).	29
Tabla 3. Grado de meteorización en los planos de diaclasas (ISRM, 1977)	30
Tabla 4. Flujo de agua en las diaclasa.	30
Tabla 5. Índices manuales para estimar la resistencia de la roca.	31
Tabla 6. Obtención de la dirección de buzamiento a partir del rumbo.	32
Tabla 7. Relación entre J_v y el tamaño de los bloques.	33
Tabla 8. Valores del RMR (BIENIAWSKI, 1979)	36
Tabla 9. Tabla para el ajuste del RMR por la orientación de las discontinuidades.	36
Tabla 10. Tabla de clasificación final del RMR, con las clases, valores y parámetros adicionales estimados, BIENIAWSKI (1979).	37
Tabla 11. Factor de ajuste de las diaclasas (ROMANA, 1985)	41
Tabla 12. Factor de ajuste según el método de excavación (ROMANA, 1985).	41
Tabla 13. Clases de Estabilidad según el SMR (ROMANA, 1985).	42
Tabla 14. Tipos de Rotura según el SMR.	42
Tabla 15. Definición de los parámetros que forman el índice Q de calidad de la roca.	44
Tabla 16. Índice de diaclasado (J_r) e índice de rugosidad (J_r).	46
Tabla 17. Índice de alteración (J_a) y coeficiente reductor por la presencia de agua (J_w).	46
Tabla 18. Estado tensional de esfuerzos (SRF).	47
Tabla 19. Información general del talud # 1.	75
Tabla 20. Descripción de los planos de diaclasas.	75
Tabla 21. Estado o condición general de las diaclasas.	76
Tabla 22. Parámetros Físicos.	76
Tabla 23. Clasificaciones Geomecánicas.	76
Tabla 24. Información general del talud # 2.	77
Tabla 25. Información general del talud # 3.	77
Tabla 26. Descripción de los planos de diaclasas	77
Tabla 27. Estado o condición general de las diaclasas.	78
Tabla 28. Parámetros Físicos	78
Tabla 29. Clasificaciones Geomecánicas.	78
Tabla 30. Información general del talud # 4.	79
Tabla 31. Información general del talud # 5.	79
Tabla 32. Descripción de los planos de diaclasas	79
Tabla 33. Estado o condición general de las diaclasas.	80
Tabla 34. Parámetros Físicos.	80
Tabla 35. Clasificaciones Geomecánicas.	80
Tabla 36. Información general del talud # 6.	81

Tabla 37. Información general del talud # 7.	81
Tabla 38. Descripción de los planos de diaclasas.	81
Tabla 39. Estado o condición general de las diaclasas	82
Tabla 40. Parámetros Físicos.	82
Tabla 41. Clasificaciones Geomecánicas.	82
Tabla 42. Información general del talud # 8.	83
Tabla 43. Información general del talud # 9.	83
Tabla 44. Descripción de los planos de diaclasas.	84
Tabla 45. Estado o condición general de las diaclasas	84
Tabla 46. Parámetros Físicos.	84
Tabla 47. Clasificaciones Geomecánicas.	85
Tabla 48. Información general del talud # 10.	85
Tabla 50. Descripción de los planos de diaclasas.	86
Tabla 51. Estado o condición general de las diaclasas.	86
Tabla 52. Parámetros Físicos.	87
Tabla 53. Clasificaciones Geomecánicas.	87
Tabla 54. Información general del talud # 12.	88
Tabla 55. Descripción de los planos de diaclasas.	88
Tabla 56. Estado o condición general de las diaclasas.	88
Tabla 57. Parámetros Físicos.	89
Tabla 58. Clasificaciones Geomecánicas.	89
Tabla 59. Información general del talud # 13.	90
Tabla 60. Información general del talud # 14.	90
Tabla 61. Descripción de los planos de diaclasas.	91
Tabla 62. Estado o condición general de las diaclasas.	91
Tabla 63. Parámetros Físicos.	91
Tabla 64. Clasificaciones Geomecánicas.	92
Tabla 65. Información general del talud # 15	92
Tabla 66. Descripción de los planos de diaclasas.	92
Tabla 67. Estado o condición general de las diaclasas.	93
Tabla 68. Parámetros Físicos.	93
Tabla 69. Clasificaciones Geomecánicas	93
Tabla 70. Información general del talud # 16.	94
Tabla 71. Información general del talud # 17.	94
Tabla 72. Descripción de los planos de diaclasas.	94
Tabla 73. Estado o condición general de las diaclasas.	95
Tabla 74. Parámetros Físicos.	95
Tabla 75. Clasificaciones Geomecánicas.	95
Tabla 76. Información general del talud # 18.	96
Tabla 77. Descripción de los planos de diaclasas.	96
Tabla 78. Estado o condición general de las diaclasas.	96
Tabla 79. Parámetros Físicos.	97
Tabla 80. Clasificaciones Geomecánicas.	97
Tabla 81. Información general del talud # 19.	98
Tabla 82. Información general del talud # 20.	98
Tabla 83. Descripción de los planos de diaclasas.	99

Tabla 84. Estado o condición general de las diaclasas.	99
Tabla 85. Parámetros Físicos.	99
Tabla 86. Clasificaciones Geomecánicas.	100
Tabla 87. Información general del talud # 21.	100
Tabla 88. Información general del talud # 22.	101
Tabla 89. Descripción de los planos de diaclasas.	101
Tabla 90. Estado o condición general de las diaclasas.	101
Tabla 91. Parámetros Físicos.	102
Tabla 92. Clasificaciones Geomecánicas.	102
Tabla 93. Información general del talud # 23.	103
Tabla 94. Información general del talud # 24.	103
Tabla 95. Descripción de los planos de diaclasas.	104
Tabla 96. Estado o condición general de las diaclasas.	104
Tabla 97. Parámetros Físicos.	104
Tabla 98. Clasificaciones Geomecánicas.	105
Tabla 99. Información general del talud # 25.	105
Tabla 100. Información general del talud # 26.	106
Tabla 101. Descripción de los planos de diaclasas.	106
Tabla 102. Estado o condición general de las diaclasas.	106
Tabla 103. Parámetros Físicos.	107
Tabla 104. Clasificaciones Geomecánicas.	107
Tabla 105. Información general del talud # 1.	108
Tabla 106. Descripción de los planos de diaclasas.	108
Tabla 107. Estado o condición general de las diaclasas.	108
Tabla 108. Parámetros Físicos.	109
Tabla 109. Clasificaciones Geomecánicas.	109
Tabla 110. Información general del talud # 28.	110
Tabla 111. Información general del talud # 29.	110
Tabla 112. Información general del talud # 30.	111
Tabla 113. Descripción de los planos de diaclasas.	111
Tabla 114. Estado o condición general de las diaclasas.	111
Tabla 115. Parámetros Físicos.	112
Tabla 116. Clasificaciones Geomecánicas.	112
Tabla 117. Información general del talud # 31.	113
Tabla 118. Descripción de los planos de diaclasas.	113
Tabla 119. Estado o condición general de las diaclasas.	113
Tabla 120. Parámetros Físicos.	114
Tabla 121. Clasificaciones Geomecánicas.	114
Tabla 122. Información general del talud # 32.	115
Tabla 123. Descripción de los planos de diaclasas.	115
Tabla 124. Estado o condición general de las diaclasas	115
Tabla 125. Parámetros Físicos	116
Tabla 126. Clasificaciones Geomecánicas	116
Tabla 127. Información general del talud # 33	117
Tabla 128. Descripción de los planos de diaclasas.	117
Tabla 129. Estado o condición general de las diaclasas	117

Tabla 130. Parámetros Físicos.	118
Tabla 131. Clasificaciones Geomecánicas.	118
Tabla 132. Información general del talud # 34.	119
Tabla 133. Información general del talud # 35	119
Tabla 134. Información general del talud # 36	120
Tabla 135. Información general del talud # 37	120
Tabla 136. Información general del talud # 38	121
Tabla 137. Descripción de los planos de diaclasas.	121
Tabla 138. Estado o condición general de las diaclasas.	121
Tabla 139. Parámetros Físicos.	122
Tabla 140. Clasificaciones Geomecánicas	122
Tabla 141. Información general del talud # 39.	123
Tabla 142. Información general del talud # 40	123
Tabla 143. Descripción de los planos de diaclasas.	124
Tabla 144. Estado o condición general de las diaclasas.	124
Tabla 145. Parámetros Físicos.	124
Tabla 146. Clasificaciones Geomecánicas.	125
Tabla 147. Información general del talud # 41	125
Tabla 148. Información general del talud # 42	126
Tabla 149. Descripción de los planos de diaclasas.	126
Tabla 150. Estado o condición general de las diaclasas	126
Tabla 151. Parámetros Físicos.	127
Tabla 152. Clasificaciones Geomecánicas.	127
Tabla 153. Información general del talud # 43.	128
Tabla 154. Información general del talud # 44.	128
Tabla 155. Descripción de los planos de diaclasas.	128
Tabla 156. Estado o condición general de las diaclasas.	129
Tabla 157. Parámetros Físicos.	129
Tabla 158. Clasificaciones Geomecánicas.	129
Tabla 159. Información general del talud # 45	130
Tabla 160. Información general del talud # 46	130
Tabla 161. Información general del talud # 47	131
Tabla 162. Descripción de los planos de diaclasas.	131
Tabla 163. Estado o condición general de las diaclasas.	131
Tabla 164. Parámetros Físicos.	132
Tabla 165. Clasificaciones Geomecánicas.	132
Tabla 166. Información general del talud # 48	133
Tabla 167. Descripción de los planos de diaclasas.	133
Tabla 168. Estado o condición general de las diaclasas.	133
Tabla 169. Parámetros Físicos.	134
Tabla 170. Clasificaciones Geomecánicas.	134
Tabla 171. Orientación de los planos	136
Tabla 172. Resumen de estabilidad del Talud # 1.	136
Tabla 173. Orientación de los planos	137
Tabla 174. Resumen de estabilidad del Talud # 3.	138
Tabla 175. Orientación de los planos	138

Tabla 176. Resumen de estabilidad del Talud # 5.	139
Tabla 177. Orientación de los planos	140
Tabla 178. Resumen de estabilidad del Talud # 7	140
Tabla 179. Orientación de los planos	141
Tabla 180. Resumen de estabilidad del Talud # 9.	142
Tabla 181. Orientación de los planos	142
Tabla 182. Resumen de estabilidad del Talud # 11.	143
Tabla 183. Orientación de los planos	144
Tabla 184. Resumen de estabilidad del Talud # 12	144
Tabla 185. Orientación de los planos	145
Tabla 186. Resumen de estabilidad del Talud # 14	146
Tabla 187. Orientación de los planos	146
Tabla 188. Resumen de estabilidad del Talud # 15	147
Tabla 189. Orientación de los planos	148
Tabla 190. Resumen de estabilidad del Talud # 17	148
Tabla 191. Orientación de los planos	149
Tabla 192. Resumen de estabilidad del Talud # 18	150
Tabla 193. Orientación de los planos	150
Tabla 194. Resumen de estabilidad del Talud # 20	151
Tabla 195. Orientación de los planos	152
Tabla 196. Resumen de estabilidad del Talud # 22	152
Tabla 197. Orientación de los planos	153
Tabla 198. Resumen de estabilidad del Talud # 24	154
Tabla 199. Orientación de los planos	154
Tabla 200. Resumen de estabilidad del Talud # 26.	155
Tabla 201. Orientación de los planos	156
Tabla 202. Resumen de estabilidad del Talud # 27.	156
Tabla 203. Orientación de los planos	157
Tabla 204. Resumen de estabilidad del Talud # 30.	158
Tabla 205. Orientación de los planos	158
Tabla 206. Resumen de estabilidad del Talud # 31.	159
Tabla 207. Orientación de los planos	160
Tabla 208. Orientación de los planos	160
Tabla 209. Orientación de los planos	161
Tabla 210. Resumen de estabilidad del Talud # 33.	162
Tabla 211. Orientación de los planos	162
Tabla 212. Resumen de estabilidad del Talud # 38.	163
Tabla 213. Orientación de los planos	164
Tabla 214. Resumen de estabilidad del Talud # 40.	164
Tabla 215. Orientación de los planos	165
Tabla 216. Resumen de estabilidad del Talud # 42.	166
Tabla 217. Orientación de los planos	166
Tabla 218. Resumen de estabilidad del Talud # 44.	167
Tabla 219. Orientación de los planos	168
Tabla 220. Resumen de estabilidad del Talud # 47.	168
Tabla 221. Orientación de los planos	169

Tabla 222. Resumen de estabilidad del Talud # 48.	170
Tabla 223. Resumen de los taludes sin información	171
Tabla 224. Resumen del Análisis de Estabilidad de los 48 Taludes.	171
Tabla 225. Métodos de corrección para taludes inestables (modificado de Romana 1992).	182

LISTA DE GRAFICOS

Grafico 1. Resumen del Análisis de Estabilidad de los 48 Taludes.	172
Grafico 2. Índice de Absorción Vs Índice de resistencia	174
Grafico 3. Índice de Absorción Vs Índice de densidad.	175
Grafico 4. Índice de densidad Vs Índice de resistencia.	176
Grafico 5. Índice de Meteorización.	177
Grafico 6. Taludes según el grado de meteorización.	178

LISTA DE FOTOS

Foto 1. Vista de las diaclasas.	6
Foto 2. Familias de Diaclasas que forman un sistema.	20
Foto 3. Superficie de foliación fina y muy bien desarrollada en filitas grafitosas. (Sánchez 2000)	22
Foto 4. Vista de diaclasas del Talud # 1	136
Foto 5. Vista de diaclasas del Talud # 3	137
Foto 6. Vista de diaclasas del Talud # 5	138
Foto 7. Vista de diaclasas del Talud # 7	140
Foto 8. Vista de diaclasas del Talud # 9	141
Foto 9. Vista de diaclasas del Talud # 9	142
Foto 10. Vista de diaclasas del Talud # 12	144
Foto 11. Vista de diaclasas del Talud # 14	145
Foto 12. Vista de diaclasas del Talud # 15	146
Foto 13. Vista de diaclasas del Talud # 17	148
Foto 14. Vista de diaclasas del Talud # 18	149
Foto 15. Vista de diaclasas del Talud # 20	150
Foto 16. Vista de diaclasas del Talud # 22	152
Foto 17. Vista de diaclasas del Talud # 24	153
Foto 18. Vista de diaclasas del Talud # 26	154
Foto 19. Vista de diaclasas del Talud # 27	156
Foto 20. Vista de diaclasas del Talud # 30	157
Foto 21. Vista de diaclasas del Talud # 31	158
Foto 22. Vista de diaclasas del Talud # 32	160
Foto 23. Vista de diaclasas del Talud # 33	161
Foto 24. Vista de diaclasas del Talud # 38	162

Foto 25. Vista de diaclasas del Talud # 40	164
Foto 26. Vista de diaclasas del Talud # 42	165
Foto 27. Vista de diaclasas del Talud # 44	166
Foto 28. Vista de diaclasas del Talud # 47	168
Foto 29. Vista de diaclasas del Talud # 48	169
Foto 30. Zanja construida en una vía muy similar al tramo Valencia-Puerto Cabello	190

CAPÍTULO 1. Generalidades.**1.1 Introducción.**

El primer paso en las investigaciones generales relacionadas con estabilidad de taludes, lo constituyen los estudios de la superficie del terreno, principalmente identificar de que tipo de material se constituye el o los taludes con problemática, si son de roca, suelo o una mezcla de ambos.

Dentro de las zonas con susceptibilidad al deslizamiento existen áreas que, debido a la existencia o presencia de algún rasgo característico, presentan una mayor vulnerabilidad. Algunas de las más típicas localizaciones incluyen áreas de taludes escarpados, acantilados, taludes cuyo pie es erosionado o áreas estructuralmente complejas y con fracturación densa. Todo esto aunado desde luego a la relación entre los tipos de materiales y su susceptibilidad al deslizamiento.

La autopista Valencia – Puerto Cabello forma parte de la troncal T001, principal arteria vial de la Región Central del país. Este ambicioso proyecto fue ideado a finales de la década de 1950, su construcción se inició en el año 1961 y finalizó el 29 de Diciembre de 1965 cuando esta fue inaugurada. Su proceso constructivo fue tedioso por la presencia del complejo ígneo-metamórfico de la Cordillera de la Costa conocido como Granito de Guaremal, lo cual implicó un exagerado uso de explosivos con técnicas rudimentarias sin respetar el patrón de fracturamiento de la roca. Como consecuencia se produjeron grandes derrumbes que obligaron a pensar a los responsables del proyecto a paralizar su puesta en servicio.

Con el transcurrir de estos últimos 40 años los procesos de meteorización que actúan sobre la roca, han empeorado la condición de estabilidad del

macizo, poniendo en peligro a los usuarios cada vez que se produce un intenso periodo de lluvia. La zona con mayor problemática se encuentra entre los kilómetros 180 y 187 en sentido Puerto Cabello.

El objetivo principal de este trabajo es la caracterización geotécnica de las masas rocosas ígneo-metamórficas que conforman dichos taludes a lo largo de este tramo de la (ARC), con el fin de definir a partir de estudios y ensayos técnicos especializados las propiedades geomecánicas de la roca intacta y de la masa rocosa, para luego cuantificar el nivel de riesgo geotécnico que estos taludes presentan, así como dar una sugerencia de las posibles soluciones de ingeniería para la reducción de dicho riesgo.

1.2. Justificación del Proyecto.

Debido a la problemática de derrumbes y deslizamientos presente en el tramo Valencia-Puerto Cabello de la ARC, los cuales se han venido incrementando desde agosto del 2003 cuando se desprendieron y deslizaron a la vía bloques de hasta 10 m³, el Instituto de Vialidad del estado Carabobo (INVIAL) ha solicitado a la empresa "Oficina Técnica Ing. José Heredia & Asociados C.A" el desarrollo de un proyecto que permita elaborar un programa de mantenimiento preventivo y estabilización de los taludes mas críticos. Este programa presentara soluciones a corto plazo para talud del Km 186, a mediano plazo para los otros taludes que se encuentran entre los Km 180 y 187, y a largo plazo para el resto de la autopista. Este programa incluye rehabilitación del pavimento y drenajes laterales.

1.3. Objetivos y Alcance del Trabajo.

En vista del problema planteado, se ha dirigido el objetivo de este Trabajo Especial de Grado a realizar la caracterización geotécnica de las masas rocosas ígneo-metamórficas presentes en la Autopista Valencia-Puerto Cabello, entre los kilómetros 181 y 186, para luego plantear una serie de soluciones ingenieriles a estos problemas de estabilidad de taludes.

1.3.1. Objetivo General.

Conocer los parámetros geomecánicos de las masas rocosas para aplicar métodos racionales y poder analizar la estabilidad de los taludes en busca de una solución efectiva de mantenimiento preventivo.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Aplicar métodos de obtención de información geológica y geotécnica de campo.
- Clasificar geotécnicamente a los taludes de acuerdo al método SMR de ROMANA.
- Utilizar las clasificaciones geomecánicas mas comúnmente utilizadas en macizos rocosos. (RMR, Q Index, Rmi, GSI)
- Comprobar la estabilidad de los taludes en macizos rocosos (Análisis Cinemático con proyecciones hemisféricas) y plantear soluciones técnicamente factibles.

1.4. Localización del Área del Estudio.

Taludes de la Autopista Valencia – Puerto Cabello, troncal T001 Autopista Regional del Centro, entre los kilómetros 181 y 186 (ver figura 1).

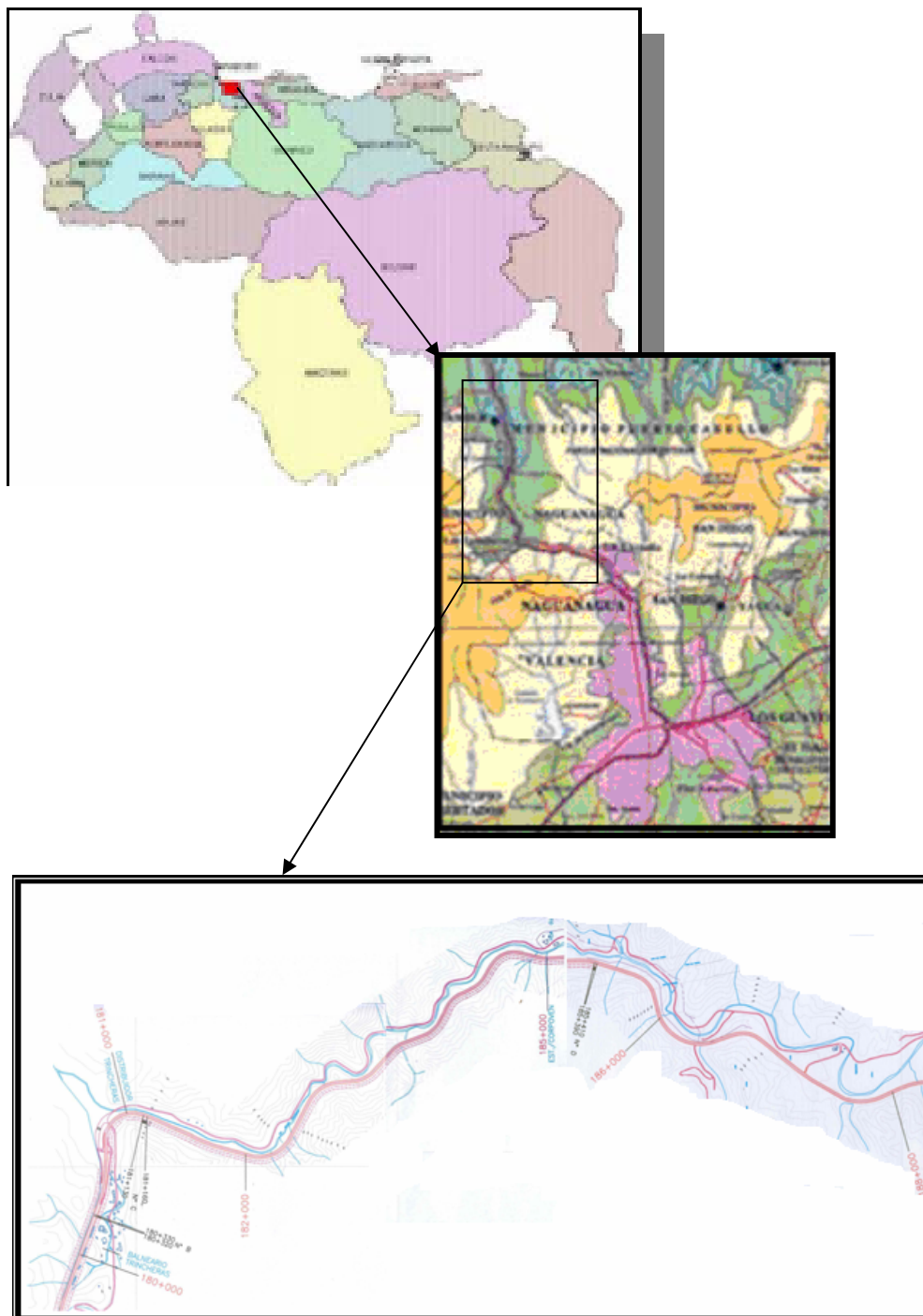


Figura 1. Localización del área en estudio.

CAPITULO 2. Marco Teórico.**2.1. Taludes.**

Los problemas que presenta la estabilidad de taludes, tanto naturales como excavados, han sido objeto de análisis en varios dominios de la actividad humana y con especial atención en los incluidos en la ingeniería civil.

El término más comúnmente usado para designar los movimientos producidos en los taludes es el de *deslizamiento*. Dicho término, de acepción muy extendida, implica movimientos de taludes formados por diferentes clases de materiales: roca, suelo, rellenos artificiales o combinaciones de los mismos, a través de una *superficie de rotura* determinada. Dada la diversidad de inestabilidades que se producen, parece más adecuado utilizar el término *movimientos de taludes*, para englobar todos los tipos de roturas que puedan sufrir éstos.

La naturaleza intrínseca del material mantiene una estrecha relación con el tipo de inestabilidad que puede producirse, condicionando y pudiendo estimarse de antemano la susceptibilidad de cada material, a que se desarrolle un movimiento determinado.

Los terrenos en los que se producen los movimientos, pueden dividirse en tres grupos:

- *Macizos rocosos.*
- *Suelos.*
- *Materiales de relleno.*

En este trabajo, solo se expondrán las características y se profundizará en los movimientos de *Macizos rocosos*, por ser el material donde se desarrolló la investigación.

2.1.2. Tipos de Movimientos en medios rocosos.

La distinta naturaleza de las rocas que forman los macizos rocosos implica una problemática determinada en su comportamiento ante la estabilidad de taludes.

Un macizo rocoso constituye un medio discontinuo que esencialmente se compone de bloques sólidos separados por *discontinuidades*. A partir de esta definición, se puede deducir que las propiedades *tensodeformacionales* de los macizos rocosos son de naturaleza anisótropa. El comportamiento de un macizo rocoso, generalmente depende de las características de las discontinuidades (estratificación, diaclasas, fallas, esquistosidad, líneas de debilidad, etc.) que presenta, así como de la litología de la roca matriz y su historia evolutiva.

En las discontinuidades ha de considerarse el tipo y origen, distribución espacial, tamaño y continuidad, espaciado, rugosidad, naturaleza del relleno, presencia de agua, etc. (Foto 1).



Foto 1. Vista de las diaclasas.

La inestabilidad de taludes se traduce en una serie de movimientos, que pueden ser clasificados en base a distintos criterios. Este trabajo recoge los tipos de movimientos que se originan con mayor frecuencia, de acuerdo con los mecanismos que se producen en diferentes materiales y los intervalos de tiempo en que tienen lugar.

2.1.2.1 Desprendimientos.

Se define como *desprendimiento*, una masa separada de un talud mediante una superficie de corte normalmente pequeña y cuyo recorrido se realiza en gran parte, a través del aire (Figura 2). Frecuentemente estas inestabilidades afectan a bloques aislados, aunque también a masas rocosas, originando en este caso movimientos de terreno con resultados catastróficos.

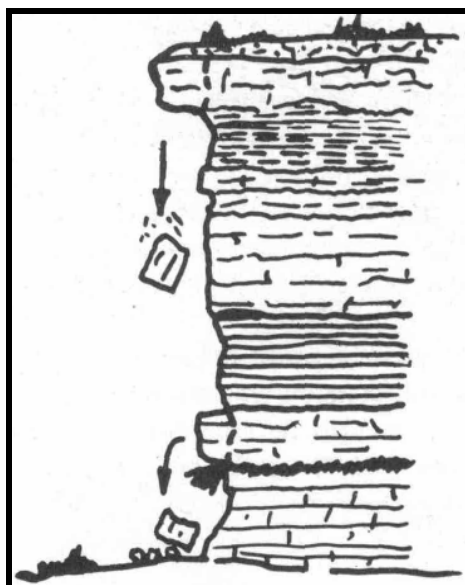


Figura 2. Desprendimientos.

Estos fenómenos suelen producirse en zonas constituidas geológicamente por alternancias sedimentarias de capas resistentes y débiles. Los mecanismos que pueden conducir a estas inestabilidades, generalmente sucesivos y complementarios, son: *meteorización* o extrusión de capas

blandas, *concentración de presiones* en el borde y rotura por *flexotracción*. Las posibilidades de que se produzcan estas inestabilidades por descalce vienen condicionadas por una serie de factores como: fracturación, buzamientos de la serie estrati-gráfica, inclinación del terreno y disposición respecto al buzamiento, resistencia comparativa de los estratos más rígidos, potencia relativa de los estratos resistentes respecto a los estratos menos competentes, etc.

Existe una gran variedad de formas resultantes de los mecanismos que originan la inestabilidad: basculamiento de bloques, rotura por su base, deslizamiento de un estrato, etc. (Figura 3)

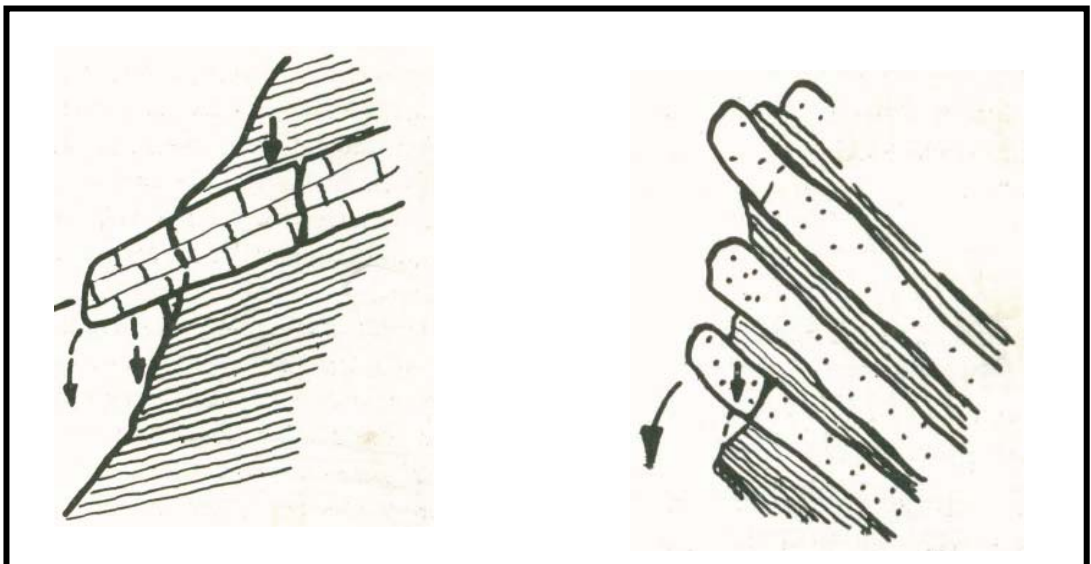


Figura 3. Algunas inestabilidades de bloques por desprendimiento.

2.1.2.2. Volcamientos.

Estos movimientos implican una rotación de unidades con forma de columna o bloque sobre una base, bajo la acción de la gravedad y fuerzas ejercidas por unidades adyacentes o por inclusión de agua en las discontinuidades. Este tipo de movimientos puede culminar en otros tipos,

desprendimientos, deslizamientos, etc., dependiendo de los aspectos geométricos del material involucrado según la distribución de las discontinuidades.

Los volcamientos se pueden considerar exclusivos de medios rocosos, condicionados por la disposición estructural de los estratos hacia el interior del talud, y un sistema de discontinuidades bien desarrollado. (Figura 4)

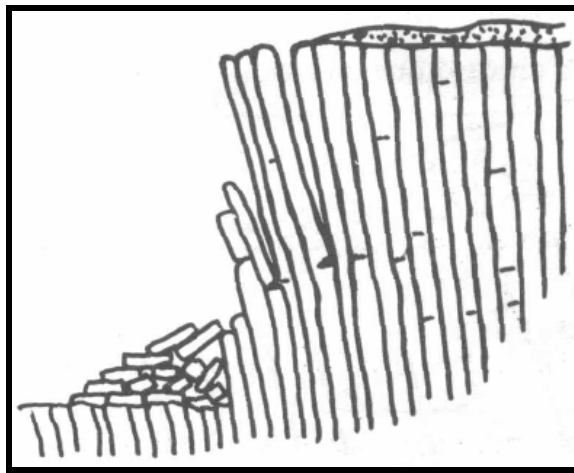


Figura 4. Volcamiento.

2.1.2.3. Deslizamientos.

Son movimientos que se producen al superarse la resistencia al corte del material y tienen lugar a lo largo de una o varias superficies o a través de una franja relativamente estrecha del material. Generalmente las superficies de deslizamiento son visibles o pueden deducirse razonablemente. La velocidad con que se desarrollan estos movimientos es variable, dependiendo de la clase de material involucrado en los mismos.

El movimiento puede ser progresivo, produciéndose inicialmente una rotura local, que puede no coincidir con la superficie de rotura general, causada por una propagación de la primera. La masa desplazada puede deslizarse a una distancia variable de la superficie original de rotura,

solapándose con el terreno natural y marcando éste una superficie de separación bien definida.

Existen dos variedades de este tipo de movimiento: Rotacionales y Trasnacionales.

2.1.2.3.1. Deslizamientos Rotacionales.

Tienen lugar a lo largo de una superficie de deslizamiento interna, de forma aproximadamente circular y cóncava. El movimiento tiene una naturaleza más o menos rotacional, alrededor de un eje dispuesto paralelamente al talud (Figura 5).

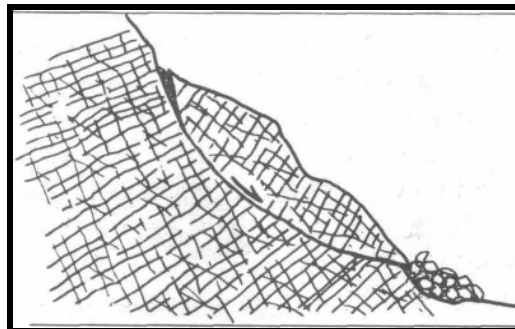


Figura 5. Deslizamiento rotacional en macizo rocoso muy fracturado.

La salida de las superficies circulares sobre las que se produce la rotura puede originarse en tres partes diferentes del talud, según las características resistentes del material, altura e inclinación del talud, etc. Si la superficie de rotura corta al talud por encima de su pie, se denomina *superficie de rotura de talud*. Cuando la salida se produce por el pie del talud y queda por encima de la base de dicho talud, recibe el nombre de *superficie de rotura de pie de talud*. Si la superficie de rotura pasa bajo el

pie del talud con salida en la base del mismo y alejada del pie, se denomina *superficie de rotura de base de talud*. (Figura 6).

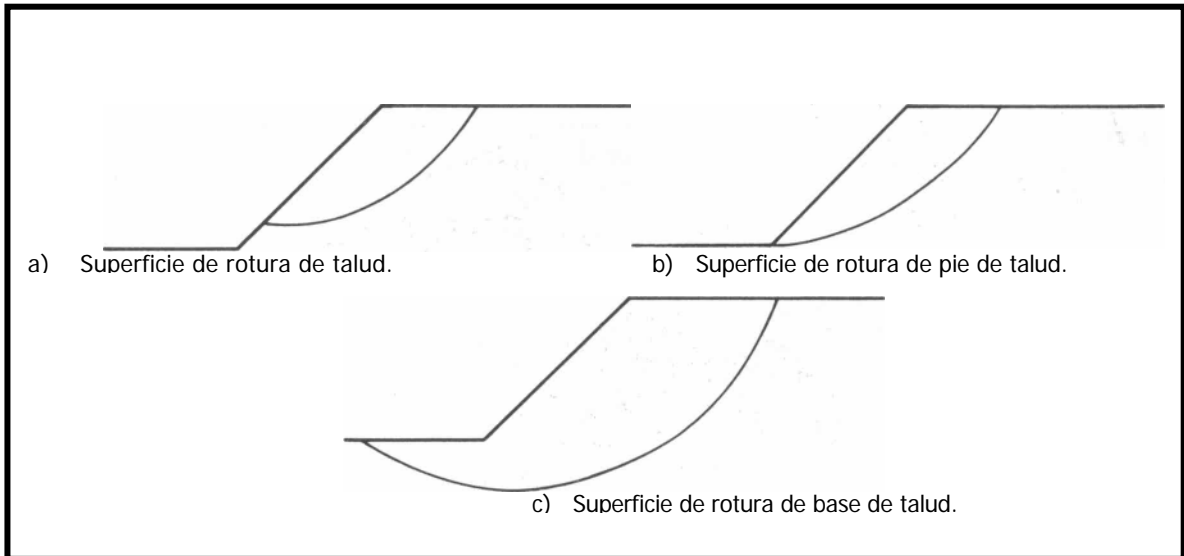


Figura 6. Diferentes superficies circulares de rotura.

2.1.2.3.2. Deslizamientos Traslacionales.

En este tipo de deslizamientos la masa de terreno se desplaza hacia afuera y abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o suavemente ondulada, con pequeños movimientos de rotación. Comúnmente el movimiento de la masa deslizada hace que ésta quede sobre la superficie original del terreno.

Los deslizamientos traslacionales están controlados por discontinuidades (estratificación, esquistosidad, diaclasas, fallas, etc.), influyendo la variación de la resistencia al corte entre estratos de diferente naturaleza, diferente grado de meteorización, distintos tipos de relleno en discontinuidades, etc. Generalmente se desarrollan en macizos rocosos, con discontinuidades bien marcadas (Figura 7).

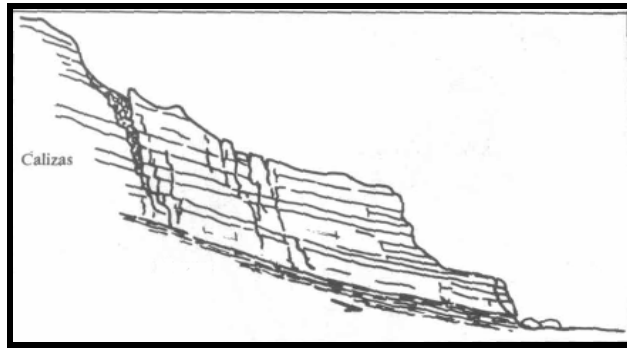


Figura 7. Deslizamiento traslacional en macizo rocoso.

El progreso de estos deslizamientos tiende a ser indefinido, siempre que la inclinación de la superficie de deslizamiento sea lo suficientemente grande, y la resistencia al corte inferior a las fuerzas desestabilizadoras. Dentro de un deslizamiento traslacional pueden existir varias unidades pseudoIndependientes, denominándose entonces deslizamiento quebrado. Dentro de este tipo de deslizamiento, existen dos variedades importantes, las cuales se describen a continuación.

2.1.2.3.2.1. Deslizamiento Traslacional Tipo Rotura Plana.

Ocurren cuando la masa deslizada consta de una unidad no muy deformada o varias unidades estrechamente relacionadas (Figura 8). Las roturas planas pueden ocurrir en cualquier tipo de masa rocosa, son frecuentes a favor de los planos de estratificación, según diaclasas predominantes y/o continuas que buzcan hacia el talud, o de accidentes tectónicos. El tamaño de la rotura depende de la continuidad de las diaclasas y puede llegar a ser muy grande.

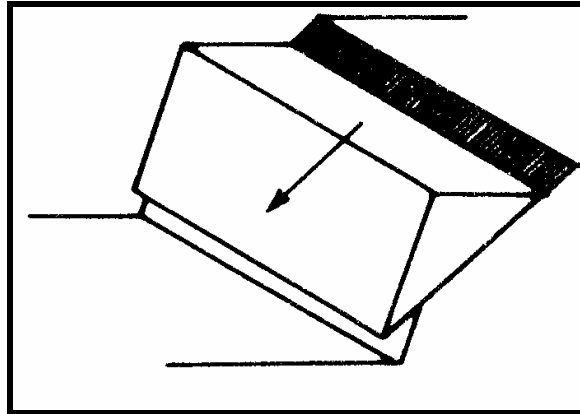


Figura 8. Deslizamiento traslacional de tipo rotura plana.

2.1.2.3.2.1. Deslizamiento Traslacional Tipo Rotura en Cuña.

Se definen como deslizamientos traslacionales de gran variedad en su tamaño, formados por la intersección de dos discontinuidades o superficies de debilidad (Figura 9). Esta forma de rotura depende de las condiciones y orientaciones de las diferentes familias de diaclasas y suele ser más frecuente que las roturas planas, pero con dimensiones más reducidas. Las condiciones de estabilidad son similares a las de las roturas planas y pueden analizarse considerando al buzamiento de la "quilla" o línea de intersección de los planos de discontinuidad.

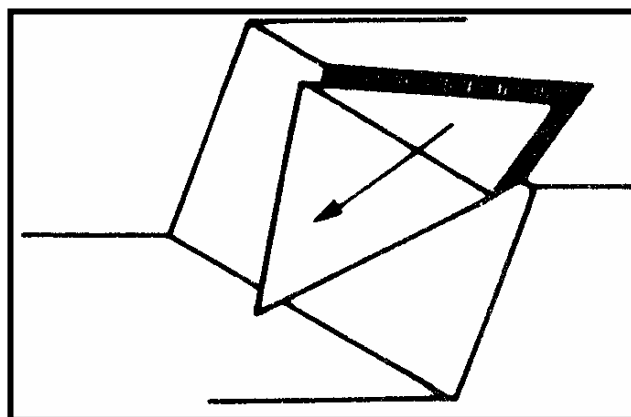


Figura 9. Deslizamiento traslacional de tipo rotura en cuña.

2.1.3. Factores Condicionantes de la Estabilidad y desencadenantes de los Movimientos.

En el análisis de los movimientos es de primordial importancia el reconocimiento de los factores que *condicionan* la estabilidad de los taludes y aquellos otros que actúan como *desencadenantes* de los movimientos. El conocimiento de ambos factores permite una evaluación del peligro existente y, por tanto, las medidas necesarias para evitar o corregir los posibles movimientos.

La susceptibilidad de que se produzcan movimientos en los taludes está condicionada por la estructura geológica, la litología, las condiciones hidrogeológicas y la morfología propia de un área determinada. Una variación de algunos de los condicionantes mencionados, producida por causas naturales o debidas a la actividad humana, puede traducirse en un incremento o disminución del esfuerzo de corte cuyo efecto inmediato desencadena la inestabilidad de una masa de terreno.

La gran variedad de movimientos en los taludes es reflejo de la diversidad de factores que pueden originarlos. Se describen a continuación algunos de los factores más importantes que influyen en la estabilidad de los taludes.

2.1.3.1. Factores Naturales.

Fundamentalmente constituyen factores condicionantes cuando se trata de agentes que integran la meteorización, siendo los agentes erosivos los que tienen una mayor incidencia como factores desencadenantes, así como los fenómenos de carácter tectónico que influyen en la corteza terrestre.

Existe una distribución geográfica en donde se da un predominio de unos u otros factores, que facilitan o producen determinadas inestabilidades. La orientación de los taludes hacia el N favorece que se produzcan determinados factores condicionantes de la estabilidad.

Las áreas con una determinada climatología o ciertas condiciones de sismicidad y vulcanismo, constituyen entornos más proclives a que se desarrollen factores condicionantes y desencadenantes de los movimientos, respectivamente.

2.1.3.1.1. Agua.

Constituye el agente natural de mayor incidencia como factor condicionante y desencadenante en la aparición de inestabilidades. Dadas las diversas formas con que se presenta en la naturaleza, se describen los efectos que produce según su procedencia:

Las corrientes de agua (drenajes) con su poder erosivo y de transporte constituyen un gran factor desencadenante, tendiendo a conseguir el perfil de equilibrio de las laderas de los valles por los que discurren. En el caso de las lluvias, constituyen un factor desencadenante de inestabilidades, contribuyendo a aumentar la acción de diversos factores condicionantes: meteorización, acción de las aguas subterráneas, etc.

El oleaje también contribuye al modelado de los acantilados costeros, actuando como un factor desestabilizador de los mismos.

Las aguas subterráneas se consideran como tales, las corrientes y niveles subterráneos y el agua distribuida en el interior de la red de fracturación de un macizo rocoso o de forma intersticial en los suelos, que condicionan la estabilidad de los mismos. Ejercen una serie de disoluciones y otros

cambios físico-químicos en el terreno, que disminuyen las características resistentes del mismo.

2.1.3.1.2. Sismicidad y Vulcanismo.

Constituyen factores desencadenantes de grandes deslizamientos, pudiendo ocasionar daños graves. Cuando ocurre un sismo se generan una serie de vibraciones, que se propagan como ondas de diferente frecuencia. La aceleración, vertical y horizontal asociada a esas ondas, origina *una* fluctuación del estado de esfuerzos en el interior del material afectando el equilibrio de los taludes. Los fenómenos deformacionales de tipo sismo-gravitacional tienen una dinámica específica. Los materiales movilizados se extienden sobre áreas mucho mayores que los movimientos debidos a la gravedad, particularmente si ha habido vibraciones de larga duración.

2.1.3.1.3. Actividad Biológica.

No constituye un factor determinante en la estabilidad de los taludes, aunque condiciona de forma notable la acción de otros factores, que pueden originar movimientos en los taludes.

Tienen especial interés las acciones que ejerce la vegetación, en sus aspectos positivos y negativos. La cubierta vegetal, a través de sus raíces ayuda a mantener la estabilidad de los taludes debido a que sirve de unión entre los componentes de los suelos. También contribuye al drenaje absorbiendo parte del agua contenida en el terreno y atenúa la degradación superficial del mismo, dificultando la acción de otros factores. En su aspecto negativo, existen raíces capaces de disgregar el terreno y desplazar bloques de magnitud considerable, debido a sus efectos mecánicos en grietas y fisuras, actuando a modo de cuñas.

La actividad de organismos animales, contribuye en menor medida a crear inestabilidades. Así la acción de gusanos, roedores, etc., modifica el interior del terreno facilitando el desarrollo de otros factores.

2.1.3.2. Actividad Humana.

La actividad humana que se deriva de la minería y las obras civiles, constituye una de las causas con mayor incidencia en los movimientos de taludes. Aunque éstos generalmente tienen consecuencias de menor entidad que los producidos por causas naturales, a veces producen daños de mayor cuantía. De estas actividades a continuación se presentan las de mayor repercusión.

2.1.3.2.1. Excavaciones.

Constituyen uno de los factores desencadenantes más extendidos, debido a la necesidad de las mismas en las obras civiles (desmontes, túneles, etc.). Necesitan de un detallado estudio que garantice la estabilidad de los taludes creados. Producen una variación del estado de equilibrio del terreno, traduciéndose en subsidencias, descálces de potenciales superficies de deslizamiento, desequilibrio de masas, etc.

2.1.3.2.2. Voladuras.

Los efectos inmediatos de las voladuras son los derivados de las características de la onda que se propaga y de los gases que se originan. Pueden actuar como desencadenantes de los movimientos, condicionando y disminuyendo la estabilidad de los macizos rocosos. El comportamiento del terreno, como medio transmisor, depende principalmente de sus características resistentes a la tracción, existencia de discontinuidades que supongan superficies de reflexión de la onda, contenido en agua, etc.

Las vibraciones producidas actúan como pequeños seísmos y pueden darse proyecciones de diversos tamaños de material. Como consecuencia se amplía la red de fracturación preexistente en el terreno, creando nuevas superficies potenciales de deslizamiento.

En la actualidad existen técnicas suficientemente desarrolladas, que limitan los riesgos derivados del uso de las voladuras.

2.1.3.2.3. Sobrecargas.

Son un factor condicionante de los movimientos que modifican el entorno natural en el que se produce dicha acción. Es el resultado del incremento *de* peso, debido a diversos tipos de construcciones, sobre el terreno natural. Así, la construcción de rellenos y terraplenes, acopios de materiales de diversa índole, etc. También puede producirse por el peso del agua infiltrada en el terreno, como consecuencia de fugas en conducciones, alcantarillado, canales, depósitos, etc.

El efecto producido es, generalmente, un incremento del esfuerzo de corte del material. De esta forma se modifican las condiciones de equilibrio existentes en el terreno, pudiendo darse diferentes tipos de movimientos.

2.2. Caracterización Geotécnica de Macizos Rocosos.

Según SALCEDO (1983), "para analizar la estabilidad de un macizo rocoso, es preciso, en primer lugar, caracterizar dicho macizo, para lo cual se requiere conocer los factores geológicos y los procedimientos de campo a fin de obtener una información detallada del mismo. En segundo lugar, es fundamental entender los criterios de resistencia al corte bajo niveles de esfuerzo considerados, y, finalmente, definir los mecanismos de rotura para la aplicación de los métodos de análisis correspondientes".

2.2.1. Factores Generales Considerados en la Caracterización.

A continuación se describirán uno a uno los parámetros mas importantes en la caracterización de un macizo rocoso:

2.2.1.1 Discontinuidades.

Las discontinuidades estructurales o planos de debilidad incluyen cualquier estructura de origen geológico que separa bloques sólidos de un macizo rocoso tales como diaclasas, fallas, etc. Estas estructuras tienen resistencia apreciablemente menor que la roca intacta y constituyen discontinuidades mecánicas en el macizo rocoso.

A grandes rasgos se puede decirse que son cualquier superficie a lo largo de la cual cualquier propiedad de un macizo rocoso es discontinua. Esto incluye superficies de fractura, planos de debilidad, planos de estratificación, pero el término no debería restringirse a continuidad mecánica. Las diaclasas, por ejemplo, son planos de fractura, pero no necesariamente representan una discontinuidad 100% en el macizo rocoso, puesto que pudieran tener a lo largo de su superficie puentes de

roca intacta que le darían continuidad al macizo en ambos lados. Los planos de estratificación y foliación no son planos de fracturas, pero constituyen superficies más débiles a lo largo de las cuales es más factible la rotura.

Quizás lo más importante al describir una discontinuidad, es que son superficies de debilidad que imparten a la roca una condición de anisotropía de resistencia. En todo caso, al referirse a discontinuidades, se hará indistintamente aplicable a diaclasas, fallas, foliación, y estratificación, teniendo en cuenta que la resistencia al corte en estas superficies siempre es menor que la resistencia de la roca intacta que constituye el macizo.

2.2.1.1.1 Diaclasas.

Quiebre o fractura de origen geológico en la continuidad de una roca, a lo largo de la cual no ha habido desplazamiento visible entre los bloques que presentan discontinuidades, aunque, en realidad una diaclasa puede tener desplazamiento en sentido perpendicular a la dirección del esfuerzo que dio origen a la discontinuidad. Un grupo de diaclasas paralelas se denomina "familia", la intersección de diaclasas forma un "sistema" (foto 2).

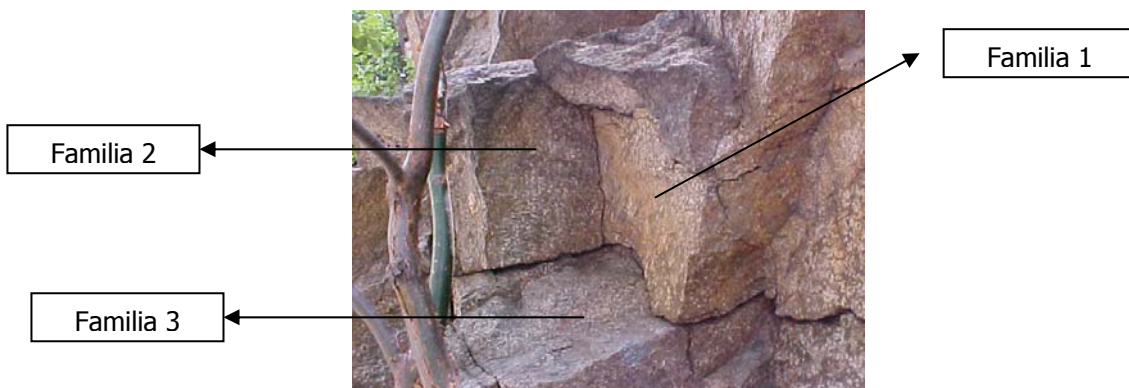


Foto 2. Familias de Diaclasa que forman un sistema.

Una familia de diaclasas presenta una serie de características y parámetros los cuales son tomados para la caracterización de un macizo rocoso, estas son por ejemplo: frecuencia, persistencia, El tamaño del bloque, rugosidad, relleno, etc. Las mismas serán descritas a detalle mas adelante en este trabajo.

Las diaclasas paralelas a los planos de foliación o estratificación, se denominan diaclasas de foliación, o de estratificación, respectivamente.

A pesar de que las diaclasas son tan comunes, son las estructuras más difíciles de analizar, debido a una serie de características típicas, existen varias evidencias que las diaclasas pueden desarrollarse en todas las edades de historia de las rocas.

En rocas sedimentarias, las diaclasas pueden desarrollarse en forma temprana luego de la sedimentación, cuando los sedimentos aun no se han consolidado totalmente; asimismo, también pueden desarrollarse hacia el final de la etapa de compresión tectónica activa y estar asociadas con fallas y pliegues o pueden desarrollarse mucho después, cuando cesa la etapa de deformación activa. Se considera que para el desarrollo de diaclasas no necesariamente se requiere de deformación tectónica. Puede verse entonces, que las diaclasas no son producto de un solo mecanismo.

Las diaclasas pueden ser clasificadas en:

- Diaclasas maestras: Cortan a través de un gran número de capas o unidades de roca y pueden ser seguidas hasta en longitudes de decenas o cientos de metros.

- Diaclasas mayores: Tienen un orden de magnitud más pequeño, pero todavía están bien definidas.
- Diaclasas menores: Son de menor importancia, o presentan fracturas menores.
- Diaclasas primarias: Familia de diaclasas dominante, siendo más grande y/o más frecuente que otras familias de diaclasas.

2.2.1.1.2. Foliación.

Son superficies penetrativas, desarrolladas por la orientación de minerales durante el metamorfismo, perpendiculares a la dirección del esfuerzo máximo. (Foto 3).

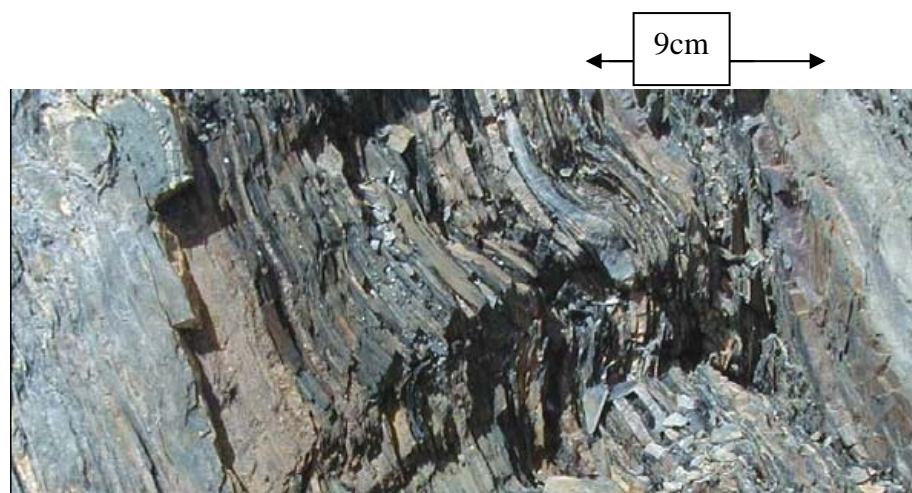


Foto 3. Superficie de foliación fina y muy bien desarrollada en filitas grafitosas.
(Sánchez 2000)

2.2.1.1.3 Grietas.

Término que se utiliza para definir pequeñas fracturas en el macizo rocoso.

2.2.1.1.4 Fallas.

Es una fractura o zona de fractura a lo largo de la cual ha habido desplazamiento relativo de un lado a otro entre los bloques de un macizo rocoso. La clasificación de las fallas, depende de la relación con las capas que corta, de su ángulo, desplazamiento y de la mecánica del fallamiento.

Desde el punto de vista de estabilidad de taludes en macizos rocosos, las fallas son discontinuidades adicionales con menor resistencia al corte que la roca intacta, a lo largo de las cuales puede haber rotura por corte bajo ciertas condiciones cinemáticas y de niveles de esfuerzos.

2.2.1.2 Espaciamiento.

El espaciamiento es la distancia entre los planos de diaclasas, medido según líneas perpendiculares los planos de discontinuidad. La ISRM sugiere el uso de valores máximos, modales y mínimos, pero en la práctica se utiliza el valor medio, que es el recomendado por BIENIAWSKI.

Según Romana (1992) puede medirse con cinta métrica, a lo largo de un afloramiento, contando el número de diaclasas en una distancia fija y multiplicando por los correspondientes cósenos de los ángulos entre la normal a las diaclasas y el plano de afloramiento.

Según Salcedo (1983) para medir el espaciamiento se utiliza una cinta métrica de 3 m de longitud mínima, graduada en milímetros, y una brújula. La cinta se coloca perpendicular al sistema de discontinuidad a ser medido. Seguidamente, se registran todas las distancias (d) entre discontinuidades adyacentes a lo largo de una longitud mínima de 3 m, a menos que el espesor de la masa rocosa observada sea menor de 3 m.

En general, la longitud de muestreo debe ser preferiblemente mayor que 10 veces el espacio medido. Las distancias deben ser medidas dentro de un 5% de sus valores absolutos. Finalmente se mide con una brújula el ángulo más pequeño (α) entre la cinta de medición y el sistema de discontinuidad, con un error no mayor de 5%. (figura 10)

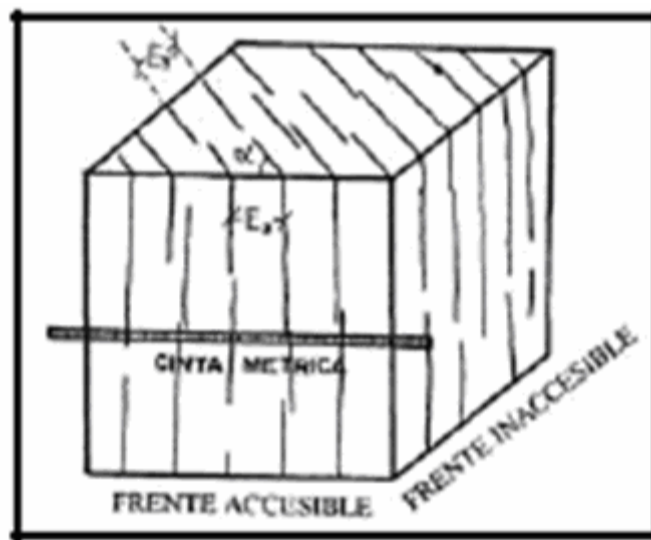


Figura 10. Medición del espaciamiento de una discontinuidad (ISRM 1981).

DESCRIPCIÓN	ESPACIAMIENTO	CONDICIÓN DEI MACIZO
Muy separadas	> 2 m	Sólido
Separadas	0,6-2 m	Masivo
Med. separadas	0,2-0,6 m	Con bloques/estratos
Próximos	0,06-0,2 m	Fracturado
Muy próximos	> 0,06 m	Muy fracturado

TABLA 1. Clasificación para el espaciamiento de las diaclasas (Romana 1992).

El espaciamiento también puede ser expresado como el inverso del número de discontinuidades por metro, que es lo que se denomina frecuencia.

2.2.1.3 Rugosidad.

Se reconocen dos órdenes para clasificar las rugosidades, las rugosidades de la pared de una discontinuidad, las cuales afectan las características de movimiento o la resistencia al corte de las discontinuidades. Las rugosidades mayores o de escala de primer orden son denominadas "ondulaciones", y son consideradas que tienen una dimensión tal que es poco probable que sean cizalladas; para propósitos prácticos, son ondulaciones en un plano. Las rugosidades propiamente dichas, son las de segundo orden y se denominan asperezas. Estas son suficientemente pequeñas que podrían ser cizalladas durante el movimiento a lo largo del plano de la discontinuidad.

En los análisis de estabilidad, el efecto de la ondulación, se considera que influencia en la dirección del desplazamiento de corte del bloque deslizante con respecto al plano promedio de discontinuidad. En términos generales, la pared de la discontinuidad puede ser caracterizada por la ondulación que generalmente causa dilatación durante el desplazamiento

del corte, y por la rugosidad a pequeña escala que tiende a ser dañada durante el desplazamiento de corte, y por la rugosidad a pequeña escala que tiende a ser dañada durante el desplazamiento de corte, a menos que las paredes de la discontinuidad tengan alta resistencia y/o los niveles de esfuerzos sean tan bajos que solo ocurre dilatación.

Este término se aplica para describir las características de las paredes de la Discontinuidad (Figura 11). Es de suma importancia, ya que ella puede influir en la resistencia al corte de la misma.

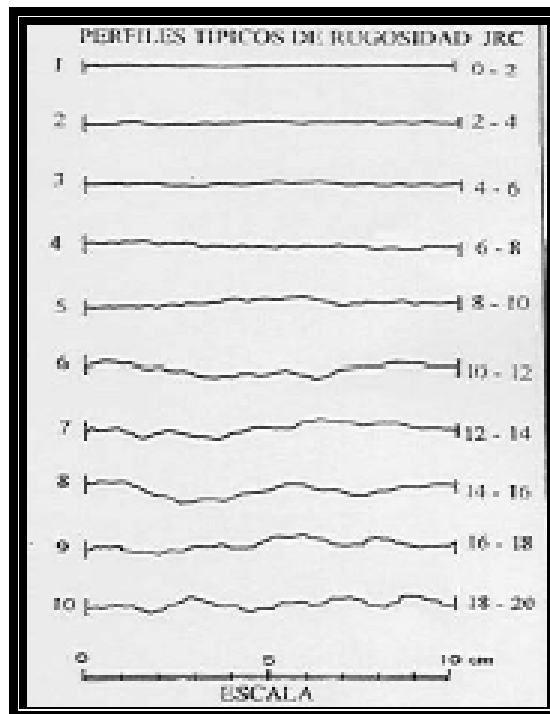


Figura 11. Tabla de rugosidad de BARTON & CHOUBEY

2.2.1.4 Relleno.

Material que ocupa el espacio entre discontinuidades. Se refiere al material que separa dos discontinuidades adyacentes. La descripción de campo consiste en determinar la composición mineralógica de los

materiales del relleno, si es de procedencia primaria (material cristalizado en procesos geológicos de formación) o secundario (material acumulado por precipitación de soluciones disueltas en flujo, material resultante del producto de la alteración y/o meteorización de la roca, etc.).

2.2.1.5. Separación de los bordes.

La separación es la distancia vertical entre ambos bordes de una Diaclasa. Es la distancia que separa las paredes de una discontinuidad (Figura 12), Esquema para el cálculo de la amplitud de la rugosidad y ancho del relleno.

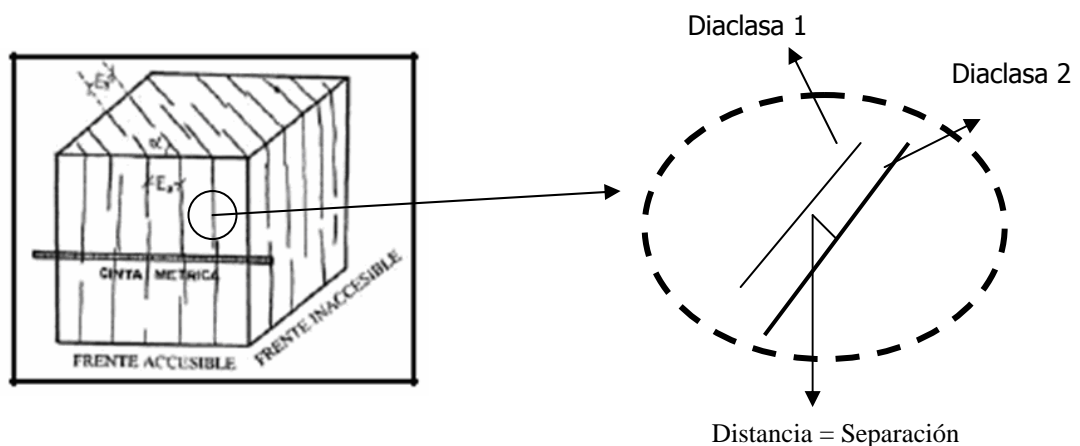


Figura 12. Diagrama explicativo de la separación de los bordes.

Aunque la medición real es muy difícil, la clasificación RMR utiliza una escala muy simplificada:

- Cerradas: Menos de 0,1mm (que es la distancia mínima que puede apreciar el ojo humano).
- Algo abiertas: de 0,1 a 1 mm. Los bordes se ponen en contacto con un pequeño desplazamiento de corte.

- Abiertas: De 1 a 5 mm. Los bordes se ponen en contacto después de un desplazamiento apreciable de corte.
- Muy abiertas: Más de 5 mm. Los bordes se ponen en contacto sólo después de un gran desplazamiento de corte.

2.2.1.6. Persistencia.

Es el término que describe la extensión longitudinal o el tamaño de la discontinuidad (Figura 8). Este parámetro determina el grado de rotura que existirá en la roca intacta, a lo largo de la discontinuidad, factor de importancia para el conocimiento del mecanismo de rotura probable. El procedimiento seguido para las mediciones de las persistencias, fue el siguiente:

- Medición de las longitudes de las trazas de discontinuidades por medio de una cinta métrica flexible.
- Registro de la terminación para cada extremo de las discontinuidades medidas, de acuerdo al siguiente esquema:

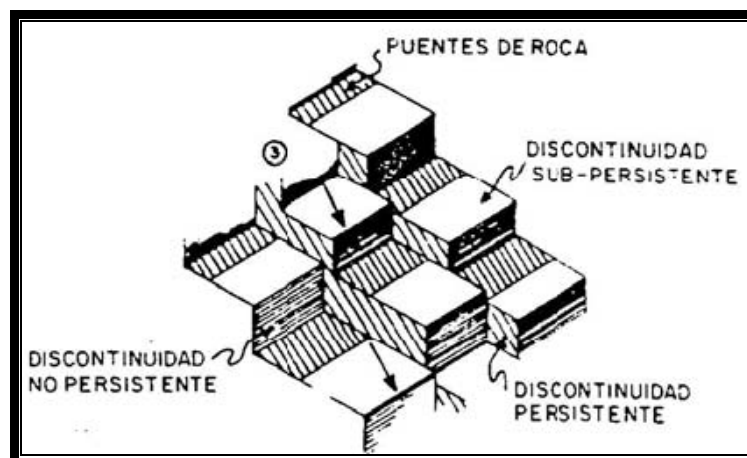


Figura 13. Características espaciales de los diferentes tipos de persistencias.

- Discontinuidades que se extienden fuera de la zona expuesta y no es visible su terminación, se denotan con la letra (x).
- Discontinuidades que terminan oblicuamente o perpendicularmente contra otra discontinuidad, se denotan con la letra (d).
- Discontinuidades que posean la terminación visible dentro del afloramiento y terminen en roca intacta, se denotan con la letra (r).

Las longitudes modales se describieron por medio de la terminología recomendada por la ISRM, resumida en la siguiente tabla:

Persistencia	Longitud de traza
Muy Baja persistencia	< 1 metro
Baja persistencia	1 – 3 metros
Persistencia media	3 – 10 metros
Alta persistencia	10 – 20 metros
Muy alta persistencia	> 20 metros

Tabla 2. Tabla de persistencia, propuesta por la ISRM (1981).

2.2.1.7. Grado de meteorización de la Masa Rocosa.

Una roca está meteorizada cuando ha sido sometida a diversos agentes físicos como el agua, viento, cambios de temperatura, etc. Las cuales han alterado la condición original de la roca, haciéndola menos competente. Para la cuantificar el grado de meteorización de una masa rocosa, se utilizó la siguiente tabla:

TERMINO	DESCRIPCION	GRADO
Fresca	Sin signos de meteorización	Ia
Fresca	Ligera decoloración	Ib
Algo meteorizado	Decoloración general	II
Bastante meteorizado	Zonas de roca descompuesta aisladas	III
Muy meteorizado	Descomposición general de la roca	IV
Completamente meteorizado	Toda la roca está descompuesta. Persiste la estructura original	V
Suelo residual	Toda la roca está convertida en suelo. No hay estructura.	VI

Tabla 3. Grado de meteorización en los planos de diaclasas (ISRM, 1977)

2.2.1.8. Flujo de Agua.

Es el paso de agua, que ocurre principalmente a lo largo de discontinuidades. Para su estimación en campo se usó como referencia la siguiente tabla:

DESCRIPCIÓN	DIACLASA SIN RELLENO		DIACLASA CON RELLENO	
	DIACLASA	FLUJO	RELLENO	FLUJO
Seca Ligeramente húmeda Húmeda Goteando y Fluyendo	Seca Manchada y Húmeda Mojada Mojada	No Ocasional Continuo	Seco Húmedo y Saturado Semi lavado Lavado	No Alguna gota Gotee Continuo

Tabla 4. Flujo de agua en las diaclasa.

2.2.1.9. Dureza Relativa de la Roca.

El dato correcto es la resistencia a compresión simple, medida en laboratorio. Pero muchas veces es necesario estimar la resistencia en el campo. En la tabla siguiente (ISRM, 1978a), se contienen algunas indicaciones útiles para estimar este parámetro con algunos ensayos índice manuales. Las rocas resistentes (o muy resistentes) no abundan por lo que el margen de error al estimar este parámetro es reducido en la práctica.

ROCA		ENSAYO DE CAMPO	
Descripción	(MPa)	Navaja	Martillo geológico
Ext. resistente	> 250	No corta	El golpe arranca pequeños trozos
Muy resistente	100-250	No corta	Se rompe con muchos golpes
Resistente	50-100	No corta	Se rompe con varios golpes
Med. resistente	25-50	Corta con dificultad	Se rompe con un solo golpe
Blanda	5-25	Corta	Puede indentarse con el pico
Muy blanda	"1-5	Corta fácilmente	Se puede machacar

Tabla 5. Índices manuales para estimar la resistencia de la roca.

2.2.1.10. Orientación de los planos de discontinuidad.

Se determina mediante el uso de una brújula con clinómetro, definiendo el buzamiento (ángulo que forma la recta de máxima pendiente del plano con la horizontal) y la dirección de buzamiento medida desde el norte en sentido de las agujas del reloj.

Rumbo	Buzamiento	Dirección de buzamiento
NE	S	90 + rumbo
NE	N	270 + rumbo
NW	S	270 – rumbo
NW	N	90 – rumbo
NS	E	90
NS	W	270
EW	N	0
EW	S	180

Tabla 6. Obtención de la dirección de buzamiento a partir del rumbo.

2.2.1.11. Índice de Diaclasado (Jv).

Se define como la suma del número total de diaclasas que interceptan a una unidad de volumen (1m³) del macizo rocoso. El valor de Jv se puede obtener de varias formas:

- $J_v = \sum \frac{n^\circ \text{ de diaclasas}}{\text{longitud de medida}}$
- $J_v = \text{al número total de discontinuidades que intercepten una longitud "L":}$

$$\lambda = \frac{\text{numero de discontinuidades}}{L(m)}$$

o

$$\lambda = \frac{1}{\text{espacio medio de discontinuidades}(m)}$$

Descripción	Jv (diaclasas/m ³)
Bloques muy grandes	< 1
Bloques grandes	1 - 3
Bloques de tamaño mediano	3 - 10
Bloques pequeños	10 - 30
Bloques muy pequeños	30 - 60
Roca triturada	> 60

Tabla 7. Relación entre Jv y el tamaño de los bloques.

2.2.1.11. Índice RQD.

El RQD fue definido por DEERE como el porcentaje de recuperación de testigos de mas de 10 cm de longitud (según el eje). Fue establecido para rocas ígneas (donde es mas fácil de aplicar) y exige la consideración de las roturas frescas que se produzcan durante el proceso de perforación.

El cálculo del RQD consiste en la sumatoria de fragmentos recuperados mayores a 10 cm, limitados por discontinuidades naturales, dividido entre la longitud total del núcleo recuperado, como se expresa en la siguiente fórmula:

$$RQD = \frac{\sum \text{Nucleos Mayores a 10cm}}{\text{Distancia total del Nucleo}} \times 100$$

También se puede calcular a partir del valor de Jv, mediante la expresión propuesta por PALSTROM (1982):

$$RQD = 115 - 3,3Jv \quad ; \text{ para } Jv > 4,5$$

$$RQD = 100 \quad ; \text{ para } Jv \leq 4,5$$

2.3. Clasificaciones Geomecánicas.

2.3.1. Clasificación de Bieniawski (RMR).

Como es bien conocido, BIENIAWSKI (1973), desarrolló uno de los sistemas de clasificación más utilizados en los últimos años por los ingenieros geotécnicos, conocido como RMR (Rock Mass Rating), índice que sirve de base y guía para la excavación y el sostenimiento de túneles y galerías. Algunos autores llaman a la clasificación de BIENIAWSKI clasificación CSIR, nombre abreviado del organismo sudafricano en el que BIENIAWSKI la desarrolló.

En una segunda versión BIENIAWSKI (1976, 1979) estableció la forma actual de dicho índice numérico, siendo este independientemente de la estructura a construir. El factor que define la clasificación es el llamado índice RMR, a través del cual se determina la calidad del macizo rocoso en cada entorno estructural en función de los siguientes parámetros:

- i. *Resistencia a la compresión simple de la roca intacta σ_c .*
- ii. *RQD.* Este índice de calidad juega un papel importante para seleccionar el sostenimiento en la excavación subterránea. Como se sabe el RQD, se obtiene a partir de los trozos de testigos mayores de 10,00 cm a través de las recuperaciones llevadas a cabo mediante sondeos, o a partir del índice volumétrico de diaclasas J_v por metro cúbico determinado en un afloramiento ($RQD = 115,00 - 3,30 J_v$).
- iii. *Espaciamiento de las discontinuidades estructurales* (diaclasas, fallas, planos de estratificación, etc).

- iv. *Estado de los planos de discontinuidad.* Tales como apertura de los labios de la discontinuidad, rugosidad, relleno de las diaclasas, dureza de los labios, etc.
- v. *Presencia de agua.* Se estima el flujo de agua en litros/min por cada 10,00 m de túnel.

El índice RMR, se calcula sumando los valores atribuidos a cada uno de los cinco parámetros (tabla 8). De este valor hay que restar un factor de ajuste, que es función de la orientación de las discontinuidades (tabla 9), definido cualitativamente.

El rango del RMR es de 0-100, correspondiendo esta magnitud a la máxima calidad, y clasifica la masa rocosa en cinco clases posibles (tabla 10).

PARAMETROS		INTERVALO DE VALORES							
1	Resistencia a la compresión simple de la roca intacta σ_c	Ensayo de carga puntual	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5	1	<
	VALORACION	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	< 25%			
	VALORACION	20	17	13	8	3			
3	Separación entre diaclasas	>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	< 0.06m			
	VALORACION	20	15	10	8	5			

4	Estado de Las diaclasas	Muy rogasas No continuas Cerradas Bordes sanos	Algo rogasas Separ < 1mm Bordes algo metorizados	Algo rogasas Separ < 1mm Bordes muy metorizados	Espj de falla Rell < 5mm Sepa 1- 5mm continuas	Rell blando <5mm Sepa 1-5mm continuas
	VALORACION	30	25	20	10	0
5	Flujo de agua en las diaclasas	Secas	Ligerament e húmedas	Húmeda s	Goteando	Fluyendo
	VALORACION	15	10	7	4	0

Tabla 8. Valores del RMR (BIENIAWSKI, 1979)

Dirección y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable
Valoración	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
Para	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Tabla 9. Tabla para el ajuste del RMR por la orientación de las discontinuidades.

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Aceptable	Mediocre	Muy mala
Valoración	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Cohesión	>4 Kg/cm ²	3-4 Kg/cm ²	2-3 Kg/cm ²	1-2 Kg/cm ²	<1 Kg/cm ²
Angulo de fricción	>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	<15°

Tabla 10. Tabla de clasificación final del RMR, con las clases, valores y parámetros adicionales estimados, BIENIAWSKI (1979).

2.3.2. Clasificación de Romana (SMR).

La clasificación de taludes SMR (Slope mass rating), fue desarrollada por M. Romana en 1985, basándose en la clasificación de macizos rocosos de Bieniawski (1979). Y consiste en incluir unos parámetros sobre los riesgos de inestabilidad de un talud, para así poder predecir los mecanismos de falla que pudieran ocurrir y el método más apropiado para la excavación o sostenimiento del talud.

Este sistema ha sido evaluado en diferentes zonas del planeta por varios autores, entre ellos SWINDELLS (1985) la aplico a 16 taludes en Escocia, ROMANA (1985) presento los resultados de la aplicación a 31 taludes en España, COLLADO Y BILI (1988) la aplicaron a 44 taludes en un estudio a una nueva carretera en Tarragona-España. Todos estos taludes presentaban diferentes grados de estabilidad, y necesitaron desde soporte local a total, o incluso, reexcavación.

Tras su publicación en ingles (ROMANA 1985b, 1988, 1991) la clasificación SMR ha despertado cierto interés y el propio BIENIAWSKI (1989) la

recomienda en su último libro para su aplicación en taludes. Se considera como una poderosa herramienta para la evaluación de riesgos en los taludes de distintos tipos de proyectos.

El Índice SMR para la clasificación de taludes se obtiene del índice RMR básico sumando un "factor de ajuste", que es función de la orientación de las juntas (y producto de tres subfactores) y un "factor de excavación" que depende del método utilizado:

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

RMR se calcula de acuerdo con los coeficientes de BIENIAWSKI (1979) como se expuso anteriormente en la parte de clasificación según Bieniawski (tabla 8): El rango del RMR es de 0-100.

El factor de ajuste de las diaclasas es producto de tres subfactores (tabla 11):

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

$$F1 = (1 - \text{sen}(\alpha_j - \alpha_s))^2$$

Siendo los valores del rumbo de la diaclasa (α_j) y del talud (α_s).

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

inferior a 20°). Fue establecido empíricamente pero puede ajustarse aproximadamente según la relación:

$$F2 = (\operatorname{tg}^2 \beta_j)^2$$

Donde β_j es el buzamiento de la diaclasa.

F2 vale 1,00 para las roturas por volcamiento.

- **F3** refleja la relación entre los buzamientos de la diaclasa y el talud. Se han mantenido los valores propuestos por BIENIAWSKI en 1976 que son siempre negativos.

Para roturas planas **F3** expresa la probabilidad de que las diaclasas afloren en el talud. Se supone que las condiciones son "normales" cuando buzamiento medio de la familia de diaclasas es igual al del talud, y por lo tanto aflorarán algunas pocas diaclasas. Cuando el talud buza, 10° más que las diaclasas, casi todas afloran y las condiciones serán muy desfavorables. Para la rotura por volcamiento no se supone que puedan existir condiciones desfavorables, o muy desfavorables, ya que el volcamiento rara vez produce roturas bruscas y en muchos casos los taludes con vuelcos de estratos se mantienen. Se ha utilizado la condición de GOODMAN-BRAY (1977) para evaluar la probabilidad de volcamiento. Sin embargo se ha observado que muchos vuelcos se producen para valores ligeramente distintos lo que puede interpretarse como que la resistencia al esfuerzo cortante se reduce unos 5°, sea por el hecho de que en muchos taludes volcados las diaclasas están meteorizadas, o porque el ángulo de rozamiento experimente una ligera reducción en el caso de roturas rotacionales (GOODMAN, 1976).

El factor de ajuste según el método de excavación. F4, ha sido establecido empíricamente (tabla 12):

- Los *taludes naturales* son más estables, a causa de los procesos previos de erosión sufridos por el talud, y de los mecanismos internos de protección que muchos de ellos poseen (vegetación, desecación superficial, drenaje torrencial, etc). **F4** = +15.
- El *precorte* aumenta la estabilidad de los taludes en media clase. **F4**=+10.
- Las técnicas de *voladura suave (recorte)*, bien ejecutadas, también aumentan la estabilidad de los taludes. **F4** = + 8.
- Las *voladuras normales* aplicadas con métodos razonables no modifican la estabilidad. **F4** = 0.
- Las *voladuras defectuosas* son muy frecuentes y pueden dañar seriamente a la estabilidad. **F4** = - 8.
- La *excavación mecánica* de los taludes por ripado sólo es posible cuando el macizo rocoso está muy fracturado o la roca blanda. Con frecuencia se combina con prevoladuras poco cuidadas. Las caras del talud presentan dificultades de acabado. Por ello el método ni mejora ni empeora la estabilidad. **F4** = 0.

Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P	$ a_j - a_s $	$>30^\circ$	$30^\circ-20^\circ$	$20^\circ-10^\circ$	$10^\circ-5^\circ$	$<5^\circ$
	$ a_j - a_s - 180^\circ $					
V	$P/T F1 =$	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P	$ \beta_j $	$<20^\circ$	$20^\circ-30^\circ$	$30^\circ-35^\circ$	$35^\circ-45^\circ$	$>45^\circ$
	$P F2 =$	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
	$T F2 =$	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	$>10^\circ$	$10^\circ-0^\circ$	0°	$0-(-10^\circ)$	$< -10^\circ$
	$\beta_j + \beta_s$	$<110^\circ$	$110^\circ-120^\circ$	$>120^\circ$		----
V	$P/T F3 =$	0	-6	-25	-50	-60
P Rotura Plana T Rotura por vuelco V Valoración		a_s Dirección de rumbo del talud. a_j Dirección de rumbo de las diaclasas. β_j buzamiento de las diaclasas β_s buzamiento del talud.				

Tabla 11. Factor de ajuste de las diaclasas (ROMANA, 1985)

Método	Talud Natural	Pre-excavado	Voladura suave	Voladura	Voladura deficiente
F4	+15	+10	+8	0	-8

Tabla 12. Factor de ajuste según el método de excavación (ROMANA, 1985).

La clasificación no tiene instrucciones específicas para las roturas en cuña. El procedimiento a seguir es obtener el índice SMR para cada una de las familias de las diaclasas. Se adoptará para el talud el valor menor del índice SMR obtenido para cada familia de diaclasas.

Según el valor del índice SMR se obtienen 5 clases de estabilidad, definidas simplifícadamente en la tabla 13.

Clase	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	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Tabla 13. Clases de Estabilidad según el SMR (ROMANA, 1985).

Los valores límites del SMR encontrados empíricamente para cada forma de rotura se muestran en la tabla siguiente:

Rotura Planar	Fracturamiento	Rotura en cuña	Fracturamiento
SMR >60	Ninguna	SMR >75	Muy pocas
60 >SMR > 40	Importantes	75 >SMR > 49	Algunas
40 >SMR > 15	Muy grandes	55 >SMR > 40	Muchas
Rotura por Vuelco	Fracturamiento	Rotura completas	Fracturamiento
SMR >65	Ninguna	SMR > 30	Ninguna
65 >SMR > 50	Menores	30 >SMR > 10	Posible
40 >SMR > 30	Importantes		

Tabla 14. Tipos de Rotura según el SMR.

2.3.3. Clasificación de Barton (Q index).

La clasificación cuantitativa del macizo rocoso se basa en el denominado Sistema Q, que es un sistema de clasificación de las rocas basado en el índice Q, desarrollado por Barton en 1974, a partir de un conjunto de datos procedentes de distintos casos reales, en los que se contrastó la calidad de las rocas existentes y los sostenimientos aplicados en las distintas obras. El índice Q se popularizó rápidamente, llegando en la actualidad a constituir una referencia esencial, junto con el índice RMR de Bieniawski, en el diseño de toda obra subterránea.

Barton, Lien y Lunde después de un extenso período de ensayos y tanteos ejecutados en el año 1973, consideraron finalmente un total de seis parámetros y un conjunto de categorías dentro del Sistema Q. De acuerdo con este sistema de clasificación, la calidad del macizo rocoso puede definirse mediante la expresión:

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

El rango de valores numéricos que puede tomar el índice Q de calidad de la roca oscila entre 0,001 (excepcionalmente mala) y 1.000 (excepcionalmente buena). Los seis parámetros pueden estimarse a partir de la cartografía geológica de la zona y de la descripción de los testigos procedentes de los sondeos de investigación, pudiendo verificarse, o bien corregirse, posteriormente, durante la excavación. Los seis parámetros vienen definidos en la Tabla 15:

RQD	Índice de Fracturación	Medida del tamaño del bloque
Jn	Índice de diaclasado	
Jr	Índice de rugosidad de la discontinuidad	Medida del ángulo de fricción entre los blques
Ja	Índice de alteración o relleno de la discontinuidad	
Jw	Factor de reducción por la presencia de agua o filtraciones a través de la discontinuidad.	Medida de las tensiones efectivas
SRF	Factor representativo de las condiciones tensionales de la roca	

TABLA 15. Definición de los parámetros que forman el índice Q de calidad de la roca.

El amplio rango de valores que puede tomar el índice Q (seis órdenes de magnitud) constituye una característica muy importante del Sistema Q y refleja la variación en la calidad de la roca de manera probablemente más rápida que mediante la escala lineal del índice RMR.

Debido a esta característica, se logra de manera más fácil la correlación con el resto de parámetros físicos de la roca.

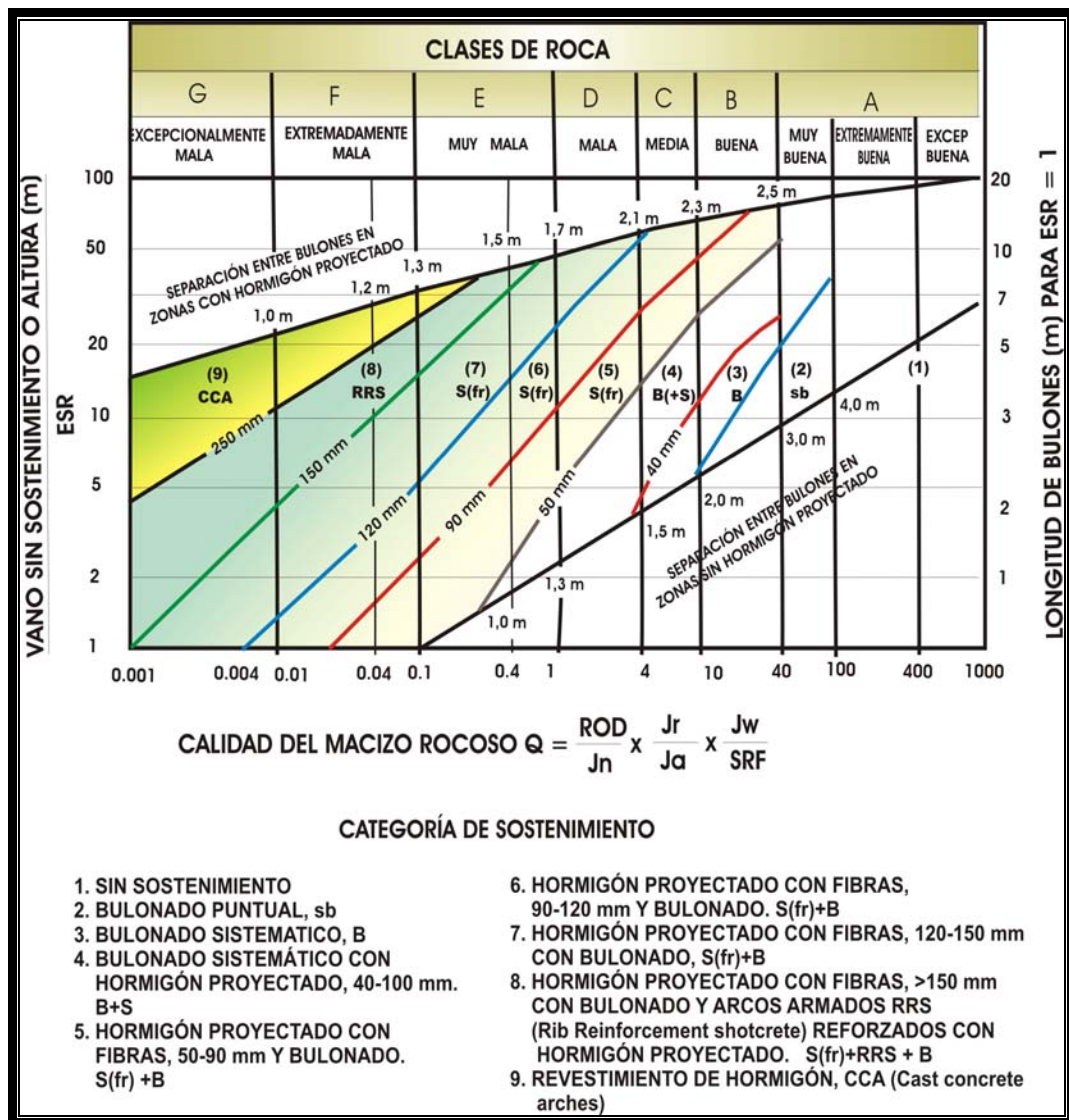


Figura 14. Intervalos de valores del índice Q y el tipo de sostenimiento asociado.

Las tablas siguientes, de la 16 a la 18 contienen los valores para cada parámetro utilizado en la clasificación de Barton:

Índice de Diaclasado (Jn)		Índice de rugosidad (Jr)	
Roca masiva	0,5 – 1,0	Diaclasas rellenas	1
Una roca de diaclasa	2	Diaclasas limpias	
Id. Con otras diaclasas ocasionales	3	Discontinuas	4
Dos familias de diaclasas	4	Onduladas, rugosas	3
Id. Con otras diaclasas ocasionales	6	Onduladas, lisas	2
tres familias de diaclasas	9	Planas, rugosas	1,5
Id. Con otras diaclasas ocasionales	12	Planas, lisas	1
4 o mas familias roca muy fracturada	15	Lisos o espejos de fallas	
Roca triturada	20	Ondulados 1,5	Planos 0,5

Tabla 16. Índice de diaclasado (Jn) e índice de rugosidad (Jr).

Índice de alteración (Ja)		Coeficiente reductor por la presencia de agua (Jw)	
Diaclasas de paredes sanas	0.75-1	Excavaciones secas o con < 5 l/min	
Ligera alteraciones	2.0	localmente	1
Alteraciones arcillosas	4.0	Afluencia medias con lavado de algunas	
Con detritus aneroso	4.0	Diaclasas	0.66
Con detritus oneroso preconsolidados	6.0	Afluencia importante por diaclasas	
Id. Poco consolidados	8.0	Limpias	0.5
Id. expansivos	8-12	Id. Con deslavado de diaclasas	0.33
Milanitos de roca y arcilla	6-12	Afluencia excepcional inicial,	
Milanitos de arcilla limosa	5	Decreciente con el tiempo	0.2-0.1
Milanitos arcillosos- gruesos	10-20	Id. Mantenida	0.1-0.005

Tabla 17. Índice de alteración (Ja) y coeficiente reductor por la presencia de agua (Jw).

Características	SRF
Zonas Débiles	-----
Multitud de zonas débiles o milanitos	10.0
Zonas débiles aisladas con arcillas, o rocas descompuestas (cobertura $\leq 50m$)	5.0
Id. Con cobertura $> 50m$.	2.5
Abundante zonas débiles en rocas competentes	7.5
Zonas débiles aisladas en zonas competentes ($C \leq 50m$)	5.0
Id. Con cobertura $> 50m$.	2.5
Terreno en bloques muy fracturado	5.0
Roca competente	-----
Pequeña cobertura	2.5
Cobertura media	1.0
Gran Cobertura	0.5-2.0
Terreno fluyente	
con bajas presiones	5-10
Con altas tensiones	10-20
Terrenos expansivos	
Con presión de hinchamiento Moderado	5-10
Con presión de hinchamiento alta	10-15

Tabla 18. Estado tensional de esfuerzos (SRF).

2.3.4. Clasificación de Hoek (GSI).

El índice de resistencia geológica GSI (Geological Strength Index) introducido por Hoek (1994) y Hoek, Kaiser y Bawder (1995), provee un método para estimar la reducción de la resistencia de la masa rocosa para diferentes condiciones geológicas.

Este se basa en la interpretación visual del macizo en campo o en muestras de roca recolectadas, usando como referencia una tabla (ver figura 15). La clasificación consiste en definir dos parámetros. El primero, consiste en la estructura de la masa rocosa, si es foliada y en qué grado, y

el segundo, mide las características del set de discontinuidades más persistente. Luego se intersectan los valores de los dos parámetros y se define en que rango de valores se encuentra el GSI de la masa rocosa.

ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI) PARA ROCAS METAMÓRFICAS DE LA CORDILLERA DE LA COSTA VENEZOLANA De acuerdo a la descripción geológica de campo, seleccione el intervalo más apropiado de esta Tabla, acotando los valores del GSI.		CALIDAD DE DIACLASA MAS PERSISTENTE →				
ESTRUCTURA		MUY BUENA. Muy rugosa. Superficies cerradas.	BUENA. Rugosa. Parcialmente abier- ta, sin relleno o con relleno duro.	MEDIA. Ligeramente rugosa. Abierta con relleno medianoamente duro.	MALA. Lisa. Abierta con relleno blando.	MUY MALA. Entusada y pulida (cristalinos). Abierta sin relleno, o con relleno blando.
NO FOLIADA – Masa rocosa sin foliación o con superficies de foliación muy escasas. Ej.: Cuarzitas, Anfibolitas, o Mármoles.	90 80	/	N/A	N/A	N/A	
POCO FOLIADA – Masa rocosa con predominio de intervalos no foliados y ocasionales intervalos foliados. Ej.: Cuarzitas con ocasionales esquistos y/o filitas.	70 60	/	/	/	/	
MODERADAMENTE FOLIADA – Masa rocosa con intervalos de rocas foliadas y no foliadas, en proporciones similares. Ej.: Esquistos y filitas interfoliados con mármoles y/o cuarzitas.	50	/	/	/	/	
FOLIADA – Masa rocosa con predominio de rocas foliadas y ocasionales intervalos de rocas no foliadas. Ej.: Esquistos y filitas con ocasionales intervalos de cuarzitas, y/o gneises, y/o mármoles intercalares.	40 30	/	/	/	/	
MUY FOLIADA – Masa rocosa constituida exclusivamente por rocas muy foliadas. Ej.: Esquistos y filitas interfoliados.	20	/	/	/	/	
CIZALLADA/PERTURBADA – Masa rocosa afectada por tectonismo. Muy plegada y fallada. Ej.: Brecha de falla, o zonas perturbadas por fallas geológicas cercanas.	10	N/A	N/A	/	/	

Figura 15. Clasificación del GSI para rocas metamórficas de HOEK (1998), modificada por TUZMAN (1999) y posteriormente por SALCEDO (1999).

El índice de calidad GSI (Geological Strength Index), desarrollado por Hoek y Brown, tiene la ventaja de poder estimar los parámetros de corte “equivalentes”, C y ϕ a través del software conocido como “Roclab”.

Para masas rocosas de buena calidad, el GSI puede ser obtenido directamente mediante la relación entre el GSI y el RMR según Hoek et al:

$$\text{GSI} = \text{RMR}_{76}$$

$$\text{GSI} = \text{RMR}_{89} - 5$$

2.3.5. Clasificación de Palmström (Rmi)

El método de sostenimiento *RMi* (Índice del Macizo Rocosos –Rock Mass index) fue introducido en 1995 como resultado de una Tesis Doctoral que optaba al grado de Ph.D., llevada a cabo en la Universidad de Oslo, Noruega. El método pide como datos de entrada, los principales rasgos que influyen las propiedades del macizo rocoso; para ser expresados como la resistencia a la compresión uniaxial del macizo rocoso.

Como fue presentado anteriormente por *Palmström* (1995, 1996), el *RMi* puede utilizarse en varias aplicaciones, adicionales a su uso en la estimación del sostenimiento, tales como: Caracterización de la resistencia y deformabilidad del macizo rocoso. - Cálculo de las constantes del criterio de rotura de Hoek y Brown para macizos rocosos, Valoración o estimación del grado de penetración de máquinas tuneladoras a sección completa (TBM).

Según el mismo *Palmström* (2003) se han obtenido nuevos desarrollos en el método de sostenimiento de rocas *RMi*, después de más de 5 años de aplicación práctica. El método, ahora, es más fácil para su uso, después de unas pocas simplificaciones y ajustes. Se muestra que con solo la entrada del volumen del bloque y el diámetro del túnel, como datos de

entrada, son suficientes para realizar una estimación preliminar del sostenimiento. Esto puede ser de utilidad cuando solo sea disponible información limitada sobre las condiciones del terreno, por ejemplo como en el caso del estado inicial de un proyecto.

Posteriormente, cuando los valores o valoraciones de los distintos factores que constituyen los datos de entrada, haya sido posible su observación o medida, puede hacerse una estimación más precisa del sostenimiento. Al pedir el volumen del bloque tridimensional como dato principal de entrada para el RMi , se consiguen varios beneficios, tanto en la caracterización del macizo rocoso como en los cálculos de ingeniería de rocas. Se presentan en el Apéndice xx , el formato de una hoja de cálculo informática (formato Excel) para calcular el valor del RMi y de los parámetros de sostenimiento.

El índice del macizo rocoso es un parámetro volumétrico que indica, de forma aproximada, la resistencia uniaxial a compresión de un macizo rocoso. Se expresa cómo:

$$RMi = \sigma_c \times JP = 0.2\sqrt{jC} \times Vb^D \quad (D=0.37jC^{0.2})$$

Donde:

- σ_c = La resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta.
- JP = El parámetro de diaclasado.
- jC = Factor de estado (o condición) de las diaclasas.
- Vb = El volumen de bloque expresado en m^3 .

Las valoraciones para cada uno de estos parámetros se pueden apreciar en el apéndice "D".

2.4. Análisis Cinemático de Estabilidad para Taludes según Proyecciones Hemisféricas.

Esta técnica se ha venido utilizando con éxito en los últimos 10 años en problemas relativos a la estabilidad de taludes en roca. La potencia de esta técnica es tal, que permite enfocar los problemas de estabilidad de taludes de una forma tridimensional, como ocurren realmente, evitando la práctica ingenieril común de reducir el análisis a una sección bidimensional.

En el análisis cinemático de estabilidad, lo primero que se debe identificar es que tipo de rotura presenta el macizo, para luego definir si ese tipo de fractura es cinemáticamente probable.

2.4.1. Análisis de Rotura Planar.

Según Turner y Schuster (1996), existen cuatro condiciones estructurales que se consideran necesarias para que se produzca este tipo de rotura.

- La dirección de buzamiento de la discontinuidad deberá ser similar a la dirección de buzamiento del talud (entre unos 20° aproximadamente), es decir, que el rumbo de la discontinuidad estará dentro de los 20° más próximo al rumbo del talud.
- El buzamiento de la discontinuidad deberá ser menor que el del talud y el plano de falla deberá cortar la cara libre del talud.
- El buzamiento de la discontinuidad deberá ser mayor que el ángulo de fricción de la superficie de contacto entre sus caras.

- La extensión lateral de la masa en falla potencial deberá estar definida por discontinuidades que no contribuyan en forma significativa a la estabilidad de la masa.

La presencia de agua ejerciendo presión a lo largo de la superficie de deslizamiento puede alterar en algunos casos la posibilidad cinemática de una rotura plana, aún cuando no se cumplan las condiciones antes descritas.

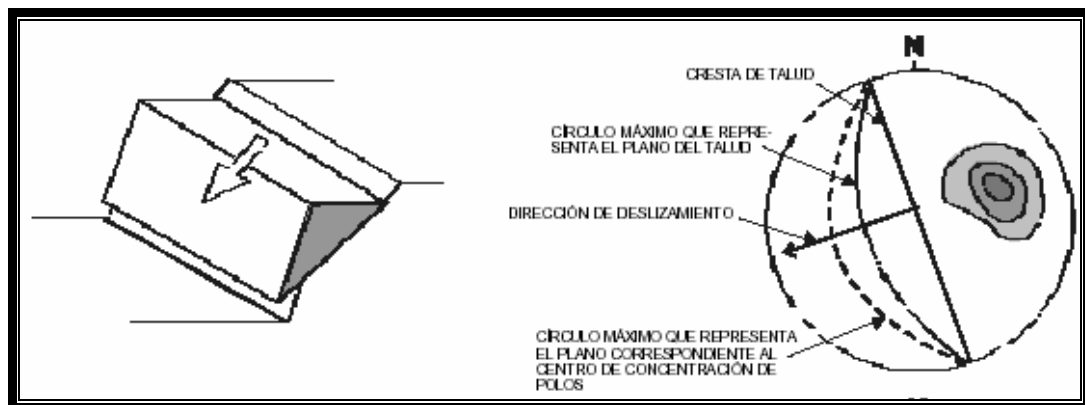


Figura 16. Rotura Plana de un macizo rocoso y su representación estereográfica.

2.4.2. Análisis de Rotura en Cuña.

El potencial de este tipo de rotura está definido por la orientación de la línea de intersección de los dos planos que forman la cuña. El análisis cinemático determina la posible ocurrencia del desplazamiento sobre una o ambas caras de la cuña siguiendo esta línea de intersección.

Para que se produzca rotura en cuña, es necesario que se presenten las siguientes condiciones:

- Trayectoria de la línea de intersección próxima a la dirección de buzamiento de la cara del talud.
- Inclinación de la línea de intersección menor que el buzamiento del talud (la línea de intersección emerge en algún punto sobre la cara del talud).
- Inclinación de la línea de intersección mayor que el ángulo de fricción de las superficies. Si el ángulo de fricción de los dos planos es marcadamente diferente, se utiliza un valor promedio.

La presencia de agua subterránea también puede alterar en ocasiones la estabilidad cinemática de la cuña.



Figura 17. Rotura en Cuña de un macizo rocoso y su representación estereográfica.

2.4.3. Análisis de Rotura por Volcamiento.

A continuación se resumen las condiciones necesarias para que se produzca la falla por volcamiento:

- Rumbo de las losas aproximadamente paralelo al talud, con diferencias entre 15° – 30° (por lo general 20°).

- Buzamiento de las losas o capas paralelo o mayor que el de la cara del talud.
- Para que se presente deslizamiento entre capas (Goodman, 1980, citado por Turner y Shuster, 1996), la normal al plano de volcamiento debe tener una inclinación menor que la diferencia existente entre el buzamiento de la cara del talud y el ángulo de fricción de la superficie, es decir,

$$(90^\circ - \Psi_p) \leq (\Psi_f - \phi_p)$$

donde:

Ψ_p = buzamiento de los planos geológicos.

Ψ_f = buzamiento de la cara del talud.

Φ_p = ángulo de fricción a lo largo de los planos.

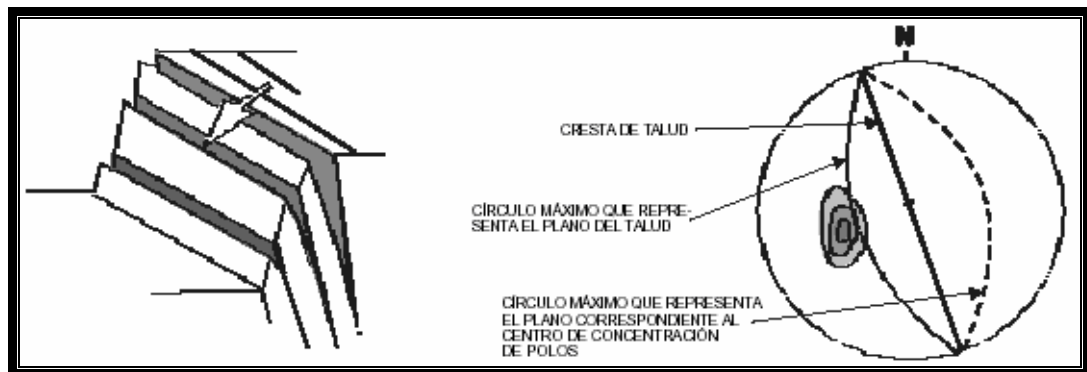


Figura 18. Rotura por Volcamiento de un macizo rocoso y su representación estereográfica.

En este trabajo se utilizó como guía la metodología presentada anteriormente, pero para simplificar un poco estos procedimientos, se realizó una adaptación de varias metodologías de análisis cinemático y la misma se puede apreciar en el apéndice "C".

2.5. Calculo del Factor de Seguridad para Taludes en Macizos Rocosos.

Para calcular el factor de seguridad para taludes en macizos rocosos se utilizo el método analítico de Hoek y Bray (1981), tanto para rotura plana como para rotura en cuña. Solo se calcularon estos dos tipos de rotura por ser los que principalmente se encontraron en el análisis cinemático a los taludes estudiados.

Para ambos cálculos se estimo que la cohesión efectiva de la roca era igual a cero (c=0).

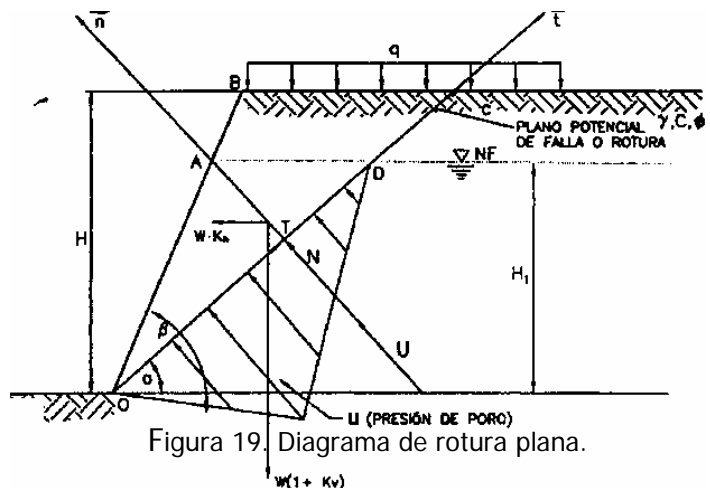
2.5.1. Factor de Seguridad para Rotura Plana.

Para el análisis por rotura plana tomaremos el criterio de HOEK y BRAY (1981) que aparece en el libro de Ingeniera Geológica de González de Vallejo (2003). En el caso más simple de análisis, a partir de las fuerzas actuantes sobre la superficie de rotura considerada, se establece la ecuación del coeficiente de seguridad:

$$F_s = \frac{cA + (W \cos \alpha - U) Tg \phi}{W \operatorname{sen} \alpha}$$

- F_s** = factor de seguridad.
- c** = cohesión (T/m²).
- W** = peso del bloque (T).
- U** = presión de poros (T).
- α** = buzamiento del talud.
- φ** = ángulo de fricción.

$$U = \frac{1}{2} \gamma Z A$$



2.5.1. Factor de Seguridad para Rotura en Cuña.

Para el análisis de la estabilidad de una cuña se pueden emplear distintos procedimientos, dependiendo de la exactitud requerida y de la finalidad del análisis. Las expresiones matemáticas que proporcionan el factor de seguridad de una cuña por el **método analítico** (HOEK y BRAY, 1981) son complicadas y laboriosas de resolver. En el caso más simple, suponiendo que sólo existe fricción para los dos planos de cuña y que el ángulo de fricción es el mismo para ambos, el coeficiente de seguridad se obtiene (ver figura 20).

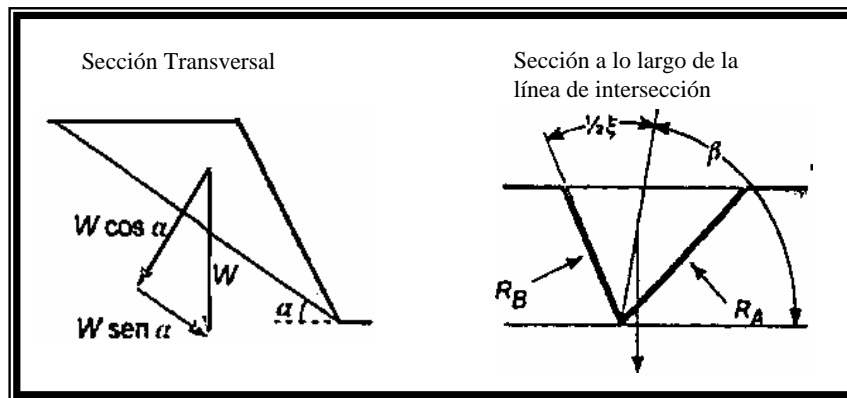


Figura 20. Diagrama sobre parámetros para Factor de seguridad en cuña.

$$Fs = [(Ra + Rb) tg \phi] / W sen \alpha$$

Para los cálculos en este trabajo, se utilizó el caso simple de una cuña formada por dos planos sin cohesión y sin presencia de agua, los ábacos de HOEK y BRAY (1981) que se pueden ver en el apéndice "E", permiten obtener el coeficiente de seguridad de la cuña a partir de los valores de buzamiento y ángulo de fricción de los planos. Los ábacos proporcionan dos parámetros adimensionales, A y B, que se introducen en la expresión:

$$Fs = A tg \phi_a + B tg \phi_b$$

Capítulo 3. Consideraciones Geológicas.

En este capítulo se hace una descripción breve del marco geológico en el que se encuentran los 5km de taludes de la autopista. El área de encuentra dentro una unidad conocida como "*Granito de Guaremal*", la cual se encuentra englobada en el marco regional de la Cordillera de la Costa Venezolana. Aquí se hace referencia a todos los aspectos regionales de dicha unidad, necesarios para el conocimiento previo de la zona en estudio.

3.1. Granito de Guaremal.**3.1.1 Generalidades.**

Desde 1967, numerosos han sido los autores que han mencionado o descrito brevemente estas rocas graníticas (véase una revisión en Urbani *et al.*, 1989, p. 177). Morgan (1969) designó con este nombre un cuerpo granítico que aflora a lo largo de la autopista entre Valencia y El Palito, estado Carabobo. Diversos tesis de la Universidad Central de Venezuela profundizan en el estudio de esta unidad y las rocas adyacentes (Urbani, 1968, 1972; Azpiroz, 1982; Grande, 1982). González de Juana *et al.* (1980) presentan un resumen de la información disponible a la fecha. Mattson y Negrón (1981) y Ave Lallemant y Sisson (1992) estudian su características estructurales. Teggin *et al.* (1985), Urbani (1983, 1985, 1986, 1989-a) presentan información petrográfica, geoquímica y geocronológica de esta unidad. La más reciente recopilación existente de esta unidad es la de Urbani *et al.* (1989-b).

3.1.2. Ubicación y Extensión.

Se ubica en la quebrada Guaremal, cerca del sitio y Hacienda de Guaremal, a su vez ubicado entre los poblados de Las Trincheras y El Cambur, estado Carabobo. Igualmente hay muy buenos afloramientos en la autopista y carretera vieja entre Valencia y Puerto Cabello, en los alrededores de la citada Hacienda. Hoja 6547, escala 1:100.000, Cartografía Nacional.

Aflora en un área de unos 13 km² en los alrededores de la localidad tipo, en el estado Carabobo.

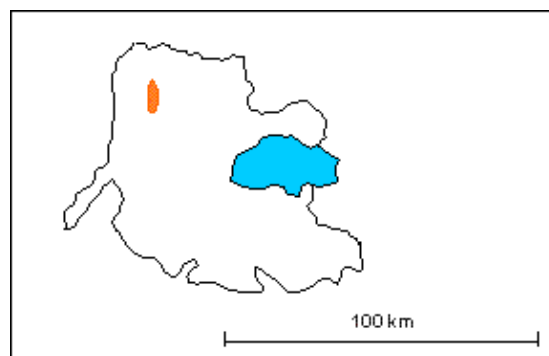


Figura 21. ubicación del Granito de Guaremal.

3.1.3. Edad.

Hess (en Morgan, 1969, p. 27) analizó una muestra de biotita, obteniendo una edad Rb/Sr de 79(5 m.a. y de 33(3 m.a. por el método K/Ar. Santamaría y Schubert (1974, p. 1093) indican edades K/Ar en biotita correspondientes a 32(2 m.a. y 31(2 m.a. Estas edades corresponden a diferentes estadios del proceso metamórfico. Posteriormente Urbani (1985) y Urbani *et al.* (1989-b) presentan una edad Rb/Sr de roca total con una isócrona de 5 muestras, que permiten calcular una edad para la cristalización de la roca de 403(6 m.a., la cual corresponde al Paleozoico, prácticamente en el límite Silúrico – Devónico.

3.1.4. Litología.

En el trabajo de recopilación de Urbani *et al.* (1989-b) señalan que se pueden cartografiar dos subunidades diferentes, las cuales se describen a continuación.

3.1.4.1 Granito no foliado.

Ocupa aproximadamente el 15 % del área total del Granito de Guaremal y los mejores afloramientos se encuentran en la autopista Valencia - Puerto Cabello en el sector de Guaremal y La Viuda y en la quebrada Guaremal. Los tipos litológicos de esta subunidad son los siguientes:

- Granitos: Este es el tipo de roca predominante, con tamaño de grano entre 5 y 10 mm, color blanco - gris y meteoriza a pardo. Equigranular, homófono, no foliado. En el campo se nota claramente su mineralogía de plagioclasa (de color verdoso claro por su alteración a sericita y epidoto), feldespato potásico puede alcanzar tamaños de hasta 5 cm observándose a simple vista las maclas tipo carlsbad.
- Enclaves: Su tamaño puede variar de pocos centímetros a varias decenas de metros. Generalmente están "hornfelizados", tienen una granulometría muy fina y no están foliados. Son de color gris claro a casi negro y meteorizan a pardo, el tamaño de grano varía de 0,2 a 0,4 mm. Los mayores cuerpos son esquistosos, mientras que los mas pequeños no tienen foliación y están completamente hornfelizados. A veces están cruzadas por diques del granito que las rodea y los contactos son abruptos. Los enclaves son más frecuentes en la mitad norte de la zona de afloramientos de Granito de Guaremal.

- Diques de aplita y pegmatitas: La pegmatita es de color blanquecino que meteoriza a rojizo amarillento debido a que contiene pirita, que altera a óxidos de hierro. Sus dimensiones son variables desde 0,1 m hasta 15 m de espesor y varias decenas de metros de largo. A veces se observan bordes de enfriamiento con grano más fino en el contacto con la roca caja. La aplita es de color blanco que meteoriza a pardo amarillento, el tamaño de grano medio desde 0,5 mm, se han observado de 20 a 30 cm de espesor entre 4 a 15 m de largo.

3.1.4.2. Gneis y augengneis granítico.

Los grupos litológicos de esta subunidad son: augengneis y gneis cuarzo - feldespático - biotítico, enclave foliado (xenolito hornfelizado) y diques. Las rocas gnéicas presentan color gris claro y meteorizan a pardo, tamaño de grano variable entre 5 y 8 mm, si bien pueden haber megacristales de hasta 3 cm. La foliación varía desde imperceptible a muy bien definida. Hay afloramientos típicos en la parte baja de la quebrada Guaremal y en la autopista Valencia - El Palito en el sector Vallecito, donde en zonas de cizallamiento con anchos variables de decímetros a decenas de metros se nota claramente la transición granito - gneis - augengneis, es decir que estos tipos de rocas tienen su origen en el granito, pero han sido sometidos a distintos grados de deformación. El augengneis tiene "ojos" de ancho promedio de 1,5 cm, siendo la composición variable y combinada entre feldespato K, cuarzo, plagioclasa. Son bien foliados. El gneis tiene una granulometría muy gruesa pudiendo encontrarse feldespato-K de hasta 5 cm. La foliación presenta un leve desarrollo. Los enclaves están hornfelizados, son de grano muy fino, parcialmente foliados. Se observan contactos abruptos con el gneis y augengneis. La relación entre la foliación circundante y la orientación de los enclaves, usualmente es de paralelismo. Alrededor de estos cuerpos en

ocasiones se observan zonas de enriquecimiento de biotita, de hasta 5 mm de espesor. A veces se presenta albita con textura porfidoblástica con un aspecto algo "moteado".

Todos los tipos de rocas de la unidad Granito de Guaremal presentan una asociación mineralógica de biotita + granate, sugiriendo que fue afectada por un metamorfismo de alto grado, facies de la anfibolita epidótica, zona de la actinolita, posiblemente en un régimen de baja P/T.

3.1.5. Contactos.

Esta unidad está en contacto hacia el norte, oeste y sur con las rocas del Esquisto de San Julián, siendo los contactos siempre concordantes y abruptos, interpretándose como tectónicos. Hacia el extremo este del cuerpo del Granito de Guaremal, éste se encuentra en contacto con el Gneis de Cabriales, pero su naturaleza se desconoce por no estar expuesto debido a la cobertura selvática. Por otra parte, los contactos internos entre la subunidad de granito no foliado, con aquella de gneis y augengneis, es completamente transicional, dependiendo directamente del grado de deformación a que haya estado sometida la roca.

3.2. Geología Estructural Regional.

OMAHÑA (2002) define los diferentes estudios estructurales que se han realizado en la Cordillera de la Costa a través del tiempo por diversos autores, los cuales se exponen a continuación:

DENGO (1951-1953) apoya la premisa del paralelismo entre planos de foliación y estratificación, en la cual, en un principio, se basaron los estudios estructurales realizados en la Cordillera de la Costa.

MORGAN (1969) en la zona Valencia – Puerto Cabello, concluye que las estructuras metamórficas son producto de un mismo período de deformación; y que metamorfismo y deformación son sincrónicas, existiendo paralelismo entre la superficie de estratificación y la foliación.

Identifica tres estructuras planares: la superficie de estratificación igual a la superficie de foliación, un clivaje de deslizamiento por tensión y una superficie curvi-planar e irregular interpretadas como *"kink-bands"*.

Distingue pliegues de deslizamiento por cizalla presentes en rocas metamórficas en la facies de los esquistos verdes; así como en las rocas del Esquisto de Las Brisas (nuestro Complejo San Julián del norte), en la facies de la anfibolita epidótica; y pliegues de flujo en zonas de metamorfismo alto cerca de los contactos con el Granito de Guaremal en rocas de cuarzo feldespáticas.

Este autor, a escala regional, determina que la estructura predominante de la Cordillera de la Costa, está dominada por amplios pliegues abiertos que conforma una gran anticlinorio que limita al norte con la falla del Caribe y al sur con la zona de falla de La Victoria, en cuyo núcleo aparecen expuestos el Metagranito de Guaremal y el Gneis de Sebastopol. (nuestro Gneis de Cabriales).

Distingue, además, como estructuras postmetamórficas, dos sistemas de fallas principales. Uno transversal con rumbo que oscila entre N20W y N40W y otro longitudinal con rumbos N70E y EW.

GONZÁLEZ SILVA (1972) efectúa estudios en la zona centro occidental de la Cordillera de la Costa, describe un gran anticlinorio con rumbo general N80E limitado al norte por la falla del Caribe y al sur por la falla de La Victoria.

Reconoce tres sistemas de fallas: fallas longitudinales de rumbo E-W; fallas transversales inversas de rumbo aproximado N40W y fallas menores transversales que desplazan a las principales en forma escalonada. Considera además que el plegamiento más complejo se encuentra hacia la parte superior de la Asociación Metasedimentaria Caracas, donde la litología es más incompetente.

WHERMANN (1972) en estudios realizados en la región de Guatire - Colonia Tovar, señaló diversos casos donde la foliación y estratificación son oblicuas, alcanzando hasta 25° entre ambas. Considera tres tipos de pliegues: flexulares, de escurrimiento y de flujo pasivo, según el tipo litológico predominante. Este autor además señala que en las capas más compactas como mármoles y cuarcitas, la foliación de los esquistos asociados es siempre paralela a ellas.

Refirió, de igual manera, tres sistemas de fallas, todas con orígenes diferentes. En orden decreciente de antigüedad son: 1) Oblicuas, con rumbo N50-80W, son fallas de gravedad y corrimiento con expresión topográfica pobre; 2) Longitudinales, con rumbo E-W, fallas de gravedad con movimiento posterior transcurrente, con fuerte expresión topográfica y de mayor longitud; y 3) Transversales, con rumbo N60W, son fallas de rasgadura con movimientos verticales, presentando paralelismo entre sí.

GONZÁLEZ DE JUANA *et. al.* (1972) postulan que la Península de Paria está conformada por rocas que poseen un intenso plegamiento de tipo isoclinal, siendo la foliación paralela a los planos axiales de dicho pliegue.

VIGNALI (1972,1979) efectúa estudios en la Península de Araya - Paria e isla de Margarita, en los cuales comprueba el paralelismo inexistente entre los planos de foliación y estratificación, y que de existir solo se presentaría

en los limbos de los pliegues isoclinales contemporáneos con el desarrollo de la foliación.

De igual manera, determina tres períodos de plegamiento: Primera generación de pliegues (f1): cuyas características son flancos yuxtapuestos y parte apical puntiaguda. Segunda generación de pliegues (f2): caracterizada por un intenso plegamiento tipo isoclinal, con foliación paralela a los planos axiales de dichos pliegues. Tercera generación de pliegues (f3): caracterizada por el plegamiento de la foliación. Ciertamente el plegamiento más reciente. Se diferencia de f2 por formar los ángulos interlimbares 60° .

Este autor, además, señala tres etapas de fracturamiento que en orden decreciente son: 1) Zona de paleosutura. 2) Fallas longitudinales de rumbo aproximado N70E. 3) Fallas transversales de rumbos variables entre N10E-N30E y N20E-N30E.

MATTSON (1981) asumiendo los datos de campo de JUARBE (1978) en el área de Las Trincheras, especifica cuatro deformaciones, basado en la diversidad de tipos de pliegues, superficie de foliación, así como sus relaciones espaciales. Tales deformaciones son las siguientes: D1 y D2, deformación de tipo dúctil y muy intensa que determina las primeras asociaciones minerales metamórficas, los pliegues isoclinales y la foliación regional; D3, deformación de tipo frágil que estableció los "*kink-bands*" durante un fenómeno de subducción hacia el sur, de edad Cretácico tardío a Paleoceno; y D4, deformación igualmente de tipo frágil, de edad Eoceno tardío a Post-Eoceno que produce el arqueamiento y levantamiento de la Cordillera de la Costa, siendo correlacionable a un deslizamiento de gravedad hacia el sur.

Por otra parte determina sólo en Sebastopol (nuestro Cabriales) y en los gneis graníticos de Guaremal, una foliación anterior y de menor importancia que la regional, la cual tal vez se relacione con una deformación anterior a D1.

TALUKDAR & LOUREIRO (1982) realiza estudios en el segmento norcentral de la Cordillera de la Costa, determinando cuatro pliegues: f1, f2, f3 y f4. De los cuales sólo f2 y f3 corresponden a la nomenclatura usada por VIGNALI (1972, 1979).

BELLIZZIA (1984) iguala a la Cordillera de la Costa con un edificio polifásico, donde la base está integrada por un zócalo Precámbrico Paleozoico, complejo Basal de Sebastopol y una cobertura Jurásico tardío – Crétaceo temprano (nuestra Asociación Metasedimentaria Caracas) metamorfizando a las facies de los esquistos verdes y localmente a las fáciles de la anfibolita.

NAVARRO *et al.* (1987) realiza estudios en el Grupo Villa de Cura y propone un modelo de evolución tectónica para la parte norcentral de Venezuela, durante el Jurásico Medio- Paleógeno, a partir de la apertura y cierre de la cuenca marginal de Altamira Cordillera de la Costa, proponiendo que la evolución de gran parte de la misma tiene su origen en mecanismos de expansión y subducción de placas.

OSTOS (1987) realizando estudios en las estructuras de cizalla en augengneis y gneises finos del Augengneis de Peña de Mora; concluye que tales planos de cizalla estudiados, son indicativos de un transporte tectónico desde el N-E hacia el S-W durante la etapa final de deformación.

Capítulo 4. Metodología de Trabajo y Métodos de Investigación del Proyecto.

Como se ha establecido, el objetivo principal de este trabajo se centra en la caracterización geotécnica de los taludes presentes en la Autopista Regional del Centro (ARC) tramo Valencia- Puerto Cabello entre los kilómetros 181 y 186. Esto con el fin de definir a partir de estudios técnicos especializados, las propiedades geomecánicas de las masas rocosas, para luego cuantificar el nivel de riesgo geotécnico que estos taludes presentan, y plantear sugerencias de las posibles soluciones de ingeniería para la reducción del latente riesgo.

Dicho lo anterior, se procedió a dividir la metodología de este trabajo en tres etapas principales. La primera, *el trabajo de campo*, consistió en el levantamiento geológico y la caracterización geotécnica detallada de 48 Taludes en 5 Km. de vía. La segunda etapa o *etapa de laboratorio*; aquí se realizaron todos los ensayos físicos y químicos necesarios para la caracterización de las masas rocosas. La tercera y última etapa, *de oficina*, consistió a su vez en varias subetapas: cálculo y estimación de los índices y parámetros adicionales para la caracterización, clasificación geomecánica de los taludes, generación de proyecciones hemisféricas, análisis de estabilidad, calculo de indices de meteorización, evaluación de todos los resultados obtenidos, y planteamiento de las posibles soluciones ingenieriles a los problemas de estabilidad.

4.1. Etapa de Campo.

Esta etapa consistió en el levantamiento geológico y la caracterización geotécnica detallada de 48 Taludes en 5 Km. de vía. El área de levantamiento se dividió en ocho (8) zonas principales, cada una de 500m de longitud. El levantamiento se oriento con respecto a la ubicación de las

progresivas de la autopista, midiendo la distancia en metros a partir de la triangulación con el aviso de la progresiva 182+000. En cada uno de los taludes se obtuvo la siguiente información:

- Características litológicas a partir de muestras de mano.
- Orientación del talud.
- Orientación de los planos de discontinuidades (diaclasas).
- Características de las familias de diaclasas (rugosidad, relleno, separación, persistencia, meteorización, flujo de agua).
- Ensayos manuales para la estimación de la resistencia relativa de las masas rocosas.
- Toma de muestras, tanto de mano como con core drill de 4" para los ensayos de laboratorio.
- Toma de fotografías en general.

4.1. Etapa de Laboratorio.

Esta etapa del trabajo consistió en el análisis de las muestras obtenidas en campo, mediante ensayos de laboratorio, de los cuales se hace una breve descripción a continuación. Estos ensayos fueron realizados por la empresa donde se desarrollo este proyecto, y los resultados los pueden apreciar en el apéndice "A".

4.2.1. Ensayo de Absorción.

La absorción normal es la cantidad de agua absorbida hasta saturación por una roca a presión y temperatura ambiente. Para ello es desecada P , y saturada P' , y se relaciona con la roca seca:

$$A = \frac{P'' - P}{P} \times 100$$

Se efectúa este ensayo con una probeta de unos 200 gr., que se cepillara enérgicamente para desprender los trozos sueltos. Se deseca en una estufa a 105-110° hasta peso constante, P. Se introduce en un recipiente con agua hasta 1/4 litro de altura, y se llena paulatinamente hasta cubrirle. Al día siguiente se deja escurrir durante un minuto, seca con una esponja o paño de lana, y pesa rápidamente en el aire, P', repitiéndose cada 24 horas hasta que 2 pesadas consecutivas difieran en menos de 0,1 por 100.

La absorción o ebullición es cuando se saturan las probetas por ebullición durante 2 horas. Una vez que se han cubierto paulatinamente de agua.

4.2.2. Ensayo del Peso Unitario.

Se define como el cociente del peso de un cuerpo por su volumen. Según como se aprecia este volumen, se obtendrá la densidad aparente cuando se considere el volumen de los poros. Y densidad real cuando se excluyen. La densidad aparente se determina pesando probetas cúbicas desecadas a 50° hasta peso constante con una balanza sensible al centígramo, y el volumen se aprecia con un calibrador que aprecie la décima del milímetro. También se puede determinar que el volumen por medio de la balanza hidrostática. Para la cual, si la piedra no es compacta, se enlucce la probeta con una capa delgada de azufre fundido, parafina, sebo, etc., pesándola en al aire P, y sumergida P':

$$dn = \frac{P}{P - P'}$$

Se determina con más exactitud la densidad aparente pesando en el aire probeta desecada, A. después de saturada de agua, B, y finalmente pesándola saturada y dentro del agua C.

$$dn = \frac{A}{B - C}$$

La densidad real se halla pulverizando la piedra hasta que por el tamiz de 900 mallas por centímetro cuadrado (0,2 mm de luz) y desecándola. El volumen se aprecia con un volumenometro o con el picnómetro. Los volumenometros son unos frascos con unos cuellos graduados en centímetros cúbicos y décimas: se enrasan con agua o bencina y se vierte después un peso de la substancia pulverizada, de manera que no se adhiera a las paredes, y agitando para expulsar el aire.

La densidad real se determina por la formula:

$$dn = \frac{G}{G + P - Q}$$

Si el cuerpo es soluble en agua, se opera en otro líquido: petróleo, Xilol. Benceno, etc de densidad conocida y los resultados se multiplican por dicha densidad.

4.2.3. Ensayo de Corte Directo Saturado.

Se determina colocando una probeta de 4x4x16 cm., sobre 2 apoyos metálicos a los que se sujetan fuertemente y ejerciendo una compresión con una prensa hidráulica mediante un taco metálico.

La tensión de rotura a cortadura, si llamamos A al área de la sección plana y P a la fuerza que produce la rotura, viene dada por la formula:

$$Rk = \frac{P}{2 \cdot A} \cdot Kg / cm$$

La cual viene a ser 1/15 de la resistencia a la compresión.

4.2.4. Ensayo de Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt).

Este dispositivo portátil, determina la dureza al rebote de la roca intacta. El martillo esta compuesto por un vástago de acero sobre el que golpea una masa impulsada sobre un resorte de energía determinada. El valor que arroja el rebote de *Schmidt* normalmente esta comprendido entre 10 y 60 donde los números más bajos se obtienen en rocas débiles, mientras que los mas altos se aplican rocas mas resistentes.

Como procedimiento de ensayo a cada muestra se le debe aplicar el rebote por lo menos 10 veces, descartando las 5 lecturas menores, obteniendo el valor del promedio restante. Con el valor obtenido y el peso unitario de la muestra es posible, mediante la figura 22 obtener un estimado de la resistencia a la compresión sin confinar de la roca.

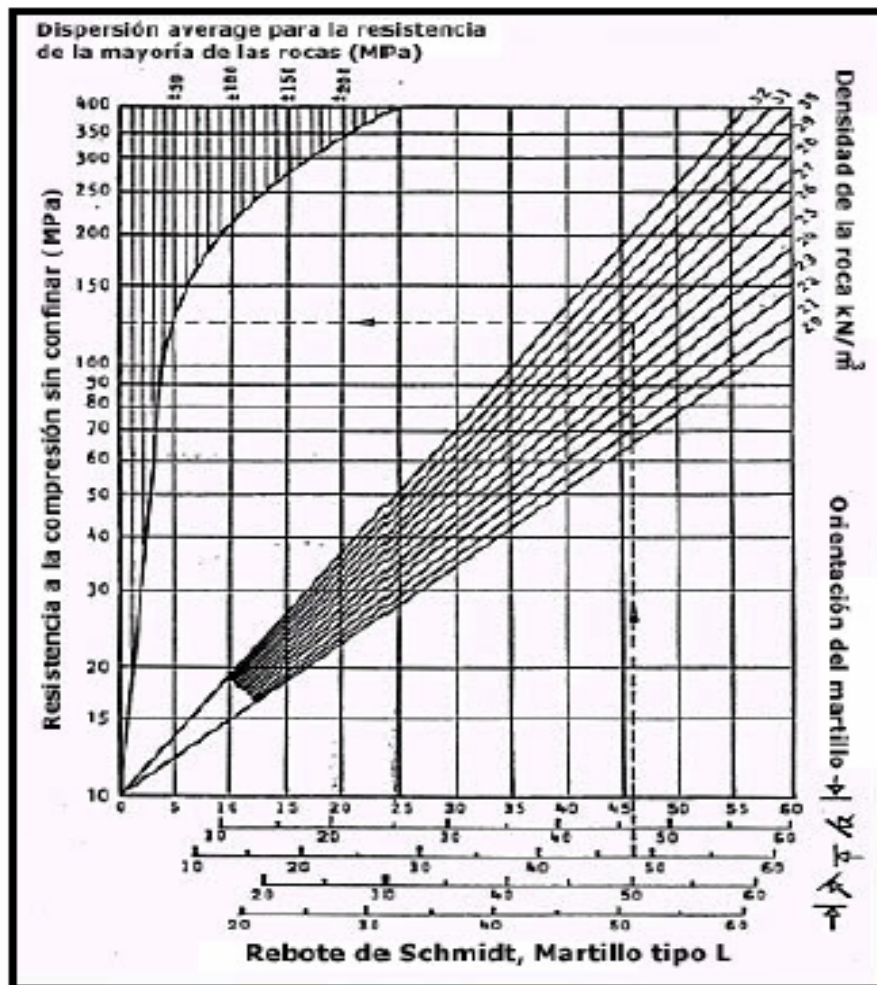


Figura 22. Ábaco para el cálculo de la compresión sin confinamiento por medio del rebote de Schmidt.

4.2.5. Ensayo de Compresión simple sin confinamiento a la roca intacta (δ_c).

Este ensayo es quizás el más importante a realizar con una roca natural. Por ser a este esfuerzo como generalmente se hace trabajar a las rocas. Las probetas se sacan mediante cortes con la sierra o con el hilo de corte, para evitar se debilite su cohesión con los golpes del tallado con cincel, dejando las caras bien planas y paralelas. Las dimensiones varían desde 5 cm de arista para las rocas duras, 7 cm en las de dureza media a 10 cm,

las blandas. Se ensayan las probetas en estado natural, desecadas en estufas a 40-50°, hasta peso constante o embebidas en agua a saturación natural, por inmersión paulatina en agua, al cabo de 48 horas, o por el vacío. Las probetas se colocan entre los platillos de una prensa hidráulica interponiendo una cartulina de 1 mm de espesor y seca, ejerciendo el esfuerzo perpendicularmente a los lechos de cantera, que deberán estar marcados.

La forma de la rotura varia con la naturaleza de la roca y forma de la probeta. Las rocas duras y compactas se rompen, dividiéndose en primas rectos de sección irregular, siendo sus generatrices paralelas al sentido de los esfuerzos, y a veces salen proyectados con gran violencia, siendo conveniente rodear los platillos con una tela metálica. Las rocas blandas se rompen según planos que pasan por las aristas de las bases. Formando un ángulo menor de 50° con la dirección de la presión, desprendiéndose primas truncados, y si se detiene el ensayo poco antes del aplastamiento total se obtienen dos troncos de pirámides adosados por las bases menores. Las probetas cilíndricas o prismáticas se rompen por resbalamiento sobre un plano oblicuo, formando un ángulo de aproximadamente de 45° con la dirección de los esfuerzos.

Se ha podido observar que de no engrasar o colocar cartulinas entre la probeta y el platillo de la prensa se obtienen valores mayores por que al no resbalar los platillos el efecto del zunchado.

En el resultado se hace constar la carga total que indica la aguja del manómetro y la unitaria en Kg./cm² por la formula:

$$Rc = \frac{P}{A}$$

4.2. Etapa de Oficina.

Esta etapa conocida como la fase final del trabajo consistió en el trabajo de oficina. Aquí a partir de la información bibliográfica recopilada, se procedió a realizar varias subetapas: cálculo y estimación de los índices y parámetros adicionales para la caracterización, clasificación geomecánica de los taludes, análisis de estabilidad, generación de proyecciones hemisféricas, cálculo de índices de meteorización, evaluación de todos los resultados obtenidos, y planteamiento de las posibles soluciones ingenieriles a los problemas de estabilidad.

4.2.1 Cálculo y estimación de los índices y parámetros adicionales para la caracterización.

Principalmente esta etapa consistió en calcular los índices RQD (Rock Quality Designación) y el J_v (índice de diaclasado), a parte de definir la valoración de los diferentes parámetros a utilizar en cada una de las clasificaciones geomecánicas. Las diferentes valoraciones de estos parámetros se pueden ver a detalle en las secciones 2.2. y 2.3. respectivamente.

4.2.2. Clasificación Geomecánica de los Taludes.

Aquí cada uno de los Taludes con información de campo como de laboratorio, fue clasificado según las diversas metodologías propuestas en la sección 2.3. tales como: *RMR-Bieniawski (1979)*, *SMR-Romana (1985)*, *Q index-Barton (1973)*, *GSI-Hoek (1994)* y *Rmi-Palmstrom (1995)*.

4.2.3. Análisis de Estabilidad de los Taludes.

Esta etapa fue la mas larga e importante de la investigación. Aquí se realizaron los diferentes análisis tanto geométricos como analíticos para conocer el nivel estabilidad de cada talud. Primero se procedió a realizar el análisis Cinemático (ver sección 2.4.), para luego al conocer cuales de los planos de diaclasas resultaban inestables y por cual de los tipos de rotura característicos se fracturaban, se continuaba con el cálculo del factor de seguridad para cada familia de diaclasas inestables.

En el cálculo del factor de seguridad, se utilizaron varios criterios (ver sección 2.5.). Luego de obtener el factor de seguridad para cada familia de diaclasas inestables por talud, se procedió a tomar como valor para el talud el mínimo factor de seguridad obtenido.

4.2.4. Indices de Meteorización.

En esta sección se establecen unos índices empíricos cualitativos de calificación de la roca, según los cuales se puede definir un rango de valores donde se establezca el grado de meteorización de la roca. Para conocer el detalle sobre como se definieron y calcularon estos índices, se recomienda ver la sección 6.2.

4.2.5. Planteamiento de las posibles soluciones ingenieriles a los problemas de estabilidad.

En base a los resultados obtenidos en este trabajo y a la clasificación hecha a los taludes según los análisis de estabilidad realizados, se procedió a plantear una serie de posibles soluciones ingenieriles a dichos problemas de estabilidad presentes en la autopista Valencia-Puerto Cabello.

CAPÍTULO 5. Caracterización y Clasificación Geomecánica de los Taludes.

En este capítulo se resumen todos los resultados, características, y clasificaciones realizadas a cada uno de los Taludes estudiados. Los datos se encuentran ordenados por secciones, y agrupados de acuerdo a las diferentes etapas de la metodología aplicada, presentados en una serie de tablas resumen. De esta manera el lector puede ubicar con mayor facilidad la información presentada. A continuación se muestran cada uno de los taludes con su información correspondiente:

5.1. Talud # 1:

5.1.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
I	1	181+980	39m	N20°E	80°NW	290°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Granito no foliado cuarzo-feldespático			
	Observaciones					
	La Discontinuidad predominante es D6. La roca está meteorizada.					

Tabla 19. Información general del talud # 1.

5.1.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N55°W	75°NE	35°	2	2:1
D2	N20°W	75°NE	70°	2	3:1
D3	N65°W	25°NE	25°	2	3:1
D4	N20°E	25°SE	110°	2	4:1
D5	N5°E	80°SE	95°	2	5:1
D6	N85°W	35°SW	185°	2	8:1

Tabla 20. Descripción de los planos de diaclasas.

5.1.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suave
Relleno	No presenta
Separación	Cerrada
Persistencia	Subpersistente
Meteorización	Completamente Meteorizada
Flujo de Agua	Ligeramente Manchada (Húmeda)

Tabla 21. Estado o condición general de las diaclasas.

5.1.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0,8972		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.649,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	34°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	52	627,8	76,7
Comprensión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	656,43		

Tabla 22. Parámetros Físicos.

5.1.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	45	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	45,35	Clase III. Normal. Parcialmente Estable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	1,43	Clase D. Mala
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	40-35	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	3,46	Alta Resistencia

Tabla 23. Clasificaciones Geomecánicas.

5.2. Talud # 2:

5.2.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
I	2	182+019	23m	N20°E	70°NW	290°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Granito no foliado cuarzo-feldespático			
	Observaciones					
	Talud cubierto con vegetación continuación del anterior no se observan rasgos de inestabilidad.					

Tabla 24. Información general del talud # 2.

5.3. Talud # 3:

5.3.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
I	3	182+042	22m	N20°E	70°NW	290°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Granito no foliado cuarzo-feldespático			
	Observaciones					
	Continuación del talud de la misma orientación, la escasa vegetación permite observar las diaclasas.					

Tabla 25. Información general del talud # 3.

5.3.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N27°W	42°SW	243°	2	10:1
D2	N25°W	70°SW	245°	2	5:1
D3	N71°E	86°SE	161°	2	5:1

Tabla 26. Descripción de los planos de diaclasas

5.3.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suave
Relleno	No presenta
Separación	Cerrada
Persistencia	Subpersistente
Meteorización	Completamente Meteorizada
Flujo de Agua	Ligeramente Manchada (Húmeda)

Tabla 27. Estado o condición general de las diaclasas.

5.3.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.9530		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.704,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	32°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	54	627,8	76,7
Comprensión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	671.00		

Tabla 28. Parámetros Físicos

5.3.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	42	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	42,35	Clase III. Normal. Parcialmente Estable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	3,59	Clase D. Mala
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	55-50	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	3,30	Alta Resistencia

Tabla 29. Clasificaciones Geomecánicas.

5.4. Talud # 4:

5.4.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
I	4	182+064	40m	-----	-----	-----
	Formación		-----			
	Litología		-----			
	Observaciones					
	Zona abierta con Vegetación, sin Información.					

Tabla 30. Información general del talud # 4.

5.5. Talud # 5:

5.5.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
I	5	182+104	50m	N20°E	75°NW	290°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Granito no foliado cuarzo-feldespático			
	Observaciones					
	La roca se encuentra descompuesta, se recomienda tomar muestra.					

Tabla 31. Información general del talud # 5.

5.5.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N25°E	35°NW	295°	3	8:1
D2	N25°E	55°SE	115°	2	4:1
D3	N80°W	83°SW	190°	1	6:1

Tabla 32. Descripción de los planos de diaclasas

5.5.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suave
Relleno	Sin relleno
Separación	Cerrada
Persistencia	Subpersistente
Meteorización	Muy Meteorizada
Flujo de Agua	Húmeda

Tabla 33. Estado o condición general de las diaclasas.

5.5.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.3190		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.544,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	33°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	51	610,3	74,3
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	583,00		

Tabla 34. Parámetros Físicos.

5.5.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	47	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	11,65	Clase V. Muy Mala. Totalmente Inestable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	4,58	Clase C. Media
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	55-50	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	5,85	Alta Resistencia

Tabla 35. Clasificaciones Geomecánicas.

5.6. Talud # 6:

5.6.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
I	6	182+154	12m	-----	----	-----
	Formación		-----			
	Litología		-----			
	Observaciones					
	Zona con Vegetación, sin Información.					

Tabla 36. Información general del talud # 6.

5.7. Talud # 7:

5.7.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
I	7	182+166	19m	N10°W	75°SW	260°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Granito no foliado cuarzo-feldespático			
	Observaciones					
	Se recomienda tomar muestra de roca, la cual esta descompuesta. Color meteorizado marrón					

Tabla 37. Información general del talud # 7.

5.7.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N15°W	40°SW	255°	2	8:1
D2	N45°W	75°NE	45°	2	5:1
D3	N49°E	74°SE	139°	3	4:1

Tabla 38. Descripción de los planos de diaclasas.

5.7.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suave
Relleno	Sin relleno
Separación	Algo abiertas
Persistencia	Persistente-Continua
Meteorización	Muy meteorizada
Flujo de Agua	Húmeda

Tabla 39. Estado o condición general de las diaclasas

5.7.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.1310		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.630,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	32.5°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	36	331.3	65.9
Comprensión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	345.90		

Tabla 40. Parámetros Físicos.

5.7.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	44	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	8,65	Clase V. Muy Mala. Totalmente Inestable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	6,47	Clase C. Media
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	50-45	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	4,41	Alta Resistencia

Tabla 41. Clasificaciones Geomecánicas.

5.8. Talud # 8:

5.8.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
	8	182+185	71m	-	-
	Formación	Granito de Guaremal			
	Litología	Granito no foliado			
	Observaciones				
	Talud cubierto de vegetación, a 37m hay una quebrada. Se considera estable. La roca no presenta fracturamiento.				

Tabla 42. Información general del talud # 8.

5.9. Talud # 9:

5.9.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
	9	182+256	78m	N40°W	60°SW	230°
	Formación	Granito de Guaremal				
	Litología	Granito no foliado cuarzo-feldespático				
	Observaciones					
I	Este es el talud más grande del área, y con mayor riesgo. Se necesita realizar levantamiento topográfico. El mismo se encuentra muy fracturado y en algunos puntos la roca está muy descompuesta. Tomar muestra.					

Tabla 43. Información general del talud # 9.

5.9.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

N°	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N55°W	37°SW	215°	2	5:1
D2	N55°W	65°SW	215°	2	5:1
D3	N55°E	30°NW	325°	3	4:1
D4	N35°W	45°SW	235°	2	3:1
D5	N40°W	80°SW	230°	3	2:1
D6	N15°W	70°NE	75°	3	5:1
D7	N50°W	45°SW	220°	2	4:1

Tabla 44. Descripción de los planos de diaclasas.

5.9.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suave
Relleno	Sin relleno
Separación	Cerradas - algo abiertas
Persistencia	Persistentes-continuas
Meteorización	Bastante meteorizada
Flujo de Agua	Goteando- mojado ocasional

Tabla 45. Estado o condición general de las diaclasas

5.9.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.8880		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.604,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	34.3°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	50	592.9	74.3
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	550.67		

Tabla 46. Parámetros Físicos.

5.9.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	40	Clase IV. Mediocre
<i>SMR-Romana (1985)</i>	12,3	Clase V. Muy Mala. Totalmente Inestable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	1,50	Clase D. Mala
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	40-35	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	1,88	Alta Resistencia

Tabla 47. Clasificaciones Geomecánicas.

5.10. Talud # 10:

5.10.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
I	10	182+334	14m	-	-
	Formación		Granito de Guaremal		
	Litología		Granito no foliado		
	Observaciones				
	Talud cubierto de vegetación. Se considera estable. La roca no presenta fracturamiento.				

Tabla 48. Información general del talud # 10.

5.11. Talud # 11:

5.11.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
I	11	182+348	40m	N40°W	70°SW	230°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Granito no foliado cuarzo-feldespático			
	Observaciones					
	El plano D1 es el que tiene mayor presencia en el Talud. Se observan otros planos de fracturas paralelos a D4 y D5, pero de un tamaño mayor (doble y triple) a estas.					

Tabla 49. Información general del talud # 11.

5.11.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N25°E	80°SE	115°	2	3:1
D2	N45°W	45°SW	225°	2	5:1
D3	N75°W	70°SW	195°	2	3:1
D4	E-W	88°S	180°	2	2:1
D5	N30°E	60°SE	120°	2	3:1

Tabla 50. Descripción de los planos de diaclasas.

5.11.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suave
Relleno	Sin relleno
Separación	Algo abiertas
Persistencia	Persistentes
Meteorización	Muy Meteorizadas
Flujo de Agua	Ligeramente Húmeda-Manchada

Tabla 51. Estado o condición general de las diaclasas.

5.11.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.6690		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.692,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	35.5°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	47	530.1	74.4
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	420,25		

Tabla 52. Parámetros Físicos.

5.11.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	47	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	11,65	Clase V. Muy Mala. Totalmente Inestable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	6,22	Clase C. Media
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	45-40	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	6,66	Alta Resistencia

Tabla 53. Clasificaciones Geomecánicas.

5.12. Talud # 12:

5.12.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
I	12	182+388	54m	N40°W	70°SW	230°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Granito no foliado cuarzo-feldespático			
	Observaciones					
	Talud inestable, muchos bloques sueltos, material muy fracturado y meteorizado, sin posibilidad de medir otros planos.					

Tabla 54. Información general del talud # 12.

5.12.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N55°W	50°NE	35°	3	3:1
D2	N55°W	25°SW	215°	1	3:1
D3	N20°E	75°NW	290°	5	2:1

Tabla 55. Descripción de los planos de diaclasas.

5.12.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Algo rugosa
Relleno	Sin relleno
Separación	Algo abiertas
Persistencia	Subpersistentes
Meteorización	Muy meteorizadas
Flujo de Agua	Ligeramente húmedas

Tabla 56. Estado o condición general de las diaclasas.

5.12.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.5290		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.733,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	34°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	42	435.9	71.6
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	378.90		

Tabla 57. Parámetros Físicos.

5.12.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	51	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	23,3	Clase IV. Mala. Inestable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	14,76	Clase B. Buena
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	55-50	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	5,89	Alta Resistencia

Tabla 57. Clasificaciones Geomecánicas.

5.13. Talud # 13:

5.13.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
I	13	182+442	116m	-	-
	Formación		-----		
	Litología		-----		
	Observaciones				
	Zona plana cubierta de vegetación.				

Tabla 58. Información general del talud # 13.

5.14. Talud # 14:

5.14.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
II	14	182+558	100m	N65°W	50°SW	205°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Granito no foliado cuarzo-feldespático			
	Observaciones					
	Talud totalmente deformado y muy descompuesto, se encuentra muy plegado. Se aprecian flancos de pliegues de hasta 3m. Las diaclasas observadas fueron medidas en los flancos de los pliegues. La foliación preferencial de la roca esta orientada paralela al plano D3, el cual es el plano principal de fractura del talud.					

Tabla 59. Información general del talud # 14.

5.14.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

N°	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N25°W	85°NE	65°	2	3:1
D2	N60°E	54°SE	150°	2	2:1
D3	N30°E	60°NW	300°	1	3:1
D4	N25°W	55°NE	65°	2	2:1
D5	N20°E	30°NW	290°	2	1:1

Tabla 60. Descripción de los planos de diaclasas.

5.14.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suave
Relleno	Sin relleno
Separación	Algo abiertas
Persistencia	subpersistentes
Meteorización	Completamente meteorizadas
Flujo de Agua	Ligeramente húmedas

Tabla 61. Estado o condición general de las diaclasas.

5.14.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.3170		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.692,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	33°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	47	530.1	74.4
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	414.40		

Tabla 62. Parámetros Físicos.

5.14.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
RMR- Bieniawski (1979)	51	Clase III. Aceptable
SMR-Romana (1985)	35,35	Clase IV. Mala. Inestable
Q index-Barton (1973)	6,49	Clase C. Media
GSI-Hoek (1994)	45-40	-----
Rmi-Palmstrom (1995)	6,16	Alta Resistencia

Tabla 63. Clasificaciones Geomecánicas.

5.15. Talud # 15:

5.15.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
II	15	182+658	71m	N65°W	70°SW	205°
	Formación	Granito de Guaremal				
	Litología	Granito no foliado cuarzo-feldespático				
	Observaciones					
	Esta zona se encuentra bastante meteorizada, aquí los bloques que se encuentran definidos por los planos de diaclasas son de gran tamaño. A 60m del inicio del talud se encuentra una alcantarilla.					

Tabla 64. Información general del talud # 15

5.15.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N70°W	75°SW	200°	3	1:1
D2	N45°E	80°NW	315°	3	1:1
D3	E-W	45°S	180°	3	1:1
D4	N30°W	75°NE	60°	2	2:1
D5	N70°E	46°SE	160°	3	5:1
D6	N20°W	60°NE	70°	2	3:1

Tabla 65. Descripción de los planos de diaclasas.

5.15.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suaves
Relleno	Sin relleno
Separación	Algo abiertas-abiertas
Persistencia	Subpersistentes
Meteorización	Bastante meteorizadas
Flujo de Agua	Ligeramente húmedas

Tabla 66. Estado o condición general de las diaclasas.

5.15.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.3430		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.695,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	35°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	55	697.5	80.2
Comprensión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	695.00		

Tabla 67. Parámetros Físicos.

5.15.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	50	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	37,6	Clase IV. Mala Inestable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	7,21	Clase C. Media
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	40-35	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	5,23	Alta Resistencia

Tabla 68. Clasificaciones Geomecánicas

5.16. Talud # 16:

5.16.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
II	16	182+729	141m	-	-
	Formación		Granito de Guaremal		
	Litología		Granito no foliado		
	Observaciones				
	Los taludes se encuentran cubiertos por vegetación y se encuentran retirados unos 2m del borde de la autopista. Se aprecian planos de fracturamiento bastante inestables en la parte alta de estos taludes, los cuales son semi-verticales.				

Tabla 69. Información general del talud # 16.

5.17. Talud # 17:

5.17.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
II	17	182+870	50m	N75°W	75°SW	195°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Gneiss granítico feldespático			
	Observaciones					
	A partir de este talud comienza a aumentar el tamaño de grano, la roca ahora es del tipo gnéisica. A 20m del comienzo del talud se encuentra una alcantarilla. Se recomienda realizar una sección topográfica.					

Tabla 70. Información general del talud # 17.

5.17.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N35°E	65°NW	305°	3	1 : m
D2	N50°W	65°SW	220°	3	1 : m
D3	N50°W	35°NE	40°	3	1 : m

Tabla 71. Descripción de los planos de diaclasas.

5.17.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suaves
Relleno	Sin relleno
Separación	Cerradas
Persistencia	Subpersistentes
Meteorización	Algo meteorizadas
Flujo de Agua	Ligeramente húmedas

Tabla 72. Estado o condición general de las diaclasas.

5.17.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.4960		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.702,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	35.5°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	30	230.2	61.4
Comprensión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	329,80		

Tabla 73. Parámetros Físicos.

5.17.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	59	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	50	Clase III. Normal. Parcialmente Estable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	16,66	Clase B. Buena
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	60-55	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	7,13	Alta Resistencia

Tabla 74. Clasificaciones Geomecánicas.

5.18. Talud # 18:

5.18.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
II	18	182+920	35m	N10°W	70°SW	260°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Gneiss granítico feldespático			
	Observaciones					
	Talud de las mismas características que el anterior. Se recomienda realizar sección Topográfica.					

Tabla 75. Información general del talud # 18.

5.18.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N50°E	55°NW	320°	3	3:1
D2	N25°W	55°NE	65°	4	2:1
D3	N45°W	55°SW	225°	4	2:1
D4	N35°W	45°SW	235°	3	3:1
D5	N40°W	60°NE	50°	3	3:1
D6	N40°E	80°NW	310°	2	2:1

Tabla 76. Descripción de los planos de diaclasas.

5.18.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Algo rugosas
Relleno	Sin relleno
Separación	Cerradas
Persistencia	Subpersistentes
Meteorización	Algo meteorizadas
Flujo de Agua	Ligeramente húmedas

Tabla 77. Estado o condición general de las diaclasas.

5.18.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.4960		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.702,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	34.5°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	46	551.0	74.6
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	323.50		

Tabla 78. Parámetros Físicos.

5.18.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	52	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	39,6	Clase IV. Mala. Inestable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	8,18	Clase C. Media
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	50-45	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	2,93	Alta Resistencia

Tabla 79. Clasificaciones Geomecánicas.

5.19. Talud # 19:

5.19.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
II	19	182+955	30m	-	-
	Formación		-----		
	Litología		-----		
	Observaciones				
	Zona abierta con vegetación.				

Tabla 80. Información general del talud # 19.

5.20. Talud # 20:

5.20.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
II	20	182+985	50m	N-S	60°W	270°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Gneiss granítico feldespático			
	Observaciones					
	Bloques de tamaño considerable. A 15m se encuentra el aviso de la progresiva 183+000.					

Tabla 81. Información general del talud # 20.

5.20.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

N°	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N15°W	55°SW	255°	2	1:1
D2	N30°W	80°SW	240°	2	3:1
D3	N40°E	30°NW	310°	2	3:1
D4	N40°E	75°SE	130°	2	1:1

Tabla 82. Descripción de los planos de diaclasas.

5.20.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suaves
Relleno	Sin relleno
Separación	Algo abiertas
Persistencia	Subpersistentes
Meteorización	Muy meteorizadas
Flujo de Agua	Ligeramente húmeda

Tabla 83. Estado o condición general de las diaclasas.

5.20.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.4220		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.7230		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	29.7°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	53	648.7	77.8
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	689.70		

Tabla 84. Parámetros Físicos.

5.20.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	54	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	32,45	Clase IV. Mala Inestable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	11,07	Clase B. Buena
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	50-45	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	8,16	Alta Resistencia

Tabla 85. Clasificaciones Geomecánicas.

5.21. Talud # 21:

5.21.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
III	21	183+035	281m	-	-
	Formación		-----		
	Litología		-----		
	Observaciones				
	Zona abierta con vegetación.				

Tabla 86. Información general del talud # 21.

5.22. Talud # 22:

5.22.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
III	22	183+316	92m	N50°W	75°SW	220°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Gneiss granítico feldespático			
	Observaciones					
	Talud con variada caída de bloques y de altura considerable. Aproximadamente 50m.					

Tabla 87. Información general del talud # 22.

5.22.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N35°W	45°SW	235°	4	1:1
D2	N35°W	45°NE	55°	4	1:1
D3	N65°E	85°SE	155°	2	1:1
D4	N50°E	50°NW	320°	3	1:2
D5	N35°W	75°NE	55°	4	2:1

Tabla 88. Descripción de los planos de diaclasas.

5.22.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Algo rugosas
Relleno	Sin relleno
Separación	Abiertas-algo abiertas
Persistencia	Subpersistentes
Meteorización	Algo meteorizadas
Flujo de Agua	Ligeramente húmedas

Tabla 89. Estado o condición general de las diaclasas.

5.22.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.4280		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.7110		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	31.1°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	49	523.1	74.3
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	541.85		

Tabla 90. Parámetros Físicos.

5.22.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	62	Clase II. Buena
<i>SMR-Romana (1985)</i>	34,3	Clase IV. Mala Inestable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	11,9	Clase B. Buena
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	45-40	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	9,13	Alta Resistencia

Tabla 91. Clasificaciones Geomecánicas.

5.23. Talud # 23:

5.23.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
III	23	183+408	100m	-	-
	Formación		-----		
	Litología		-----		
	Observaciones				
	Zona abierta con vegetación, se encuentra una quebrada a 90m.				

Tabla 92. Información general del talud # 23.

5.24. Talud # 24:

5.24.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
IV	24	183+508	135m	N35°W	65°SW	235°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Gneiss granítico feldespático			
	Observaciones					
	Roca bastante fracturada.					

Tabla 93. Información general del talud # 24.

5.24.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

N°	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N15°W	65°SW	255°	2	3:1
D2	N15°W	50°NE	75°	2	3:1
D3	N65°E	85°SE	155°	2	3:1
D4	N55°W	60°SW	215°	3	1:2
D5	N50°E	60°NW	320°	2	1:1

Tabla 94. Descripción de los planos de diaclasas.

5.24.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suaves
Relleno	Sin relleno
Separación	Cerradas
Persistencia	Persistentes-continuas
Meteorización	Bastante meteorizadas
Flujo de Agua	Ligeramente húmedas

Tabla 95. Estado o condición general de las diaclasas.

5.24.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.7860		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.558,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	32°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	43	456.9	72.5
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	531,10		

Tabla 96. Parámetros Físicos.

5.24.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	54	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	53,5	Clase III. Normal. Parcialmente Estable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	6,55	Clase C. Media
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	50-45	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	4,21	Alta Resistencia

Tabla 97. Clasificaciones Geomecánicas.

5.25. Talud # 25:

5.25.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
IV	25	183+643	40m	-	-
	Formación				
	Litología				
	Observaciones				
	Zona con vegetación, muy meteorizada y descompuesta, se aprecia que el talud esta fracturado en la parte superior.				

Tabla 98. Información general del talud # 25.

5.26. Talud # 26:

5.26.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
IV	26	183+683	55m	N20°W	70°SW	250°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Gneiss granítico feldespático			
	Observaciones					
	Zona con poca vegetación, muy descompuesta y meteorizada.					

Tabla 99. Información general del talud # 26.

5.26.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N60°W	65°SW	210°	2	2:1
D2	N40°E	70°NW	310°	3	2:1
D3	N40°E	50°SE	130°	2	3:1

Tabla 100. Descripción de los planos de diaclasas.

5.26.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suaves
Relleno	Sin relleno
Separación	Abierta- muy abiertas
Persistencia	Subpersistentes
Meteorización	Muy meteorizadas
Flujo de Agua	Húmeda

Tabla 101. Estado o condición general de las diaclasas.

5.26.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	1.0460		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.538,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	33°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	42	435.9	71.6
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	522,50		

Tabla 102. Parámetros Físicos.

5.26.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	51	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	52,6	Clase III. Normal. Parcialmente Estable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	6,73	Clase C. Media
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	50-45	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	5,39	Alta Resistencia

Tabla 103. Clasificaciones Geomecánicas.

5.27. Talud # 27:

5.27.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
IV	27	183+738	262m	N30°W	75°NE	60°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Gneiss granítico feldespático			
	Observaciones					
	Zona De taludes semiverticales con abundante vegetación, muy inestable y con gran caída de bloques, los planos de fractura se encuentran en su mayoría en la parte superior de los mismos.					

Tabla 104. Información general del talud # 1.

5.27.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N50°E	70°NW	320°	3	1:1
D2	N20°W	50°NE	70°	3	1:1
D3	N30°W	20°NE	60°	3	1:1

Tabla 105. Descripción de los planos de diaclasas.

5.27.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suaves
Relleno	Sin relleno
Separación	Abierta- muy abiertas
Persistencia	Persistentes-continuas
Meteorización	Muy meteorizadas
Flujo de Agua	Húmeda

Tabla 106. Estado o condición general de las diaclasas.

5.27.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.3930		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.620,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	34°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	52	627.8	76.7
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	546,70		

Tabla 107. Parámetros Físicos.

5.27.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	54	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	18,65	Clase V. Muy Mala. Totalmente Inestable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	7,33	Clase C. Media
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	50-45	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	9,87	Alta Resistencia

Tabla 108. Clasificaciones Geomecánicas.

5.28. Talud # 28:

5.28.1. Información General del Talud:

Zona	N° de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
V	28	184+000	215m	-	-
	Formación		Granito de Guaremal		
	Litología		Gneiss granítico feldespático		
	Observaciones				
	Zona con abundante vegetación muy descompuesta y con abundante desprendimiento de bloques hacia el borde de la vía, la roca se encuentra totalmente meteorizada. Zona Inestable.				

Tabla 109. Información general del talud # 28.

5.29. Talud # 29:

5.29.1. Información General del Talud:

Zona	N° de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
V	29	184+215	270m	-	-
	Formación		Granito de Guaremal		
	Litología		Gneiss granítico feldespático		
	Observaciones				
	Esta zona esta intercalada de áreas de derrumbes y áreas abiertas estables. Se recomienda señalar ya que la caída de bloques es pequeña y los mismos no son de gran tamaño.				

Tabla 110. Información general del talud # 29.

5.30. Talud # 30:

5.30.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
V	30	184+485	75m	N15°W	75°SW	255°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Gneiss granítico feldespático			
	Observaciones					
	A partir de este punto comienza una zona con señalización de derrumbes. Se encuentra con bastante vegetación.					

Tabla 111. Información general del talud # 30.

5.30.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N35°E	55°NW	305°	3	2:1
D2	N50°W	65°NE	40°	3	1:1
D3	N50°W	35°SW	220°	4	2:1

Tabla 112. Descripción de los planos de diaclasas.

5.30.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Algo rugosas
Relleno	Sin relleno
Separación	Abiertas
Persistencia	Subpersistentes
Meteorización	Algo meteorizadas
Flujo de Agua	Ligeramente húmedas

Tabla 113. Estado o condición general de las diaclasas.

5.30.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.9770		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.630,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	33,4°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	42	544.1	74.6
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	477.70		

Tabla 114. Parámetros Físicos.

5.30.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	59	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	59,35	Clase III. Normal Parcialmente EStable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	16,41	Clase B. Buena
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	50-45	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	11,07	Muy Alta Resistencia

Tabla 115. Clasificaciones Geomecánicas.

5.31. Talud # 31:

5.31.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
VI	31	184+560	26m	N55°W	55°SW	215°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Gneiss granítico feldespático			
	Observaciones					
	La frecuencia de estos planos no es igual en todo el talud, en la parte superior del mismo, los bloques son de mayor tamaño y con menor frecuencia. Se recomienda levantamiento topográfico					

Tabla 116. Información general del talud # 31.

5.31.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N50°W	35°NE	40°	2	1:1
D2	N50°W	54°SW	220°	3	2:1
D3	N45°W	65°NE	45°	2	2:1
D4	N45°W	45°SW	225°	3	2:1
D5	N45°E	45°SE	135°	2	3:1

Tabla 117. Descripción de los planos de diaclasas.

5.31.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suaves
Relleno	Sin relleno
Separación	Cerradas
Persistencia	No persistentes
Meteorización	Algo meteorizadas
Flujo de Agua	Húmedas

Tabla 118. Estado o condición general de las diaclasas.

5.31.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.9370		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.570,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	34		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	47	530.1	74.4
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	589.40		

Tabla 119. Parámetros Físicos.

5.31.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	56	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	27,87	Clase IV. Mala Inestable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	4,51	Clase C. Media
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	45-40	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	5,20	Alta Resistencia

Tabla 120. Clasificaciones Geomecánicas

5.32. Talud # 32:

5.32.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
VI	32	184+586	100m	N55°W	85°NE	35°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Gneiss granítico feldespático			
	Observaciones					
	En esta área del otro lado de la vía, se encuentra un talud de aproximadamente 8m de altura y 100m de ancho, con las mismas características de este talud #32 , con la salvedad que el material se encuentra mas deformado y meteorizado.					

Tabla 121. Información general del talud # 32.

5.32.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N55°W	40°SW	215°	2	2:1
D2	N55°W	80°NE	35°	2	2:1
D3	N-S	85°E	90°	2	2:1
D4	E-W	65°S	180°	3	2:1
D5	E-W	50°N	0°	2	2:1
D6	N-S	25°W	270°	2	2:1
D7	N20°W	75°SW	250°	2	1:1
D8	E-W	85°N	0°	2	1:1

Tabla 122. Descripción de los planos de diaclasas.

5.32.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suaves
Relleno	Sin relleno
Separación	Cerradas
Persistencia	No persistentes
Meteorización	Algo meteorizadas
Flujo de Agua	Húmedas

Tabla 123. Estado o condición general de las diaclasas

5.32.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.9370		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.585,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	36.5°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	48	544.1	74.6
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	592,95		

Tabla 124. Parámetros Físicos

5.32.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	52	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	52,35	Clase Normal Parcialmente Estable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	4,54	Clase C. Media
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	50-45	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	3,03	Alta Resistencia

Tabla 125. Clasificaciones Geomecánicas

5.33. Talud # 33:

5.33.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
VI	33	184+686	62m	N55°W	65°SW	215°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Gneiss granítico feldespático			
	Observaciones					
	En el punto donde se levanto D4 el talud cambia de rumbo a N35°W conservando el mismo buzamiento.					

Tabla 126. Información general del talud # 33

5.33.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N55°W	35°SW	215°	3	1:1
D2	N40°E	65°W	310°	2	1:1
D3	N45°W	45°NE	45°	2	1:1
D4	N20°E	45°NW	290°	2	2:1

Tabla 127. Descripción de los planos de diaclasas.

5.33.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suaves
Relleno	Sin relleno
Separación	Muy abiertas
Persistencia	Subpersistentes
Meteorización	Algo Meteorizadas
Flujo de Agua	Húmedas

Tabla 128. Estado o condición general de las diaclasas

5.33.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.8840		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.537,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	35.1°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	52	627.8	76.7
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	702,90		

Tabla 129. Parámetros Físicos.

5.33.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	59	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	16	Clase V. Muy Mala. Totalmente Inestable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	8,12	Clase C. Media
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	40-35	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	12,75	Muy Alta Resistencia

Tabla 130. Clasificaciones Geomecánicas.

5.34. Talud # 34:

5.34.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
VI	34	184+748	140m	-	-
	Formación		Granito de Guaremal		
	Litología		Gneiss granítico feldespático		
	Observaciones				
	Los taludes se encuentran cubiertos por vegetación y se encuentran retirados unos 2m del borde de la autopista. Se aprecian planos de fracturamiento bastante inestables en la parte alta de estos taludes, los cuales son semi-verticales.				

Tabla 131. Información general del talud # 34.

5.35. Talud # 35:

5.35.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
VI	35	184+888	60m	-	-
	Formación		Granito de Guaremal		
	Litología		Gneiss granítico feldespático		
	Observaciones				
	Esta es una zona moderadamente inestable con taludes altos y con poco fracturamiento, pero con algunos bloques caídos. No se pueden medir los planos.				

Tabla 132. Información general del talud # 35

5.36. Talud # 36:

5.36.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
VI	36	184+948	140m	-	-
	Formación		-----		
	Litología		-----		
	Observaciones				
	Zona abierta, presenta dos quebradas importantes. A 52m se encuentra el aviso de la progresiva 185+000				

Tabla 133. Información general del talud # 36

5.37. Talud # 37:

5.37.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
VII	37	185+088	60m	-	-
	Formación		Granito de Guaremal		
	Litología		Gneiss granítico feldespático		
	Observaciones				
	Los taludes se encuentran cubiertos por vegetación y se encuentran retirados 2m del borde de la autopista. Se aprecian planos de fracturamiento bastante inestables en la parte alta del talud, el cual es semi-vertical. No se pudo tomar datos.				

Tabla 134. Información general del talud # 37

5.38. Talud # 38:

5.38.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
VII	38	185+148	20m	N5°E	85°NW	275°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Gneiss granítico feldespático			
	Observaciones					
	Las diaclasas D2 y D3 son persistentes.					

Tabla 135. Información general del talud # 38

5.38.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N5°E	10°SE	95°	2	2:1
D2	N75°W	80°SW	195°	2	2:1
D3	N75°W	80°NE	15°	2	2:1

Tabla 136. Descripción de los planos de diaclasas.

5.38.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suaves
Relleno	Sin relleno
Separación	Abiertas
Persistencia	Persistentes
Meteorización	Muy meteorizadas
Flujo de Agua	Ligeramente húmeda

Tabla 137. Estado o condición general de las diaclasas.

5.38.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.5480		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.683,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	34°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	59	697.5	80.2
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	675.05		

Tabla 138. Parámetros Físicos.

5.38.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	57	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	57,35	Clase III. Normal. Parcialmente Estable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	15,86	Clase B. Buena
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	45-40	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	10,41	Muy Alta Resistencia

Tabla 139. Clasificaciones Geomecánicas

5.39. Talud # 39:

5.39.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
VII	39	185+168	29m	N5°E	85°NW
	Formación		Granito de Guaremal		
	Litología		Gneiss granítico feldespático		
	Observaciones				
	Zona con vegetación, pero con caída de bloques desde la parte alta del talud, el cual buza unos 45°. Al frente de este talud, del otro lado de la vía se encuentra un talud de 50m de ancho y totalmente deformado, fracturado y meteorizado.				

Tabla 140. Información general del talud # 39.

5.40. Talud # 40:

5.40.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
VII	40	185+197	100m	N5°E	85°NW	275°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Gneiss granítico feldespático			
	Observaciones					
	Este talud es de gran altura, aproximadamente 60m. Es una pared subvertical bastante meteorizada.					

Tabla 141. Información general del talud # 40

5.40.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

N°	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N5°W	60°SW	265°	2	3 :1
D2	N60°W	65°NE	30°	2	3 :1
D3	N15°E	30°SE	105°	2	3 :1
D4	N45°W	85°SW	225°	2	3 :1

Tabla 142. Descripción de los planos de diaclasas.

5.40.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suaves
Relleno	Sin relleno
Separación	Abiertas
Persistencia	Subpersistentes
Meteorización	Muy meteorizadas
Flujo de Agua	Ligeramente húmedas

Tabla 143. Estado o condición general de las diaclasas.

5.40.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.7710		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.729,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	36.5°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	41	418.5	70.8
Comprensión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	523.10		

Tabla 144. Parámetros Físicos.

5.40.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	54	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	26,3	Clase IV. Mala. Inestable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	6,28	Clase C. Media
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	40-35	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	5,26	Alta Resistencia

Tabla 145. Clasificaciones Geomecánicas.

5.41. Talud # 41:

5.41.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
VII	41	185+297	185m	N10°E	85°NW
	Formación		Granito de Guaremal		
	Litología		Gneiss granítico feldespático		
	Observaciones				
	Este Talud presenta el mismo patrón de fracturamiento y las características del anterior, pero con mayor vegetación.				

Tabla 146. Información general del talud # 41

5.42. Talud # 42:

5.42.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
VII	42	185+482	20m	N35°E	75°NW	305°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Gneiss granítico feldespático			
	Observaciones					
	Se encuentra bastante meteorizado e inestable, hay otro plano de fractura el cual esta asociado a D1 y D2, no se puede medir.					

Tabla 147. Información general del talud # 42

5.42.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N40°E	55°NW	310°	2	3:1
D2	N20°W	75°SW	250°	2	3:1

Tabla 148. Descripción de los planos de diaclasas.

5.42.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suaves
Relleno	Sin relleno
Separación	Abiertas
Persistencia	Subpersistentes
Meteorización	Muy meteorizadas
Flujo de Agua	Ligeramente húmedas

Tabla 149. Estado o condición general de las diaclasas

5.42.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.7710		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.729,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	35.5°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	41	418.5	70.8
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	517,80		

Tabla 150. Parámetros Físicos.

5.42.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	57	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	21,65	Clase IV. Mala Inestable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	15,86	Clase B. Buena
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	45-40	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	9,66	Alta Resistencia

Tabla 151. Clasificaciones Geomecánicas.

5.43. Talud # 43:

5.43.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
VIII	43	185+502	98m	--	--
	Formación		Granito de Guaremal		
	Litología		Gneiss granítico feldespático		
	Observaciones				
	Esta zona es moderadamente inestable, presenta mucha vegetación y hay desprendimiento de bloques en algunos puntos del talud, pero sin gran riesgo. No se puede medir ningún planote fractura.				

Tabla 152. Información general del talud # 43.

5.44. Talud # 44:

5.44.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
VIII	44	185+600	30m	N35°E	75°NW	305°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Gneiss granítico feldespático			
	Observaciones					
	Características similares al talud anterior. Abundante caída de bloques.					

Tabla 153. Información general del talud # 44.

5.44.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N55°W	56°NE	35°	2	2:1
D2	N40°E	65°NW	310°	2	2:1
D3	N32°E	52°SE	122°	2	2:1

Tabla 154. Descripción de los planos de diaclasas.

5.44.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suaves
Relleno	Sin relleno
Separación	Abiertas
Persistencia	Subpersistentes
Meteorización	Muy meteorizadas
Flujo de Agua	Ligeramente húmedas

Tabla 155. Estado o condición general de las diaclasas.

5.44.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0,8740		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.694,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	36°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	41	418.5	70.8
Comprensión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	424.35		

Tabla 156. Parámetros Físicos.

5.44.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	57	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	28,87	Clase IV. Mala. Inestable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	10,57	Clase B. Buena
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	45-40	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	6,24	Alta Resistencia

Tabla 157. Clasificaciones Geomecánicas.

5.45. Talud # 45:

5.45.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
VIII	45	185+630	85m	-	-
	Formación		Granito de Guaremal		
	Litología		Gneiss granítico feldespático		
	Observaciones				
	Zona de taludes verticales con moderada meteorización y abundante vegetación. En la parte superior esta fracturado. Zona totalmente inestable, muy fracturada, no se pueden tomar valores por estar cubierto con mucha vegetación.				

Tabla 158. Información general del talud # 45

5.46. Talud # 46:

5.46.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud	
				Rumbo	Buza.
VIII	46	185+715	200m	-	-
	Formación		Granito de Guaremal		
	Litología		Gneiss granítico feldespático		
	Observaciones				
	Zona de taludes verticales con moderada meteorización y abundante vegetación. En la parte superior esta fracturado. Poca caída de bloques.				

Tabla 159. Información general del talud # 46

5.47. Talud # 47:

5.47.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
VIII	47	185+915	35m	N55°E	70°NW	325°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Gneiss granítico feldespático			
	Observaciones					
	Roca muy meteorizada.					

Tabla 160. Información general del talud # 47

5.47.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N35°E	70°NW	305°	2	3:1
D2	N55°W	65°NE	35°	2	1:1
D3	N15°E	60°SE	105°	1	2:1

Tabla 161. Descripción de los planos de diaclasas.

5.47.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suaves
Relleno	Sin relleno
Separación	Abiertas
Persistencia	Subpersistentes
Meteorización	Muy meteorizadas
Flujo de Agua	Ligeramente húmedas

Tabla 162. Estado o condición general de las diaclasas.

5.47.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.7010		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.690,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	35°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	45	491.7	70.4
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	453.50		

Tabla 163. Parámetros Físicos.

5.47.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	54	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	53,5	Clase III. Normal. Parcialmente Estable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	10,57	Clase B. Buena
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	45-40	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	7,38	Alta Resistencia

Tabla 164. Clasificaciones Geomecánicas.

5.48. Talud # 48:

5.48.1. Información General del Talud:

Zona	Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
				Rumbo	Buza.	Azimut
VIII	48	185+950	50m	N55°E	70°NW	325°
	Formación		Granito de Guaremal			
	Litología		Gneiss granítico feldespático			
	Observaciones					
	Roca muy meteorizada y fracturada, se aprecian gran numero de planos de diaclasas.					

Tabla 165. Información general del talud # 48

5.48.2. Descripción de Los Planos de Diaclasas:

Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
D1	N10°W	64°SW	260°	3	1:1
D2	N35°E	45°NW	305°	2	1:2
D3	N35°E	45°SE	125°	2	1:1
D4	N45°W	80°SW	225°	2	1:2
D5	N55°E	70°NW	325°	4	1:1
D6	N65°W	42°NE	25°	3	1:2
D7	N10°W	25°SW	260°	2	2:1

Tabla 166. Descripción de los planos de diaclasas.

5.48.3. Estado o Condición General de los Planos de Diaclasas:

Rugosidad	Suaves
Relleno	Sin relleno
Separación	Abiertas
Persistencia	Subpersistentes
Meteorización	Muy meteorizadas
Flujo de Agua	Ligeramente húmedas

Tabla 167. Estado o condición general de las diaclasas.

5.48.4. Parámetros Físicos:

Ensayo	Valor		
% de Absorción	0.7000		
Peso Unitario (densidad Kg/m³)	2.695,0		
Corte Directo Saturado	Angulo de Fricción ϕ		
	35.1°		
Resistencia de la roca en campo (Martillo Schmidt)	Lect. Prom.	Resist Kg/cm²	Desv. Kg/cm²
	43	418.5	70.8
Compresión simple a la roca intacta (σ_c). Kg/cm²	411.75		

Tabla 168. Parámetros Físicos.

5.48.5. Clasificaciones Geomecánicas:

Tipo de Clasificación	Valoración	Calidad de la masa rocosa
<i>RMR- Bieniawski (1979)</i>	54	Clase III. Aceptable
<i>SMR-Romana (1985)</i>	41,6	Clase III. Normal. Parcialmente Estable
<i>Q index-Barton (1973)</i>	6,23	Clase C. Media
<i>GSI-Hoek (1994)</i>	40-35	-----
<i>Rmi-Palmstrom (1995)</i>	4,66	Alta Resistencia

Tabla 169. Clasificaciones Geomecánicas.

CAPITULO 6. Análisis de Estabilidad y Evaluación de Resultados

Este capítulo se divide para mejor comprensión del lector en cuatro secciones principales, las cuales son: Análisis de Estabilidad, Índices de Meteorización, Relación entre los tipos de clasificación obtenidos y Propuestas Ingenieriles a los problemas de estabilidad. Aquí se expondrán los análisis hechos por el autor y se darán como recomendación las posibles soluciones a los problemas de estabilidad.

6.1. Análisis de Estabilidad.

Para realizar el análisis de estabilidad de los taludes, se utilizaron principalmente dos metodologías. La primera consistió en hacer un análisis cinemática a los planos de fractura a través de proyecciones hemisféricas (ver sección 2.4); luego de ese análisis, aquellos que resultaron cinemáticamente inestables, se les procedió a calcular el "Factor de seguridad" según el criterio de rotura determinado en el referido análisis (ver sección 2.5). Estos resultados, luego fueron comparados con los valores obtenidos del SMR, el cual establece rangos de estabilidad e inestabilidad para los taludes.

A continuación se mostraran las proyecciones hemisféricas y unas tablas resumen con los resultados de los análisis de estabilidad para cada uno de los taludes:

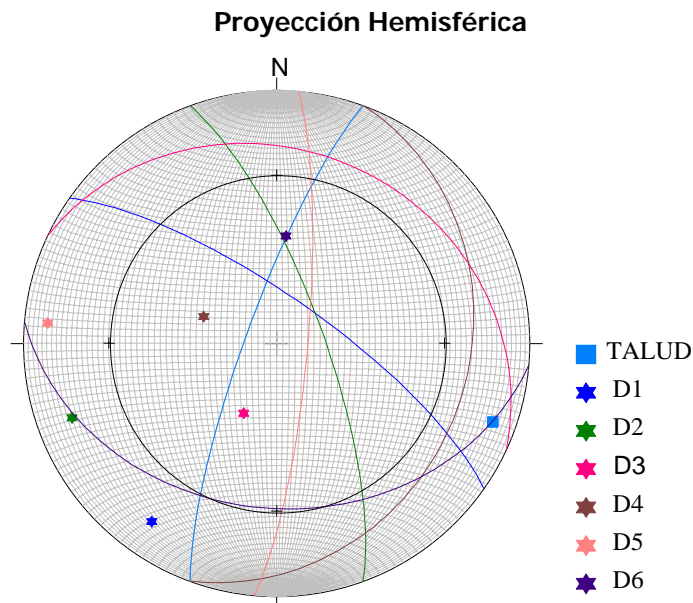
6.1.1 Análisis del Talud # 1: Progresiva "181+980"

Circulo De Fricción		34°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimet
Talud	N20°E	80°NW	290°
D1	N55°W	75°NE	35°
D2	N20°W	75°NE	70°
D3	N65°W	25°NE	25°
D4	N20°E	25°SE	110°
D5	N5°E	80°SE	95°
D6	N85°W	35°SW	185°



Tabla 170. Orientación de los planos

Foto 4. Vista de diaclasas del Talud # 1



Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad Fs	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D6	<p>volcamiento</p>	-----	Parcialmente Estable	ESTABLE

Tabla 171. Resumen de estabilidad del Talud # 1.

En este talud, de seis familias de diaclasas reconocidas solo una, **D6** se considera cinemáticamente inestable por volcamiento. Su calidad de roca según el SMR, establece que el macizo es parcialmente estable, pero al comparar con el análisis cinemático realizado se concluye que en general el talud se considere **ESTABLE** con pocas posibilidades de caída de bloques.

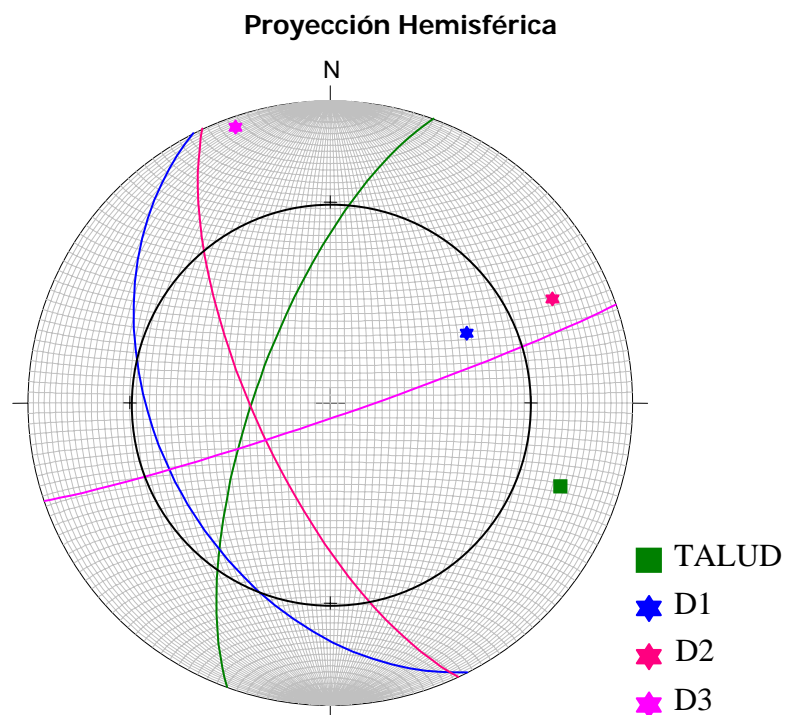
6.1.2. Análisis del Talud # 3: Progresiva "182+042"

Círculo De Fricción		32°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 20° E	70° NW	290
D1	N 27° W	42° SW	243
D2	N 25° W	70° SW	245
D3	N 71° E	86° SE	161



Tabla 172. Orientación de los planos

Foto 5. Vista de diaclasas del Talud # 3



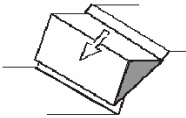
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad Fs	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D1	 planar	0.22	Parcialmente Estable	INESTABLE

Tabla 173. Resumen de estabilidad del Talud # 3.

Aquí de tres familias de diaclasas reconocidas, solo **D1** se considera cinemáticamente inestable por rotura planar. La calidad de roca según el SMR, establece que el macizo es parcialmente estable, pero tomando en cuenta que el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con alto riesgo de caída de bloques.

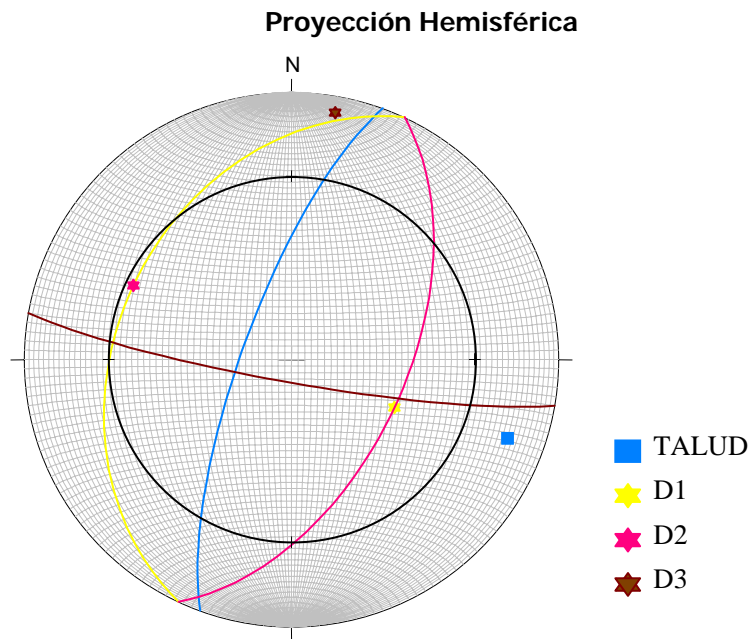
6.1.3. Análisis del Talud # 5: Progresiva “182+104”

Circulo De Fricción		33°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 20 E	75 NW	290°
D1	N 25 E	35 NW	295°
D2	N 25 E	55 SE	115°
D3	N 80 W	83 SW	190°



Tabla 174. Orientación de los planos

Foto 6. Vista de diaclasas del Talud # 5




Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D1	 planar	0.23	Totalmente Inestable	INESTABLE

Tabla 175. Resumen de estabilidad del Talud # 5.

De tres familias de diaclasas reconocidas, solo **D1** se considera cinemáticamente inestable por rotura planar. La calidad de roca según el SMR, establece que el talud es totalmente inestable. Aunado a que el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con alto riesgo de caída de bloques.

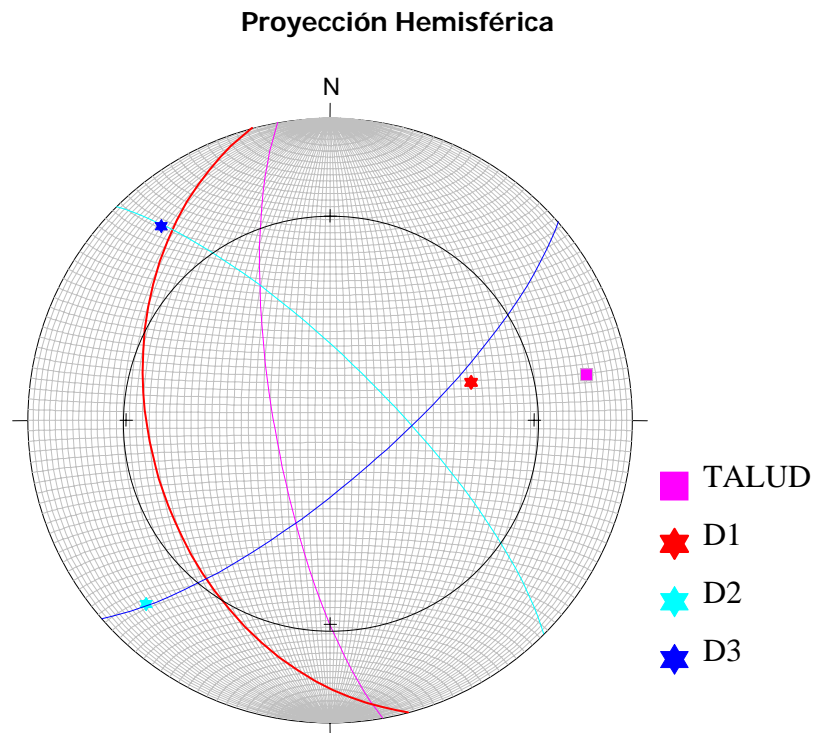
6.1.4. Análisis del Talud # 7: Progresiva "182+166"

Círculo De Fricción		32,5°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 10° W	75° SW	260°
D1	N 15° W	40° SW	255°
D2	N 45° W	75° NE	45°
D3	N 49° E	74° SE	139°



Tabla 176. Orientación de los planos

Foto 7. Vista de diaclasas del Talud # 7



Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D1	 planar	0.24	Totalmente Inestable	INESTABLE

Tabla 177. Resumen de estabilidad del Talud # 7.

En este talud **D1** es claramente subparalela al talud, y con un buzamiento menor, lo que implica que **D1** se considera cinemáticamente inestable, por rotura planar. La calidad de roca según el SMR, establece que el talud es totalmente inestable, y que el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con alto riesgo de caída de bloques.

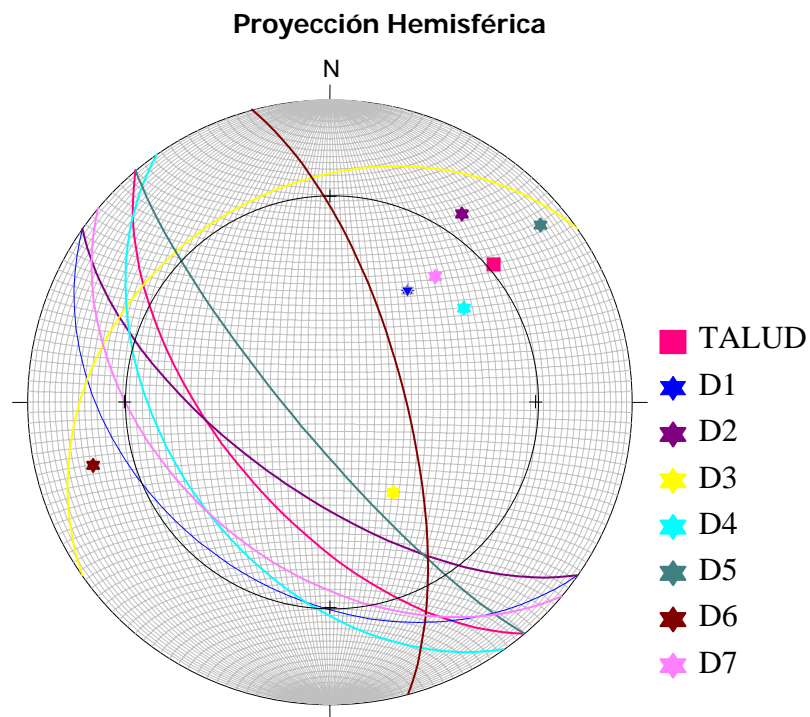
6.1.5. Análisis del Talud # 9: Progresiva "182+256"

Círculo De Fricción		34,3°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 40° W	60° SW	230°
D1	N 55° W	37° SW	215°
D2	N 55° W	65° SW	215°
D3	N 55° E	30° NW	325°
D4	N 35° W	45° SW	235°
D5	N 40° W	80° SW	230°
D6	N 15° W	70° NE	75°
D7	N 50° W	45° SW	220°



Tabla 178. Orientación de los planos

Foto 8. Vista de diaclasas del Talud # 9



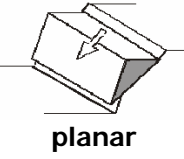
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D1-D3-D4-D7	 planar	0.23	Totalmente Inestable	INESTABLE

Tabla 179. Resumen de estabilidad del Talud # 9.

En este talud la mayoría de las familias de diaclasas son favorables al deslizamiento, *D1-D3-D4-D7* son claramente subparalela al talud, y con un buzamiento menor, lo que implica que estos planos se consideren cinemáticamente inestable por rotura planar. La calidad de roca según el SMR, establece que el talud es totalmente inestable, y que el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con alto riesgo de caída de bloques.

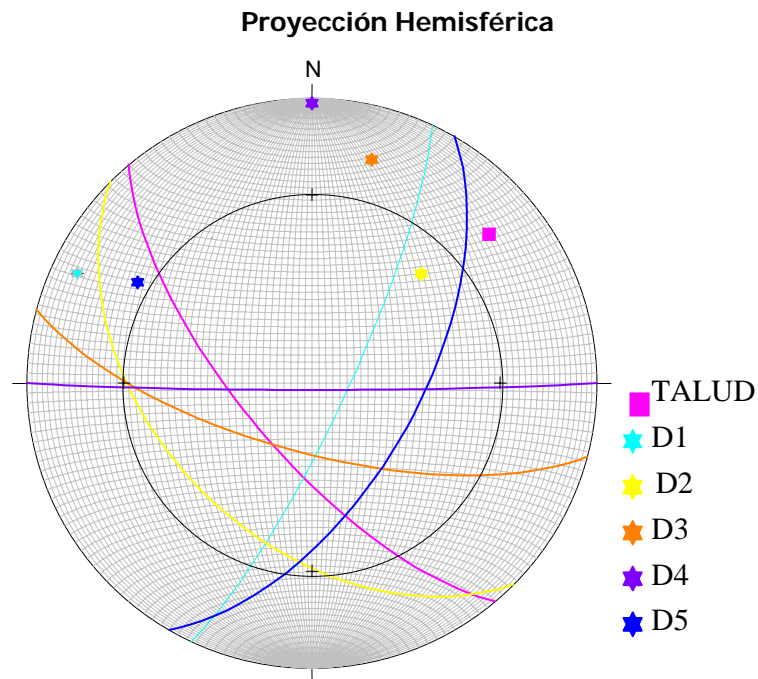
6.1.6. Análisis del Talud # 11: Progresiva "182+348"

Circulo De Fricción		35,5°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimet
TALUD	N 40° W	70° SW	230°
D1	N 25° E	80° SE	115°
D2	N 45° W	45° SW	225°
D3	N 75° W	70° SW	195°
D4	E - W	88° S	180°
D5	N 30° E	60° SE	120°

Tabla 180. Orientación de los planos



Foto 9. Vista de diaclasas del Talud # 9




Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D2	 planar	0.25	Totalmente Inestable	INESTABLE

Tabla 181. Resumen de estabilidad del Talud # 11.

Aquí **D2** es subparalela al talud, y con un buzamiento menor, lo que implica que se considera cinemáticamente inestable por rotura planar. La calidad de roca según el SMR, establece que el talud es totalmente inestable, y que el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con mediano riesgo de caída de bloques.

6.1.7. Análisis del Talud # 12: Progresiva "182+388"

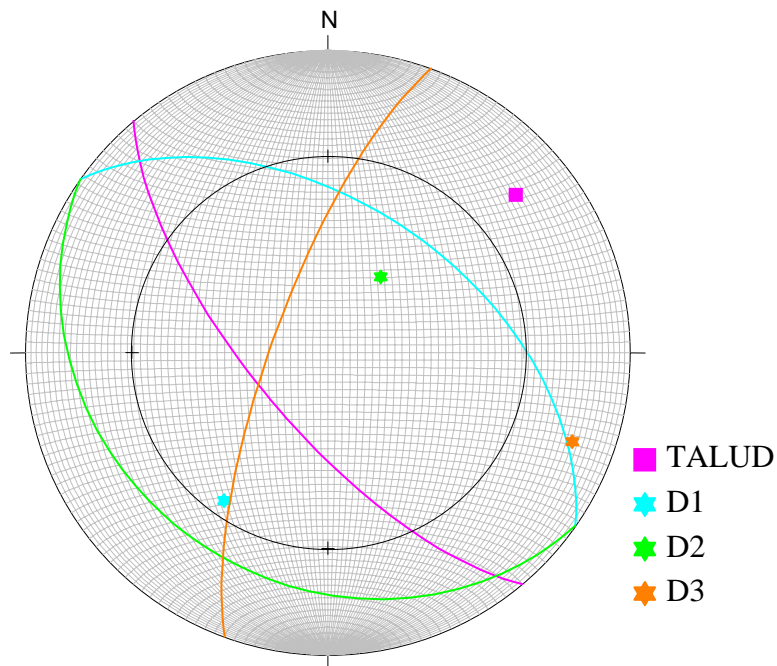
Círculo De Fricción		34°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 40° W	70° SW	230°
D1	N 55° W	50° NE	35°
D2	N 55° W	25° SW	215°
D3	N 20° E	75° NW	290°



Tabla 182. Orientación de los planos

Foto 10. Vista de diaclasas del Talud # 12

Proyección Hemisférica



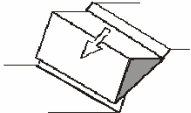
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D2	 planar	0.21	Inestable	INESTABLE

Tabla 183. Resumen de estabilidad del Talud # 12

En este talud **D2** se considera cinemáticamente inestable por rotura planar. La calidad de roca según el SMR, establece que el talud es inestable, y que el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con mediano riesgo de caída de bloques.

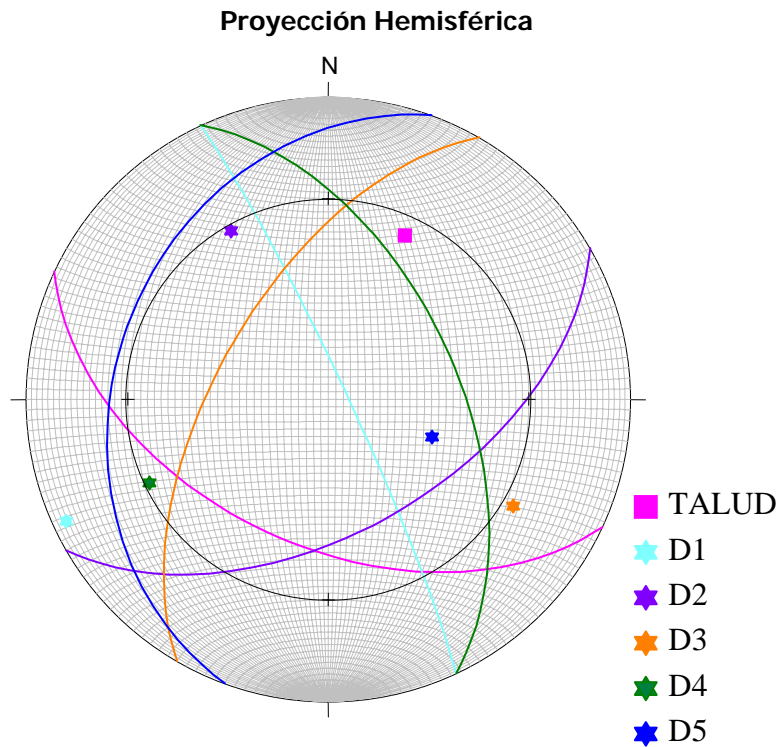
6.1.8. Análisis del Talud # 14: Progresiva "182+558"

Círculo De Fricción		33°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 65° W	50° SW	205°
D1	N 25° W	85° NE	65°
D2	N 60° E	54° SE	150°
D3	N 30° E	60° NW	300°
D4	N 25° W	55° NE	65°
D5	N 20° E	30° NW	290°



Tabla 184. Orientación de los planos

Foto 11. Vista de diaclasas del Talud # 14



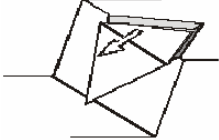
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D2-D3-D5	 <p>en cuña</p>	0,65	Inestable	INESTABLE

Tabla 185. Resumen de estabilidad del Talud # 14

Aquí las familias *D2-D3-D5* forman cuñas entre ellas, las cuales se consideran cinemáticamente inestables. La calidad de roca según el SMR, establece que el talud es inestable, y que el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con mediano riesgo de caída de bloques.

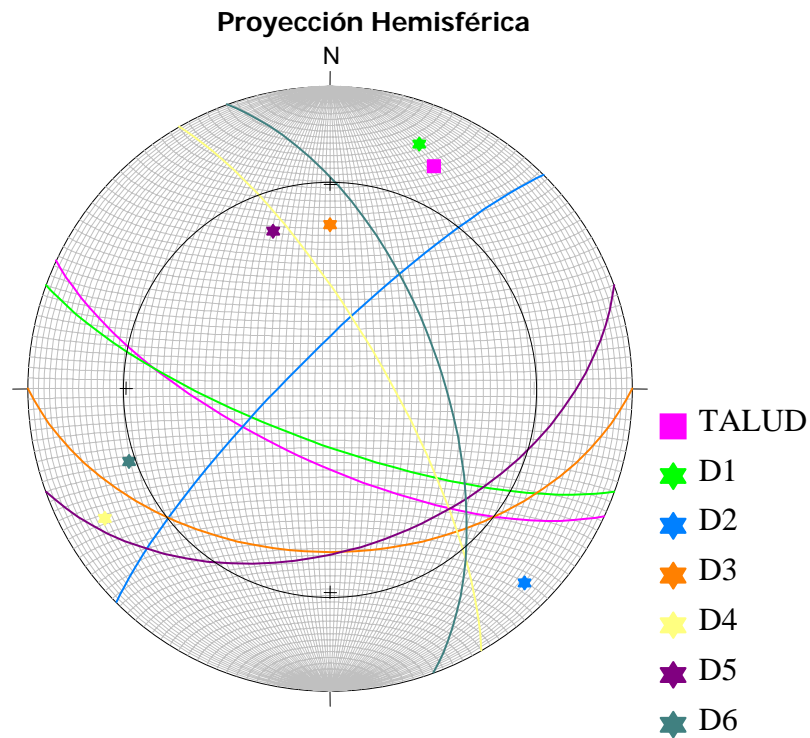
6.1.9. Análisis del Talud # 15: Progresiva “182+658”

Círculo De Fricción		35°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 65° W	70° SW	205°
D1	N 70° W	75° SW	200°
D2	N 45° E	80° NW	315°
D3	E - W	45° S	180°
D4	N 30° W	75° NE	60°
D5	N 70° E	46° SE	160°
D6	N 20° W	60° NE	70°



Tabla 186. Orientación de los planos

Foto 12. Vista de diaclasas del Talud # 15



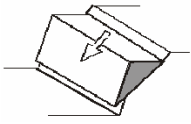
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D3-D5	 planar	0.23	Inestable	INESTABLE

Tabla 187. Resumen de estabilidad del Talud # 15

En este talud **D3-D5** se consideran cinemáticamente inestable, por rotura planar. La calidad de roca según el SMR, establece que el talud es inestable, y que el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con mediano riesgo de caída de bloques.

6.1.10. Análisis del Talud # 17: Progresiva "182+870"

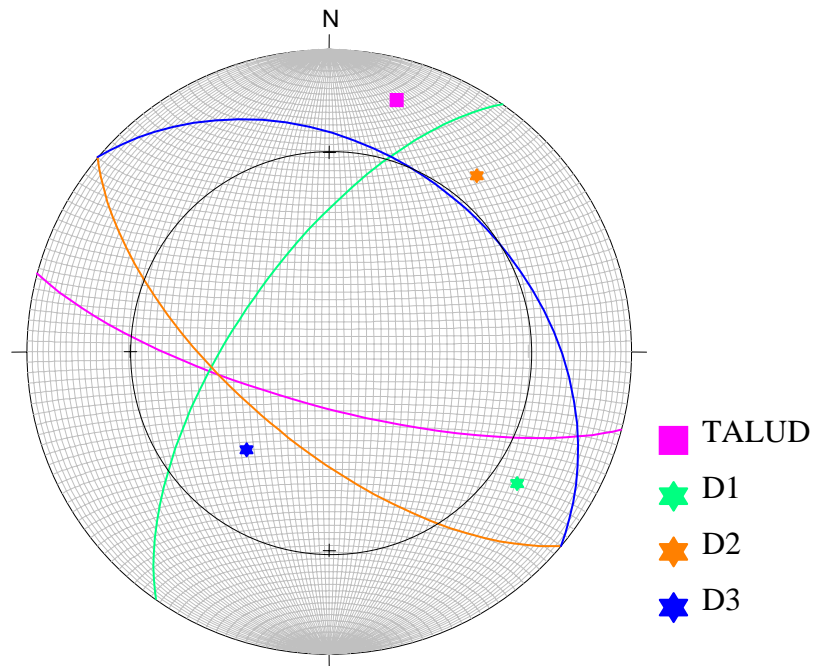
Círculo De Fricción		35,5°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 75° W	75° SW	195°
D1	N 35° E	65° NW	305°
D2	N 50° W	65° SW	220°
D3	N 50° W	35° NE	40°



Tabla 188. Orientación de los planos

Foto 13. Vista de diaclasas del Talud # 17

Proyección Hemisférica



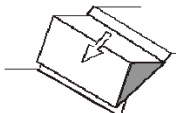
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D2	 planar	0.15	Parcialmente Estable	INESTABLE

Tabla 189. Resumen de estabilidad del Talud # 17

D2 es claramente subparalela al talud, y con un buzamiento menor, lo que implica que se considera cinemáticamente inestable por rotura planar. La calidad de roca según el SMR, establece que el macizo del talud es parcialmente estable, aunque el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE**, pero con un bajo riesgo de caída de los bloques.

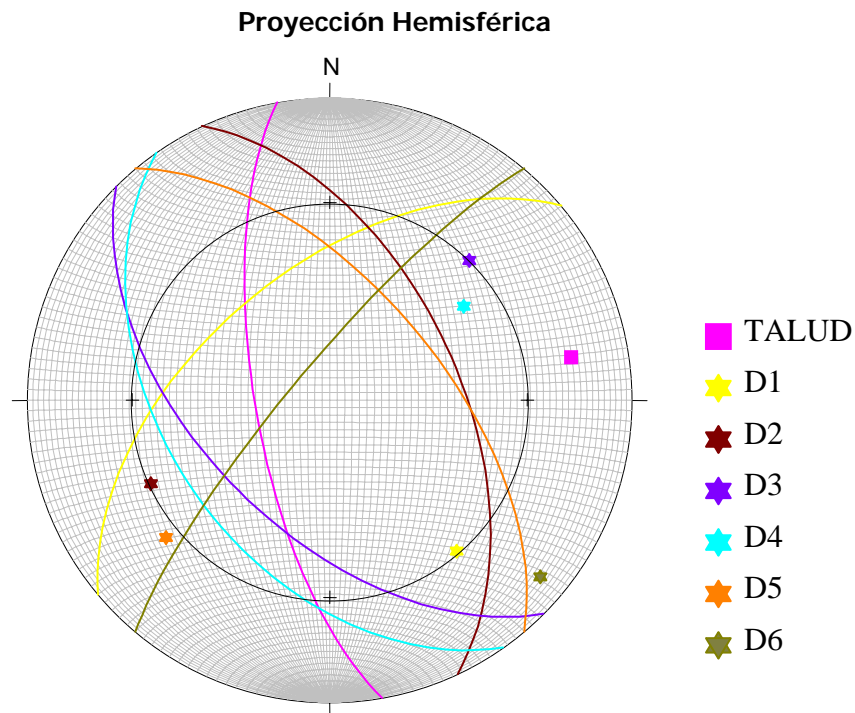
6.1.11. Análisis del Talud # 18: Progresiva "182+920"

Círculo De Fricción		34,5°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 10° W	70° SW	260°
D1	N 50° E	55° NW	320°
D2	N 25° W	55° NE	65°
D3	N 45° W	55° SW	225°
D4	N 35° W	45° SW	235°
D5	N 40° W	60° NE	50°
D6	N 40° E	80° NW	310°



Tabla 190. Orientación de los planos

Foto 14. Vista de diaclasas del Talud # 18



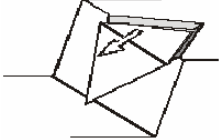
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D2-D5-D6	 <p>en cuña</p>	0,94	Inestable	INESTABLE

Tabla 191. Resumen de estabilidad del Talud # 18

En este talud las familias **D2-D3-D5** forman cuñas entre ellas, las cuales se consideran cinemáticamente inestables. La calidad de roca según el SMR, establece que el talud es inestable, y que el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con mediano riesgo de caída de bloques.

6.1.12. Análisis del Talud # 20: Progresiva "182+985"

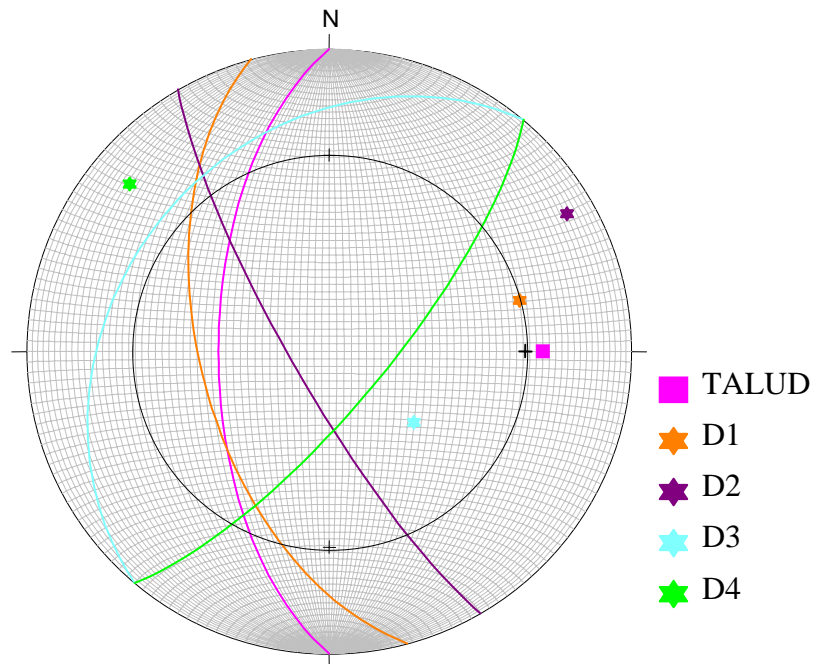
Círculo De Fricción		29,7°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N - S	60° W	270°
D1	N 15° W	55° SW	255°
D2	N 30° W	80° SW	240°
D3	N 40° E	30° NW	310°
D4	N 40° E	75° SE	130°

Tabla 192. Orientación de los planos



Foto 15. Vista de diaclasas del Talud # 20

Proyección Hemisférica



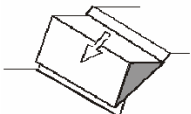
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D2-D4	 planar	0,24	Inestable	INESTABLE

Tabla 193. Resumen de estabilidad del Talud # 20

Las familias **D2-D4** se consideran cinemáticamente inestable por rotura planar. La calidad de roca según el SMR, establece que el talud es inestable, y que el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con mediano riesgo de caída de bloques.

6.1.13. Análisis del Talud # 22: Progresiva "183+316"

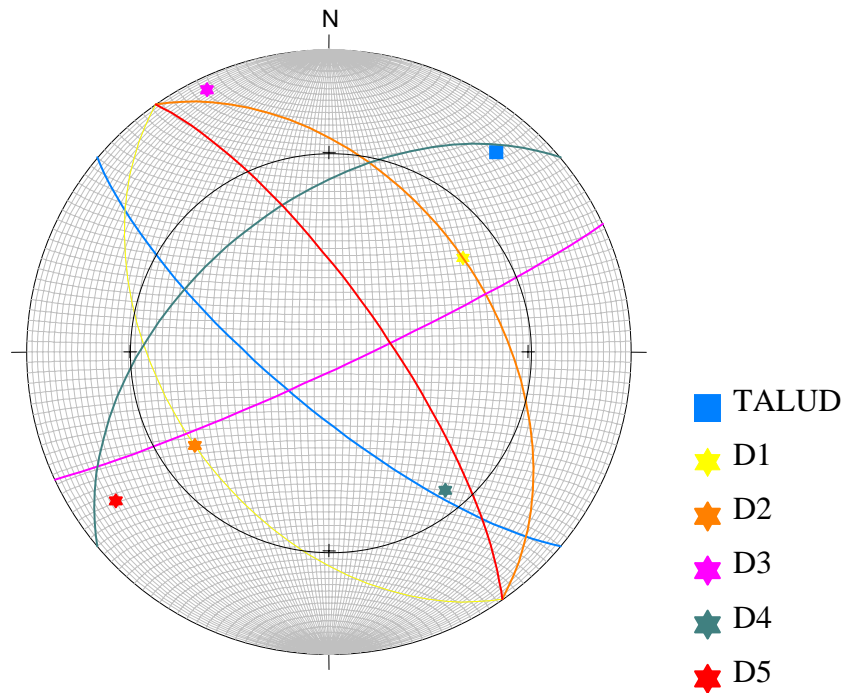
Círculo De Fricción		31,1°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 50° W	75° SW	220°
D1	N 35° W	45° SW	235°
D2	N 35° W	45° NE	55°
D3	N 65° E	85° SE	155°
D4	N 50° E	50° NW	320°
D5	N 35° W	75° NE	55°



Tabla 194. Orientación de los planos

Foto 16. Vista de diaclasas del Talud # 22

Proyección Hemisférica



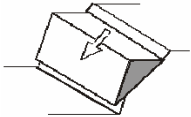
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D1	 planar	0,25	Inestable	INESTABLE

Tabla 195. Resumen de estabilidad del Talud # 22

Aquí solo **D1** se considera cinemáticamente inestable por rotura planar. La calidad de roca según el SMR, establece que el talud es inestable, y que el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con mediano riesgo de caída de bloques.

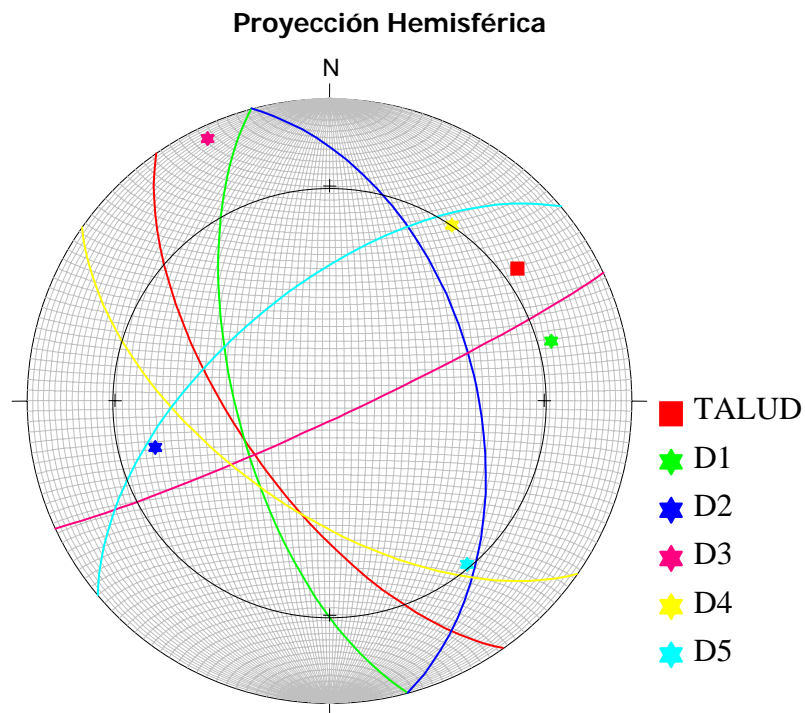
6.1.14. Análisis del Talud # 24: Progresiva "183+508"

Círculo De Fricción		32°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 35° W	65° SW	235°
D1	N 15° W	65° SW	255°
D2	N 15° W	50° NE	75°
D3	N 65° E	85° SE	155°
D4	N 55° W	60° SW	215°
D5	N 50° E	60° NW	320°



Tabla 196. Orientación de los planos

Foto 17. Vista de diaclasas del Talud # 24



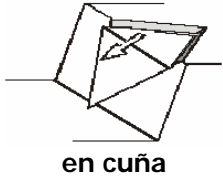
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D1-D4-D5	 en cuña	0,68	Parcialmente Estable	INESTABLE

Tabla 197. Resumen de estabilidad del Talud # 24

Las familias *D1-D4-D5* forman cuñas entre ellas, las cuales se consideran cinemáticamente inestables. La calidad de roca según el SMR, establece que el macizo es parcialmente estable, aunque el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere *INESTABLE* con bajo riesgo de deslizamiento de bloques.

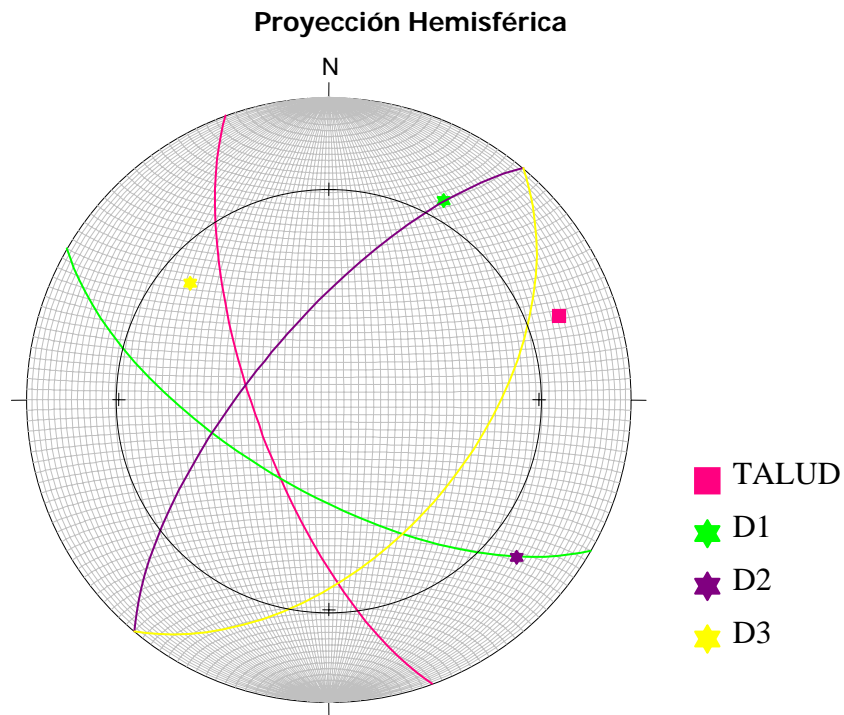
6.1.15. Análisis del Talud # 26: Progresiva "183+683"

Circulo De Fricción		33°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 20° W	70° SW	250°
D1	N 60° W	65° SW	210°
D2	N 40° E	70° NW	310°
D3	N 40° E	50° SW	130°



Tabla 198. Orientación de los planos

Foto 18. Vista de diaclasas del Talud # 26



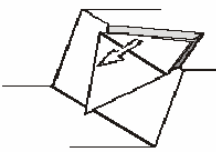
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D1-D2	 en cuña	0,54	Parcialmente Estable	INESTABLE

Tabla 199. Resumen de estabilidad del Talud # 26.

En este talud las familias *D1-D2* forman cuñas entre ellas, las cuales se consideran cinemáticamente estables. La calidad de roca según el SMR, establece que el macizo es parcialmente estable, y que el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con bajo riesgo de deslizamientos.

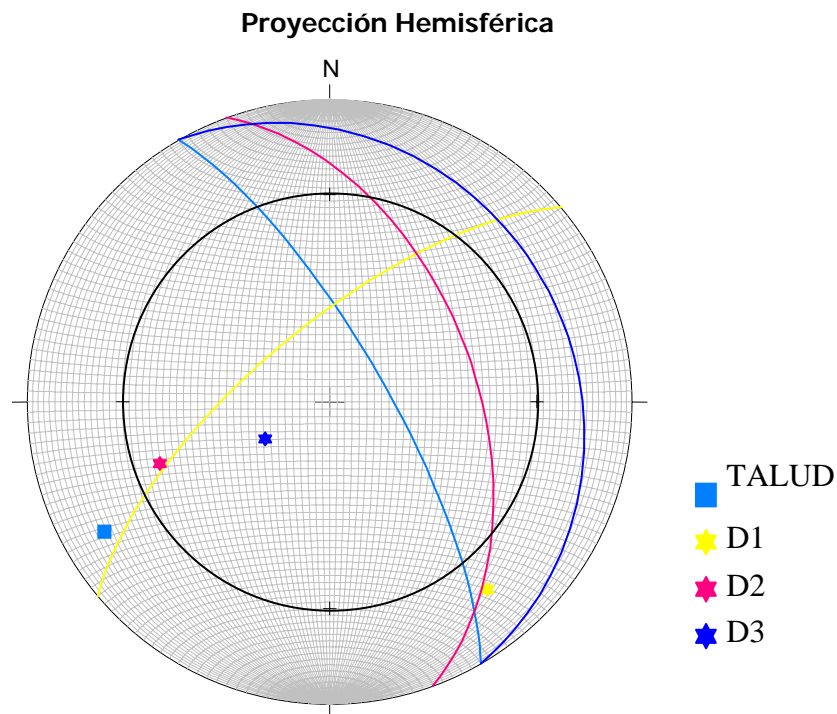
6.1.16. Análisis del Talud # 27: Progresiva "183+738"

Circulo De Fricción		34°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 30° W	75° NE	60°
D1	N 50° E	70° NW	320°
D2	N 20° W	50° NE	70°
D3	N 30° W	20° NE	60°



Tabla 200. Orientación de los planos

Foto 19. Vista de diaclasas del Talud # 27



Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D2-D3	<p>planar</p>	0,08	Totalmente Inestable	INESTABLE

Tabla 201. Resumen de estabilidad del Talud # 27.

Aquí las familias **D2-D3** se consideran cinemáticamente inestables por rotura planar. La calidad de roca según el SMR, establece que el talud es Totalmente inestable, y que el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con alto riesgo de caída de bloques.

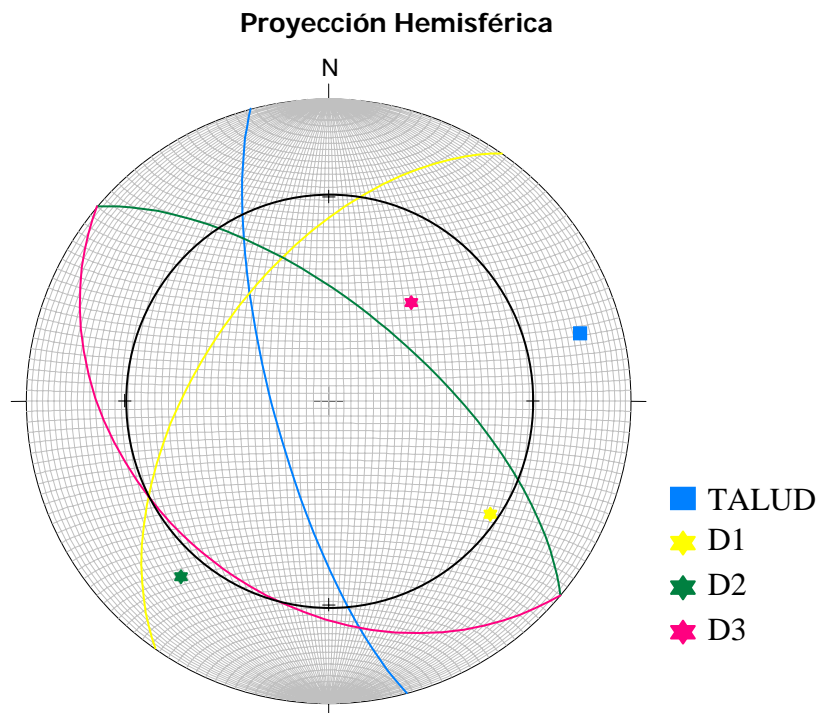
6.1.17. Análisis del Talud # 30: Progresiva "184+485"

Círculo De Fricción		33,4°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 15° W	75° SW	255°
D1	N 35° E	55 ° NW	305°
D2	N 50° W	65° NE	40°
D3	N 50° W	35° SW	220°



Tabla 202. Orientación de los planos

Foto 20. Vista de diaclasas del Talud # 30



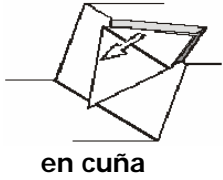
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D1-D3	 <p>en cuña</p>	1,13	Parcialmente Estable	INESTABLE

Tabla 203. Resumen de estabilidad del Talud # 30.

Las familias *D1-D3* forman cuñas entre ellas, las cuales se consideran cinemáticamente inestable. La calidad de roca según el SMR, establece que el macizo es inestable, y el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad aunque esta muy cerca del rango de estabilidad, se concluye que en general el talud se considere *INESTABLE* con bajo riesgo de desprendimiento de bloques.

6.1.18. Análisis del Talud # 31: Progresiva “184+560”

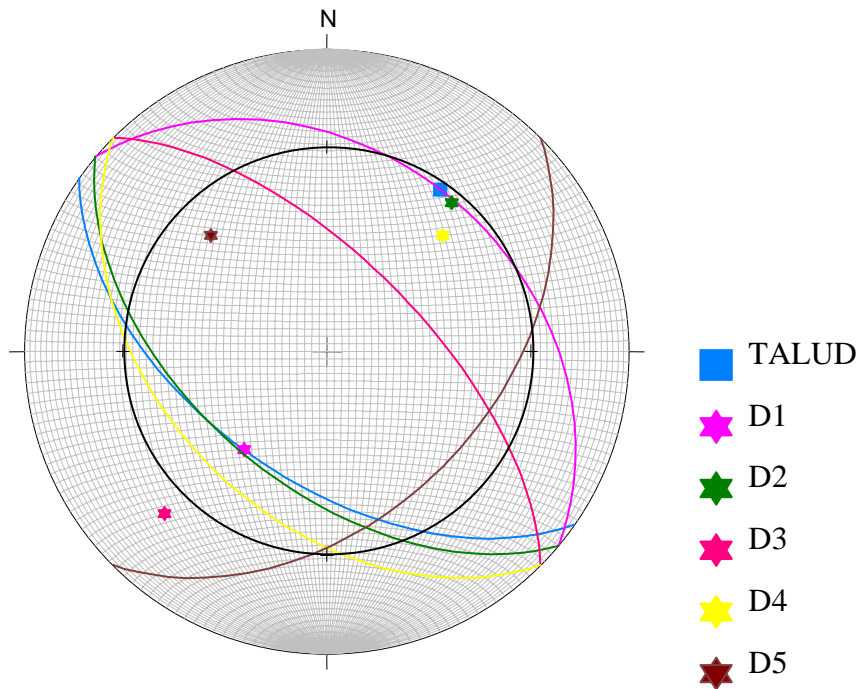
Círculo De Fricción		34°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 55° W	55° SW	215°
D1	N 50° W	35° NE	40°
D2	N 50° W	54° SW	220°
D3	N 45° W	65° NE	45°
D4	N 45° W	45° SW	225°
D5	N 45° E	45° SE	135°



Tabla 204. Orientación de los planos

Foto 21. Vista de diaclasas del Talud # 31

Proyección Hemisférica



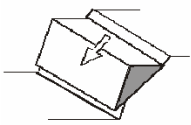
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D1-D3-D5	 <p>planar</p>	0,24	Inestable	INESTABLE

Tabla 205. Resumen de estabilidad del Talud # 31.

Aquí las familias **D1-D3-D5** se consideran cinemáticamente inestables por rotura plana. La calidad de roca según el SMR establece que el talud es inestable, y el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con mediano riesgo de caída de bloques.

6.1.19. Análisis del Talud # 32: Progresiva "184+586"

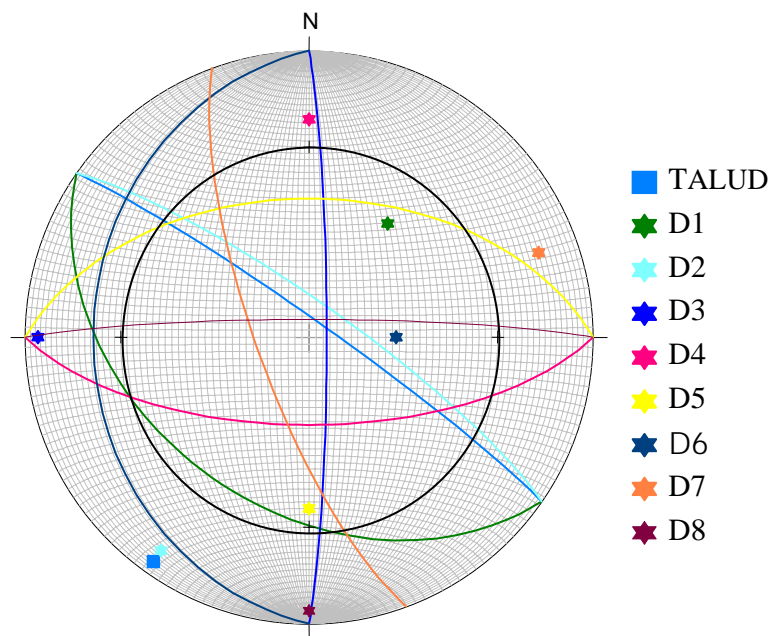
Círculo De Fricción		36,5°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimet
TALUD	N 55° W	85° NE	35°
D1	N 55° W	40° SW	215°
D2	N 55° W	80° NE	35°
D3	N - S	85° E	90°
D4	E - W	65° S	180°
D5	E - W	50° N	0°
D6	N - S	25° W	270°
D7	N 20° W	75° SW	250°
D8	E - W	85° N	0°



Tabla 206. Orientación de los planos

Foto 22. Vista de diaclasas del Talud # 32

Proyección Hemisférica



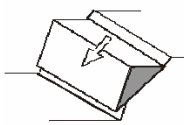
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D1-D3-D4-D6-D7	 planar	0,23	Parcialmente Estable	INESTABLE

Tabla 207. Resumen de estabilidad del Talud # 32.

En este talud las familias *D1-D3-D4-D6-D7* se consideran cinemáticamente inestables por rotura plana. La calidad de roca según el SMR establece que el macizo es parcialmente estable, aunque el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere *INESTABLE* con mediano riesgo de desprendimientos.

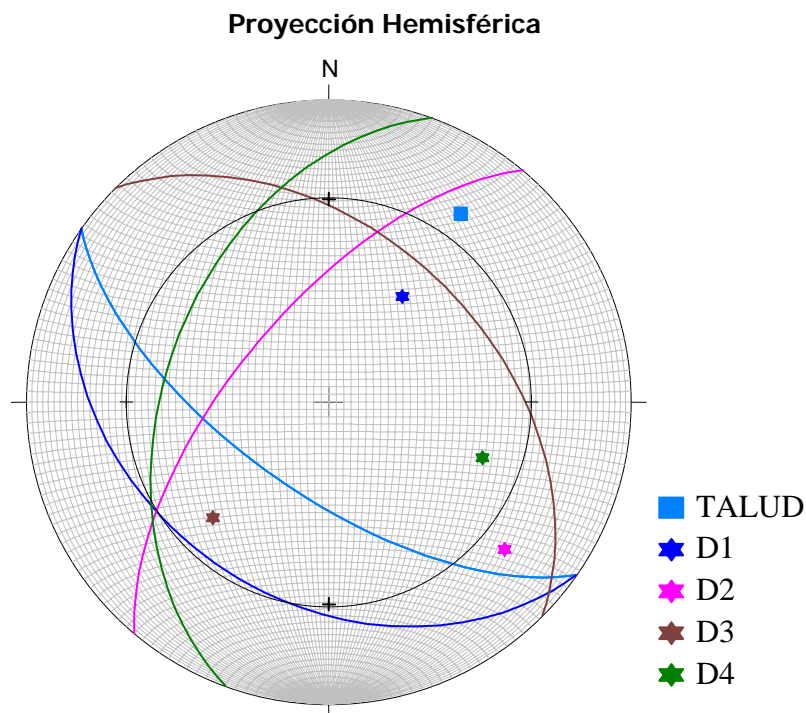
6.1.20. Análisis del Talud # 33: Progresiva "184+686"

Círculo De Fricción		35,1°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 55° W	65° SW	215°
D1	N 55° W	35° SW	215°
D2	N 40° E	65° NW	310°
D3	N 45° W	45° NE	45°
D4	N 20° E	45° NW	290°



Tabla 208. Orientación de los planos

Foto 23. Vista de diaclasas del Talud # 33



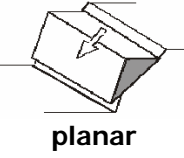
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D1-D4	 <p>planar</p>	0,22	Totalmente Inestable	INESTABLE

Tabla 209. Resumen de estabilidad del Talud # 33.

Aquí las familias **D1-D4** se consideran cinemáticamente inestables por rotura plana. La calidad de roca según el SMR establece que el talud es totalmente inestable, y el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con alto riesgo de caída de bloques.

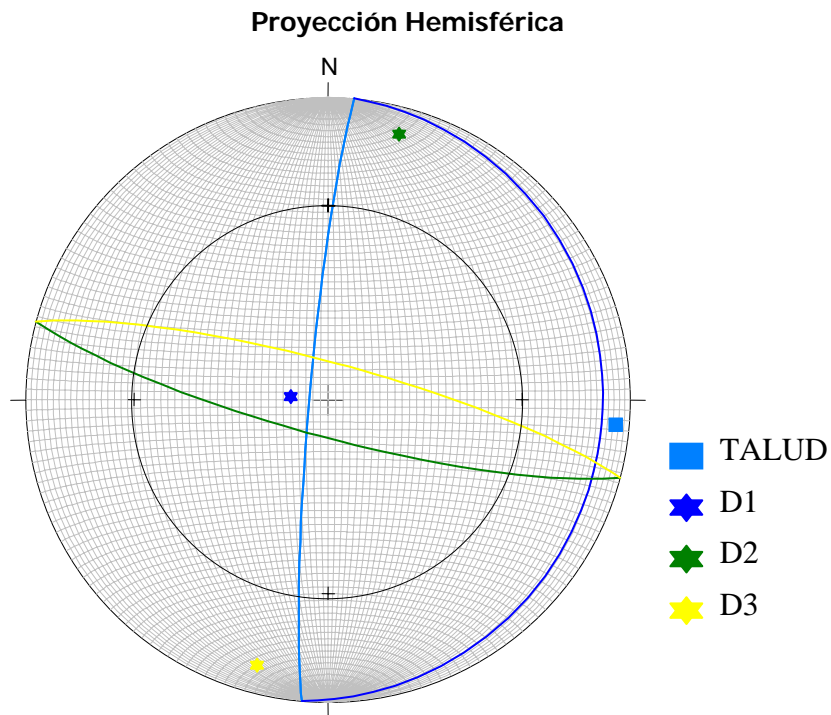
6.1.21. Análisis del Talud # 38: Progresiva “185+148”

Círculo De Fricción		34°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimet
TALUD	N 5° E	85° NW	275°
D1	N 5° E	10° SE	95°
D2	N 75° W	80° SW	195°
D3	N 75° W	80° NE	15°



Tabla 210. Orientación de los planos

Foto 24. Vista de diaclasas del Talud # 38




Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
Ninguna	 planar	-----	Parcialmente Estable	ESTABLE

Tabla 211. Resumen de estabilidad del Talud # 38.

En este talud se consideran todas las familias cinemáticamente estables. La calidad de roca según el SMR establece que el talud es parcialmente estable. Se concluye que en general el talud se considere **ESTABLE**.

6.1.22. Análisis del Talud # 40: Progresiva "185+197"

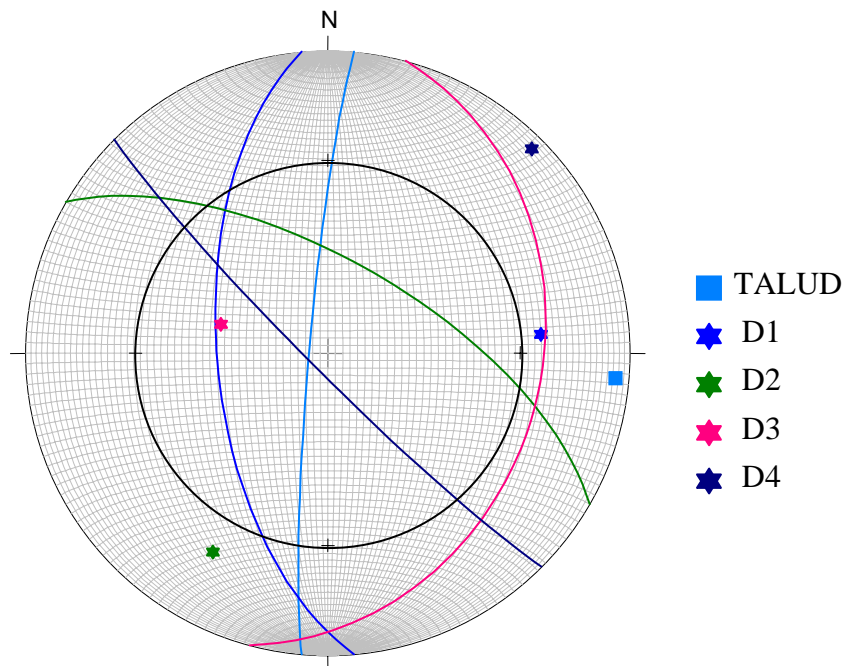
Círculo De Fricción		36,5°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 5° E	85° NW	275°
D1	N 5° W	60° SW	265°
D2	N 60° W	65° NE	30°
D3	N 15° E	30° SE	105°
D4	N 45° W	85° SW	225°



Tabla 212. Orientación de los planos

Foto 25. Vista de diaclasas del Talud # 40

Proyección Hemisférica



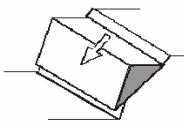
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D1	 planar	0.20	Inestable	INESTABLE

Tabla 213. Resumen de estabilidad del Talud # 40.

Aquí **D1** se considera cinemáticamente inestable por rotura plana. La calidad de roca según el SMR establece que el talud es inestable, y el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con mediano riesgo de caída de bloques.

6.1.23. Análisis del Talud # 42: Progresiva "185+482"

Círculo De Fricción		35,5°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 35° E	75° NW	305°
D1	N 40° E	55° NW	310°
D2	N 20° W	75° SW	250°

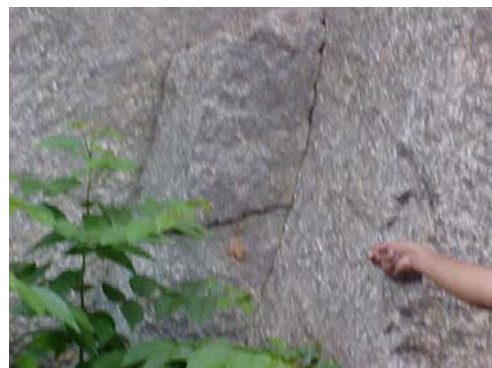
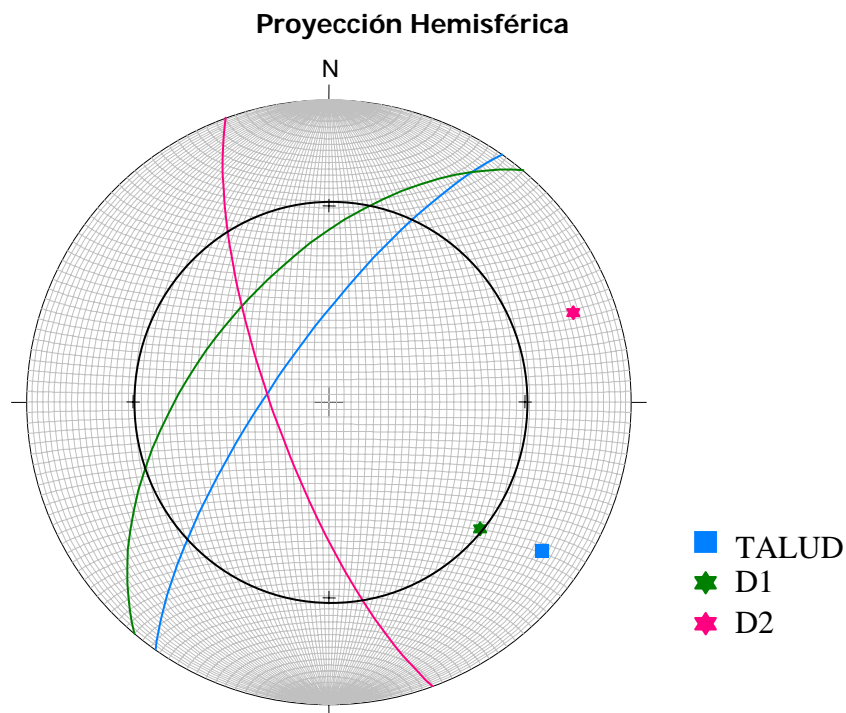


Tabla 214. Orientación de los planos

Foto 26. Vista de diaclasas del Talud # 42




Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D1	 planar	0.23	Inestable	INESTABLE

Tabla 215. Resumen de estabilidad del Talud # 42.

Aquí **D1** se considera cinemáticamente inestable por rotura plana. La calidad de roca según el SMR establece que el talud es inestable, y el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con mediano riesgo de caída de bloques.

6.1.24. Análisis del Talud # 44: Progresiva “185+600”

Círculo De Fricción		36°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 35° E	75° NW	305°
D1	N 55° W	56° NE	35°
D2	N 40° E	65° NW	310°
D3	N 32° E	52° SE	122°

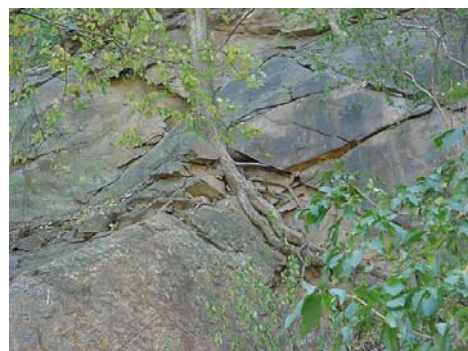
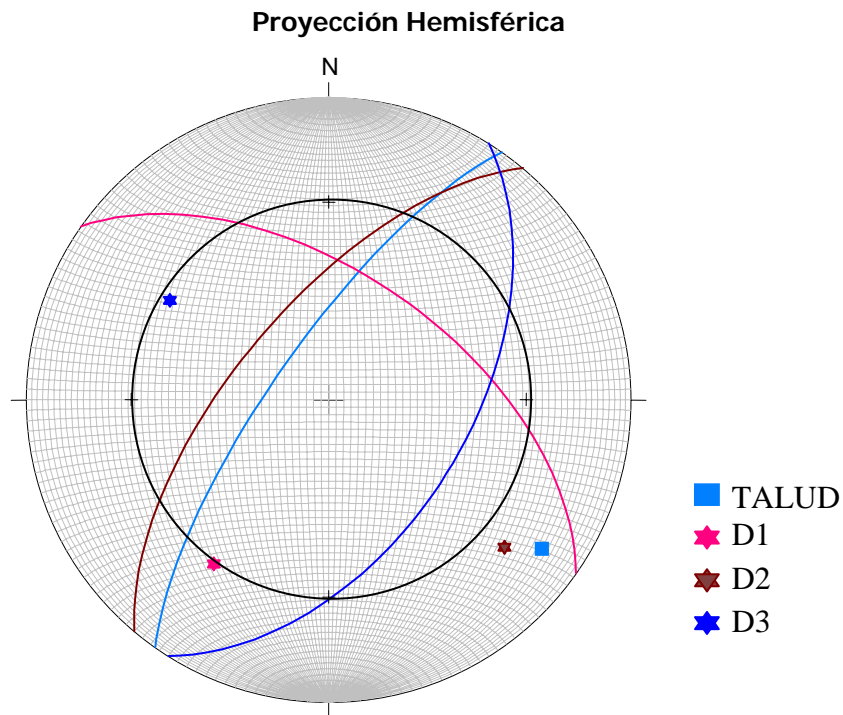


Tabla 216. Orientación de los planos

Foto 27. Vista de diaclasas del Talud # 44



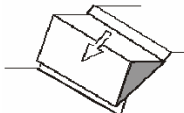
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D2	 planar	0.26	Parcialmente Estable	INESTABLE

Tabla 217. Resumen de estabilidad del Talud # 44.

Aquí **D2** se considera cinemáticamente inestables por rotura plana. La calidad de roca según el SMR establece que el macizo es parcialmente estable, y el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con bajo riesgo de desprendimientos.

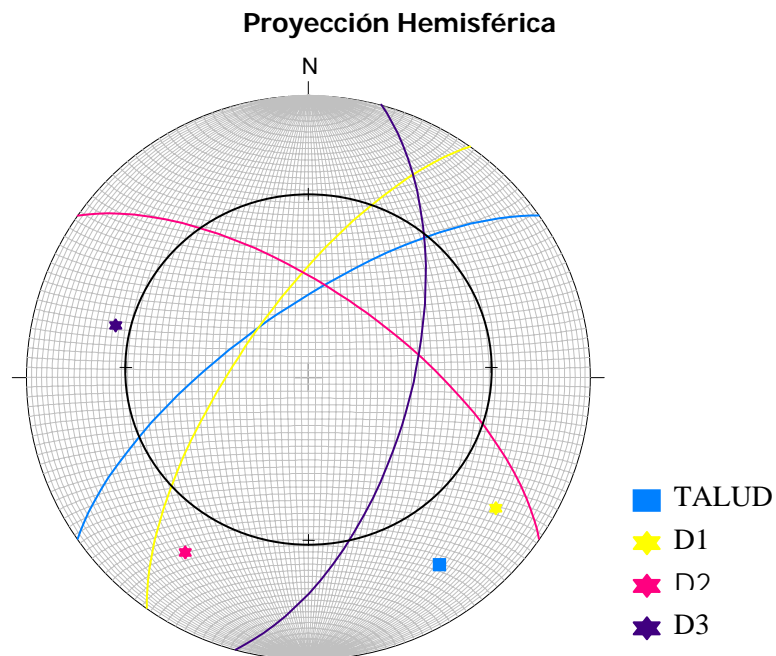
6.1.25. Análisis del Talud # 47: Progresiva "185+915"

Círculo De Fricción		35°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimut
TALUD	N 55° E	70° NW	325°
D1	N 35° E	70° NW	305°
D2	N 55° W	65° NE	35°
D3	N 15° E	60° SE	105°



Tabla 218. Orientación de los planos

Foto 28. Vista de diaclasas del Talud # 47



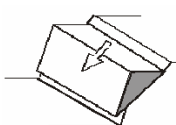
Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D1	 planar	0.25	Parcialmente Estable	INESTABLE

Tabla 219. Resumen de estabilidad del Talud # 47.

Aquí **D2** se considera cinemáticamente inestables por rotura plana. La calidad de roca según el SMR establece que el macizo es parcialmente estable, y el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con bajo riesgo de desprendimientos.

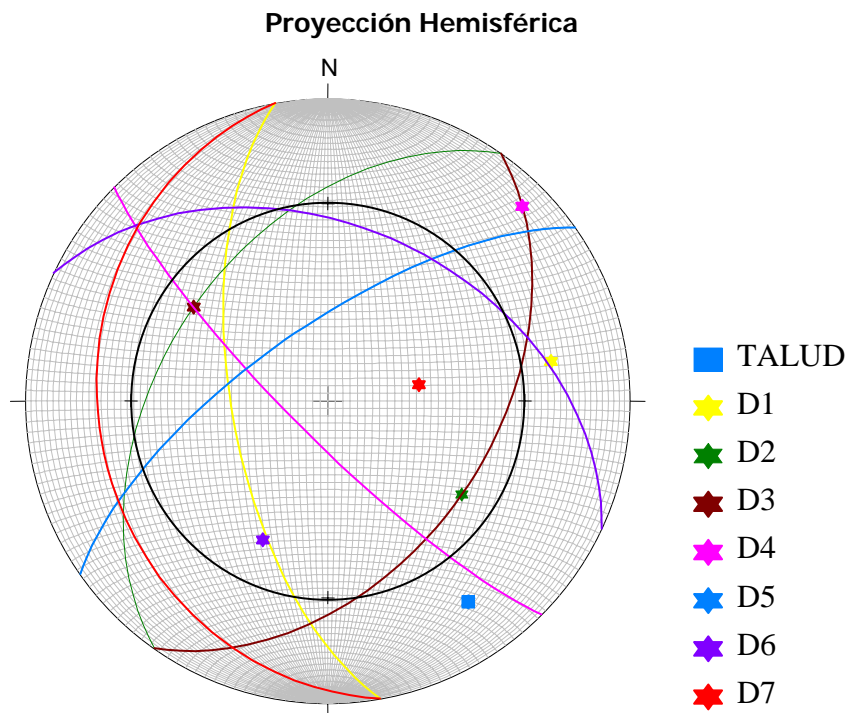
6.1.26. Análisis del Talud # 48: Progresiva "185+950"

Círculo De Fricción		35,1°	
Planos	Rumbo	Buzamiento	Azimet
TALUD	N 55° E	70° NW	325°
D1	N 10° W	64° SW	260°
D2	N 35° E	45° NW	305°
D3	N 35° E	45° SE	125°
D4	N 45° W	80° SW	225°
D5	N 55° E	70° NW	325°
D6	N 65° W	42° NE	25°
D7	N 10° W	25° SW	260°



Tabla 220. Orientación de los planos

Foto 29. Vista de diaclasas del Talud # 48




Diaclasas Inestables	Tipo de Falla Probable	Factor de Seguridad	Estabilidad según el SMR	Estado cinemático
D2-D5-D6-D7	 <p>en cuña</p>	1,05	Parcialmente Estable	INESTABLE

Tabla 221. Resumen de estabilidad del Talud # 48.

Las familias *D2-D5-D6-D7* forman cuñas entre ellas, las cuales se consideran cinemáticamente inestables. La calidad de roca según el SMR, establece que el macizo es parcialmente estable, y el factor de seguridad calculado arroja inestabilidad aunque esta muy cerca del rango de estabilidad, se concluye que en general el talud se considere **INESTABLE** con bajo riesgo de desprendimiento de bloques.

6.1.27 Taludes sin Información.

A lo largo de los 5km de la autopista estudiados, se encontraron una serie de espacios amplios sin ningún talud al borde de la vía. También se definieron una serie de taludes a los cuales no se les pudo tomar ningún tipo de información, pero los cuales fueron clasificados subjetivamente según la cantidad de fracturas que presentan y el grado aparente de meteorización de la roca.

Los resultados de esta clasificación se presentan en una tabla resumen a continuación:

	Taludes Estables	Taludes Inestables	Taludes en zonas abiertas (estables)
Nº de Talud	2-8-10	16-25-28-29 34-35-37-39 41-43-45-46	4-6-13-19 21-23-36
Total de Taludes	3	11	7

Tabla 222. Resumen de los taludes sin información

Es importante resaltar que dentro de la categoría de taludes inestables, se definieron dos taludes con alto riesgo de desprendimientos, los cuales son los taludes nº 28 y nº 45, y uno con bajo riesgo de desprendimiento que es el nº 43 (ver capítulo 5). También se definió una zona intercalada con mediano riesgo de desprendimientos y zonas abiertas, como el talud nº 29.

6.1.28 Resumen del Análisis de Estabilidad de los Taludes.

A continuación se presenta una tabla resumen y un gráfico porcentual con la clasificación según el nivel de estabilidad de los 48 taludes estudiados:

Taludes	Estables	Inestables de bajo riesgo	Inestables de mediano riesgo	Inestables de alto riesgo	Taludes en zonas abiertas
Nº de Talud	1-2-8-10-38	3-17-26-24 30-43-44 47-48	12-14-15-16 18-20-22-25 29-31-32-34 35-37-39-40 41-42-46	5-7-9-11-27 28-33-45	4-6-13-19 21-23-36
Total de Taludes	5	9	19	8	7

Tabla 223. Resumen del Análisis de Estabilidad de los 48 Taludes.

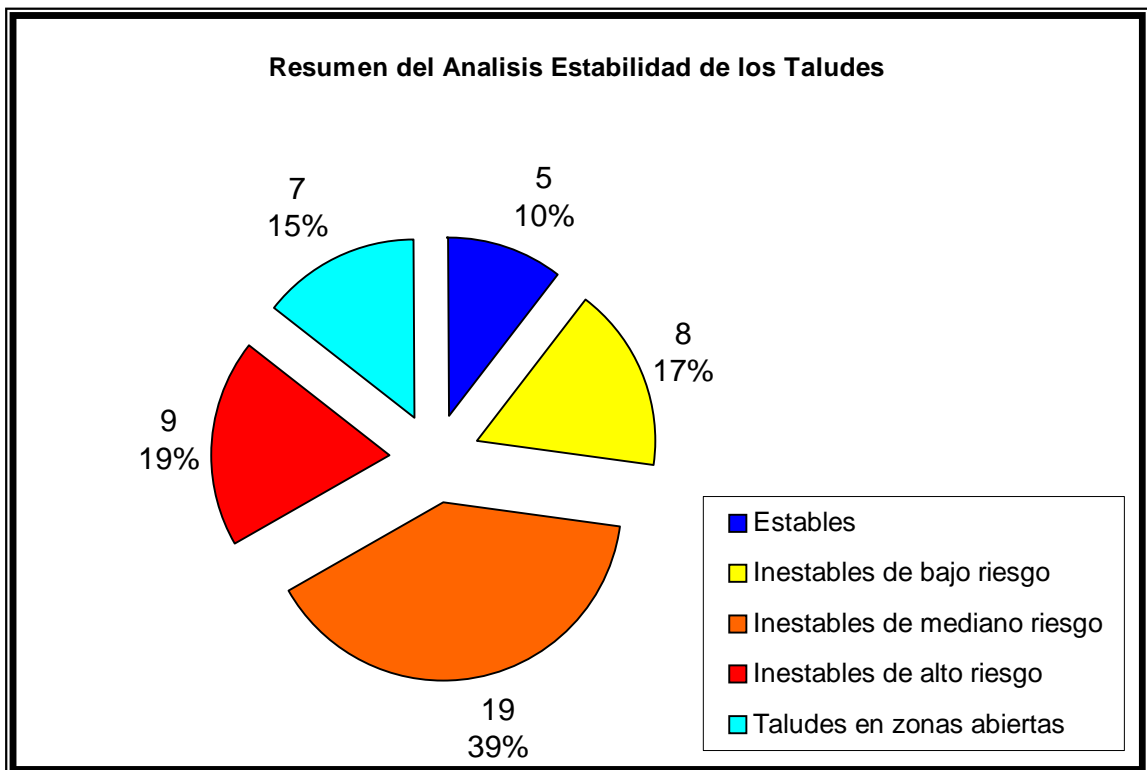


Grafico 1. Resumen del Análisis de Estabilidad de los 48 Taludes.

6.2. Índices de Meteorización.

En esta sección se establecen unos índices empíricos cualitativos de calificación de la roca, según los cuales se puede definir un rango de valores donde se establezca el grado de meteorización de la roca.

Estos índices fueron definidos a partir de los ensayos de laboratorios realizados, como son: "Índice de absorción rápida", "Densidad de la roca", y "Resistencia de la roca a la compresión sin confinar". Luego de determinados estos tres índices, se calcula el índice final de meteorización al sumar los tres anteriores.

Los índices mencionados se determinan por las siguientes ecuaciones:

El índice de Absorción rápida (*I abs*) se define:

$$I \text{ abs} = \frac{\text{valor del \% de absorción}}{\text{menor valor de la muestra}}$$

El índice de densidad de la roca (*I dens*) se define:

$$I \text{ dens} = \frac{\text{mayor valor de la muestra}}{\text{valor de densidad}}$$

El índice de resistencia a la compresión (*I resis*) se define:

$$I \text{ resis} = \frac{\text{mayor valor de la muestra}}{\text{valor de la resistencia}}$$

El índice de meteorización (*Im*) se define:

$$I_m = I_{abs} + I_{dens} + I_{resis}$$

El Gráfico 2 muestra la relación que existe entre dos de estos índices físicos de meteorización, el índice de absorción rápida y el índice de resistencia a la compresión. Ambos índices son calculados a partir de ensayos de laboratorio muy diferentes que miden parámetros distintos. El índice de absorción rápida mide la capacidad de absorción de agua de la roca y la resistencia a la compresión mide la resistencia de la roca a los esfuerzos mecánicos.

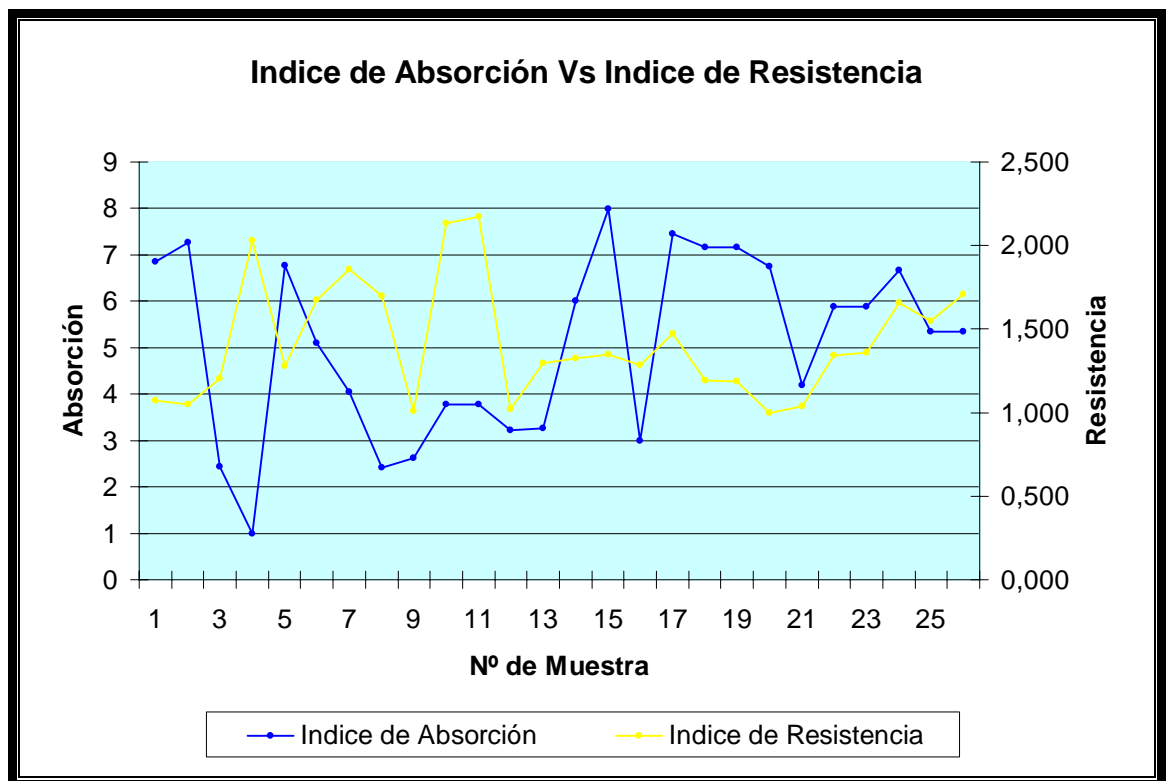


Grafico 2. Índice de Absorción Vs Índice de resistencia

Al ver el grafico 2, y observar su tendencia, se puede decir que hay una correspondencia entre los índices, en general las rocas con mayor capacidad de absorber agua tienden a ser menos resistentes. Tomando en cuenta que el índice de absorción rápida permite estimar indirectamente la meteorización de la muestra, se puede concluir, que las rocas con mayor capacidad de absorber agua están en correspondencia con aquellas que tienen mayor grado de meteorización.

El Gráfico 3 muestra la relación que existe entre el índice de absorción rápida y el índice de densidad de la roca. Como se dijo anteriormente el índice de absorción rápida mide la capacidad de absorción de agua de la roca y se entiende que a mayor densidad de la roca, mayor debe ser la resistencia de la misma a los esfuerzos mecánicos.

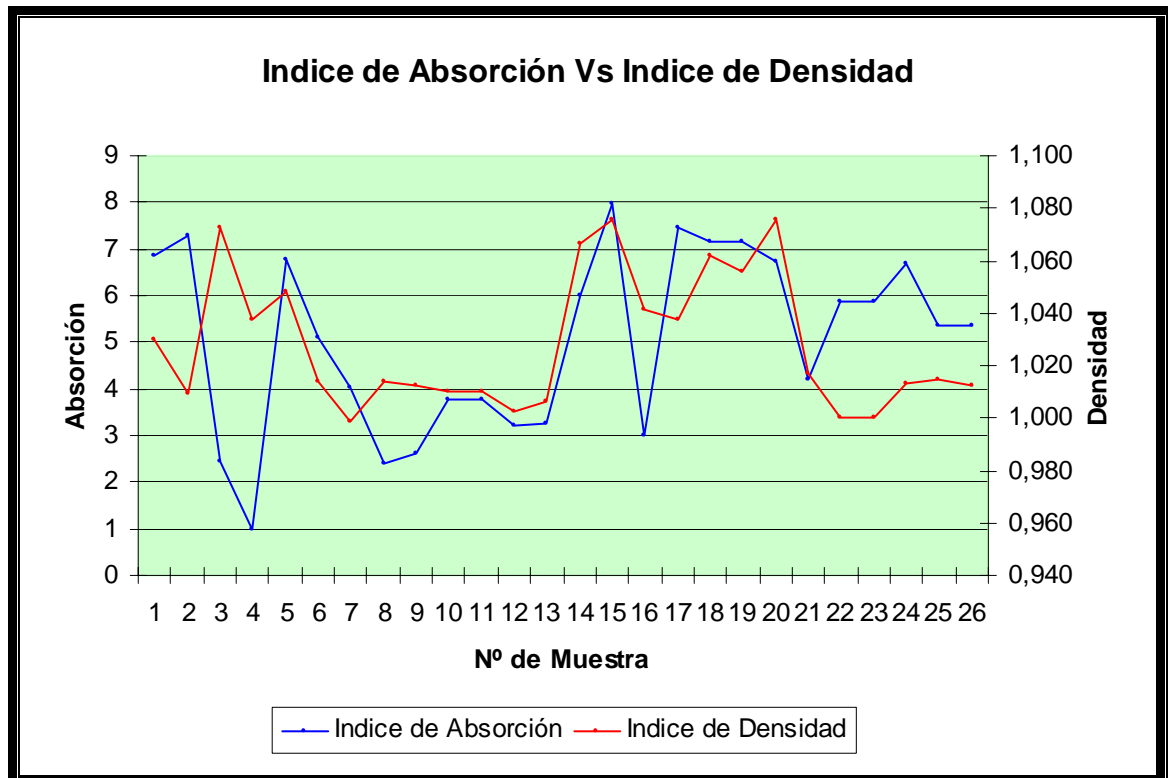


Grafico 3. Índice de Absorción Vs Índice de densidad.

En analogía con el grafico 2, en el grafico 3 se observa en general que hay una tendencia donde las rocas con menor densidad tienden a tener mayor capacidad de absorber agua, y por ende aumentar su grado de meteorización.

Se pudo apreciar que los macizos rocosos que son menos resistentes y se encuentran con mayor nivel de fracturamiento, son mas susceptibles al la absorción de agua. Y esto a su vez puede contribuir a alterar el nivel de

estabilidad del macizo al reducir el ángulo de fricción interna de la roca a partir de la disolución de algunos de los minerales presentes en ella.

En el siguiente grafico, se aprecia la relación entre los índices de densidad y de resistencia. Como se puede apreciar, ambos son linealmente proporcionales, es decir, una roca se considera con mayor grado de meteorización a medida que estos índices aumentan su valor.

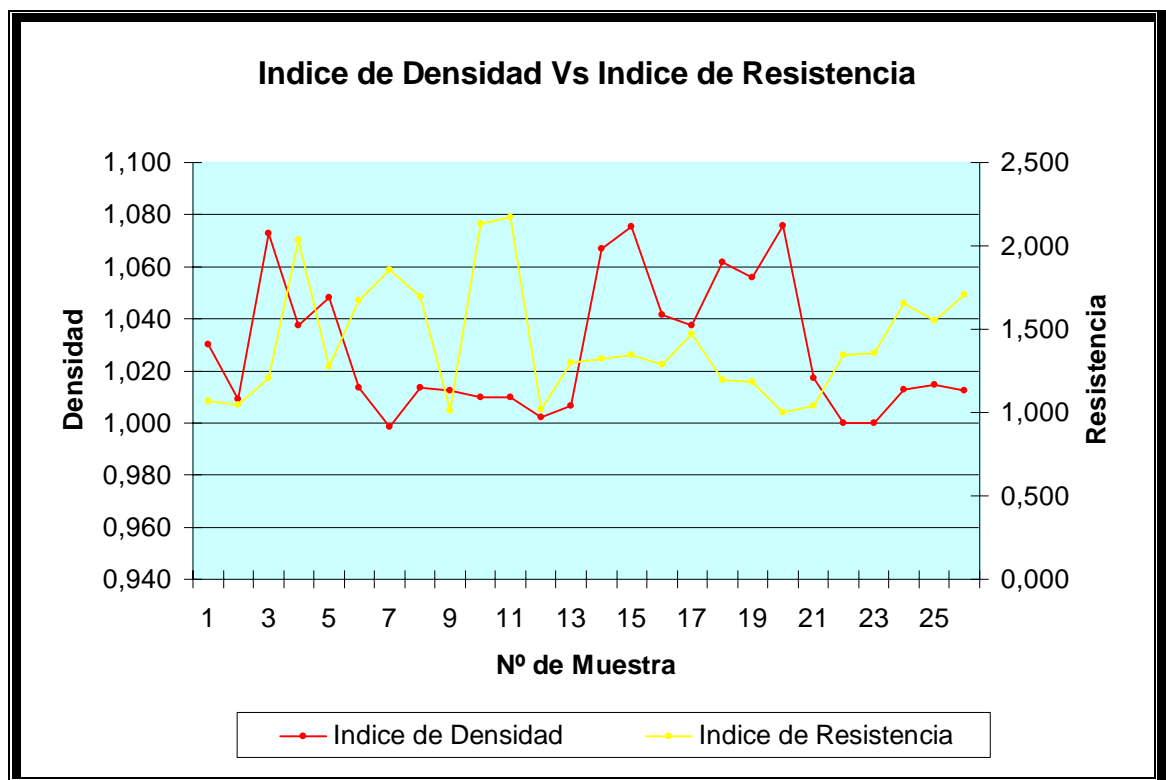


Grafico 4. Índice de densidad Vs Índice de resistencia.

A continuación en el grafico 5, se muestra la tendencia que tienen los taludes estudiados con respecto al índice de meteorización calculado. Se puede apreciar en líneas generales más o menos el grado de meteorización que los macizos rocosos del área de estudio presentan.

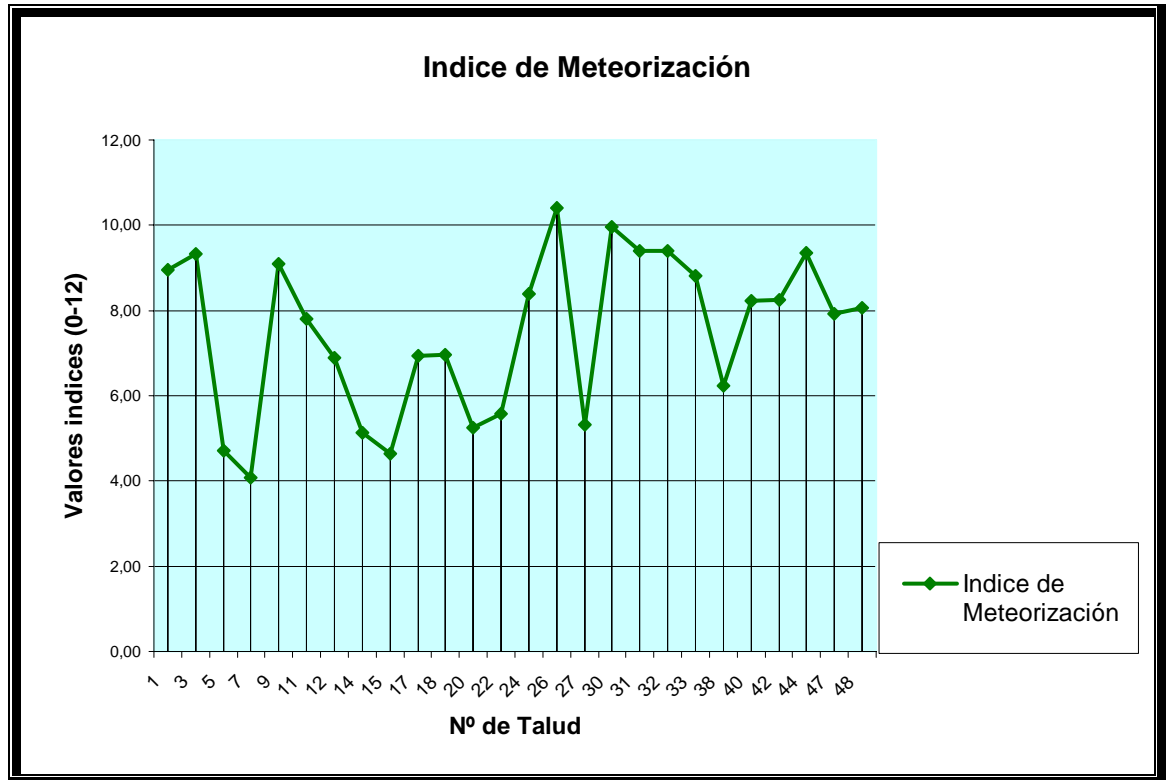


Gráfico 5. Índice de Meteorización.

Del gráfico anterior se puede sacar un resumen de los taludes que presentan diferente grado de meteorización, y clasificarlos según su valor del índice. El gráfico 6 muestra la tendencia del grado de meteorización que presentan los taludes.

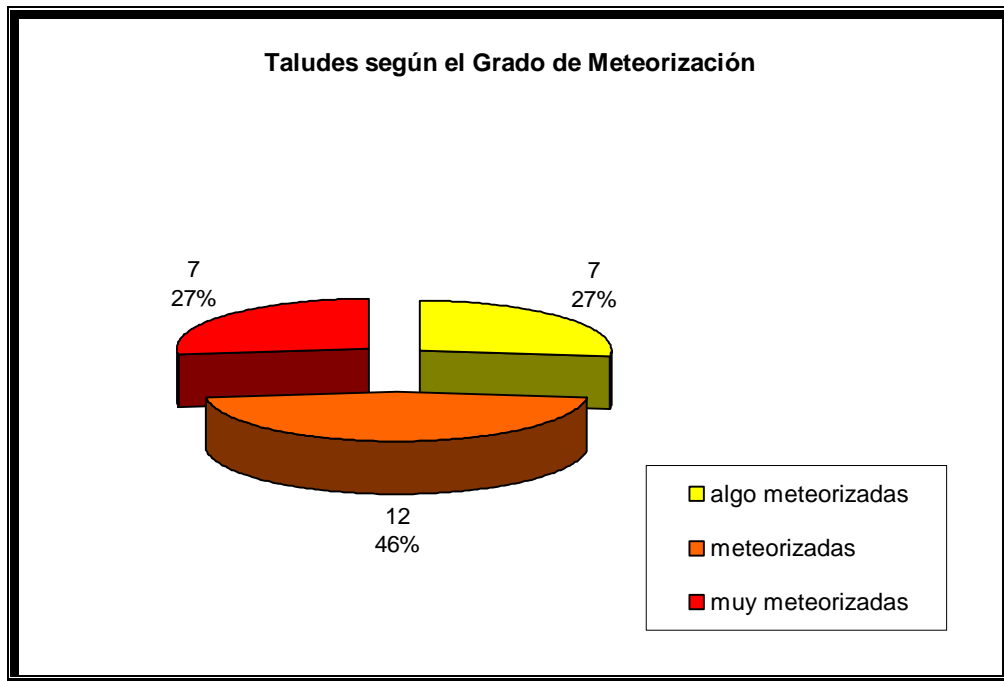


Gráfico 6. Taludes según el grado de meteorización.

Al comparar el gráfico 6 con el gráfico 1 de resumen de estabilidad de los taludes, se puede apreciar la correspondencia que existe entre el número de taludes inestables con alto riesgo de desprendimientos, y la cantidad de taludes que presentan un alto grado de meteorización según el índice calculado. Aunque es importante resaltar que el grado de meteorización no es un condicionante de la inestabilidad del macizo, aunque si puede contribuir en alterar el estado cinemático del mismo.

6.3 Comparación entre los tipos de Clasificación utilizados para los macizos rocosos.

Luego de haber realizado la clasificación geomecánica de los taludes, se compararon las diferentes clasificaciones utilizadas para estimar cual o cuales de ellas son las que mas aportes tienen o no a la hora de caracterizar un talud en medio rocoso.

A continuación se expondrán una serie de observaciones referido a lo antes mencionado:

- El *RMR* de Bieniawski una de las clasificaciones que mejor define la calidad del macizo rocoso.
- En el *RMR* de Bieniawski los parámetros utilizados para la determinación del mismo, son determinantes en la caracterización de un macizo rocoso en cuanto a la calidad de roca, pero al momento de tomar en cuenta la geometría u orientación de los planos de discontinuidades, la aplicación de estos parámetros dentro del calculo del RMR esta sujeta a el criterio personal por parte del profesional, factor que incide de manera negativa generando diferencias de opinión sobre el adecuado uso del mismo.
- El *SMR* de Romana, siendo una clasificación adaptada al estudio de estabilidad de taludes, privilegia la importancia de la geometría u orientación de los planos de discontinuidades. Aquí los factores definidos a partir de la orientación de los planos de discontinuidades son determinantes en el análisis de estabilidad de un talud, tal como es considerado en el modelo de análisis cinemático de estabilidad usando las discontinuidades preexistentes.
- El *SMR* permite obtener multiples resultados a partir de su valor, entre ellos: la calidad del macizo rocoso, la estabilidad del talud, nos ofrece una idea del tipo y densidad de fracturas del macizo, y finalmente plantea unas sugerencias sobre el posible método de corrección del talud en estudio.

- Siendo el *SMR* un índice que no es mas que la corrección ajustada según la orientación de los planos de discontinuidad del *RMR*, se considera que la clasificación de la calidad de la roca de un macizo que este establece, es mas ajustada a la realidad que la del *RMR* aunque ambas arrojen valores muy similares.
- El índice *Q* de Barton, es un muy buen índice geomecánico para túneles; pero en el caso de los taludes su aplicación se limita a poder tener un aporte en el método de sostenimiento adecuado en el caso de ser necesitado.
- El *Rmi* de Palstrom, es un índice muy importante y que tiene muy buena utilidad tanto en túneles como en taludes, aunque la aplicación de este en taludes, es de menor provecho que en los túneles. El *Rmi* inicialmente arroja intervalos de resistencia a la compresión del macizo rocoso, pero también a partir de el se pueden obtener una serie de parámetros adicionales muy importantes en la clasificación geomecánica de un macizo rocoso, como por ejemplo: Factor de rugosidad de las diaclasas, Factor de tamaño de las diaclasas, Volumen del bloque, Diámetro del bloque equivalente, Parámetro de diaclasado, y los Factores utilizados en el criterio de rotura de Hoek y Brown para macizos rocosos.
- El *GSI* de Hoek siempre es un parámetro importante, ya que con solo conocer su valor, da una idea de que calidad de roca esta presente el macizo, y a parte se pueden otros parámetros como el "*RMR*" y el "*Q*" a partir de correlaciones ya establecidas. Adicionalmente el valor de *GSI* sirve como punto de partida para estimar parámetros que controlan la resistencia al corte.

De todo lo antes expuesto, se puede concluir que de la aplicación de las clasificaciones geomecánicas en taludes de macizos rocosos, las que mejor aporte hacen al a la calificación cualitativa y cuantitativa de un talud, y al estudio de estabilidad del mismo son en orden de importancia el *SMR*, el *RMR* y el *Rmi*, sin despreciar los pequeños aportes que hacen el *GSI* y el índice *Q*.

6.4. Propuestas Ingenieriles a los Problemas de Estabilidad.

En base a los resultados obtenidos en este trabajo y a la clasificación hecha a los taludes según los análisis de estabilidad realizados, se plantearan una serie de posibles soluciones ingenieriles a dichos problemas de estabilidad. Primero se expondrán las soluciones generales que se pueden aplicar según el valor de *SMR* que presente un talud. Luego se darán soluciones específicas para los problemas de estabilidad presentes en la autopista Valencia-Puerto cabello.

6.4.1. Soluciones según el valor del *SMR*.

Según Romana (1992) cuando un talud muestra inestabilidades se pueden corregir con la aplicación de varias medidas ingenieriles diferentes en conjunto o por separado, y para la aplicación real de muchas de estas medidas se carece de estudios analíticos que definan su efecto.

Como se ha expuesto en este trabajo, el estudio de un talud potencialmente inestable es una labor compleja que requiere un cuidadoso estudio de campo, un análisis detallado y un buen sentido ingenieril para valorar los diferentes factores de inestabilidad que pueden estar actuando. Ningún sistema de clasificación puede sustituir todo este trabajo, pero

puede ser de gran utilidad indicar los límites habituales de uso según el SMR para cada clase de medidas de corrección.

A continuación se presenta una tabla que agrupa los diferentes métodos de corrección para un talud inestable según el rango de SMR calculado:

Rango de SMR	< 65	70 - 45	70 - 35	60 - 20	40 - 10	30 - 10
Tipo de Solución	Sin sostenimiento	Protección	Refuerzo	Hormigón	Drenaje	Reexcavación
Estructura	Ninguna Saneamiento	Zanjas de pie Vallas de pie Vallas de talud Mallas en el talud	Bulones Anclajes	Gunita Hor. Dental Vigas Muros de pie	Superficial Profundo	Tendido Muro de contención

Tabla 224. Métodos de corrección para taludes inestables (modificado de Romana 1992).

6.4.2. Soluciones específicas para los problemas de estabilidad presentes en la autopista Valencia-Puerto Cabello.

En base a la clasificación hecha a los taludes según los análisis de estabilidad realizados, se plantearán una serie de posibles soluciones ingenieriles a dichos problemas de estabilidad.

6.4.2.1. Pantalla Atirantada con anclajes de tipo activo.

Esta estructura (figura 48) se propone para los taludes clasificados como *inestables de alto riesgo*, en el caso en que la altura del talud sea menor a 20 metros y el buzamiento del mismo sea superior a los 75°.

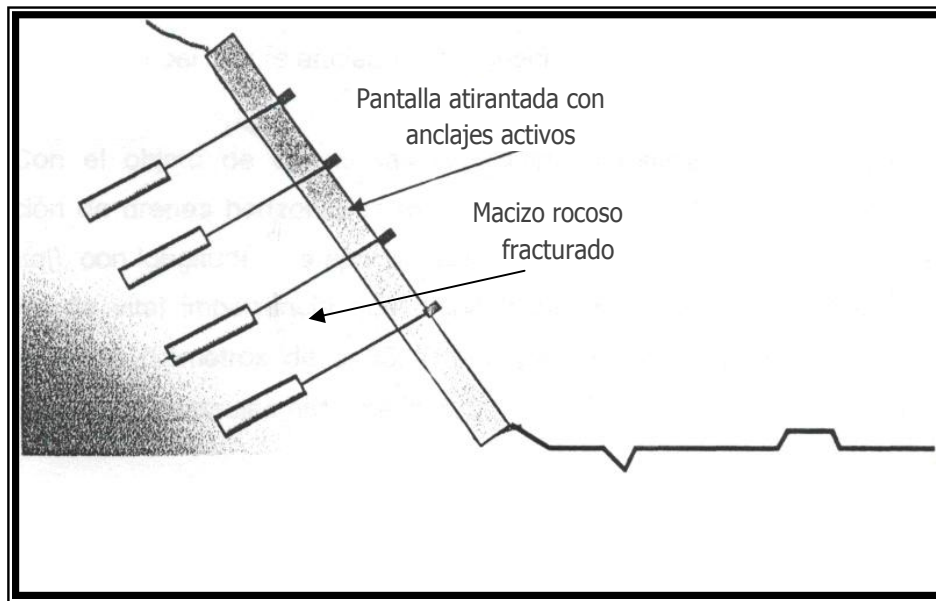


Figura 48. Pantalla atirantada con anclajes activos.

Como los taludes que presentan esta condición tienen diferentes alturas y buzamiento, se han establecido según Heredia y Ucar (2005) unos parámetros característicos que podrán modificarse en cada diseño en particular:

Los anclajes deben tener longitudes que oscilen entre 15 y 25 m constituidos por tres (3) guayas de diámetro 1/2 pulgada con una carga de trabajo de 30 toneladas por cada anclaje.

En el tensado de los anclajes se debe garantizar que la tensión final de bloqueo (lock-off) debe llevarse hasta un 15% mayor que la carga de servicio debido a las pérdidas de tensión producidas por el sistema anclaje gato, además de las deformaciones que sufre el terreno.

El espesor de la pantalla es de 25,00 cm, con acero de refuerzo interior de $\Phi = 1/2$ " cada 20 cm. en ambas direcciones y acero de refuerzo exterior de iguales características que la anterior.

Diámetro de perforación = 10,00 cm (4").

Inclinación del tirante anclado = 10° (hacia abajo).

Con el objeto de disipar las presiones intersticiales, se recomienda la colocación de drenes horizontales (aproximadamente 5° a 10° por encima de la horizontal), con longitudes de aproximadamente 6,00 m y colocados cada 16 a 20 m². Es de vital importancia que dicha instalación se lleve a cabo mediante geodrenes con diámetros de ($\Phi = 55,00$ mm para generar un drenaje continuo y evitar así posibles empujes hidrostáticos.

Como el anclaje está constituido por varios torones, se requerirá de separadores para lograr un espacio mínimo de 5mm entre torones, debiéndose a la vez instalar centradores para mantener el conjunto de anclaje correctamente centrado.

Por otro lado, debido a que los anclajes deben actuar como una estructura de soporte permanente o definitiva, se deberá utilizar un tubo plástico corrugado con la finalidad de obtener una protección segura contra la corrosión del tensor de acero dentro del bulbo.

Para garantizar y transmitir una carga definitiva, el paso del tubo corrugado debe ser 6 a 10 veces el espesor de la pared, cuyo valor mínimo recomendado es de 0,8 mm. Los torones en el tramo libre del tensor, deben ser recubiertos con grasa anticorrosiva, completamente estable al agua y el oxígeno, así como a la acción microbiológica. Debe ser también estable a largo plazo, y no debe contener elementos que puedan producir condiciones de corrosión.

En este sentido la cantidad de cloruros y nitratos no debe exceder del 5.10⁻²% en peso (Littlejohn, s, Ground Anchorage Practice, Gouting Soil

Improvement and Geosynthetics, Volume 2, Geotechnical Special Publication No. 30, ASCE, 1992, pp 693-731).

Adicionalmente el tramo libre deberá estar protegido mediante un tubo plástico liso, para lograr una protección óptima.

Con relación a la inyección de! bulbo, cabe destacar que el cemento no debe contener sulfates en cantidades superiores al 4% (en peso del cemento). Por otro lado, es recomendable que los cloruros no sobrepasen el 0,1% en peso.

6.4.2.2. Estructura compuesta por malla de guiado y muro de pie.

Esta estructura se propone para los taludes clasificados como *inestables de alto riesgo*, en el caso en que la altura del talud sea mayor a 20 metros y el buzamiento del mismo sea menor a los 75°. Esta consiste en colocar un muro de pie de talud que permita la construcción de una berma de protección, combinada con una malla de guiado simple (figuras 49 y 50).

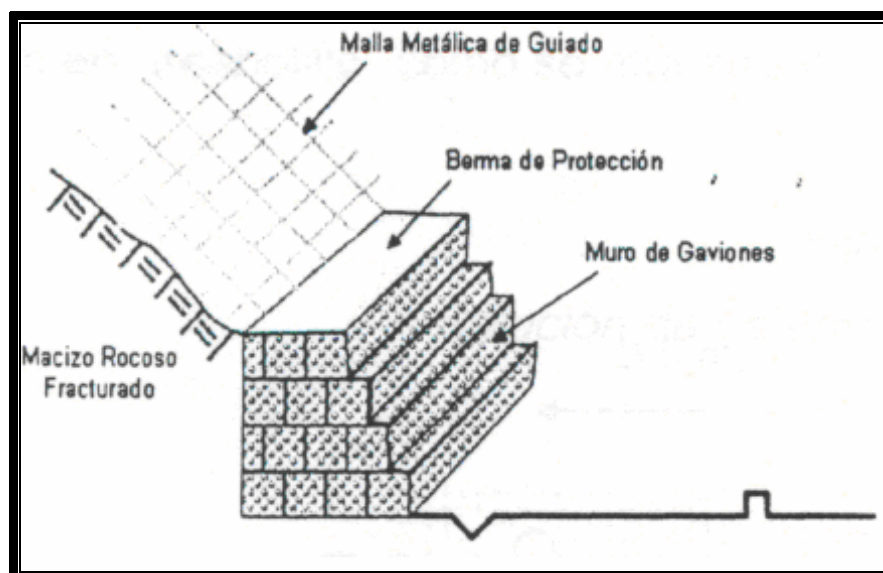


Figura 49. Muro de Gavión con Malla de Guiado.

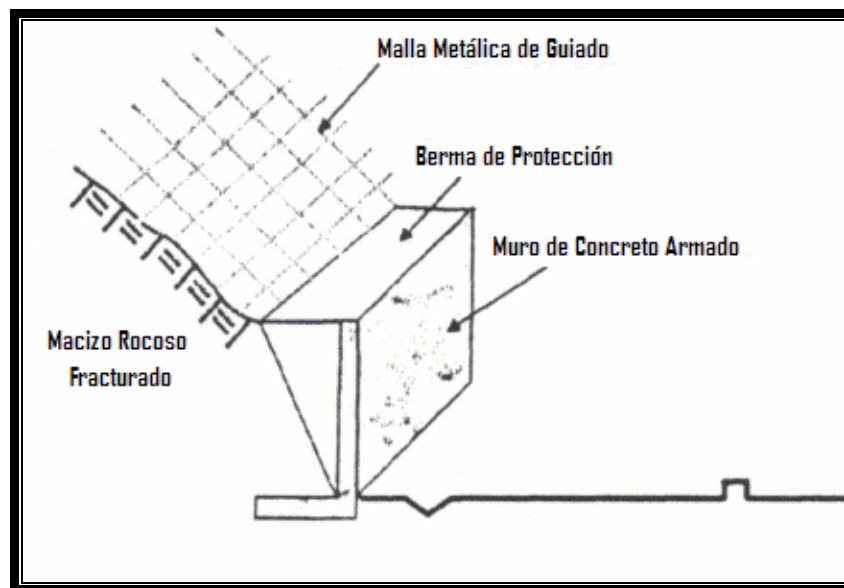


Figura 50. Muro de Concreto Armado con Malla de Guiado.

En los taludes que presenten este problema, pero no tengan el espacio disponible para construir el muro de pie, solo se colocará la malla de guiado sostenida con anclajes pasivos inyectados totalmente de manera de consolidar el macizo con las lechadas de los anclajes. La malla será fijada al talud mediante anclajes con pernos pasivos totalmente inyectados, formados por una barra de 4.0 metros de largo y 1" (pulgada) de diámetro en cuadrículas de 3 m x 3 m en "tresbolillo" como se muestra en el esquema de la figura 51. Para mas detalle sobre el diseño de la malla de guiado, se recomienda ver el apéndice "F".

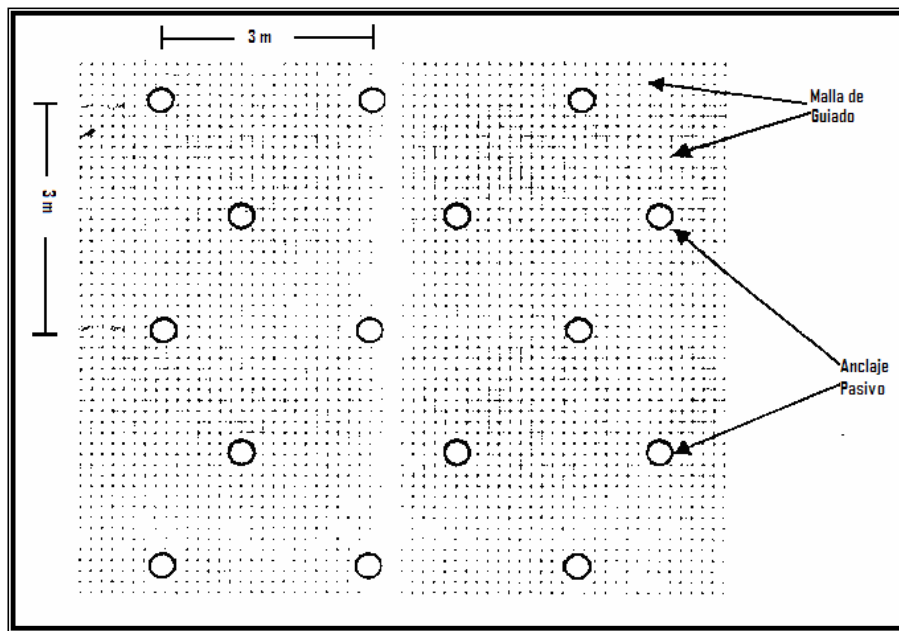


Figura 51. Esquema de planta de la Malla de Guiado con anclajes pasivos.

Esta estructura también se puede aplicar en los taludes clasificados como *inestables de mediano riesgo*, en el caso en que la altura del talud sea mayor a 20 metros y el buzamiento del mismo sea menor a los 75°.

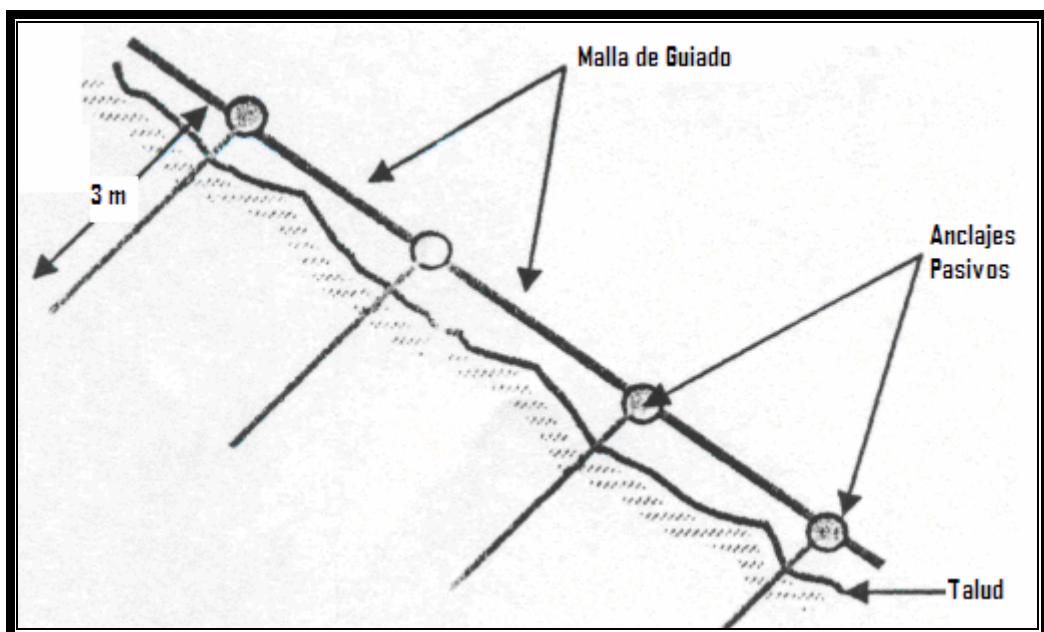


Figura 52. Vista de perfil de la Malla de Guiado con anclajes pasivos.

6.4.2.3. Pantalla de Concreto con Anclajes Pasivos.

Esta estructura se propone para los taludes clasificados como *inestables de mediano riesgo*, en el caso en que el buzamiento del talud sea menor a los 75°. Esta consiste en colocar una pantalla de concreto con anclajes pasivos (figura 53), esta solución también es llamada "cosido ó claveteado del terreno" y los detalles de su diseño se muestran en el apéndice "F". El objetivo principal de esta estructura es el de darle sostenimiento al talud evitando la caída de bloques y proteger el talud contra los fenómenos de meteorización.

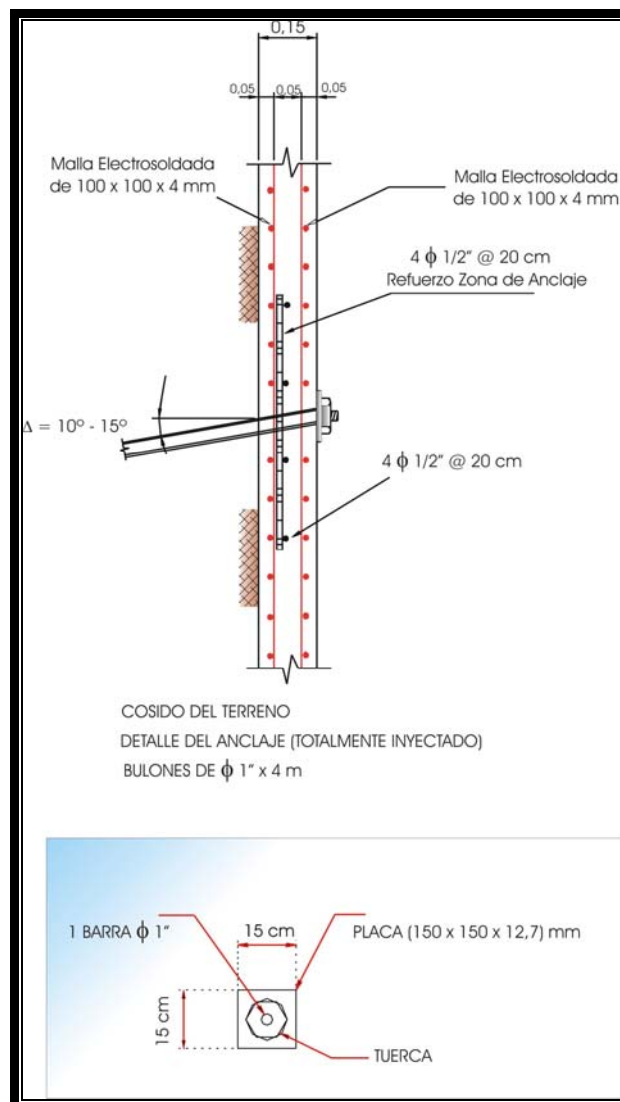


Figura 53. Detalle de la pantalla y acero de refuerzo.

6.4.2.4. Muro de pie (gavión o concreto armado).

Esta estructura se propone para los taludes clasificados como *inestables de bajo riesgo*. Esta consiste en colocar un muro de pie de talud que permita la construcción de una berma de protección, (figuras 54 y 55).

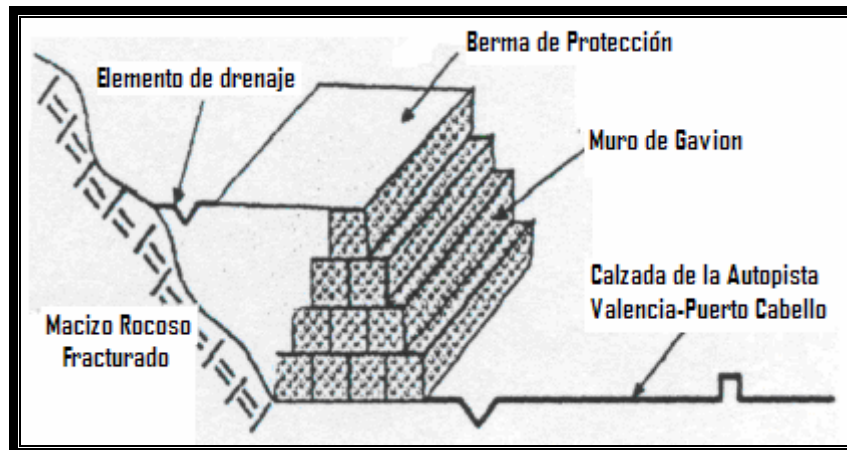


Figura 54. Muro de Gavión.

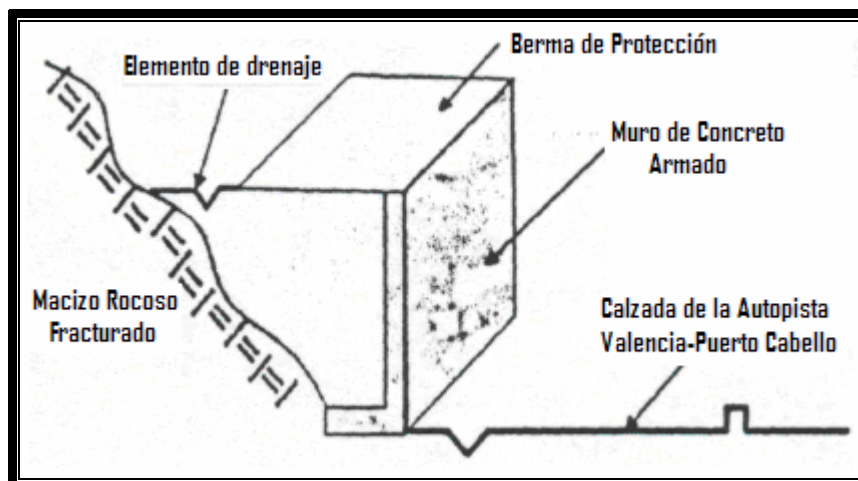


Figura 55. Muro de Concreto Armado.

El diseño de estas estructuras se realizará dependiendo de la geometría del talud al que se le aplique.

6.4.2.5. Zanjas Recolectoras de Rocas.

Esta estructura se propone para los taludes clasificados como *inestables de bajo riesgo* y *para los taludes estables*. Esta consiste en realizar una zanja recolectora de las caídas de rocas de taludes con diferentes pendientes (foto 30). La geometría y diseño de la zanja recolectora se puede apreciar en el apéndice "F".

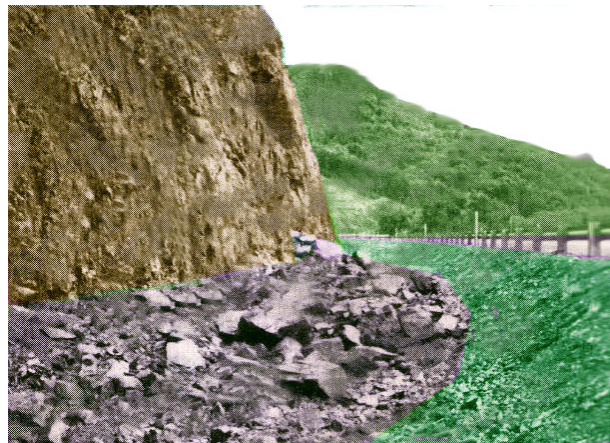


Foto 30. Zanja construida en una vía muy similar al tramo Valencia -Puerto Cabello.

A Continuación en la figura 56 se observa también la trayectoria esperada de la caída de una roca en un talud según sea su pendiente.

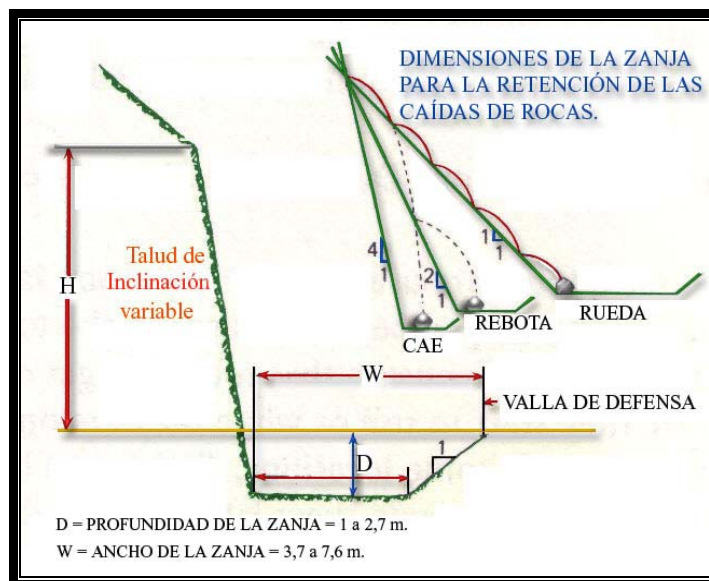


Figura 56. Trayectoria de la caída de una roca en un talud según sea su pendiente.

6.4.2.6. Pantalla Dinámica para Protección Contra Caída de Bloques.

Esta estructura se propone para los taludes clasificados como *inestables de bajo riesgo y para los taludes estables*. Esta consiste en realizar una pantalla al pie del talud, separa de la calzada y que consiste en una hilera de postes metálicos anclados sobre un muro o una base de concreto directamente sobre el terreno, los cuales contienen una malla metálica, que pueden ser electrosoldada, de alambres de simple o doble torsión (ver figura 57). La geometría y diseño de la pantalla protectora se puede apreciar en el apéndice "F".



Figura 57 . Pantalla Dinámica para Protección Contra Caída de Bloques.

Según Ucar (2005) este nuevo sistema tiene como fundamento una pantalla que ante el impacto de una roca, movilice sus elementos, deformándose y desplazándose en la medida que se van cargando absorbiendo la energía cinética acumulada por la roca en su movimiento, mediante el trabajo de la fuerza de reacción que opone la malla y los

mecanismos y diferentes dispositivos que la integran capaces de absorber energías elevadas.

La roca, al impactar sobre la red, la deforma y tensiona, con una fuerza que es transmitida a los cables, los cuales son tensionados y deformados elásticamente, accionando unos muelles de elastómeros, permitiendo que el frenado de la roca se realice a lo largo de un recorrido determinado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Luego de analizar los resultados, se definió una clasificación para los taludes en base a su nivel de estabilidad, la cual es: taludes estables, taludes inestables con alto riesgo, taludes inestables de mediano riesgo, taludes inestables de bajo riesgo, y taludes en zonas abiertas (estables).
- El 19% de los taludes estudiados se clasificaron como taludes "inestables con alto riesgo". Estos taludes se caracterizan por tener muy bajo factor de seguridad, un nivel de estabilidad según el SMR de "Totalmente Inestable", y una o mas familias de diaclasas cinemáticamente inestables. Los taludes con estas características se pueden identificar con los números: 5-7-9-11-27-28-33-45.
- De la totalidad de los taludes estudiados, el 39% de ellos es del tipo "inestable de mediano riesgo". Estos taludes se caracterizan por tener un factor de seguridad que esta en un intervalo de valores de bajos a intermedios, dentro de los rangos calculados en este trabajo, un nivel de estabilidad según el SMR de "Inestable", y una o mas familias de diaclasas cinemáticamente inestables. Los mismos se identificaron con los números: 12-14-15-16-18-20-22-25-29-31-32-34-35-37-39-40-41-42-46.
- Los Taludes "inestables con bajo riesgo" representan el 17% de la totalidad de los taludes estudiados. Estos taludes se caracterizan por tener un factor de seguridad que esta en un intervalo de valores de intermedios a casi estables, es decir, que algunos tienen un factor de seguridad cercano al rango definido como estable. Los taludes presentan un nivel de estabilidad según el SMR de "Parcialmente Estable", pero presentan por lo menos una familia de

diaclasas cinemáticamente inestables. Los taludes con estas características se identificaron con los números: 3-17-26-24-30-43-44-47-48.

- Los Taludes clasificados como "estables" y "estables en zonas abiertas" representan un 25% del total de taludes estudiados. Estos taludes se clasificaron así principalmente por ser cinemáticamente estables, es decir, que ninguna de las familias de diaclasas presentes en ellos, son cinemáticamente inestables. También se tomo como criterio aquellos taludes a los que nos se le pudo tomar información, pero donde la posible caída de bloques no afecta a los usuarios de la autopista. Los taludes con estas características se identificaron con los números: 1-2-4-6-8-10-13-19-21-23-36-38.
- El tipo de rotura predominante en los taludes clasificados como inestables es el de tipo planar, un total de 17 taludes de los 26 analizados cinemáticamente, presentaron este tipo de rotura, es decir aproximadamente un 65%.
- En el 31% de los taludes analizados, predominó la rotura en cuña. Solo un (1) talud presento falla por vuelco, pero al analizar cinemáticamente al mismo, este resultado estable.
- Unos de los mayores problemas que tienen los taludes de esta zona en estudio, es que la geometría de los planos de diaclasas en la mayoría de los casos, favorecen el deslizamiento de los bloques. Esto evidenciado principalmente porque las familias de diaclasas que estos taludes presentan, son de subparalelas a paralelas con respecto al rumbo del talud y presentan un buzamiento en el mismo sentido del talud, pero con un ángulo menor. Ejemplo:

Orientación del talud # 27: N30°W75°NE

Orientación de la familia D2: N20°W50°NE

Orientación de la familia D3: N30°W20°NE

- Se puede decir que la zona a mediano plazo al seguir estando expuesta a los agentes de meteorización, se puede convertir casi en su totalidad en una zona altamente peligrosa por los derrumbes, debido principalmente a agentes desencadenantes de desprendimientos como el agua, la cual se infiltra por los planos de discontinuidades y puede alterar el nivel de inestabilidad del macizo. Todo esto se puede minimizar si se toman las medidas adecuadas de corrección a tiempo.
- Tomando en cuenta que el índice de absorción rápida permite estimar indirectamente la meteorización de la muestra, se puede concluir, que las rocas con mayor capacidad de absorber agua están en correspondencia con aquellas que tienen mayor grado de meteorización.
- Se pudo apreciar que los macizos rocosos que son menos resistentes y se encuentran con mayor nivel de fracturamiento, son mas susceptibles al la absorción de agua. Y esto a su vez puede contribuir a alterar el nivel de estabilidad del macizo al reducir el ángulo de fricción interna de la roca a partir de la disolución de algunos de los minerales presentes en ella.
- El índice de meteorización calculado para los taludes en este trabajo, arroja una tendencia clara e importante sobre el grado de meteorización que los macizos rocosos de estos taludes presentan. A partir de este índice se puede decir que un 27% de los macizos

se califica como muy meteorizados, un 46% como meteorizados y el otro 27% como algo meteorizados.

- El análisis cinemático de estabilidad a través de las proyecciones hemisféricas, es un procedimiento muy importante y que siempre debe estar ligado a cualquier metodología de análisis de estabilidad de taludes, ya que este permite estimar realmente si un plano de fractura puede o no ser inestable mecánicamente.
- Según el método de Hoek y Bray, el cálculo del factor de seguridad obtenido para los análisis de estabilidad de los taludes, no es representativo y puede resultar errado, si no se toma en cuenta la cohesión de la roca ($c=0$). Este método además desprecia un parámetro importante como es el área de deslizamiento (A) la cual se define por el tamaño del bloque que desliza.
- El *RMR* de Bieniawski una de las clasificaciones que mejor define la calidad del macizo rocoso.
- En el *RMR* de Bieniawski los parámetros utilizados para la determinación del mismo, son determinantes en la caracterización de un macizo rocoso en cuanto a la calidad de roca, pero al momento de tomar en cuenta la geometría u orientación de los planos de discontinuidades, la aplicación de estos parámetros dentro del cálculo del *RMR* esta sujeta a el criterio personal por parte del profesional, factor que incide de manera negativa generando diferencias de opinión sobre el adecuado uso del mismo.
- El *SMR* de Romana, siendo una clasificación adaptada al estudio de estabilidad de taludes, privilegia la importancia de la geometría u orientación de los planos de discontinuidades. Aquí los factores

definidos a partir de la orientación de los planos de discontinuidades son determinantes en el análisis de estabilidad de un talud, tal como es considerado en el modelo de análisis cinemático de estabilidad usando las discontinuidades preexistentes.

- El *SMR* permite obtener múltiples resultados a partir de su valor, entre ellos: la calidad del macizo rocoso, la estabilidad del talud, nos ofrece una idea del tipo y densidad de fracturas del macizo, y finalmente plantea unas sugerencias sobre el posible método de corrección del talud en estudio.
- Siendo el *SMR* un índice que no es más que la corrección ajustada según la orientación de los planos de discontinuidad del RMR, se considera que la clasificación de la calidad de la roca de un macizo que este establece, es más ajustada a la realidad que la del RMR aunque ambas arrojen valores muy similares.
- El índice *Q* de Barton, es un muy buen índice geomecánico para túneles; pero en el caso de los taludes su aplicación se limita a poder tener un aporte en el método de sostenimiento adecuado en el caso de ser necesitado.
- El *Rmi* de Palstrom, es un índice muy importante y que tiene muy buena utilidad tanto en túneles como en taludes, aunque la aplicación de este en taludes, es de menor provecho que en los túneles. El *Rmi* inicialmente arroja intervalos de resistencia a la compresión del macizo rocoso, pero también a partir de él se pueden obtener una serie de parámetros adicionales muy importantes en la clasificación geomecánica de un macizo rocoso, como por ejemplo: Factor de rugosidad de las diaclasas, Factor de

tamaño de las diaclasas, Volumen del bloque, Diámetro del bloque equivalente, Parámetro de diaclasado, y los Factores utilizados en el criterio de rotura de Hoek y Brown para macizos rocosos.

- El *GSI* de Hoek siempre es un parámetro importante, ya que con solo conocer su valor, da una idea de que calidad de roca esta presente el macizo, y a parte se pueden otros parámetros como el "*RMR*" y el "*Q*" a partir de correlaciones ya establecidas. Adicionalmente el valor de *GSI* sirve como punto de partida para estimar parámetros que controlan la resistencia al corte.
- De todo lo antes expuesto, se puede concluir que de la aplicación de las clasificaciones geomecánicas en taludes de macizos rocosos, las que mejor aporte hacen al a la calificación cualitativa y cuantitativa de un talud, y al estudio de estabilidad del mismo son en orden de importancia el *SMR*, el *RMR* y el *Rmi*, sin despreciar los pequeños aportes que hacen el *GSI* y el índice *Q*.
- El *SMR* de Romana es un índice de clasificación de macizos rocosos que no puede estar fuera de ninguna metodología de análisis de estabilidad de taludes, debido a los aportes importantes que este hace en dicho estudio, como se comprobó en este trabajo.
- La aplicación del *SMR* para análisis de estabilidad de taludes en Venezuela, se ajusta muy bien a la realidad del problema y a los óptimos resultados obtenidos en la aplicación de este método en otras partes del mundo.
- La aplicación de las propuestas ingenieriles a los problemas de estabilidad, debe de estar acompañada de un rediseño de las mismas para el momento de su aplicación, ya que estas se deben

adaptar al la geometría que presente el talud para entonces. Esto se recomienda ya que alguno de los taludes puede sufrir una variación importante en su geometría, tal como fue el caso del talud ubicado en la progresiva 182+256, el cual en el año 2004 falló generando un deslizamiento de aproximadamente 10.000m³ de material rocoso.

- Al comparar los resultados obtenidos en este trabajo con los diferentes eventos de deslizamientos ocurridos en la zona, se aprecia la coincidencia que hay entre las clasificaciones propuestas para los taludes y dichos eventos. Como se aprecia con el talud ubicado en la progresiva 182+256, el cual esta clasificado por el autor como "inestable de alto riesgo". En este sentido, se puede utilizar este trabajo como una herramienta corroborativa de los eventos de deslizamientos ocurridos anteriormente.
- Al saber que los resultados de este trabajo se ajustan muy bien a la realidad, el mismo se puede utilizar como una herramienta predictiva y preventiva de los posibles eventos de deslizamientos a corto y mediano plazo, y así junto con la eficaz aplicación de las propuestas de corrección, evitar futuros desastres naturales, así como la pérdida de valiosas vidas humanas en tan importante arteria vial del país.

BIBLIOGRAFÍA

- **BARTON, N. y GRIMSTAD, E.** (1994). "El sistema Q para la selección del sostenimiento en el método Noruego de excavación de túneles" NORWEGIAN GEOTECHNICAL INSTITUTE. Noruega. 44p.
- **BIENIAWSKI, Z. T.** (1976) "Rock mass classifications in rock engineering". Proceedings of the symposium on exploration for rock engineering, Johannesburg. 97-106.
- **DE MARCO, P.** (1995) "Determinación de la resistencia mecánica de las rocas mediante ensayos de laboratorio". Trabajo de ascenso, U.C.V., INÉDITO.
- **GOEL R. K, JETHWA J. L, PHAITANKARS A. G.** (1996) "Correlation between Barton's Q and Bieniawski's RMR-A new approach". Int. Journal of Rock Mechanics. Min. Sci & Geomech. Abstr. Vol.33, N° 2, 179-181.
- **GONZALEZ DE JUANA, C.; ITURRALDE DE AREZONA, J. Y PICARD, C.** (1980). "Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas." Tomo 1. Caracas: Ediciones Foninves, 407 p.
- **GONZALES, L** (2004) Ingeniería Geológica" Madrid: Prentice Hall, 456p.
- **HOEK E.** (1994) "Strenght of rock and rock masses". ISRM News Journal.
- **INSTITUTO GEOMINERO DE ESPAÑA.** "Manual de Ingeniería de Taludes". Madrid: Instituto Geominero de España, 455p
- **I.S.R.M. METHODS SUGGESTED** (1981) "Rock characterization testing and monitoring". Perganon Press. 115 p. L
- **LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA "** (1999). CIEN – Comité Interfiliales de Estratigrafía y Nomenclatura. 1999. L'exico estratigrafico electrónico de Venezuela. PDVSA, INTEVEP, edición en CD y en www.pdvs.com/lexico.
- **OMAHÑA, L. (2002)** "Integración de la Geología de la Zona de Morón –Valencia – Ocumare de la Costa Estados Carabobo y

Aragua" Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología Minas y Geofísica. Dpto. de Geología. UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA. 340p

- **OT ING. JOSE HEREDIA & ASOCIADOS** (2004) "Estabilización del Talud progresiva 186+050, Autopista Valencia – Puerto Cabello km 186". Inédito. 45p
- **PALMSTRÖM, A.** (2003). "Recientes desarrollos en la estimación del sostenimiento en roca mediante el Rmi" Journal of rock mechanics and Tunnelling Technology, vol 6. N° 1, pp 1-19.
- **PERRI, G.** (1999) "Contribución a la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en base al GSI de Hoek". Boletín de la S.V.G. Pp. 3-20.
- **RAMIREZ OYANGUREN P, LAIN HUERTA R.** (1994) "Presente y futuro de las clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos". Boletín Geológico y Minero. Vol. 105-6. 48-55.
- **ROMANA, M.** (1992). "Métodos de corrección de taludes según la clasificación geomecánica SMR". III Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, La Coruña, España. Pp 629-650
- **SALCEDO, D.** (1978) "El uso de proyecciones hemisféricas como técnica de predicción y análisis de problemas relativos a estabilidad de taludes en macizos rocosos" Trabajo de Ascenso a Profesor Agregado. U.C.V. 78 p.
- **SALCEDO, D.** (1983) "Macizos rocosos: Caracterización, Resistencia al Corte y Mecanismo de Rotura". Conferencia 25 Aniversario S.V.M.S.I.F. pp. 143215.
- **SANCHEZ, C** (2000) "Caracterización Geotécnica de Masas Rocosas Metamórficas de la Cordillera de la Costa Venezolana" Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería. Escuela de

Geología Minas y Geofísica. Dpto. de Geología. UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA. 175p

- **UCAR, R.** (2004) "Aspectos Geomecánicos, Resumen". Trabajo no Publicado, INÉDITO. 10p
- **UCAR, R.** (2004) "Especificaciones Técnicas en Túneles". Trabajo no Publicado, INÉDITO. 31p
- **UCAR, R.** (2004) "Determinación del mínimo Factor de Seguridad en Taludes rocosos con grietas de tracción" Trabajo no Publicado, .INÉDITO. 15p
- **UCAR, R.** (2003) "Comentarios del Túnel San Isidro". Trabajo no Publicado, .INÉDITO. 44p

APENDICE "A"

Tabla Resumen de los parámetros obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio.

Muestra N°	Talud N°	Progresiva	Ángulo de fricción (°)	Absorción (%)	Densidad de la roca Kg/m3	σ_c (kg/cm ²)
1	1	181+980	34	0,8972	2.649,0	656,43
2	3	182+042	32	0,9530	2.704,0	671,00
3	5	182+104	33	0,3190	2.544,0	583,00
4	7	182+166	32.5	0,1310	2.630,0	345,90
5	9	182+256	34.3	0,8880	2.604,0	550,67
6	11	182+348	35.5	0,6690	2.692,0	420,25
7	12	182+388	34	0,5290	2.733,0	378,90
8	14	182+558	33	0,3170	2.692,0	414,40
9	15	182+658	35	0,3430	2.695,0	695,00
10	17	182+870	35.5	0,4960	2.702,0	329,80
11	18	182+920	34.5	0,4960	2.702,0	323,50
12	20	182+985	29.7	0,4220	2.723,0	689,70
13	22	183+316	31.1	0,4280	2.711,0	541,85
14	24	183+508	32	0,7860	2.558,0	531,10
15	26	183+683	33	1,0460	2.538,0	522,50
16	27	183+738	34	0,3930	2.620,0	546,70
17	30	184+485	33.4	0,9770	2.630,0	477,70
18	31	184+560	34	0,9370	2.570,0	589,40
19	32	184+586	36.5	0,9370	2.585,0	592,95
20	33	184+686	35.1	0,8840	2.537,0	702,90
21	38	185+148	34	0,5480	2.683,0	677,05
22	40	185+197	36,5	0,7710	2.729,0	523,10
23	42	185+482	35,5	0,7710	2.729,0	517,80
24	44	185+600	36	0,8740	2.694,0	424,35
25	47	185+915	35	0,7010	2.690,0	453,50
26	48	185+950	35,1	0,7000	2.695,0	411,75

APENDICE "B"

Tabla Resumen de los parámetros RQD y Jv calculados para cada talud

Talud Nº	Progresiva	Jv	% RQD
1	181+980	25	32.5
3	182+042	20	49
5	182+104	18	55.6
7	182+166	17	58.9
9	182+256	28	22.6
11	182+348	16	62.2
12	182+388	8	88.6
14	182+558	11	78.7
15	182+658	13	72.1
17	182+870	3	100
18	182+920	15	65.5
20	182+985	8	88.6
22	183+316	6	95.2
24	183+508	11	78.7
26	183+683	7	91.9
27	183+738	3	100
30	184+485	5	98.5
31	184+560	10	82
32	184+586	14	68.8
33	184+686	5	98.5
38	185+148	6	95.2
40	185+197	12	75.4
42	185+482	6	95.2
44	185+600	6	95.2
47	185+915	6	95.2
48	185+950	6,5	93.55

APENDICE "C"

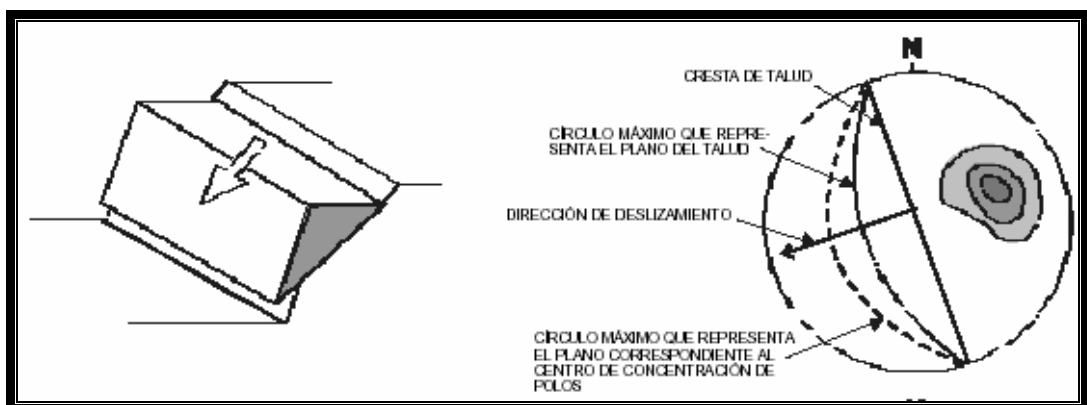
Metodología Gráfica simplificada para el Análisis de Estabilidad por Proyección Hemisférica (modificado de Salcedo (1979), Turner y Schuster (1996))

En el análisis de estabilidad por Proyecciones Hemisféricas, se tiene que establecer 2 conclusiones importantes, primero se establece cual es el tipo de rotura (planar, cuña, volcamiento) del macizo rocoso; y segundo, se define cual de los planos de discontinuidad son cinemáticamente inestable o estable, todo esto se obtiene mediante el siguiente procedimiento:

1. Se establece que tipo de Rotura esta ocurriendo en el macizo:

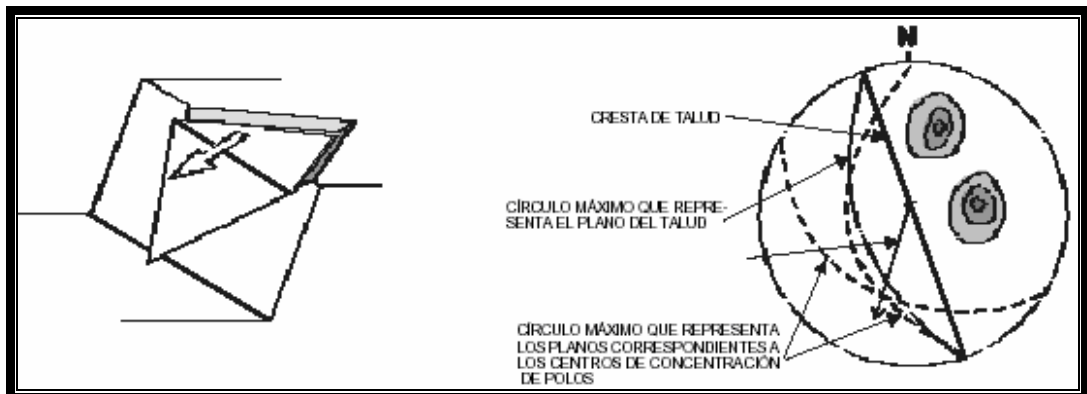
gráficamente se puede observar como se identifica cada tipo de falla en las siguientes figuras:

Rotura Planar



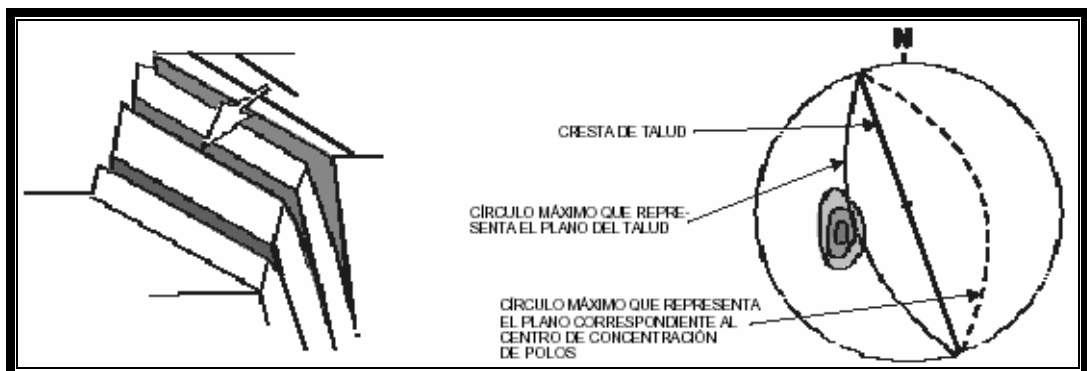
La dirección de buzamiento de la diaclasa tiene que ser paralela a subparalela a la dirección de buzamiento del talud.

Rotura en Cuña



La dirección de buzamiento de la línea de intersección de los dos planos de diaclasas tiene que ser paralela a subparalela a la dirección de buzamiento del talud.

Rotura por Vuelco



La dirección de rumbo de la línea del plano de diaclasa tiene que ser paralela a subparalela a la dirección de rumbo del talud, el valor del buzamiento de la diaclasa tiene que ser mayor a la del talud y estar en sentido contrario.

2. Establecer si el plano de diaclasa puede ser estable o inestable:

- Cuando el “polo” de una diaclasa se encuentra graficado dentro de la red en un hemisferio diferente al del “polo” del talud; se define que ese plano de diaclasa es estable de lo contrario se continua el análisis.
- En el caso de que el “polo” se encuentre dentro del círculo friccionante, se considera que esa diaclasa falla por el tipo de rotura establecido previamente.
- En el caso de las fallas en cuña, aunado al criterio anterior, cuando se tiene la línea intersección “I” de dos discontinuidades y la pendiente del talud con la misma dirección, se tiene que cumplir la condición $\beta_i < \beta_j$, es decir, la inclinación de la recta “I” debe ser menor que la pendiente del talud. Esta medición se efectúa fácilmente en la red estereográfica.
- Cuando se tiene a un “polo” o a un grupo de “polos” representativos de varios planos de diaclasas, cerca o en la misma dirección que el “polo” del talud; se considerará cinemáticamente inestable aquel o aquellos que se encuentre dentro del círculo friccionante.

Es importante resaltar que para que esta metodología sea usada correctamente, se deben tener conocimientos mínimos de representación de planos en proyecciones hemisféricas.

APENDICE "D"

Representación de las Hojas de cálculo en formato Excel, para la obtención de los parámetros RMR-SMR, Q y Rmi.

Programa para calcular el RMR y el SMR
Domínguez (2005)

Hoja de cálculo para hallar fácilmente el RMR (BIENIAWSKI) y SMR (Romana) para análisis de estabilidad de Taludes			cambio de unidad	
			Mpa	
			1 Kg/cm ² = 0,09803	
	Clasificación RMR	Valor		
1	Resistencia a la compresión simple de la roca intacta σ_c	4	385	37,74155
2	R.Q.D.	13		
3	Espaciado de las juntas	5		
4	Condición de las juntas	20		
	Indice RCR =	42		
5	Flujo de agua.	10		
6	Orientación de las discontinuidades	-5	Clase	III
	RMR =	47	Calidad	Aceptable
	Clasificación SMR			
	<i>Parametros de Entrada</i>	Valor		
	Dirección de rumbo del talud (α_s).	290		
	Dirección de rumbo de las diaclasas (α_j).	260		
	Buzamiento del talud (β_s).	70		
	Buzamiento de las diaclasas (β_j).	55		
Factor	Calculo de los Factores del SMR	Calculo	Valoración	Caso
F1	Rotura Plana (P)	30	0,4	Favorable
	Rotura por vuelco (T)			
F2	Rotura Plana (P)	45	0,85	Desfavorable
	Rotura por vuelco (T)	<i>Siempre por Vuelco F2 =</i>		1
F3	Rotura Plana (P)	-15	-60	Muy desfavorable
	Rotura por vuelco (T)	125	-25	Normal
F4	<i>Talud natural= 15 ; Pre-excavado= 10 ; Voladura= 0 Voladura suave= 8 ; Voladura deficiente= -8.</i>	8		
	Calculo del SMR			
	<i>Por Rotura Plana (P)</i>	34,60		
	<i>Por Rotura por vuelco (T)</i>	45,00		
	Resultados de la Clasificación SMR (P)			
	<i>Clase</i>	IV		
	<i>Descripción</i>	Mala		
	<i>Estabilidad</i>	Inestable		
	<i>Roturas</i>	Juntas o grandes cuñas		
	<i>Tratamiento</i>	Corrección		

Programa para calcular el Q index Barton y Grimstad (1993)

Q - System Calculation (Barton and Grimstad '93)

Project: _____
 Location: _____
 Engineer: _____
 Date: _____

Q =	Input				Term	Parameter Description	Ratio Description
	RQD Jn	Jr Ja	Jw SRF	Worst Best			
				60 8		Rock Mass Quality Rock Quality Designation	Block Size
				1 3		Joint set number Joint roughness number	
Result:				4 0.75		Joint alteration number	Inter-block Shear Strength
Qworst =	7.5	x 0.25	x 0.01	0.5 0.66		Joint water reduction factor	
Qworst =	0,01875	+		50 20		Stress reduction factor	Active Stress
Qbest =	45	x 4	x 0,033	1.6 6		Excavation support ratio	
Qbest =	5,94	+		Equivalent Dimension, ED		m/ESR = 3,75	

ROCK CLASSES

G	F	E	D	C	B	A
Exceptionally poor	Extremely poor	Very poor	Poor	Fair	Good	Very good
						Ext. good
						Exc. good

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

REINFORCEMENT CATEGORIES:

1) Unsupported	5) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 5-9 cm, Sfr+B
2) Spot bolting, sb	6) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 9-12 cm, Sfr+B
3) Systematic bolting, B	7) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 12-15cm, Sfr+B
4) Systematic bolting, (and unreinforced shotcrete, 4-10 cm), B(+S)	8) Fibre reinforced shotcrete, > 15 cm, reinforced ribs of shotcrete and bolting, Sfr,RRS+B
	9) Cast concrete lining, CCA

Span or height in m
ESR

Bolt spacing in shotcreted areas

Bolt length in m for ESR = 1

Programa para calcular el Rmi
 Modificado por Ucar (2004)

Comentarios y ayudas
 Las celdas grises para los cálculos del Rmi
 Las celdas amarillas para hallar los factores adicionales de Hoek)

- <-- Las valoraciones se pueden hallar en la hoja de "valoraciones de el"
- <-- En la Tabla 5 se dan algunos valores habituales para rocas intacta
- <-- Véase la Tabla 5 (no se requiere entrada, salvo para hallar el factor
- <-- Véase también la Tabla 1 en la hoja "valoraciones de entrada"
- <-- Véase también la Tabla 1
- <-- Véase también la Tabla 2
- <-- Véase también la Tabla 3 (usar la columna de diaclasses continuas

Si está rellena, este parámetro puede dar mejores estimaciones para las medidas de Jv y RQD

= 0,012609

Hoja de cálculo para hallar fácilmente el Rmi y los parámetros de entrada para el criterio de rotura de Hoek y Brown

Proyecto /emplazamiento

ENTRADA		Valores o valoraciones
Resistencia a compresión de la roca intacta (MPa)	σ_s	41,53
Factor para roca intacta (emplazado en el criterio de rotura de Hoek y Brown para macizos rocosos)	m_i	30
Factor de suavidad de las diaclasses (suaves = 1, ligeramente rugosas = 1,5, rugosas = 2, muy rugosas = 3)	j_s	1
Factor de ondulación de las diaclasses (planas = 1, ligeramente onduladas = 1,5, fuertemente onduladas = 2, escalonadas = 2,5)	j_w	1
Factor de alteración de las diaclasses (sanas = 1, cubiertas de calca = 3, cubiertas de arcilla = 4, rellenas de arcilla = 4 - 10)	j_A	1
Factor de longitud de las diaclasses (muy cortas = 3, cortas = 2, medias = 1, largas = 0,75)	j_l	0,75
Factor de terminación de las diaclasses (continuas = 1, discontinuas = 2)	j_t	2
Rellenar sólo una de estas fres medidas para el tamaño del bloque (preferible V_b)	V_b	
	(m^3)	
Índice de calidad de la roca	RQD	93,53
Recuento volumétrico de diaclasses	J_v	
Factor de forma del bloque (Si no se rellena, se usará un valor de 40)	β	30
CÁLCULOS		
Factor de rugosidad de las diaclasses	j_R	1
Factor de tamaño de las diaclasses	j_L	1,5
Volumen del bloque (m^3)	V_b	0,101665337
Dámetro del bloque equivalente (m)	D_b	0,47
Factor de estado de las diaclasses	j_C	1,5
Parámetro de diaclasado	J_P	0,1123
Índice del macizo rocoso	RMI	4,663
Factores en el criterio de rotura de Hoek y Brown para macizos rocosos	s	1,26E-02
Factor m para macizos rocosos no perturbados	m_b	7,40
Factor m para macizos rocosos perturbados	m_b	4,61

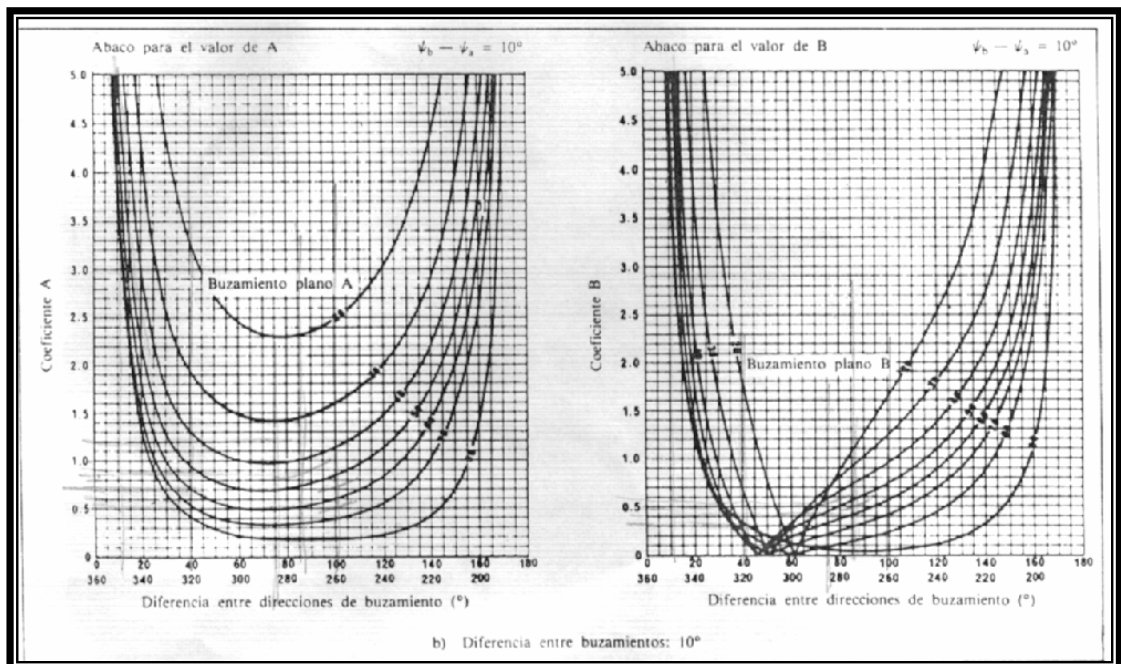
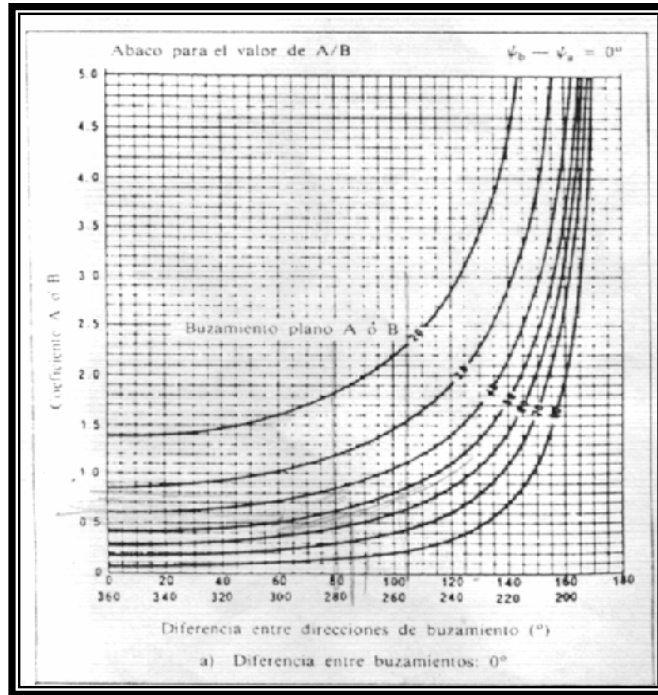
Valores y valoraciones de los parámetros de entrada al RMI

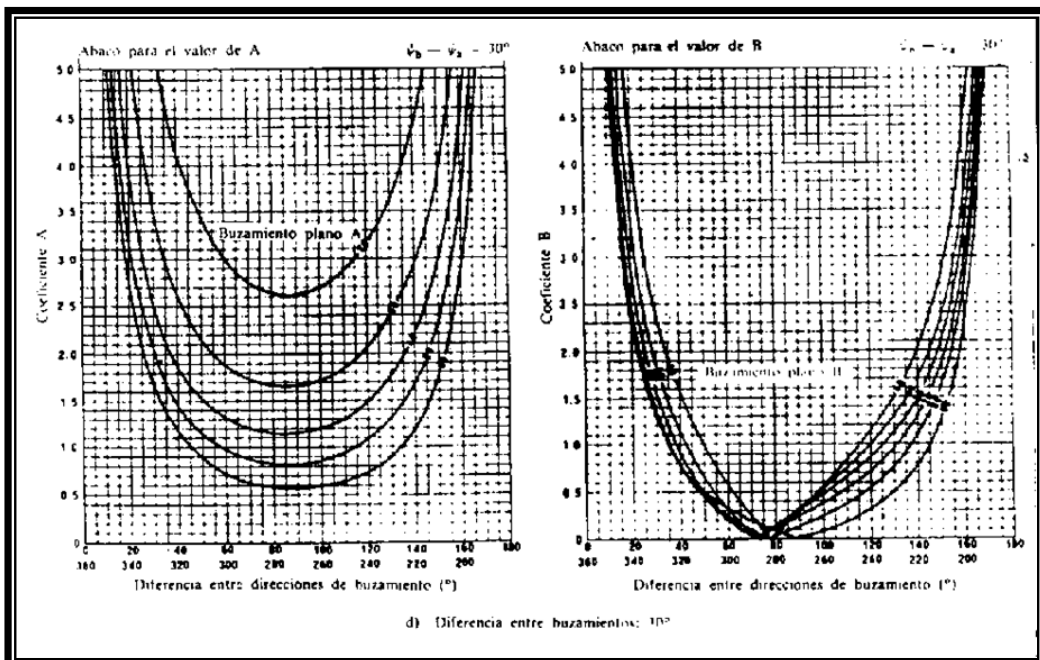
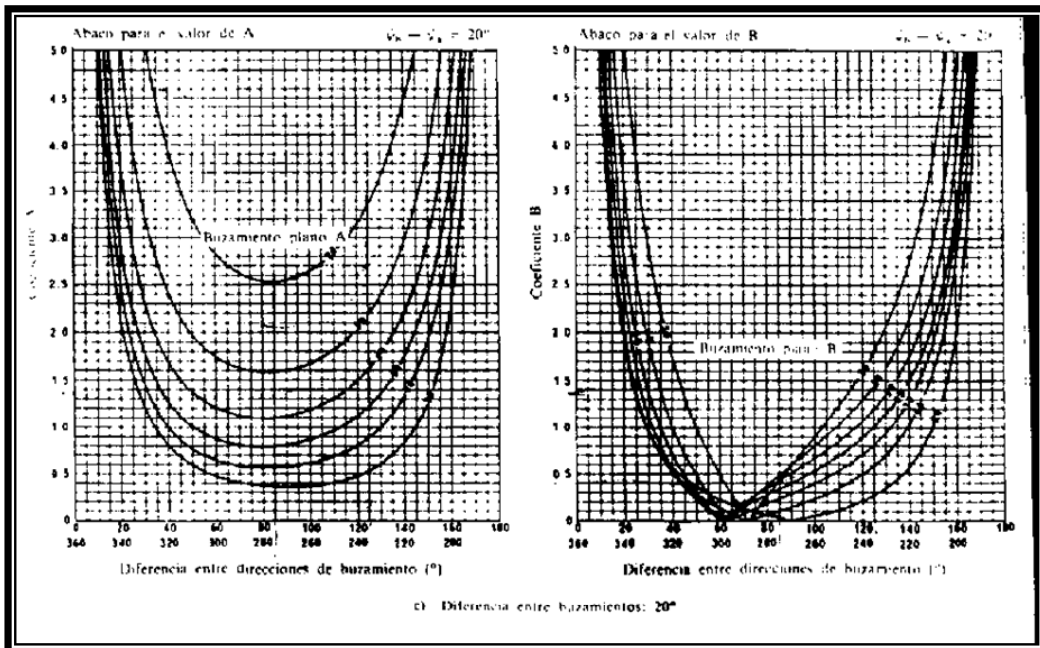
PARÁMETROS DE ENTRADA AL RMI						
RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE, σ_c de la roca intacta		valor (en MPa)		Obtenidos de ensayos de laboratorio (o asumidos de las tablas de manuales)		
VOLUMEN DEL BLOQUE, V_b		value (In m ³)		Medido visualmente en el sitio (o estimado de testigos de sondeos)		
FACTOR DE ESTADO (CONDICIÓN) DE LAS DIACLASAS, j_C		$j_C = j_R \times j_L / j_A$		Debajo, en las tablas se presentan las valoraciones de j_R, j_A y j_L		
FACTOR DE RUGOSIDAD DE LAS JUNTAS (j_R) (las valoraciones de j_R están basadas en J_r del sistema Q)						
Ondulación del plano diaclasado a gran escala						
(Las valoraciones resaltadas en Itálico son similares a J_r)		Planar	Ligeramente ondulado	Ondulado	Altamente ondulado	Escalonado o entrelazado
Suavidad del plano de junta a pequeña escala	Muy rugoso	2	3	4	6	6
	Rugoso	1,5	2	3	4,5	6
	Suave	1	1,5	2	3	4
	Pulido o espejo de falla*)	0,5	1	1,5	2	3
Para diaclasas (Juntas) rellenas $j_R=1$ Para diaclasas (irregulares) se sugiere una valoración $j_R=6$						
*)Aplicar estas valoraciones a espejos de falla con posibles movimientos a través de estrías.						
FACTOR DE ALTERACIÓN DE JUNTAS (j_A) (las valoraciones de j_A se basan en J_A del sistema Q)						
CONTACTOS ENTRE LAS PAREDES DE LAS JUNTAS		Condición			Contacto entre paredes	
Contacto entre las paredes de la junta	DIACLASAS (JUNTAS) LIMPIAS:	Fegadas o soldadas	relleno de cuarzo, epidota, etc.			0,75
		Roca inalterada (fresca)	sin cubierta o relleno, excepto decoloración (patina de óxido)			1
		Superficies alteradas	un grado más de alteración que la roca			2
		dos grados más de alteración que la roca			4	
CUBIERTOS O RELLENOS DE POCO ESPESOR	Materiales de fricción	arenas, limo, calcita, etc. sin contenido de arcilla			3	
		Materiales cohesivos			arcilla, clorita, talco, etc.	4
Paredes de la junta con contacto parcial o sin contacto	RELLENOS DE:	Tipo			Relleño fino (< 5 mm)	Relleño grueso
		Material friccional			arena, limo, calcita, etc. (sin reblandecimiento)	4
	Materiales duros y cohesivos			relleno compactado de arcilla, clorita, talco, etc.	6	6 - 10
	Materiales blandos y cohesivos			arcillas de media a baja sobreconsolidación, clorita, talco, etc.	8	12
	Materiales expansivos y arcillosos			materiales de relleno que exhiben propiedades expansivas	8 - 12	13 - 20
FACTOR DE TAMAÑO Y CONTINUIDAD DE LAS DIACLASAS (JUNTAS) (j_L)						
TIPO	Longitud	Tamaño	Juntas continuas	Juntas discontinuas*		
División de la estratificación o foliación	< 0,5 m	muy corto	3	6		
Diaclasas o juntas	0,1 - 1 m	corto o pequeño	2	4		
	1 - 10 m	mediano	1	2		
	10 - 30 m	grande o largo	0,75	1,5		
Junta (sellada), dique o cizalla**)	> 30 m	muy grande o largo	0,5	1		
*) Las juntas discontinuas acaban en roca masiva						
**) frecuentemente con una singularidad y deben en este caso ser tratadas por separado.						

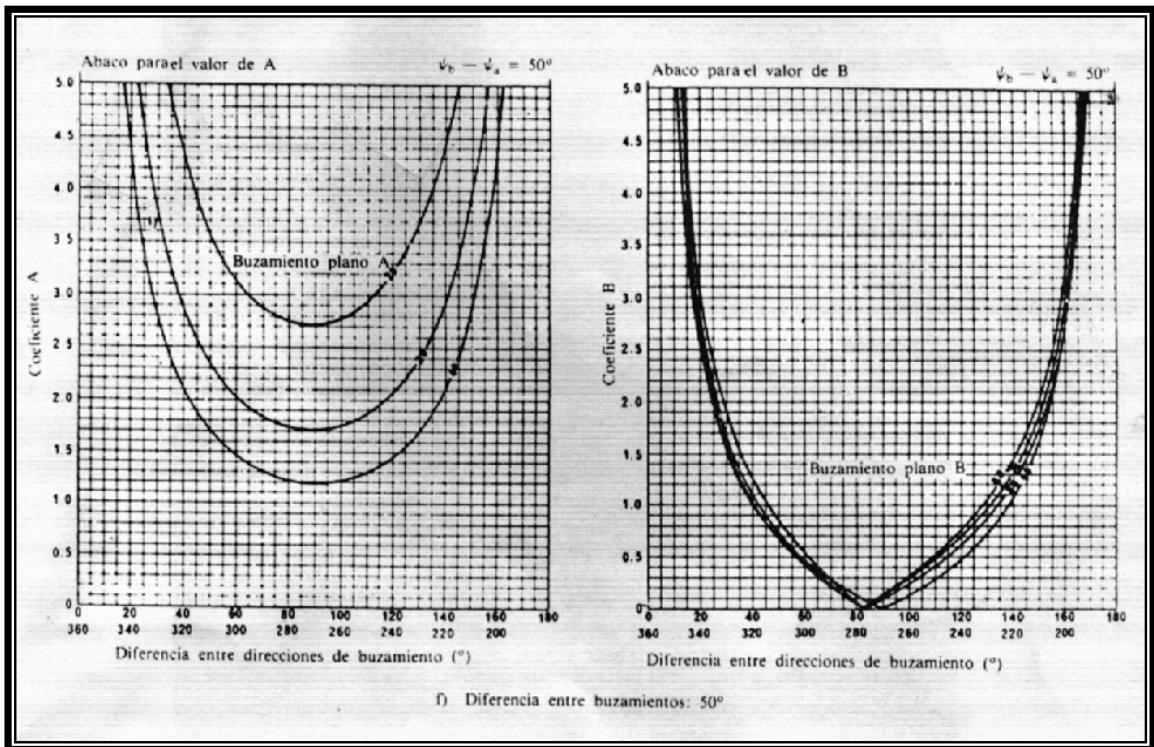
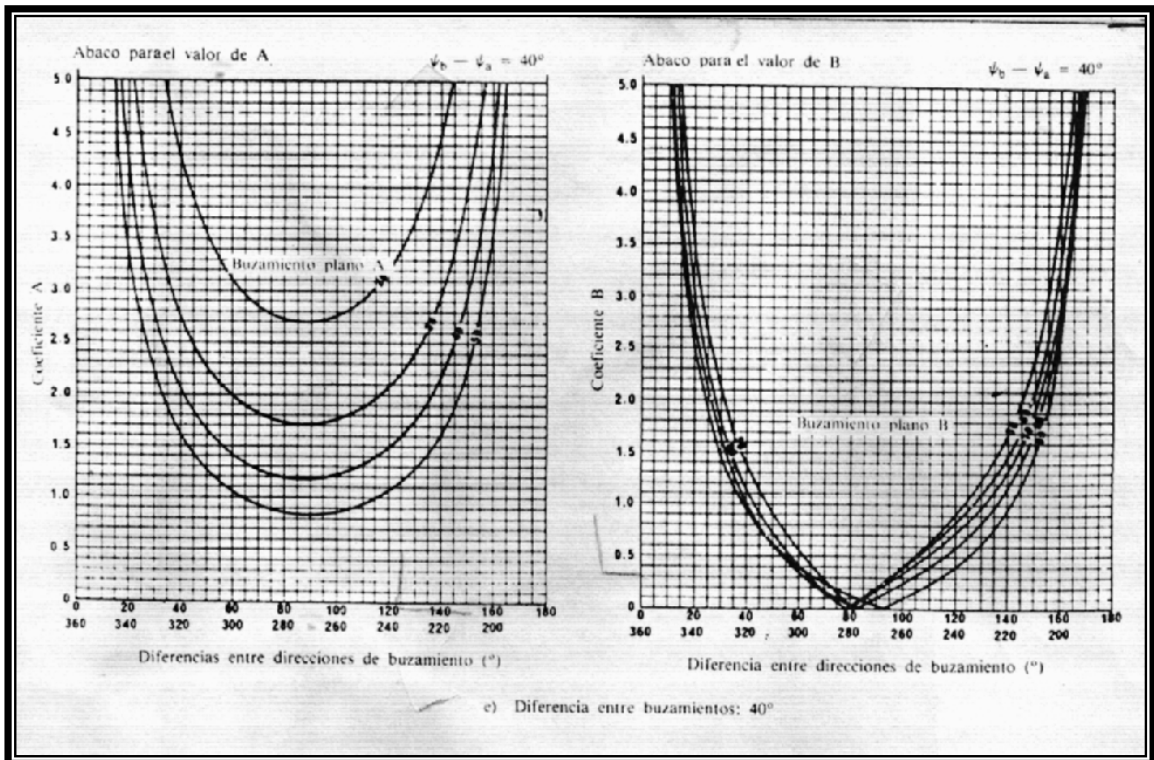
FACTORES DE AJUSTE PARA EL SOSTENIMIENTO EN ROCA						
NIVEL DE TENSIONES	Recubrimiento aproximado	Valoración SL	NÚMERO DE FAMILIAS DE JUNTAS ¹⁾	Valoración NJ	NÚMERO DE FAMILIAS DE JUNTAS ¹⁾	Valoración NJ
Muy bajo (en portales, etc.)	< 10 m	0,1	Una familia	3	Tres familias	1
Bajo	10 - 35 m	0,5	Una familia + aleatorias	2	Tres familias+aleatorias	0,85
Moderado	35 - 350 m	1	Dos familias	1,5	Cuatro familias	0,75
Alto	> 350 m	1,5 ²⁾	Dos familias+aleatorias	1,2	Cuatro familias+aleatorias	0,65
*) Un alto nivel de tensiones puede ser desfavorable para la estabilidad de hastiales altos. Valoración posible SL= 0,5-0,75			**) Significa el número de familias de juntas dentro del sitio de observación. (no el número de juntas observadas dentro de una gran área)			
ORIENTACIÓN DE LAS JUNTAS (en relación al eje del túnel)			Valoración C_o y C_{o_2}	INCLINACIÓN DE TECHOS O HASTIALES		Valoración C
EN HASTIALES	EN TECHO	TÉRMINO				
para números 30°	para números < 30°	para cualquier ángulo			Horizontal (techo)	1
buzamiento < 30°	buzamiento < 20°	buzamiento=80°	1	30° inclinación		1,5
buzamiento = 30 - 60°	buzamiento = 30 - 45°	buzamiento = 45 - 60°	1,5	45° inclinación		2,2
buzamiento > 60°	buzamiento = 45 - 60°	buzamiento = 20 - 45°	2	60° inclinación		3
-	buzamiento > 80°	buzamiento=20°	3	Vertical (hastiales)		5

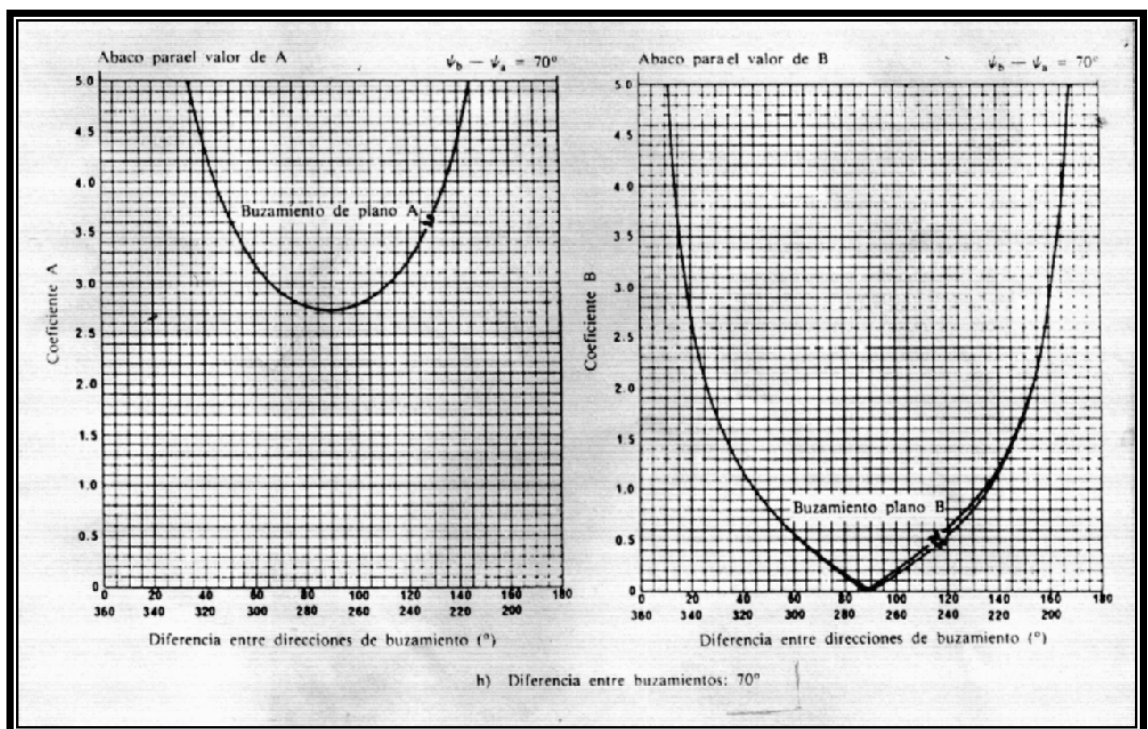
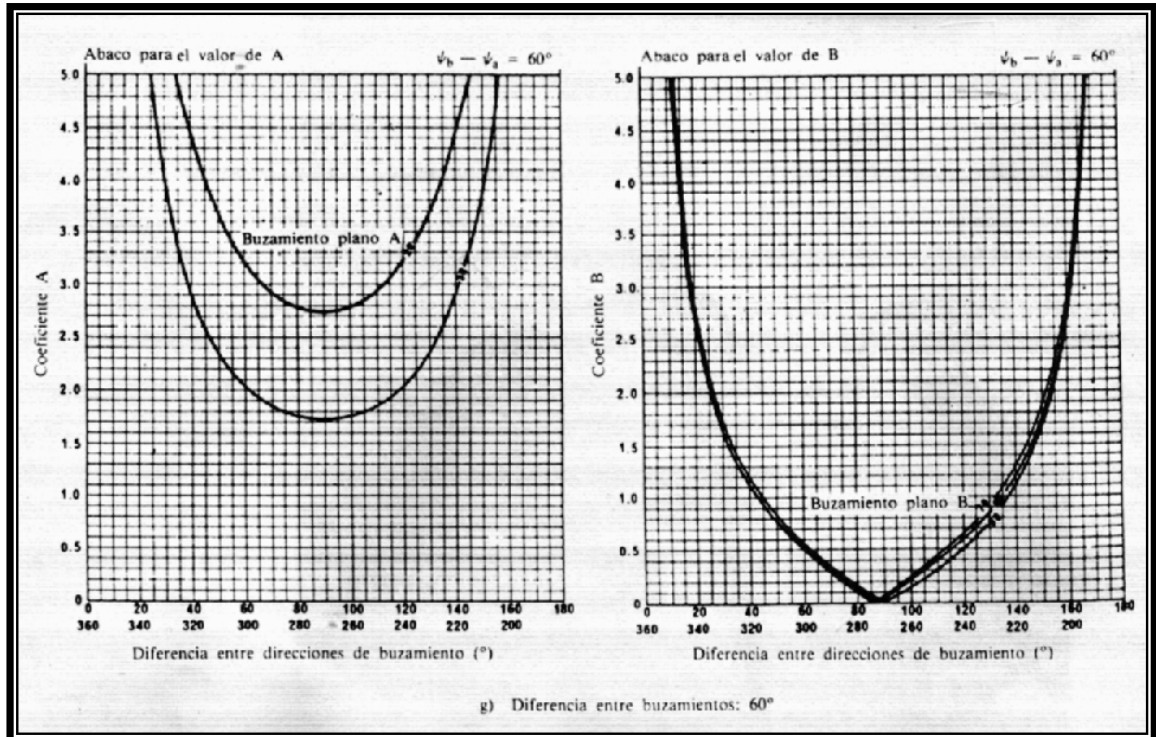
APENDICE "E"

Ábacos para el Calculo del Fs por Cuña Hoek (1981)









APENDICE "F"***Guía sobre el diseño y construcción de alguna de las soluciones ingenieriles propuestas*****Tomado de ROMANA (1992)****II.11.3.1 Protecciones:**

- Zanjas de pie:

Son adecuados para recoger pequeñas caídas planas, cuñas y vuelcos. Ritchie filmó caídas en distintos taludes identificando tres formas de comportamiento.

- Caída directa, para taludes 1H: 4V y más.
- Rebote, para taludes alrededor de 1H: 2V empinados.
- Rodada, para taludes 1H: 1V y mas tendidos.

Ritchie (1963) propuso criterios empíricos para dimensionar zanjas de pie y cunetas, criterios que han sido muy reproducidos y utilizados. Pero muchos ingenieros creen que esos criterios son demasiado conservadores. Whiteside (1986) (basándose en Fookes y Sweeney, 1976) ha publicado un ábaco reduciendo las dimensiones propuestas por Ritchie.

En general los resultados de Ritchie se ajustan bien a caídas en taludes de rocas duras, con coeficientes de rebote altos. En rocas más blandas parte de la energía se pierde en roturas y las distancias de caída al pie del talud son menores.

Castañeda (1976) propuso, y usó con éxito, una reducción del criterio de Ritchie para taludes excavados en rocas blandas. Sus resultados son muy similares a los de Whiteside.

Los criterios de Ritchie (Tabla 2.12) serían adecuados para taludes desde $C_0 > 25$ MPa y $F_H \leq 0$ (voladura normal), mientras que los de Castañeda (Tabla 2.13) serían mejores para taludes desde $C_0 < 25$ MPa y $F_H \geq 8$ (voladura suave).

Tabla 2.12: Dimensiones de zanjas de pie según Ritchie (1963)

Taludes					
Altura (m)	1H:4V/ 1H:3V	1H:2V	3H:4V	1H:1V	5H:4V
4,5 – 9	3,0 x 0,9	3,0 x 0,9	3,0 x 1,2	3,0 x 0,9	3,0 x 0,9
9 - 18	4,5 x 1,2	4,5 x 1,2	4,5 x 1,8	4,5 x 1,2	3,0 x 1,5 F
18 - 30	6,0 x 1,2	6,0 x 1,8 F	6,0 x 1,8 F	4,5 x 1,8 F	4,5 x 1,8 F
> 30	6,0 x 1,2	7,5 x 1,8 F	7,5 x 2,4 F	4,5 x 1,8 F	4,5 x 1,8 F
W anchura (m) D profundidad (m) (W x D)					
F La zanja puede ser de 1.20 m con una valla hasta la profundidad total					

Tabla 2.13: Dimensiones de zanjas de pie según Castañeda

Altura (m)	Talud	Altura (m)	Talud
	1H:4V/2H:3V		2H:3V/1H:1V
10 – 25	2,2 X 1,2	6 – 20	2,2 X 1,2
25 – 40	3,2 X 1,6	> 20	3,5 X 1,8
> 40	3,7 X 2,0		
W Ancho (m) D profundidad(W X D)			

II.11.3.2 Redes:

Las redes sobre el talud evitan la caída libre de trozos de roca y son útiles para proteger contra la caída de cuñas menores y también en algunos vuelcos (aunque entonces puede ser difícil sujetar la red en la cabeza del talud).

Para evitar roturas por el peso excesivo de los fragmentos de roca sólo debe emplearse redes en talud con un valor alto de J_v (Tabla 2.14).

Tabla 2.14: Condiciones indicativas para el uso de redes

J_v	Tipo de red	Peso del bloque
5 – 10	Reforzada	0.15 – 0.50
> 10	Normal	< 0.15

II.11.3.3 Refuerzo:

- Bulones

Aunque muchos taludes en roca se bulonan, no aparecen en la literatura técnica reglas específicas de diseño. Las que se ofrecen a continuación han sido derivadas de la experiencia del autor y parcialmente inspiradas por el excelente y conciso manual de bricolaje de obras subterráneas de Schach, Garshol y Heltzen (1979).

Por simplicidad se incluyen aquí sólo los bulones de anclaje continuo no tensados. Los tensados se consideran anclajes. Los bulones son un refuerzo “pasivo” y los anclajes un refuerzo “activo”. Las características usuales son:

- Longitud:

Normalmente 3 – 4 m

Empotrándose 1- 2 m en roca sana

Como regla simple mayor que un décimo de la altura.

- Dimensiones

Diámetro 20 – 25 mm.

Resistencia de 12 a 18 T

Desde el punto de vista del bulonaje los macizos rocosos pueden clasificarse según se expresa en la Tabla 2.15.

Tabla 2.15: Bulonado en macizos rocosos.

Tipo de roca	Espaciamiento de juntas	J _v	Bulonado	Distancia
Dura en bloque	> 1m	1 - 3	Sistemático	3 – 3,5m
Dura fracturada	0.3 – 1m	3 - 10	Sistemático	1 – 3m
Dura muy fracturada	< 0.3m	10 – 18	Sistemático	1m
Dura muy fracturada	< 0.3m	> 18	Sólo con gunita	
Meteorizada con juntas “débiles”	-	-	Según las juntas	Variable
Blanda C _o 5– 25 MPa	-	-	Sólo con gunita	-
Blanda C _o <5 MPa	-	-	No adecuado	-

La Tabla 2.16, contiene algunas indicaciones de posibles esquemas de bulonado según el SMR.

Tabla 2.16: Esquemas indicativos de bulonado en taludes.

Clase	SMR	Bulones por m ²	D(m)	Densidad de fuerza(ton/m ²)	Gunita
II	>65	0,08	3.5	1 – 1,25	No
II b	65 – 60	0,11	3.0	1.3 – 1.6	No
III	60 – 45	0.40	1.6	4.5 – 6.0	Ocasional
		0.70	1.2	8.0 – 10.0	Oca./sist.
		1.00	1.0	12.0–15.0	Sistemática
III b	45 – 40	1.00	1.0	12.0 – 15.0	Sistemática
D densidad media entre bulones (m)					

- Anclajes:

Los anclajes aplican una fuerza en la superficie del talud y la transfieren al interior. A la vez introducen una fuerza estabilizadora y aumentan la resistencia al corte (y la distancia) de las juntas.

Muchos tipos de anclajes existen en el mercado. Sus características más comunes son:

- Longitud:

Normal 12 a 20 m.

Possible 8 a 30 m.

- Resistencia:

Normal 70 a 100 T.

Possible 30 a 200 T.

- Disposición.

Normal 1 anclaje cada 10 a 35 m².

En filas y columnas.

- Cabezas de hormigón:

Cabezas aisladas (1.0 x 1.0 x 0.50 m)

Contrafuertes y / o vigas (ancho 1.00 - 1.50 m)

Muros anclados.

Muros de pie (como complemento).

Los anclajes son especialmente útiles para sostener grandes corrimientos planos, vuelcos importantes y roturas generales de talud. Su disposición,

tipo y densidad deberían ser estudiados analíticamente en cada caso y comprobadas después instrumentalmente.

Una guía aproximada para la evaluación de la fuerza de anclaje necesaria se presenta en la Tabla 2.17, derivada de algunos casos reales.

Tabla 2.17: Esquemas indicativos de anclajes en taludes.

Clase	SMR	Densidad de fuerza (T/m ²)	Gunita	Hormigón
III b	50 – 40	1.0 – 2.5	Armada	Cabezas aisladas
IV a	40 -30	2.5 – 5	Armada	Cabezas aisladas
		5.0 – 10.0	No	Cont. y/o vigas (muros)
IV b	30 – 20	10.0 – 20.0	No	Cont. y/o vigas (muros)
		Variable	No	Muro (Cont. y/o vigas)

En caso de los anclajes se usen como mediad adicional a un muro de gravedad la densidad de fuerza debería ser de 2.5 – 5.0 T/m²(mínimo 1.5T/m²).

II.11.3.4 Hormigón o Concreto:

- Gunita:

Gunitar un talud es fácil, se puede hacer de prisa, y a menudo es una unidad de obra muy ventajosa. Por lo tanto, muchos taludes son gunitados al primer signo de inestabilidad. Es difícil averiguar el efecto real de la gunita, que ha menudo se cae con el tiempo.

Un gunitado ocasional puede ser útil para correcciones locales puntuales y/o para prevenir la erosión diferencial. El gunitado sistemático es necesario con masa rocosas fragmentadas ($J_v = 10 - 18$). Si se usa la gunita como protección general de un talud debería tomarse las siguientes precauciones:

- Limpiar el talud con aire comprimido y/o agua.
- Proyectar varias capas. Un esquema útil sería:
Capa superficial de protección (e = 3cm).
Dos capas armadas (e = 2 x 10 cm).
- Usar bulones cortos (y eventualmente una tela metálica) para anclarla al talud.
- No gunitar los puntos de drenaje natural.

- Intentar la instalación de drenes.

Los efectos benéficos de la gunita son a menudo dudosos y pueden convertirse en dañinos si se corta el drenaje del macizo. Además el efecto estético es muy malo, aunque puede mejorarse si la gunita no es masiva y se utilizan pigmentos claros en la última capa.

- Hormigón dental.

Muy adecuado para correcciones locales en taludes generalmente estables. Puede ser sustituido por mampostería (mejor si es de la misma roca). Rara vez causa problemas al perturbar el drenaje natural del macizo.

- Contrafuertes y/o muros, vigas:

Se trata de medidas correctoras asociadas a anclajes o que trabajan por gravedad. Pueden utilizarse para taludes parcial o totalmente inestable.

- Drenaje:

- Drenaje superficial:

El drenaje superficial puede ser de gran ayuda para la estabilidad de un talud. En la cabeza el agua puede rellenar grietas de tracción, generando presiones intersticiales muy desestabilizadora. En la superficie del talud el agua puede erosionar zonas blandas causando inestabilidades.

Los drenes de superficie pueden ser en cabeza (zanjas paralelas al talud y zanjias con revestimientos flexibles) o en superficie (cunetas verticales, con piezas prefabricadas y conectadas a la zanjias de cabeza).

Para ser efectivo el drenaje superficial debe estar bien hecho. En muchos casos una cuneta de hormigón se agrieta y rompe inyectando agua en el interior en vez de evacuarla. Los revestimientos deben ser capaces de absorber movimientos apreciables sin pérdida de funcionalidad.

- Drenaje profundo:

En los macizos rocosos el agua circula por las juntas cuya conductividad hidráulica es proporcional al cubo de su anchura si están abiertas y no tienen rellenos. Por eso la permeabilidad del macizo rocoso tiende a ser mayor en la superficie que en el interior, razón por la que las presiones intersticiales son una causa menos importantes frecuente en rocas que en suelos.

En general, en taludes rocosos el drenaje profundo debe combinarse con otras medidas.

Los posibles sistemas de drenajes pueden ser:

- Drenes de pie ("franceses" o "californianos").

Perforados horizontalmente o casi desde el pie.

Deben estar provistos de filtros.

Dejan de funcionar pronto en taludes con deformaciones importantes.

Muy efectivas

- Drenes verticales:

Perforados verticalmente desde la cabeza y/o el talud.

Muy efectivo si hay acuíferos colgando.

- Galerías de drenajes:

Horizontales y paralelas al talud.

El drenaje más efectivo.

Usadas en presas.

El drenaje profundo es bueno para corregir grandes inestabilidades planas o en masa con climas muy húmedos y/o juntas de gran conductividad horizontal.

Los esquemas de diseño pueden derivarse de Louis (1974).

- Longitud óptima

0.2 a $0.3H_w$ (altura del nivel freático en el interior del macizo)

Habitual de 6 a 12 m

- Distancia óptima entre drenes:

Teóricamente 10° a 15° hacia abajo.

Habitualmente horizontal.

5° a 10° hacia arriba si el agua debe limpiar los taladros

Tomado de UCAR (2005)

4. COSIDO O CLAVETEADO DEL TALUD

Con el objeto de contribuir con la seguridad de los pasajeros en el tramo vial Valencia –Puerto Cabello, es fundamental llevar a cabo el cosido del talud para mejorar la resistencia al corte de la roca mediante la inclusión de barras de acero que actúan pasivamente.

Los fundamentos de la técnica se basan en el bulonado tradicional de rocas y también en la práctica de los anclajes.

El cosido del terreno se realiza para proteger taludes naturales o excavados, pero también se utiliza con mucha frecuencia en zonas a excavar mediante etapas sucesivas con altura típicas de 1,50 a 2,50 m hasta llegar al nivel deseado. Ambos procedimientos son empleados ampliamente con resultados muy positivos en Europa y Norte América.

Por otro lado, su aplicación mediante las mencionadas fases de excavación y soporte han tenido mucho éxito en las zonas de gran desarrollo urbano donde se requieren varios niveles de estacionamiento por debajo de la cota de la calzada.

Las barras o inclusiones se colocan en el agujero perforado, rellenando el barreno con lechada de cemento.

Las inclusiones se colocan por hiladas horizontales con una densidad relativamente alta. Una vez selladas las barras se procede a

colocar un revestimiento sobre las paredes mediante concreto proyectado o gunita.

En este sentido, cabe destacar que el método utilizado en Francia a través del programa TALREN en base a los estudios de Shlosser toma en cuenta la resistencia de la barra a tracción y corte, empleando el criterio de rotura de Tresca.

Las principales ventajas del método son:

- Requiere maquinaria muy ligera
- Estabilización progresiva de la excavación según se descienda
- Relativa rapidez frente a muros convencionales
- Costo competitivo con otras estructuras de contención tradicionales

El diseño incluye el mecanismo de deformación elástica de la barra a través del módulo de reacción o balasto K_h y la longitud elástica L_0 , expresando los resultados a través del coeficiente adimensional de rigidez N^* (varía por lo general entre 0,10 a 1,50).

En la mayoría de los casos cuando $N < 0,10$, los taludes poseen alturas superiores a los 20,00 metros.

$$N = \left(\frac{K_h \cdot \phi_b \cdot L_0^2}{\gamma \cdot H \cdot s_v \cdot s_h} \right)$$

(4)

y

* Valores de $N \leq 1$, el soporte es flexible. Cuando $N = 10$, el soporte es rígido.

$$L_0 = \left(\frac{4.EI}{K_h \cdot \phi_b} \right)^{1/4}$$

(5)

Siendo:

ϕ_b = diámetro de la barra

γ = peso unitario del terreno

H = altura del talud

s_v = separación vertical entre hileras de anclajes

s_h = separación horizontal entre columnas de anclajes

L_0 = longitud elástica

E = módulo de elasticidad de la barra

I = momento de inercia de la barra

Adicionalmente, de acuerdo a Juran et al [8] las fuerzas de tracción

y corte normalizadas son:

$$\left. \begin{aligned} TN &= \frac{T_n}{\gamma \cdot H \cdot s_h \cdot s_v} \\ (6) \\ TC &= \frac{T_c}{\gamma \cdot H \cdot s_h \cdot s_v} \end{aligned} \right\}$$

T_n = máxima tracción movilizada en la barra

T_c = máxima fuerza cortante movilizada en la barra

Para terrenos cohesivos y friccionantes:

$$TN \leq 0,65 K_a \tag{7}$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2) \quad (8)$$

Al considerar que $\phi = 1''$ (2,54 cm), $EI = 4,00 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$. Por otro lado, según los gráficos de Soletanche [9] el valor del coeficiente de balasto k_h en función de C , ϕ es $k_h = 50,00 \text{ MN}/\text{m}^3$ (5.000,00 tf/m^3). En estas condiciones, la longitud elástica L_0 al emplear la ecuación (5) toma el valor:

$$L_0 = \left[\frac{4 \cdot 4,00 \text{ kN} / \text{m}^2}{50 \cdot 10^3 \text{ kN} / \text{m}^3 \cdot \left(\frac{2,54}{100}\right) \text{m}} \right]^{1/4} = 0,335 \text{m}$$

Siendo además el coeficiente adicional de rigidez N :

$$N = \frac{50 \cdot 10^3 \text{ kN} / \text{m}^3 \cdot \left(\frac{2,54}{100}\right) \text{m} \cdot (0,335)^2 \text{m}^2}{24,00 \text{ kN} / \text{m}^3 \cdot 2,50 \text{m} \cdot 2,50 \text{m} \cdot 40,00 \text{m}} = 0,0224$$

Al tomar en cuenta los gráficos elaborados por Juran [8] se obtiene que $T_N \approx 0,015$.

Por lo tanto, al emplear (6) y considerando que $\gamma = 24,00 \text{ KN}/\text{m}^3$, $H = 40,00 \text{ m}$ y $s_h = s_v = 2,50 \text{ m}$, se obtiene:

$$T_n = 0,015 \cdot 24,00 \text{ KN}/\text{m}^3 \cdot 40,00 \text{ m} \cdot 2,50 \text{ m} \cdot 2,50 \text{ m}$$

$$T_n = 90,00 \text{ kN}$$

La carga de rotura de la barra T_p es:

$$T_p = f_y \cdot \pi \left(\frac{\phi_b^2}{4} \right)$$

(9)

f_y = punto cedente de la barra = 420,00 MPa

$$T_p = 420,00 \text{MPa} \frac{\pi}{4} \left(\frac{2,54}{100} \right)^2 m^2 = 213,00 \text{KN}$$

$$\left(\frac{T_n}{T_p} \right) \approx 0,42$$

De acuerdo a Jewel y Pedley [10], una relación simplificada entre T_n y T_c es:

$$9 \left(\frac{T_c}{T_p} \right) + \left(\frac{T_n}{T_p} \right) = 1$$

(10)

En el análisis plástico riguroso se obtienen valores de $\left(\frac{T_c}{T_p} \right)$ de

aproximadamente un 40% mayor cuando $T_n/T_p \leq 0,50$ al compararse con la ecuación anterior.

Al considerar que $(T_n/T_p) \approx 0,42$, resulta $(T_c/T_p) \approx 0,090$

$$T_c = 213,00 \text{ kN} (9/100) = 19,17 \text{ kN}$$

Por tanto:

$$TC = \frac{19,17\text{kN}}{24,00\text{kN/m}^3 \cdot 40,00 \text{ m} \cdot 2,50 \text{ m} \cdot 2,50 \text{ m}} = 0,0032$$

Adicionalmente según Jurán [8] debe cumplirse:

$$\left(\frac{0,55 f_y \cdot A_b}{\gamma \cdot H \cdot s_v \cdot s_h} \right) \geq K_{ep}$$

(10)

Siendo:

$$K_{eq} = \sqrt{TN^2 + 4TS^2} = \sqrt{(0,015)^2 + 4(0,0032)^2}$$

(11)

$$K_{eq} = 0,0163$$

$$\left(\frac{0,55 \cdot 420,00 \text{ MN/m}^2}{24,00 \cdot 10^{-3} \text{ MN/m}^3 \cdot 40,00 \cdot 2,50 \text{ m} \cdot 2,50 \text{ m}} \right) \frac{\pi \left(\frac{2,54}{100} \right)^2}{4} m^2 = 0,0195 > K_{eq}$$

La longitud del anclaje L se determina como sigue:

$$\frac{L}{H} \geq \left(\frac{S}{H} \right) + \left(\frac{TN}{\pi} \cdot \frac{FSP}{\mu} \right)$$

(12)

Siendo:

$$s = s_h = s_v$$

FSP = factor de seguridad con respecto al arrancamiento (pullout) = 1,50

Por otro lado:

$$\mu = \left(\frac{\tau_u \cdot \phi_p}{\gamma \cdot s_h \cdot s_v} \right)$$

(13)

τ_u = resistencia al corte con la interfase cemento – roca

$$\tau_u \cong 350,00 \text{ kN/m}^2 \text{ (valor estimado)}$$

ϕ_p = diámetro de perforación = 3" = 0,075 m

$$\mu = \left(\frac{350,00 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,075 \text{ m}}{24,00 \text{ kN/m}^3 \cdot 2,50 \text{ m} \cdot 2,50 \text{ m}} \right) = 0,175$$

$$\frac{L}{H} = \frac{2,50 \text{ m}}{40,00 \text{ m}} + \left(\frac{0,015}{\pi} \cdot \frac{1,50}{0,175} \right) = (0,0625 + 0,0409) = 0,1034$$

$$L = 0,1034 \cdot 40,00 \text{ m} = 4,14 \text{ m}$$

Para fines prácticos se tomará $L = 6,00 \text{ m}$, en el tercio superior del talud y el resto de la zona inferior a proteger con bulones de $L = 4,00 \text{ m}$.

Finalmente, para evitar excesivo momento debe cumplirse de acuerdo a Juran[8]:

$$\left(\frac{M_p / L_0}{\gamma \cdot H \cdot s_v \cdot s_h} \right) \geq 0,32 T_c$$

(14)

El momento de plastificación de la barra de $\phi = 1"$, con un punto cedente $f_y=420,00$ MPa, embebida dentro del barreno con una lechada de cemento de resistencia a la compresión $f'_c= 220$ MPa, es según [8]:

$$M_p \approx 4,10 \text{ KN.m}$$

$$\left(\frac{4,10 \text{ kN.m}/0,335\text{m}}{24,00\text{KN/m}^3 \cdot 40,00 \text{ m} \cdot 2,50 \text{ m} \cdot 2,50 \text{ m}} \right) = 0,002 > 0,32 \cdot T_c$$

Siendo $T_c = 0,0032$

Por otro lado, el espesor de concreto proyectado (e) en función del momento máximo M_{max} es:

$$e = \sqrt{\left(\frac{M_{max}}{0,253} \right)}, \text{ in} \tag{15}$$

Siendo:

$$M_{max} = f(T_n, s) = 900\text{Kip-ft} \tag{16}$$

En estas condiciones el espesor de concreto lanzado es:

$$e \cong 6\text{in} = 15,00 \text{ cm}$$

La figura anexa muestra en detalle el reparto de acero y el espesor de concreto proyectado.

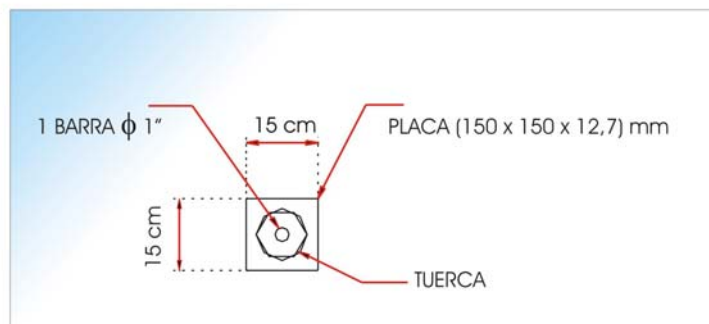
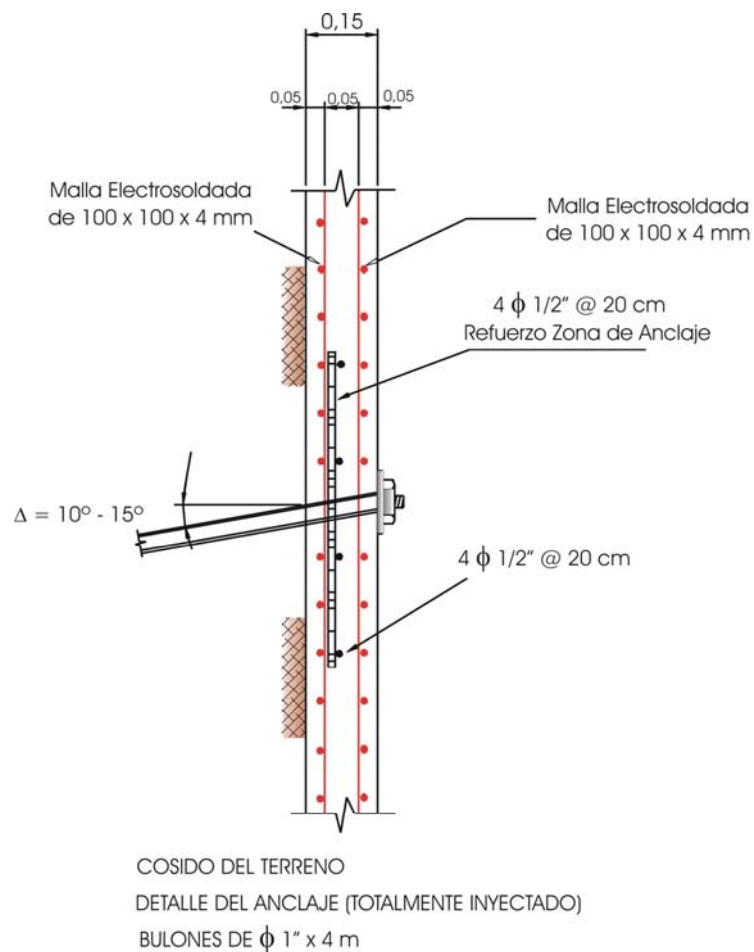


Figura 3. Detalle de la pantalla y acero de refuerzo

5. DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO PROYECTADO*

A continuación se lleva a cabo una metodología sencilla, la cual puede aplicarse originalmente como marco de referencia para diseñar la mezcla de concreto proyectado por vía seca, tanto en taludes y muros como en obras subterráneas.

$W_c =$ cantidades de cemento/m³ de agregado

$W_c \approx 382,50$ kg/m³ de agregado (valor escogido para el diseño, es decir 9 sacos/m³ de agregado).

Peso unitario del agregado en condiciones naturales de humedad

$\gamma = 1.530,00$ kg/m³.

Contenido de humedad del agregado (arena + gravilla), $w \approx 4,00\%$.

Llamando W_s el peso de los sólidos del esqueleto mineral y W_w el peso del agua, es posible escribir las siguientes relaciones:

$$\begin{array}{l}
 W_s + W_w = 1.530,00 \text{ kg} \\
 \text{un metro cúbico)}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} W_s + W_w = 1.530,00 \text{ kg} \\ \text{un metro cúbico)} \end{array}} \right\}
 \begin{array}{l}
 W_s = 1.471,00 \text{ kg (contenidos en} \\
 \\
 W_w = 59,00 \text{ kg (contenidos en un} \\
 \text{metro cúbico)}
 \end{array}$$

Tomando en cuenta que el peso unitario del cemento es de aproximadamente 1.500,00 Kg/m³, indica que los nueve sacos ocupan un volumen de 0,255 m³. Siendo por tanto el volumen total = 1,00 m³

* Las cantidades empleadas en el diseño de la mezcla, así como los pesos unitarios en condición seca y húmeda, corresponden a valores aproximados.

(agregado) + 0,255 m³ (cemento) = 1,255 m³ de mezcla. Es decir equivale aproximadamente a siete sacos por metro cúbico de mezcla.

Relación agregado (seco)/cemento = 1.471,00/382,50 = 3,85/1

Tamaño máximo del agregado = ½" (12,50 mm)

Relación agua/cemento = 0,4:1 (en peso)

La cantidad de arena y gravilla considerando que el peso de los sólidos contenidos en un metro cúbico es $W_s = 1.471,00$ Kg se ha distribuido de la forma siguiente:

65,00% arena = 956,00 Kg	}	Aridos
35,00% agregado grueso = 515,00 Kg		

En general una dosificación bastante usada presenta las siguientes relaciones:

arena/cemento = 3,25:1

Agregado grueso/cemento = 1,75:1

Resultando el diseño de mezcla (en peso) siguiente:

Agua :	Cemento :	Arena :	Agregado grueso
0,4 :	1 :	3,25 :	1,75

Finalmente la tabla No. 2 muestra el balance de los materiales en el diseño de mezclas para diferentes relaciones agregado-cemento.

Tabla No. 2

DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO PROYECTADO, SEGÚN SINGH Y BORTZ [11]

Componentes	Sacos de Cemento por Yarda Cúbica		
	5	7	9
	Peso de los Componentes, libras		
Cemento	470,00 (2,40)	658,00 (3,35)	846,00 (4,31)
Arena seca 92,55 lb/ft ³	1.925,00 (11,62)	1.925,00 (11,62)	1.925,00 (11,62)
Piedra triturada 98,48 lb	1.103,00 (6,66)	1.103,00 (6,66)	1.103,00 (6,66)
Total agua			
Seca	164,50 (2,64)	230,00 (3,70)	269,10 (4,75)
Húmeda	188,00 (3,02)	263,20 (4,22)	338,40 (5,43)
Factor de cemento			
Seco	5,79	7,46	8,89
Húmedo	5,79	7,31	8,67
Agua/cemento			
Seco	0,35	0,35	0,35
Húmedo	0,40	0,40	0,40
Agregado/cemento	6,44	4,60	3,58

Los valores dentro del paréntesis indican volumen de sólidos en pies cúbicos del componente respectivo.

$$5 \text{ sacos/yd}^3 = 6,50 \text{ sacos/m}^3 (280,00 \text{ kg/m}^3)$$

$$7 \text{ sacos/yd}^3 = 9,10 \text{ sacos/m}^3 (390,00 \text{ kg/m}^3)$$

$$9 \text{ sacos/yd}^3 = 11,75 \text{ sacos/m}^3 (500,00 \text{ Kg/m}^3)$$

MALLA DE GUIADOS EN ROCA

Este sistema de control de caídas de rocas, consiste en la colocación de mallas de alambre metálico con las que se cubre la superficie de taludes rocosos para guiar el movimiento de los bloques de roca a lo largo del talud, evitándose de esta forma los peligros que esto implica en las vías terrestres. Cabe destacar que estos desprendimientos son comunes en taludes rocosos fracturados, naturales o excavados.

Por otra parte, las mallas o redes metálicas de alta resistencia tienen la ventaja de retener los fragmentos sueltos de roca, además de conducir o guiar los trozos desprendidos entre la malla y la cara del talud hacia una zanja en el pie del talud, con la ventaja adicional de su flexibilidad y fácil manejo y colocación.

El empleo de la malla de guiado es beneficioso cuando la dimensión de los bloques de roca no es mayor de 0,60 a 1,00 m. Las mallas generalmente utilizadas son galvanizadas, las cuales se caracterizan por ser mallas de alambre de gaviones, por cuanto tienen la ventaja al compararse a otros tipos, de que la malla no se despedaza al romperse en una zona localizada debido a su doble trenzado hexagonal.

La protección ejecutada con estas redes elimina el peligro de una inminente caída de peñascos, por cuanto posee un elevado grado de resistencia mecánica, además de su comprobada resistencia a la corrosión, provocados por los agentes atmosféricos.

La malla de guiado recomendada en la autopista Valencia-Puerto Cabello debe tener las siguientes características y propiedades:

Malla de 8x10 (galvanizada de doble tracción)

Diámetro $\varnothing = 3,00$ mm

Peso aproximado =1,70 kg/m

Carga de rotura =5.700,00 kg/m

La malla se transporta en rollos hasta el talud, se fija en su parte superior y se desenrolla dejándola caer simplemente sobre la cara del talud. Esta se fija mediante barras o clavos de diámetros variables de $\varnothing = 3/4$ a 1" en agujeros de 0,50 a 0,80 m de profundidad con mortero de cemento, y colocadas a distancias ente 1,50 a 2,00 aproximadamente. Estos clavos están dotados de un gancho que se une a la red. En todo caso es muy difícil especificar una regla general sobre las modalidades de tal operación, ya que dependerá de las condiciones y morfología del terreno.

Por supuesto si existe la posibilidad de que se desprendan grandes bloques en zonas localizadas como es el caso de las cuñas potencialmente inestables analizadas en el anexo 1, es fundamental reforzar dichas áreas con bulones de tres a cuatro metros en los taludes ubicados en las progresivas 183+560 a 185+000

La parte final de la malla se suele dejar un metro por encima de la zanja de recogimiento de piedras.

ZANJAS RECOLECTORAS DE ROCAS

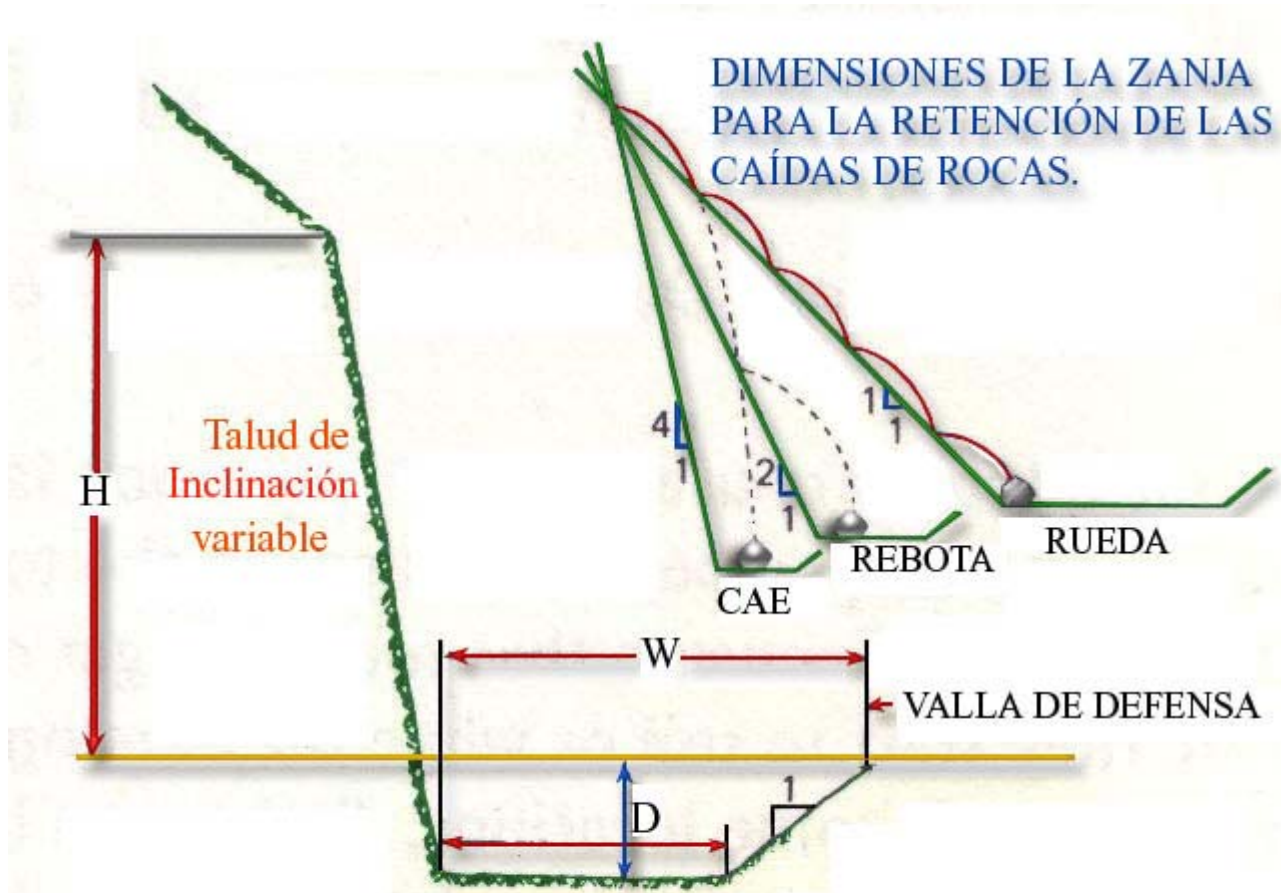
La tabla adjunta muestra las características geométricas que debe tener una zanja recolectora de las caídas de rocas de taludes con diferentes pendientes de acuerdo a las investigaciones llevadas a cabo por Ritchie, A. M (Evaluation of Rockfall and its control, Highway Research Board, Highway Research Record 17, 1963 pp 13-28), e indicada en el libro "Landslides, Analysis and Control, Special Report 176". Dichos valores toman en cuenta la altura del talud, inclinación y la trayectoria del la roca, así como la energía cinética de la roca que rueda ladera abajo.

Geometría de la zanja según el Transportation Research Borrada

Ángulo del Talud β (grados)	Altura del Talud H (metros)	Ancho de la zanja W(metros)	Profundidad de la zanja D (metros)
Aproximadamente Vertical	5,00-10,00	3,70	1,00
	10,00-20,00	4,60	1,20
	>20,00	6,10	1,20
0,25:1 (vertical)	5,00-10,00	3,70	1,00
	10,00-20,00	4,60	1,20
	20,00-30,00	6,10	1,80*
0,30 : 1(vertical)	>30,00	7,60	1,80*
0,50 :1 (vertical)	5,00-10,00	3,70	1,20
	10,00-20,00	4,60	1,80*
	20,00-30,00	6,10	1,80*
	>30,00	7,60	2,70*
0,75 :1 (vertical)	0,00-10,00	3,70	1,00
	10,00-20,00	4,60	1,20
	>20,00	4,60	1,80*
1 :1 (vertical)	0,00-10,00	3,70	1,00
	10,00-20,00	3,70	1,50*
	>20,00	4,60	1,80*

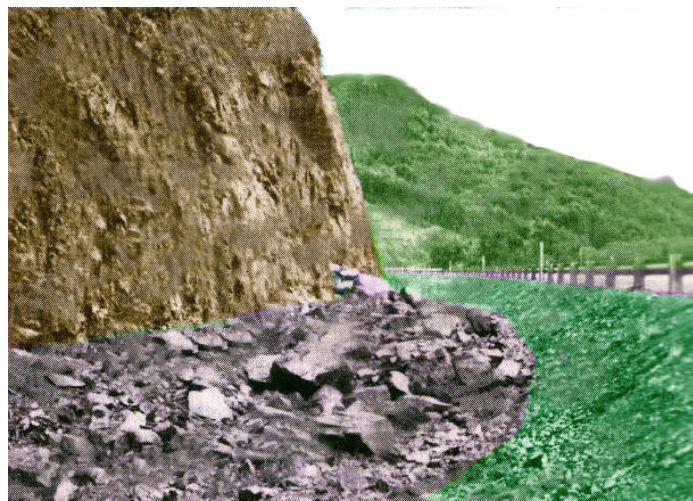
*Puede reducirse a 1,20 m si la valla protectora es utilizada

A través de la figura anexa se observa también la trayectoria esperada en un talud según su pendiente, y la foto de una vía muy similar al importante tramo Valencia –Puerto Cabello donde se aprecia la zanja construida.



D = PROFUNDIDAD DE LA ZANJA = 1 a 2,7 m.

W = ANCHO DE LA ZANJA = 3,7 a 7,6 m.



PANTALLA DINÁMICA DE PROTECCIÓN CONTRA LA CAÍDA DE ROCAS.

El problema de la protección contra las caídas de rocas en las vías terrestres, ha sido un tema muy debatido en los últimos años y no está totalmente solucionado debido, entre otros factores a la variedad de situaciones que se pueden presentar requiriendo cada una solución en particular.

En la mayoría de los casos la solución utilizada consiste por una pantalla al pie del talud, separa de la calzada y que consiste en una hilera de postes metálicos anclados sobre un muro o una base de concreto directamente sobre el terreno, los cuales contienen una malla metálica, que pueden ser electrosoldada, de alambres de simple o doble torsión (ver foto anexa).

Estos sistemas que se llaman estáticos han ido buscando una mayor capacidad de absorción de impactos, por tal motivo han aparecido en el mercado las pantallas dinámicas para la protección contra la caída de rocas.

Este nuevo sistema tiene como fundamento una pantalla que ante el impacto de una roca, movilice sus elementos, deformándose y desplazándose en la medida que se van cargando absorbiendo la energía cinética acumulada por la roca en su movimiento, mediante el trabajo de la fuerza de reacción que opone la malla y los mecanismos y diferentes dispositivos que la integran capaces de absorber energías elevadas.

La roca, al impactar sobre la red, la deforma y tensiona, con una fuerza que es transmitida a los cables, los cuales son tensionados y deformados elásticamente, accionando unos muelles de elastómeros, permitiendo que el frenado de la roca se realice a lo largo de un recorrido determinado.



**PANTALLA O BARRERA PARA LA PROTECCIÓN
CONTRA LA CAIDA DE ROCAS**

Por otra parte, cabe destacar que la energía cinética de una masa de roca que rueda ladera abajo es la suma de la energía cinética transnacional y la energía cinética angular. Es decir:

$$E = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} I \omega^2$$

Donde:

m =Masa de la roca =W/g

v= velocidad en el momento del impacto

I= Momento de inercia

ω = Velocidad angular.

Aunque este sistema no se ha empleado nunca en Venezuela, se menciona a objeto que en un futuro inmediato pueda ser utilizado como un elemento de mayor capacidad para absorber la energía debida al impacto de las caídas de rocas.

En conclusión la capacidad de absorción de energía de estas pantallas dinámicas es cuatro veces superior al sistema tradicional estático, soportando el mismo tipo de malla sobre perfiles rígidos anclados en la base y separado a distancias de dos metros aproximadamente.

La tabla anexa muestra los valores comparativos de diferentes pantallas.

RESUMEN DE LOS VALORES COMPARATIVOS PARA DIFERENTES PANTALLAS (doble malla de simple torsión 50x50, e=2,70mm y con impacto centrado en el paño)

Tipo de Pantalla	H(m)	D(m)	M _{max} (kN.m)	Δ(m)	E(kJ)
Rígida sobre postes empotrados	2	2	90,42	0,47	18
Rígida sobre postes empotrados	2	2	90,42	0.94	36
Dinámica sobre postes empotrados	2	4	38,50	1,57	60
Dinámica sobre postes basculantes	2	4	26,30	1,97	75

H=Altura del poste

D= Distancia entre postes

M_{max} = Momento máximo en la base del poste

Δ = Deformación máxima de la pantalla

E= Energía absorbida por la pantalla antes de la rotura de la malla.

Para mayor información se indican las páginas Web de empresas especialistas en pantallas dinámicas para el tratamiento y protección de taludes.

http://www.geop.fr/en/steel-wires_meshes/index.htm

<http://www.tubosider.es/tablaPO.htm>

Las empresas Tubosider y Geobrugg han diseñado una amplia gama de barreras dinámicas ensayadas en condiciones extremas, pudiendo absorber energías superiores a los 2000,00kJ. La tabla anexa según la empresa Tubosider muestra los valores de energía cinética que se desarrollan durante la caída de los bloques de roca.

ENERGIA (KJ)	PESO DE LA ROCA (KG)	Velocidad de Caída (Km/h)
30	100	85
100	500	70
500	1.500	90
1.000	5.000	70
2.000	5.000	100
2.500	7.000	100

En definitiva, estas pantallas dinámicas están diseñadas para una fácil instalación, larga duración e integración al entorno natural. Es decir se trata de desarrollar un mecanismo que sea flexible y deformable ante un impacto, y que tenga capacidad de contener la rocas para evitar la llegada de estas a las la calzada.

Sin lugar a dudas la expansión de las poblaciones ha generado grandes sistemas de vialidad terrestre pero también excavaciones en rocas fracturadas propensas a caer poniendo en riesgo la vida humanas y de sus bienes, debiéndose por lo tanto garantizar al máximo con la tecnología actual la seguridad de las personas utilizando sistemas de protección flexibles superior al de tipo rígido.

APENDICE "G"

*Manual para la estimación en campo del SMR
Tomado de ROMANA (1992) y Modificado por DOMÍNGUEZ
(2005)*

1. ELECCIÓN DEL AFLORAMIENTO

La labor de clasificación puede realizarse en:

- Testigo de sondeos

Buenos para observar las condiciones de la matriz rocosa en profundidad.

Difíciles para la orientación exacta de las diaclasas.

Las condiciones de agua en las diaclasas pueden Inferirse a partir de los niveles freáticos generales.

- Afloramientos naturales

Normalmente corresponden a los tramos más compactos lo que puede enmascarar las condiciones generales.

Es fácil el estudio de las diaclasas.

Debe usarse el factor de ajuste para "taludes naturales"

- Otros taludes

Las condiciones dependen de la edad y métodos de excavación del talud y de la meteorización. Las diaclasas pueden aparecer con más frecuencia más abiertas si se excavó con voladuras deficientes. Es fácil determinar las formas de rotura y las condiciones hidrogeológicas.

Cada tipo tiene sus ventajas e inconvenientes. Lo mejor es combinar los tres en un estudio si la zona lo permite, aunque todos arrojan buenos resultados.

2. ESTIMAR LA RESISTENCIA DE LA ROCA.

El dato correcto a utilizar es la resistencia a compresión simple, medida en laboratorio. Pero muchas veces es necesario estimar la resistencia en el campo.

En la tabla 1 (ISRM, 1978) se contienen algunas indicaciones útiles para estimar este parámetro con algunos ensayos índice manuales. Las rocas resistentes (o muy resistentes) no abundan por lo que el margen de error al estimar este parámetro es reducido en la práctica con la experiencia.

TABLA 1. ÍNDICES MANUALES PARA ESTIMAR LA RESISTENCIA EN CAMPO

ROCA		ENSAYO DE CAMPO	
Descripción	Co (MPa)	Navaja	Martillo geológico
Ext. resistente	> 250	No corta	El golpe arranca pequeños trozos
Muy resistente	100-250	No corta	Se rompe con muchos golpes
Resistente	50-100	No corta	Se rompe con varios golpes
Med. resistente	25-50	No corta	Se rompe con un solo golpe
Blanda	5-25	Corta con dificultad	Puede indentarse con el pico
Muy blanda	"1-5	Corta fácilmente	Se puede machacar

Si se emplea el Esclerómetro SCHMIDT pueden utilizarse al siguiente proceso operatorio tomado de DEERE (1964), BEVERLY (1979), HAHAMY y De MARCO (1985) y ISRM (1978 b).

Usar esclerómetro tipo L para roca dura y tipo R-710 para menos dura.

Realizar 10 a 20 ensayos golpeando perpendicularmente a la cara de la roca y anotando el ángulo de martillo con la horizontal. Los emplazamientos deben separarse al menos un diámetro del pistón. Elegir áreas de ensayo lisas, sin grietas ni juntas próximas a la superficie. Descartar los resultados anormales (sonido hueco, roturas de la roca, rebotes a cero...) y tomar como índice R la media de la mitad de ensayos (5 a 10) con resultados más altos.

En la práctica la mayoría de determinaciones se realizan con el esclerómetro horizontal (c casi), por lo que la resistencia máxima a estimar será de 60 MPa (para el esclerómetro tipo L). La resistencia baja algo si la superficie está saturada. La dispersión normal es del 40% y el error mínimo del 10%.

2. ESTIMAR EL RQD.

El RQD fue definido por DEERE como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (según el eje). El RQD fue establecido para rocas Ígneas (donde es más fácil de aplicar) y exige la no consideración de las roturas frescas, que se produzcan durante el proceso de perforación.

El valor del RQD es confiable si:

- Se perfora con diámetro NX y doble batería.
- Se mide lo antes posible después de perforar y en el campo.
- Se hace para tramos cortos de sondeo.

También se puede calcular a partir del valor de J_v , mediante la expresión propuesta por PALSTROM (1982):

$$RQD = 115 - 3,3Jv \quad ; \text{ para } Jv > 4,5$$

$$RQD = 100 \quad ; \text{ para } Jv \leq 4,5$$

4. ESPACIAMIENTO DE LAS JUNTAS.

El espaciamento entre diaclasas es la distancia entre ellas, medido según líneas perpendiculares a los planos de discontinuidad. La ISRM sugiere el uso de valores máximos, modales y mínimos, pero en la práctica se utiliza el valor medio, que es el recomendado por BIENIAWSKI.

Suele medirse con cinta, a lo largo de un afloramiento, contando el número de juntas en una distancia fija y multiplicando por los correspondientes cosenos de los ángulos entre la normal a las juntas y el plano de afloramiento.

La clasificación a utilizares la propuesta por la ISRM (tabla 2) a la que BIENIAWSKI añadió un objetivo indicativo del estado general del macizo rocoso.

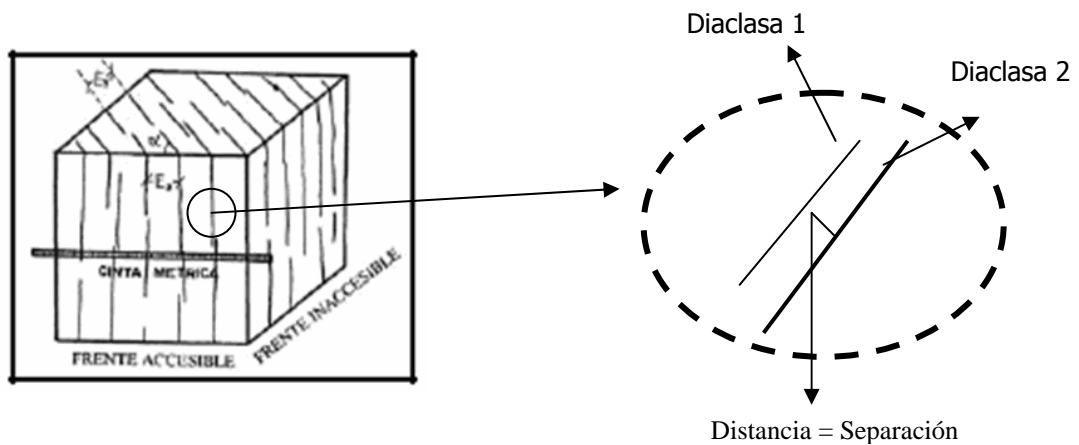


Figura 1. Diagrama explicativo de la separación de los bordes.

DESCRIPCIÓN	ESPACIAMIENTO	CONDICIÓN DE MACIZO
Muy separadas	> 2 m	Sólido
Separadas	0,6-2 m	Masivo
Med. separadas	0,2-0,6 m	Con bloques/estratos
Próximos	0,06-0,2 m	Fracturado
Muy próximos	> 0,06 m	Muy fracturado

TABLA 2. CLASIFICACIÓN PARA EL ESPACIAMIENTO DE LAS DIACLASAS.

5. CONDICIÓN DE LAS DIACLASAS.

Este es el parámetro más importante e incluye varios subparámetros:

- Rugosidad de los bordes
- Material de relleno (si existe)
- Separación entre los bordes
- Persistencia/Continuidad
- Grado de meteorización de los bordes

5.1. Rugosidad /Relleno

La escala de rugosidades del RMR es muy fácil de utilizar en el campo:

- Muy rugosa Hay arrugas y escalones verticales en los bordes.
- Rugosa Hay algunas arrugas y asperezas y los bordes se sienten ásperos al tacto.
- Suave No hay asperezas. Los bordes se sienten suaves.
- Con espejos de falla Hay señales de pulido de los bordes.

La consecuencia más importante de la rugosidad de una diaclasa es la capacidad de exhibir comportamientos dilatantes cuando una diaclasa cerrada y acoplada es sujeta a esfuerzos cortantes en su plano.

La naturaleza de los rellenos gobierna, por el contrario, el comportamiento frente a esfuerzos cortantes de diaclasas abiertas, no acopladas. Por lo tanto es un parámetro asociado a la rugosidad

A efectos prácticos es necesario distinguir entre:

- Diaclasa sin relleno.
- Diaclasa con relleno (calcita, arena, etc).
- Diaclasa con relleno blando (arcilla, mica, miloníta arcillosa).

5.2. Separación.

La separación es la distancia entre ambos bordes de una junta. Aunque la medición real es muy difícil, la clasificación RMR utiliza una escala muy simplificada:

- Cerradas: Menos de C , 1 mm (que es la distancia mínima que puede apreciar el ojo humano).
- Algo abiertas: De 0,1 a 1 mm. Los bordes se ponen en contacto con un pequeño desplazamiento de corte.
- Abiertas: De 1 a 5 mm. Los bordes se ponen en contacto después de un desplazamiento apreciable de corte.
- Muy abiertas : Más de 5 mm. Los bordes se ponen en contacto sólo después de un gran desplazamiento de corte.

5.3. Persistencia / Continuidad

La ISRM clasifica las diaclasas en:

- Persistentes: Continuas.
- Subpersistentes: No continuas. Varias juntas pueden unirse para formar una superficie de rotura.
- No persistentes: No continuas.

En la clasificación RMR se usan sólo las dos clases extremas. Las diaclasas subpersistentes se transforman en continuas en cuanto se inicia la rotura.

5.4. Grado de meteorización

La tabla 3 resume las recomendaciones usuales para la determinación del grado de meteorización de los bordes de una diaclasa.

GRADO	DENOMINACIÓN	ROCA DESCOMPUESTA (%)	DESCRIPCIÓN
Ia	Fresca	-	Sin signos de meteorización
Ib	Fresca	-	Ligera decoloración
II	Algo mat.	< 10	Decoloración general
III	Bastante met	10-50	Zonas de roca descompuesta aisladas
IV	Muy met.	50-90	Descomposición general de la roca
V	Completamente met	> 90	Toda la roca está descompuesta. Persiste la estructura original
VI	Suelo residual	100	Toda la roca está convertida en suelo. No hay estructura.

TABLA 3. GRADO DE METEORIZACION EN BORDES DE DIACLASAS (ISRM, 1977)

La clasificación RMR sólo menciona los grados I, II y IV. El grado V (completamente meteorizado) es equivalente al grado IV porque en ambos casos la resistencia al corté es muy baja. El grado III es un caso intermedio (que aparece con menos frecuencia).

RUGOSIDAD/RELLENO		VALORACIÓN PARCIAL
Muy rugosa		10
Rugosa		9
Algo rugóse		8
Suave		6
Lisa con relleno		5
Con relleno blando		0
SEPARACIÓN	SEPARACIÓN	VALORACIÓN PARCIAL
Cerrada	(<0,1 mm)	9
Algo abierta	(0,1-1 mm)	7
Abierta	(1-5 mm)	5
Muy abierta	(> 5 mm)	0
PERSISTENCIA		VALORACIÓN PARCIAL
No persistente. No continua		5
Subpersistente		3
Persistente. Continua		0
METEORIZACION	GRADO	VALORACIÓN PARCIAL
Fresca	(I)	6
Algo meteorizada	(II)	5
Bastante meteorizada	(III)	3
Muy meteorizada	(IV)	0
Completamente meteorizada	(V)	0

TABLA 4. VALORACIÓN PARAMÉTRICA PARCIAL DE LAS CONDICIONES DE UNA DIACLASA (ROMANA, 1992)

6. FLUJO DE AGUA EN LAS JUNTAS.

La clasificación original RMR valora el agua también con otros parámetros (flujo en un tunel valor de la razón de presión intersticial). Para taludes puede usarse la clasificación descrita en la tabla 5, adaptada de otras de la ISRM.

DESCRIPCIÓN	JUNTAS SIN RELLENO		JUNTAS CON RELLENO	
	JUNTA	FLUJO	RELLENO	FLUJO
Seca	Seca	No	Seco	No
Ligeramente húmeda	Manchada	No	Húmedo	No
Húmeda	Húmeda	No Ocasional	Saturado	Alguna gota
Goteando	Mojada	Continuo	Semilavado	Goteo
Fluyendo	Mojada		Lavado	Continuo

TABLA 5. FLUJO DE AGUA EN LAS JUNTAS (ROMANA, 1992)

APENDICE "H"

Formato Simplificado y generalizado para la toma de datos en la caracterización de Taludes, DOMÍNGUEZ (2005).

<i>Formato para la Caracterización de Taludes</i>					
Nº de Talud	Punto de ubicación según progresiva	Ancho Talud (m)	Orientación del Talud		
			Rumbo	Buza.	Azimut
Formación					
Litología					
Observaciones					
<i>Descripción de Los Planos de Diaclasas</i>					
Nº	Orientación			Rugosidad Aparente	Frecuencia (espaciamiento)
	Rumbo	Buza.	Azimut		
<i>Estado o Condición de Los Planos de Diaclasas</i>					
Rugosidad					
Relleno					
Separación					
Persistencia					
Meteorización					
Flujo de Agua					