

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



**TESIS**

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE LA REVISIÓN  
CINEMÁTICA DEL MACIZO ROCOSO EN LA ZONA PONIENTE DE  
MONTERREY (CERRO DE LA LOMA LARGA Y MITRAS),  
NUEVO LEÓN, MÉXICO”**

**PRESENTA**

**ROSBELL IVÁN CHAPA ARCE**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

**OCTUBRE, 2016**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



La tesis

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE LA REVISIÓN  
CINEMÁTICA DEL MACIZO ROCOSO EN LA ZONA PONIENTE DE  
MONTERREY (CERRO DE LA LOMA LARGA Y MITRAS),  
NUEVO LEÓN, MÉXICO”**

Elaborada por

**ROSBELL IVÁN CHAPA ARCE**

Ha sido aceptada como requisito parcial para optar por el título de  
**MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

**Vo. Bo. DEL DIRECTOR DE TESIS**

---

**DR. FRANCISCO MEDINA BARRERA**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



La tesis

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE LA REVISIÓN  
CINEMÁTICA DEL MACIZO ROCOSO EN LA ZONA PONIENTE DE  
MONTERREY (CERRO DE LA LOMA LARGA Y MITRAS),  
NUEVO LEÓN, MÉXICO”**

Elaborada por

**ROSBELL IVÁN CHAPA ARCE**

Ha sido aceptada como requisito parcial para optar por el título de  
**Maestro en Ciencias Geológicas**

Vo. Bo. DEL COMITÉ DE REVISIÓN DE TESIS

---

**DR. FRANCISCO MEDINA BARRERA**

---

**DR. JOSÉ ROSBEL CHAPA GUERRERO**

---

**M.C. EFRAÍN ALVA NIÑO**

Vo. Bo. SUBDIRECTOR DE POSGRADO

---

**DR. CARLOS GILBERTO AGUILAR MADERA**

Agradezco infinitamente a Dios que me permite vivir con plena salud física y mental para poder desarrollar mis metas y objetivos día tras día iluminando los momentos de debilidad y difíciles, que no son más que pruebas para fortalecer mi espíritu. Agradezco a mi familia que me alienta a superarme en todos los aspectos de mi vida y que no me deja desvanecer.

A mi esposa por no dejarme caminar solo, por siempre hacerse notar que está presente, gracias por tu motivación y dedicación, por pensar en los dos en todo momento, gracias por la familia que formamos.

*“A mi hijo Rosbel Ivan, quien es mi motor y fortaleza eres la persona que me motiva a no dejarme vencer, contigo en nuestras vidas todo es más alegre y dinámico, amo enormemente el poder vivir mi vida a tu lado y amo aún más que seas tú precisamente. Te dedico este proyecto en mi vida para que siempre sueñes que puedes lograr ser más, anhelo convertirme en tu modelo a seguir y espero que su momento podamos leer esto juntos y entiendas que la vida está llena de dificultades pero que gracias a tener una familia unida y a la fortaleza personal podemos lograr cualquier obstáculo, Gracias por exigirme a seguir adelante a ti hijo con tu simple sonrisa. Te dedico este esfuerzo y te amo”.*

También dedico este trabajo a mis padres, quienes siempre caminan a mi lado, a mi hermano, que siempre se ha preocupado por mí y está ahí cuando lo necesito. A mis suegros, mi segunda familia, a mis amigos y familiares que siempre estuvieron a mi lado apoyándome, quienes algún día me vieron tropezar y caer, y ahora me ven creciendo profesionalmente.

Con mucho cariño les agradezco por siempre estar en los momentos más alegres, así como en los más difíciles de mi vida.

*Mi hijo: Rosbel Ivan Chapa Garza*

*Mi esposa: Gabriela Garza Gallardo*

*Mi padre: José Rosbel Chapa Guerrero*

*Mi madre: Rosa María Arce López*

*Mi hermano: Christian Chapa Arce*

*Suegros: Juan de Dios Garza y Yolanda Gallardo,*

*Así como a mi cuñado Juan de Dios Garza.*

## AGRADECMIENTOS

---

Agradezco a mi alma mater la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y en especial la Facultad de Ciencias de la Tierra por permitirme llevar a cabo nuestra formación profesional.

Al Dr. Francisco Medina Barrera, director del presente trabajo por ser un apoyo en todo momento, por ser un gran amigo el cual también estuvo en todo mi camino universitario, un gran ser humano el cual con su forma de ser me enseñó los valores más importantes para afrontar los momentos más adversos de mi vida “Gracias”.

Al Dr. José Rosbel Chapa Guerrero a quien aprecio de todo corazón ya que no solo fue un profesor sino un padre y un amigo para mí, me escuchó cuando hubo problemas y destacó mis virtudes, no solo en esta etapa de mi vida sino, en todo mi recorrido por la facultad por eso nunca terminare de darle las suficientes, “Gracias”.

Al MC. Efraín Alva Niño por ser un gran profesor y gran amigo, el cual me enseñó a ver la geología desde un punto más ingenieril y las aportaciones dadas al presente trabajo.

Al Dr. Fernando Velasco, quien fungió como Subdirector de Posgrado durante mi proceso de clases, maestro y amigo, el cual siempre tiene las frases y palabras indicadas para dar aliento y poder seguir adelante, gracias por su apoyo en todo momento.

Al M.C. Federico Viera, indiscutible maestro y amigo, quien gracias a él pude realizar los trabajos de laboratorio pertinentes para la elaboración de la presente tesis, gracias por sus consejos y su gran aportación para este proyecto.

A todos los profesores de la facultad que influyeron en mi formación profesional: Dr. Guadalupe López Oliva, Lic. Roberto Soto, M.C. Ángel García Peña, M.C. Tomas Cossio, Dr. Juan Alonso Ramírez, Dr. Cosme Pola Simuta, M.C. Emma Gema García, M.C. Adalberto Treviño, Dra. Elizabeth Chacón, Teacher Manuelita González, M.T. Jorge Alberto Briones, Dr. Juan Carlos Montalvo y el Dr. Ignacio Navarro.

A todos mis compañeros de generación, con quienes compartimos tantas horas en el salón de clases.

**ÍNDICE**

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	I
ÍNDICE DE TABLAS .....	IV
RESUMEN .....	VI
ABSTRACT .....	VIII
CAPITULO I .....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 INTRODUCCION .....	1
1.2 PROBLEMÁTICA .....	2
1.3 LOCALIZACIÓN.....	4
1.4 ANTECEDENTES .....	5
1.5 TRABAJOS PREVIOS .....	6
1.6 HIPÓTESIS Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	8
1.6.1 HIPÓTESIS .....	8
1.6.2 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO .....	9
1.7 OBJETIVOS .....	9
1.8 METAS .....	10
1.9 METODOLOGÍA.....	10
1.10 CLIMA Y VEGETACIÓN .....	11
CAPITULO II .....	14
GEOLOGÍA .....	14
2.1 INTRODUCCIÓN .....	14
2.2 GEOLOGÍA REGIONAL.....	15
2.2.1 GEOLOGÍA LOCAL .....	16
2.2.1.1 CRETÁCICO INFERIOR .....	19
2.2.1.1.1 FORMACIÓN CUESTA DEL CURA (ALBIANO SUPERIOR – CENOMANIANO INFERIOR)	19
.....	19
2.2.1.2 CRETÁCICO SUPERIOR .....	20

2.2.1.2.1 FORMACIÓN AGUA NUEVA (CENOMANIANO SUPERIOR – TURONIANO) .....	20
2.2.1.2.2 FORMACIÓN SAN FELIPE (CONIACIANO – SANTONIANO) .....	23
2.2.3 HETEROGENEIDAD DEL ÁREA.....	26
CAPITULO III .....	27
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	27
3.1 INTRODUCCIÓN .....	27
3.2 DESCRIPCIÓN DE LA GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL ÁREA EN ESTUDIO .....	28
3.2.1 Formación Cuesta del Cura en la zona del Cerro de las Mitras.....	30
3.2.2 Formación Agua Nueva en la zona del Cerro de las Mitras .....	32
3.2.3 Formación Agua Nueva en la zona del Cerro de Loma Larga.....	32
3.2.4 Formación San Felipe en la zona del Cerro de las Mitras .....	33
3.2.5 Formación San Felipe en la zona del Cerro de Loma Larga.....	34
CAPITULO IV .....	37
ANÁLISIS CINEMÁTICO .....	37
4.1 INTRODUCCIÓN .....	37
4.2 CIRCULO DE FRICCIÓN.....	38
4.3 TIPOS DE MECANISMOS DE INESTABILIDAD .....	39
4.4 TIPOS DE MECANISMOS DE FALLA EN TALUDES Y SU ANÁLISIS CINEMÁTICO .....	40
4.4.1 DESLIZAMIENTO PLANAR .....	40
4.4.2 FALLAMIENTO EN CUÑA O TRIDIMENSIONAL.....	43
4.4.3 VUELCO (TOPPLING).....	45
4.4.4 ROTURA POR PANDEO O COLAPSO DE RODILLA.....	48
4.5 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE LOS TALUDES EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....	48
4.5.2 TALUD # 2 .....	51
4.5.3 TALUD # 3 .....	54
4.5.4 TALUD # 4 .....	60
4.5.5 TALUD # 5 .....	62
4.5.6 TALUD # 6 .....	65
4.5.7 TALUD # 7 .....	68
CAPITULO V .....	72
CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA .....	72
5.1 INTRODUCCION .....	72

---

5.2 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA .....	73
5.2.1 CLASIFICACIÓN RMR (ROCK MASS RATING).....	73
5.2.2 CLASIFICACIÓN SMR (SLOPE MASS RATING).....	78
5.3 VALORACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	83
5.3.1 VALORACIÓN GEOMECÁNICA DE LA FORMACIÓN SAN FELIPE TALUD # 1 .....	83
5.3.2 VALORACIÓN GEOMECÁNICA DE LA FORMACIÓN AGUA NUEVA TALUD # 3.....	84
5.3.3 VALORACIÓN GEOMECÁNICA DE LA FORMACIÓN CUESTA DEL CURA TALUDES 6 Y 7.....	85
5.4 Peso específico .....	86
CAPITULO VI .....	90
ESTABILIDAD DE TALUDES.....	90
6.1 INTRODUCCIÓN .....	90
6.2 TIPOS DE MECANISMOS .....	91
6.2.1 Mecanismo planar.....	91
6.2.2 Mecanismo de cuña .....	92
6.2.3 Mecanismo de vuelco. ....	94
6.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	97
6.3.1 TALUD #1 San Felipe.....	97
6.3.2 Talud # 2 Agua Nueva.....	102
6.3.3 Talud # 3 Agua Nueva.....	108
6.3.4 Talud # 4 Agua Nueva.....	116
6.3.5 Talud # 5 San Felipe.....	121
6.3.6 Talud # 6 Cuesta del Cura.....	126
CAPITULO VII .....	135
DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	135
CAPÍTULO VIII .....	144
BIBLIOGRAFÍA.....	144

## LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Distribución de las zonas expuestas a riesgos geológicos en el Área Metropolitana de Monterrey (Vista Satelital, Google Earth 2016). .....	2
Figura 2. Localización del área de estudio (Vista Satelital, Google Earth 2015). .....	5
Figura 3. Diagrama mensual de las precipitaciones correspondiente a la Cd. de Monterrey (tomado de la estación meteorológica de Monterrey; INEGI, 2015). .....	12
Figura 4. Columna Estratigráfica de la Sierra Madre Oriental, mostrando la secuencia de rocas Mesozoicas sobre yaciendo de manera discordante sobre el basamento metamórfico del Paleozoico (modificado de MICHALZIK, 1988). .....	18
Figura 5. Calizas intercaladas por material arcilloso y bandas de pedernal (boudinage) de la Formación Cuesta del Cura. ....	20
Figura 6. Calizas oscuras y lutitas negras de la Formación Agua Nueva en el Cerro de las Mitras. ....	22
Figura 7. Calizas intercaladas por lutitas de la Formación Agua Nueva (zona inferior de la imagen). ..	23
Figura 8. Material arcilloso de la Formación San Felipe en el Cerro de las Mitras. ....	25
Figura 9. Margas intercaladas de lutitas de la Formación San Felipe en el Cerro de Loma larga. ....	26
Figura 10. Anticlinal del Cerro de las Mitras con sus bifurcaciones: el anticlinal de Vista Hermosa al Norte, el anticlinal del Obispado al Sur y el anticlinal de la Loma Larga (Google Earth, 2015) .....	28
Figura 11. Proyección estereográfica de la Formación Cuesta del Cura para el flanco Noreste con una orientación de estratificación de $SS=33^{\circ}/29^{\circ}$ .....	31
Figura 12. Proyección estereográfica de la Formación Cuesta del Cura para el flanco Suroeste con una orientación de estratificación de $SS=84^{\circ}/39^{\circ}$ .....	31
Figura 13. Proyección estereográfica de la Formación Agua Nueva para el Cerro de las Mitras con una orientación de estratificación de $SS=335^{\circ}/63^{\circ}$ .....	32
Figura 14. Proyección estereográfica de la Formación Agua Nueva para el Cerro de Loma Larga con una orientación de estratificación de $SS=329^{\circ}/87^{\circ}$ .....	33

## LISTA DE FIGURAS

Figura 15. Proyección estereográfica de la Formación San Felipe para el Cerro de las Mitras con una orientación de estratificación de $SS=335^{\circ}/72^{\circ}$ .....	34
Figura 16. Proyección estereográfica de la Formación San Felipe para el Cerro de Loma Larga con una orientación de estratificación de $SS=121^{\circ}/31^{\circ}$ para el flanco Sur.....	35
Figura 17. Proyección estereográfica de la Formación San Felipe para el Cerro de Loma Larga con una orientación de estratificación de $SS=292^{\circ}/21^{\circ}$ para el flanco Norte.....	35
Figura 18. Representación estereográfica del cono de fricción. El ángulo de fricción delimitado por la proyección del cono en el hemisferio. El punto 1 se encuentra dentro del círculo de fricción lo cual indica que se encontrara cinemáticamente estable guardando una inclinación menor a $\phi$ ; el punto 2 siendo más inclinado, su proyección en el hemisferio se encuentra fuera del círculo lo cual crearía condiciones de inestabilidad (modificado de ARMAS-ZAGOYA, 2004).....	39
Figura 19. Estabilidad de zonas a partir del análisis cinemático. ....	40
Figura 20. Rotura planar y representación estereográfica de este tipo de movimiento (HOEK & BRAY, 1977). ....	41
Figura 21. Análisis Cinemático para el Mecanismo de Falla tipo Planar. (HOEK & .....	42
Figura 22. Mecanismo de rotura en cuña y la representación estereográfica de este tipo de movimientos (HOEK & BRAY, 1977). ....	43
Figura 23. Análisis Cinemático para el Mecanismo de Falla en Cuña. (HOEK & .....	45
Figura 24. Vuelco de estratos, se muestra la representación estereográfica del movimiento (HOEK & BRAY, 1977). ....	46
Figura 25. Análisis Cinemático para el Mecanismo de Falla tipo Vuelco (HOEK & .....	47
Figura 26. Rotura por pandeo o colapso de rodilla, se muestra la representación estereográfica del movimiento (HOEK & BRAY, 1977). ....	48
Figura 27. Talud # 1, en esta imagen se aprecian los estratos medianos de Margas con intercalaciones de material arcilloso altamente intemperizado. ....	49
Figura 28. Análisis Cinemático.....	51
Figura 29. Talud # 2, en esta imagen se aprecian la estratificación de caliza de estratos medianos a gruesos con intercalaciones de material arcilloso, a su vez se observa que sobre el talud se encuentra desplantado un edificio multifamiliar. ....	52
Figura 30. Análisis Cinemático.....	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura 31. Talud # 3, en esta imagen podemos observar la estratificación de calizas, los cuales van de delgados a mediano. ....	55
Figura 32. Análisis Cinemático.....	59
Figura 33. Talud # 4, Se observan los estratos delgados e calizas sumamente verticales.....	60
Figura 34. Análisis Cinemático.....	62
Figura 35. Talud # 5, Se puede observar el material arcilloso en su parte superior cubierta por vegetación y en el talud descubierto por el desgajamiento del mismo. ....	63
Figura 36. Análisis Cinemático.....	65
Figura 37. Talud # 6, en esta imagen se observa un talud construido para un tramo carretero en una curva.....	66
Figura 38. Análisis Cinemático.....	68
Figura 39. Talud # 7, en esta imagen se observa en la parte SW un talud ya fallado por un mecanismo de tipo planar. ....	69
Figura 40. Análisis Cinemático.....	71
Figura 41. En esta imagen observamos la litología del talud y su fractura miento. ....	84
Figura 42. Se observa el espaciamiento entre estratos creado por tención de gravedad, debido a su verticalidad.....	85
Figura 43. Se observa la presencia de pedernal característico para esta formación.....	86
Figura 44. Partes de una cuña. ....	92
Figura 45. Esquema que muestra como son obtenidos los ángulos de las intersecciones de planos (Hoek & Bray, 1981). ....	94
Figura 46. Modelo general para un mecanismo de vuelco. ....	95
Figura 47. Zonas de estabilidad e inestabilidad de los bloques. Modificada de Hoek & Bray (1977). ..	96

**ÍNDICE DE TABLAS**

	Página
Tabla 1. Clasificación Geomecánica RMR de Bieniawski (1989) .....	76
Tabla 2. Factor de ajuste para las discontinuidades para la Clasificación SMR (Romana, 1995).....	81
Tabla 3. Factor de ajuste según el método de excavación del talud para la Clasificación SMR (Romana, 1985). .....	82
Tabla 4. Clases de estabilidad de acuerdo al SMR (Romana, 1995).....	83
Tabla 5. Valores típicos del peso específico.....	87
Tabla 6. Datos obtenidos en laboratorio y resultados de los pesos específicos por muestra y Formación. ....	89
Tabla 7. Datos del Talud # 1 .....	98
Tabla 8. Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2400 kg/m <sup>3</sup> . ....	99
Tabla 9. Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2480 kg/m <sup>3</sup> . ....	101
Tabla 10. Datos del Talud # 2. ....	104
Tabla 11. Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2400 kg/m <sup>3</sup> . ....	105
Tabla 12. Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2690 kg/m <sup>3</sup> . ....	107
Tabla 13. Datos del Talud # 3. ....	110
Tabla 14. Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2400 kg/m <sup>3</sup> . ....	111
Tabla 15. Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2690 kg/m <sup>3</sup> . ....	112
Tabla 16. Datos del Talud # 4. ....	117
Tabla 17. Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2400 kg/m <sup>3</sup> . ....	118
Tabla 18. Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2690 kg/m <sup>3</sup> . ....	119
Tabla 19. Datos del Talud # 5. ....	122

---

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 20. Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2400 kg/m <sup>3</sup> . .....	123
Tabla 21. Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2480 kg/m <sup>3</sup> . .....	125
Tabla 22. Datos del Talud # 6. ....	128
Tabla 23. Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2400 kg/m <sup>3</sup> . .....	129
Tabla 24. Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2480 kg/m <sup>3</sup> . .....	130
Tabla 25. Datos del Talud # 7. ....	132
Tabla 26. Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2400 kg/m <sup>3</sup> . .....	133
Tabla 27. Resultados geomecánicos de campo, obtenidos para los diferentes taludes analizados....	137
Tabla 28. Pesos específicos por formación. ....	137
Tabla 29. Resultados de los Análisis Cinemáticos. ....	139
Tabla 30. Resultados del análisis de estabilidad de los diferentes taludes analizados en la presente tesis. ....	141

---

### RESUMEN

La estabilidad de taludes es un tema que se ha abordado desde principios del siglo pasado hasta nuestros días (Terzaghi, Coulomb, Fellenius, HOEK E., & BRAY, J. W., etc.), mas sin embargo los parámetros o coeficientes que se deben de tomar en cuenta en las fórmulas para su análisis varían de región en región y más precisamente de las condiciones del sitio.

En el presente trabajo se escogió el área metropolitana de Monterrey como zona de estudio, por ser la tercera zona conurbada más grande de México (más de 4 millones de habitantes), además de localizarse entre montañas, en el frente de la curvatura de Monterrey, en donde la construcción de vivienda e infraestructura vial se desarrolla desde los 550 msnm hasta los 1350 msnm para alcanzar estas montañas.

Para este trabajo se analizaron 7 taludes, los cuales se encuentran en los Cerros de las Mitras y Loma Larga, que presentan una estructura anticlinal, siendo el Cerro de Loma larga una bifurcación del anticlinal del Cerro de las Mitras.

Se obtuvieron los parámetros de los macizos rocosos por los métodos RMR, RQD y SMR para la determinación de la calidad del macizo rocoso en donde se obtuvieron datos de mediana calidad a buena calidad, a la vez se obtuvieron muestreos de los diferentes taludes para la obtención de su peso específico el cual se determinó en laboratorio para su comparación con los parámetros utilizados en trabajos anteriores, arrojándonos datos concisos de peso específico de cada talud para posteriores cálculos de este trabajo.

Durante los análisis cinemáticos de los diferentes taludes se visualizaron problemáticas diferentes a lo observado en campo, por lo que se tuvo que evaluar diferentes mecanismos de falla para cada talud hasta llegar a la correcta determinación de los mismos fallamientos.

Para los taludes localizados se obtuvieron en su mayoría Factores de Seguridad buenos, siendo que para algunos taludes en campo se observaba claramente un fallamiento ya

existente, particularmente en los taludes del Cerro de las Mitras específicamente en la Formación Aguan Nueva. Es por eso que una de las conclusiones más relevante que se obtuvo en el presente estudio es que las observaciones de campo son de suma importancia, ya que esta observación nos da la idea de las diferentes condiciones y parámetros a utilizar a la hora de realizar nuestros cálculos en gabinete.

Con estas condiciones y parámetros realizamos la importancia que tiene el análisis de observación en la realización de cada cálculo de estabilidad de taludes ya sea para una casa habitación o para construcción más grande, cuidando que dicho cálculo de estabilidad de taludes sea para el bien no solo de la edificación a realizar, sino también para las edificaciones contiguas, siempre para el bien social.

**ABSTRACT**

Slope stability is an issue that has been discussed since early last century to today (Terzaghi, Coulomb, Fellenius, HOEK E., & BRAY, JW, etc.), but yet the parameters or coefficients must taking into account the formulas for analysis vary from region to region and more precisely of the site conditions.

In the present work the metropolitan area of Monterrey as study area was chosen because it is the third largest conurbation of Mexico (more than 4 million inhabitants), besides being located between mountains, in front of the curvature of Monterrey, where housing construction and road infrastructure develops from 550 m to 1350 m to reach these mountains.

For this work seven slopes, which are located in the hills of Mitras and Loma Larga, which have an anticlinal structure, being the Cerro de Loma long a fork in the anticline of Cerro de las Mitras analyzed. Bc where discontinuities type, which are parallel to the axis of the anticline Mitras hill and long hill and ac perpendicular to the axis b are formed.

The parameters for rock masses were obtained by RMR, RQD and SMR methods for determining the quality of the rock mass where data medium quality were obtained good quality, while samples of different slopes were obtained for obtaining its specific gravity of which was determined in the laboratory for comparison with the parameters used in previous works, arrogating concise data specific weight of each slope for subsequent calculations of this work.

During the kinematic analysis of different slopes different problems to that observed in field visualized, so it had to evaluate different failure mechanisms for each slope to reach the correct determination of the same faulting.

For the slopes obtained mostly good security factors, being that to some banks in the field is clearly observed an existing faulting, particularly on the slopes of Cerro de las Mitras

specifically in the geological Formation Agua Nueva. That's why one of the most relevant conclusions obtained in this study is that field observations are very important, as this observation gives us an idea of the different conditions and parameters to use when making our calculations cabinet.

With these conditions and parameters we enhance the importance of the analysis of observation in performing each calculation of slope stability either for a home room or larger building, taking care that the calculation of slope stability is for the good not only of the building to be done, but also for adjacent buildings, provided for social good.

## CAPITULO I GENERALIDADES

### 1.1 INTRODUCCION

A causa de la explosión demográfica que se ha presentado en los últimos 20 años en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM), con una población de aproximadamente 4 Millones de habitantes (INEGI, 2010), se han realizado asentamientos urbanos en las siguientes regiones montañosas. (Chapa-Guerrero, 1993 y 1996; Figura 1):

1. Las laderas de la Sierra Madre Oriental,
2. El cañón del Huajuco,
3. El Cerro de Topo Chico,
4. Las laderas del Cerro de la Silla,
5. En las márgenes del Cerro el Mirador,
6. Las laderas del Cerro de la Loma Larga (Área de estudio) y
7. Las laderas del Cerro de las Mitras (Área de estudio).



**Figura 1.** Distribución de las zonas expuestas a riesgos geológicos en el Área Metropolitana de Monterrey (Vista Satelital, Google Earth 2016).

En dichos asentamientos se han realizado cortes de talud que alteran su estabilidad, sumándose a esto la carga estática que producen estos asentamientos, provocan un riesgo geológico potencial para la población que habita en estos puntos o se encuentra en áreas aledañas a esta.

### 1.2 PROBLEMÁTICA

La construcción en áreas montañosas puede detonar riesgos geológicos para sus habitantes entre los cuales podemos mencionar movimientos en masa o inestabilidad en laderas, ya que al modificar el ángulo de reposo natural de las estructuras geológicas (cortes) se pueden provocar diversos movimientos en masa. Es por eso, que existe la necesidad de realizar un análisis de ingeniería geológica para prever los tipos de riesgos geológicos que se

puedan presentar, así como la pérdida de la estabilidad de taludes (movimientos en masa) y garantizar la seguridad de sus habitantes e infraestructura.

En el Área Metropolitana de Monterrey (AMM) se encuentran muchos asentamientos humanos en áreas montañosas, esto es debido a la falta de espacio por el crecimiento poblacional, ya que esta área se encuentra en un valle intermontano.

Este tipo de construcciones, en ocasiones, no son realizados bajo una correcta supervisión geológica-geotécnica, provocando hasta la demolición de estas por no tener la precaución de realizar los estudios pertinentes.

En la mayoría de las construcciones realizadas en el área montañosa, se realizan cortes que al parecer se encuentran estables, pero estos son un riesgo ya que, en temporadas de lluvias, el agua afecta la estabilidad de dichos cortes, éste es el principal detonante de movimientos en masa en el AMM (Chapa Guerrero, 1993), dichos cortes son afectados ya que al momento de realizarlos no se efectúan los estudios pertinentes para garantizar su estabilidad, por lo cual su afectación mayor viene en temporada de lluvias ya que el agua satura el material rocoso o el suelo de los cortes disminuyendo la cohesión entre los granos del material rocoso o el suelo que provoca el desprendimiento entre ellos.

La Ingeniería Geológica incluye la estabilidad de taludes y estudio de riesgos geológicos (González de Vallejo, 2002), entre otros campos, además de estudios preventivos, de factibilidad y medidas de remediación.

Muchas de las problemáticas que se tienen en el AMM son por la falta de conocimiento de las ramas de la ingeniería geológica antes mencionadas.

La necesidad de estudiar geológicamente el terreno, como base de partida para los proyectos de grandes obras, es indiscutible en la actualidad y constituye una práctica obligatoria.

La estabilidad de taludes en roca es un uso ingenieril debido a las discontinuidades naturales de la roca, la experiencia es importante para la utilización apropiada de las diferentes teorías para la obtención de datos en la mecánica de rocas, mecánica de suelos, geología estructural e hidrogeología (Kliche Charles A. 1999).

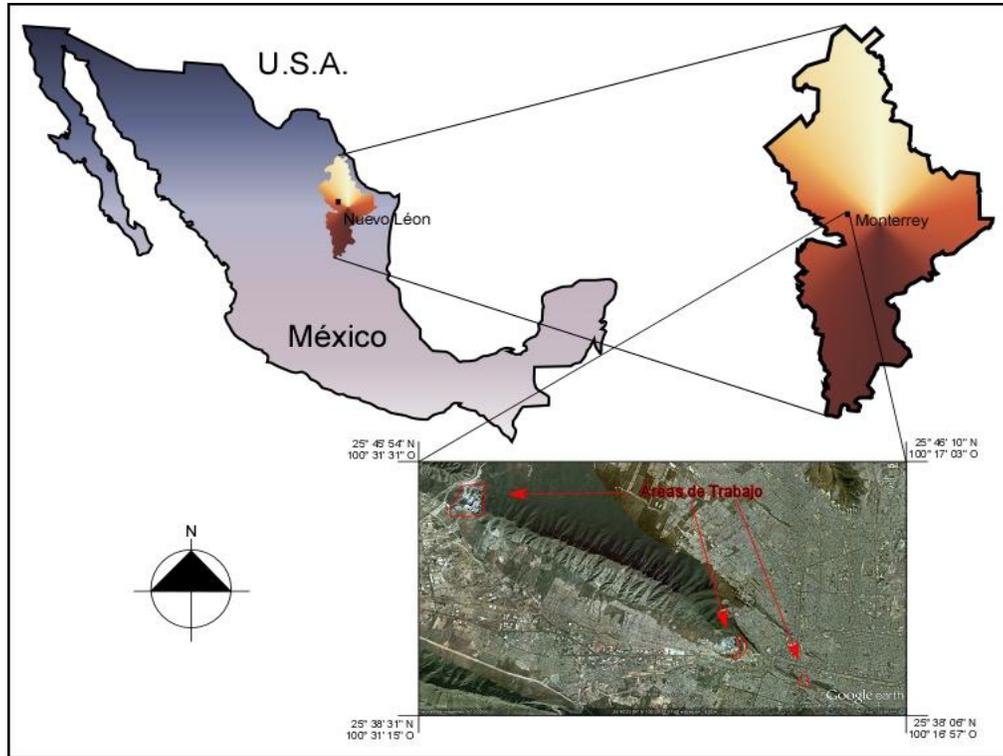
La utilización de los diferentes principios en la estabilidad de taludes es más complicada en macizos rocosos que en suelos (Brawner and Milligan, 1971). Lo anterior es debido a que:

- El material rocoso es heterogéneo y usualmente anisotrópico,
- Los parámetros de esfuerzos en relación al macizo rocoso son infinitamente variables y
- Las condiciones del campo son extremadamente difíciles y en ocasiones imposible de duplicar en el laboratorio.

### 1.3 LOCALIZACIÓN

El área de estudio se encuentra localizada en el área metropolitana de Monterrey, Nuevo, incluye las zonas conocidas como el Cerro de la Loma Larga, Sureste y Noroeste del Cerro de las Mitras (Figura 2).

El Cerro de las Mitras es una elevación montañosa localizada entre los municipios de Monterrey, Santa Catarina y García en el estado de Nuevo León, siendo las áreas de estudio los flancos del mismo, localizados hacia el Sureste la cual corresponde al municipio de San Pedro Garza García, siendo la zona de San Jerónimo y al Noroeste corresponde a el municipio de García.



**Figura 2.** Localización del área de estudio (Vista Satelital, Google Earth 2015).

#### 1.4 ANTECEDENTES

Este tipo de problemática no es algo nuevo en el AMM, desde hace varias décadas se han realizado estudios en esta área, ya que esta zona se encuentra en un valle intermontano y la mancha urbana tiende a crecer hacia el área montañosa. Los estudios se mencionan en el apartado de trabajos previos.

Es de suma importancia mencionar que el presente trabajo aporta el estudio de taludes nuevos así como muchos de los trabajos geólogo-ingenieriles su relevancia cabe en el estudio de puntos nuevos que ayudan a disminuir el riesgo ya sea geológico o constructivo hablando de la estabilidad de taludes. Así mismo al detectar una ladera inestable se realizó un análisis de estabilidad para el cual se detectaron los posibles mecanismos de falla y se utilizó el análisis correspondiente para cada caso.

### 1.5 TRABAJOS PREVIOS

Existen muchos trabajos que se han realizado dentro de la misma provincia geológica sobre este tema entre ellos podemos mencionar:

- CHAPA GUERRERO (1993) realizó un análisis de la situación geológica, tectónica y morfológica en el área Norte del anticlinal de los Muertos. Este trabajo tuvo como propósito determinar las causas de los movimientos en masa en el área de Chipinque, dentro del municipio de San Pedro Garza García. Como resultado se obtuvo la primera carta de Riesgos Geológicos del Área Metropolitana de Monterrey con medidas de prevención y remediación. Esta carta se utiliza como prototipo para todos los demás estudios referentes a riesgos geológicos de la región.
- CHAPA GUERRERO et al. (1994) realizó un estudio de los Riesgos Geológicos que se presentan en el estado de Nuevo León, clasificándolos en dos grupos; uno se refiere a los movimientos en masa producto de la pérdida de la estabilidad de taludes como ejemplo el AMM y el otro a las estructuras de colapso en el área de Galeana, Nuevo León.
- CHAPA GUERRERO et al. (1996) realizó un estudio de la estabilidad de un talud escarpado, ubicado en el área de Chipinque, a través de un método regresivo (back análisis) de JANBUS (1955), con la finalidad de obtener los diferentes parámetros de resistencia al corte de los macizos rocosos, de acuerdo a las estructuras geológicas presentes en esa localidad.
- SÁNCHEZ CARLÍN (2001) preparó una carta de Riesgos Geológicos para la porción Noreste del Cerro la Silla y clasificó esta región en cinco zonas con diferentes condiciones de riesgos, a su vez sugirió medidas de prevención y remediación para estas zonas.

- IBARRA MARTÍNEZ (2007) realizó una carta de Riesgos Geológicos en el área del cerro Mederos, clasificando diferentes zonas de riesgos y propuso para estas diferentes medidas de prevención.
- GARCIA QUINTERO (2008) realizó una carta de Riesgos Geológicos en el flanco Nornoreste del Cerro las Mitras. Aquí se obtuvieron 14 zonas de riesgo geológico e igualmente se propusieron para cada una de las zonas diferentes medidas de prevención.
- CHAPA ARCE, GARCÍA PUENTE, LEMUS ALARCÓN, GARZA VELA (2010) realizaron un estudio geólogo-estructural-geofísico para determinar movimientos en masa y riesgos geológicos en el Cañón el Huajuco (La Estanzuela), al sureste del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México.
- CHAPA GUERRERO et al. (2010) resaltan la importancia de los estudios geológicos, hidrológicos y morfológicos para la planeación urbana sobre riesgos geológicos en el Monumento Nacional del Cerro de la Silla.
- ADAME RIVERA (2013) realizó un estudio sobre el Urbanismo vulnerable a los procesos de remoción (movimientos) en masa en el municipio de San Pedro Garza García, Nuevo León.

También existen trabajos geológicos importantes a destacar en la cercanía del área de estudio. Los cuales se enumeran a continuación:

- LONGORIA Y DÁVILA (1979) realizaron estudios sobre la estratigrafía y microfacies de la Sierra de la Silla.
  - PADILLA Y SÁNCHEZ (1985) nombró en sus estudios geológicos en el Noreste de México la saliente Sur de la Sierra Madre Oriental como la Curvatura de Monterrey y también mencionan aspectos importantes sobre la geología de la Sierra la Silla y de la región en diferentes publicaciones.
-

- MEDINA BARRERA (1989) realizó un análisis para las condiciones de seguridad de los movimientos en masa y estimación de riesgos para la población de Rayones N.L.
- HERNÁNDEZ PADILLA (1994) realizó investigaciones geológicas e hidrológicas del Área Metropolitana de Monterrey.
- MEDINA BARRERA (1996) estudia movimientos en masa y análisis de estabilidad de taludes en la región de Rayones.
- ALVA NIÑO (1997) realizó, dentro de su tesis de maestría, un balance hidrogeológico en la región localizada entre el Cerro de las Mitras, Cerro El Durazno y el Cerro del Topo chico dentro del área Metropolitana de Monterrey.
- ARMAS ZAGOYA (2004) realizó un análisis de estabilidad de taludes de la carretera Rumbo Nuevo, Tamaulipas, México.
- CORDOVA JIMENÉZ (2007) elaboro una carta diagnostica de riegos geológicos por inestabilidad de laderas de la saliente SE del Cerro de las Mitras en Monterrey N.L.

### 1.6 HIPÓTESIS Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

#### 1.6.1 HIPÓTESIS

Entendiendo los procesos de deformación que afectan las secuencias sedimentarias del cretácico en el noreste de México. Conociendo la distribución geométrica de sus discontinuidades con el presente trabajo se pretende investigar los mecanismos de inestabilidad presentar en el macizo rocoso de acuerdo a la geometría de los taludes.

### 1.6.2 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

El Cerro de la Loma Larga y el Cerro de las Mitras presentan diferentes tipos de asentamientos humanos que han modificado el ángulo de reposo natural de sus taludes, al realizarse cortes para la construcción de diferentes tipos de construcciones civiles, todo esto se puede atribuir a la mala planificación de urbanización en esta zona, lo que representa un riesgo geológico para la población que habita en esta zona y la que habita en zonas aledañas a la misma.

### 1.7 OBJETIVOS

El objetivo principal es la realización de un análisis de estabilidad de taludes en el Cerro de Loma Larga y Cerro de las Mitras, de aproximadamente 10 km<sup>2</sup>. Para esto se deben de cumplir los siguientes objetivos particulares:

- a) Realizar una carta geológica a escala 1:10,000 de 5 km<sup>2</sup>, con perfiles a detalle destacando la situación geológica de las áreas en estudio,
- b) Evaluación de los problemas geotécnicos del área en estudio,
- c) Análisis de la estabilidad de los taludes, así como la determinación de las zonas homogéneas del área en estudio,
- d) Identificar cortes de talud,
- e) Realizar una caracterización geomecánica de tipo RMR del macizo rocoso,
- f) Realizar cálculos de estabilidad de taludes tipo de la zona de acuerdo a su posición estructural y

### 1.8 METAS

En base a las experiencias y conocimientos ganados en la ingeniería práctica, se observará la vinculación geológica, tectónica y geotécnica en relación a la estabilidad de los taludes escarpados, así como la vulnerabilidad de los asentamientos humanos en relación a los riesgos geológicos existentes en el Cerro de Loma Larga y Cerro de las Mitras en la Sierra Madre Oriental, ubicados en el área de Monterrey, México. Para alcanzar la meta principal se realizarán las siguientes metas particulares:

- a) Obtener una Carta Geológica a escala 1:10,000,
- b) Identificar cortes de talud inestables.
- c) Determinación de Análisis Cinemático de cada talud
- d) Obtención de las características geomecánicas de los diferentes macizos rocosos en la zona,
- e) Determinar el factor de seguridad de cada talud.

### 1.9 METODOLOGÍA

#### - Primera etapa

Se realizó una extensa recopilación bibliográfica con el fin de obtener las diferentes metodologías a seguir para la evaluación de la estabilidad de cada talud, por otra parte, durante esta etapa se realizó una investigación de las diferentes problemáticas preexistentes en el área de estudio.

#### - Segunda etapa

En esta etapa se realizó la cartografía geológica-ingenieril, para su realización se visitó el área de estudio y se identificaron las diferentes unidades geológicas existentes, por otra

parte, se identificaran los diferentes cortes de talud y si existe alguna problemática observable en esta zona.

Así mismo se obtuvieron muestras del material rocoso de las diferentes unidades geológicas para obtener una caracterización geomecánica de estas las cuales fueron cortadas para obtener el peso específico de cada formación.

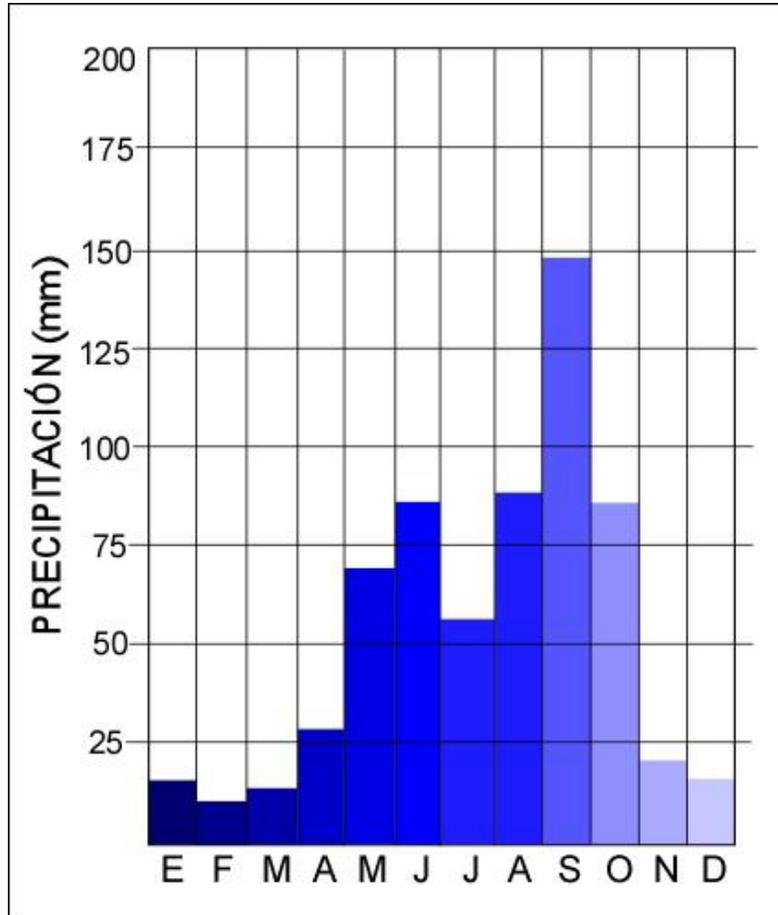
### **- Tercera etapa**

Al haber obtenido los datos de campo, se realizó el trabajo de gabinete el cual consiste en elaborar las diferentes cartas y realizar los cálculos correspondientes para determinar la orientación preferencial de cortes de talud, así como determinar si los taludes preexistentes son estables o inestables.

### **1.10 CLIMA Y VEGETACIÓN**

En la región norte del país, específicamente en Nuevo León, predominan los climas semisecos extremos. La precipitación pluvial es escasa, aunque en algunas regiones son registradas las lluvias anuales con valores de precipitación a los 800 mm, siendo la media anual entre los 300-600 mm, en la región (INEGI, 2015).

Tomando en cuenta que el Cerro de las Mitras se localiza dentro del área metropolitana de Monterrey se presenta la gráfica de la estación Monterrey (Figura 3). Según los datos de esta estación el clima corresponde al de semicálido subhúmedo, e intermedio en cuanto a humedad, presentando lluvias en verano (INEGI, 2015).



**Figura 3.** Diagrama mensual de las precipitaciones correspondiente a la Cd. de Monterrey (tomado de la estación meteorológica de Monterrey; INEGI, 2015).

En esta región la precipitación media anual oscila entre 300 y 600 mm. El valor mínimo de precipitación es menor a 20 mm y se presenta en los meses de Enero, Febrero, Marzo, Noviembre y Diciembre. Por otro lado, los meses de Agosto y Septiembre son los que presentan más precipitaciones siendo el mes con mayor precipitación en Septiembre con valores de 148 mm.

Es muy importante señalar que las precipitaciones juegan un papel muy importante para la realización de un análisis de estabilidad ya que el agua es el principal detonante de inestabilidad, debido a que reduce la cohesión entre los materiales rocosos y del suelo, así

mismo siendo el principal agente de meteorización de la zona afecta directamente nuestro análisis de estabilidad.

### CAPITULO II GEOLOGÍA

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

La geología es un factor condicionante dentro de la Geotecnia ya que con esta se contempla el marco geológico en donde se proyecta una edificación, por lo que es importante tener en cuenta los rasgos geológicos yendo de lo general a lo particular, esto con la finalidad de determinar superficies con condiciones iguales para el desplante de la edificación proyectada en una zona determinada.

Las superficies de iguales condiciones de ingeniería Geológica se documentan con base a valores petrográficos y físicos del suelo, así como consideraciones de la relación estratigráfica de las rocas, de la morfología, la hidrogeología, los procesos geodinámicos y todos los aspectos importantes para la construcción. Corresponde a las diferentes etapas de la construcción la elaboración de cartas con diferentes escalas, dependiendo de la precisión de la representación requerida en cada etapa del proyecto.

El Área Metropolitana de Monterrey en su urbanización hacia áreas montañosas, presenta zonas que son susceptibles a diferentes riesgos geológicos siendo el mayor riesgo los movimientos en masa o inestabilidad en ladera, es por esto que la geología constituye un aspecto importante al momento de proyectar una edificación, ya que al momento de realizar la proyección de la misma se tiende a modificar el ángulo de reposo natural de la estructura geológica y a colocar cargas estáticas y dinámicas sobre la roca o suelo según sea el caso.

En el análisis de Estabilidad de Taludes es importante establecer la relación que existe entre el contexto de la Geología Regional, la Geología Local y la dirección estructural de las discontinuidades del macizo rocoso, para con ello tener en cuenta las características de la roca en la cual se proyecta realizar el análisis.

### 2.2 GEOLOGÍA REGIONAL

La provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental (SMO) es un rasgo orográfico, formada por un macizo montañoso deformada, rugosa, alargada y curvada de aproximadamente 800 km de largo y entre 80 y 100 km de ancho. Se sitúa al nororiente de la República Mexicana entre las provincias; (a) Sierra Madre Occidental al NW, (b) Gran Llanura de Norte América al NE, (c) Llanura costera del Golfo Norte al E, (d) Altiplano al sur y poniente, (e) interrumpido por el Cinturón Volcánico Mexicano para continuar extendiéndose hasta el sureste en Tuxtepec, Oax. La SMO se yergue con cumbres que sobrepasan los 2,500 m sobre el nivel del mar, y se constituye, a la altura del área metropolitana de Monterrey (AMM), por un paquete sedimentario marino Jurásicas-Cretácicas (aprox. 3,000 metros de espesor), deformado durante el Cretácico Tardío-Paleógeno, dando lugar un cinturón de pliegues y cabalgaduras. Este paquete sedimentario deformado, por su origen y evolución, se compone por secuencias de calizas, lutitas, areniscas y yesos del Mesozoico, las cuales fueron depositadas en ambientes de plataforma, cuenca y talud (Meiburg et al., 1987; Padilla y Sánchez, 1978, 1982, 1985, y 1986; Michalzik, 1988; Goldhammer et al., 1991, Eguiluz et al., 2000). Es importante destacar que la Sierra Madre Oriental hace una flexión en Monterrey, precisamente en el área de estudio, conocida como curvatura de Monterrey (Padilla y Sánchez, 1985).

La deformación de la SMO se produjo por un cambio de ángulo en la subducción en el Pacífico al Occidente de la placa Norteamérica (Coney, 1976; Dickinson y Snyder, 1977; Dickinson et al., 1988) causando un levantamiento de la corteza y acortamiento del antepaís, deslizándose (*décollement*) el paquete sedimentario Mesozoico sobre las evaporitas del Jurásico, ocasionado una deformación en la cadena montañoso (pliegues y cabalgaduras) en el Noreste de México (Meiburg et al., 1987). Estos pliegues de gran longitud y cabalgaduras caracterizan al sector Saliente de Monterrey que posee un estilo de deformación *thin-*

*skinned* o de piel delgada más intenso que en otras zonas debido a la presencia de una columna mucho mayor de evaporitas (Eguiluz de Antuñano, 2000).

Para el área de estudio, Curvatura de Monterrey, Padilla y Sánchez (1982) interpreta que las fuerzas compresivas actuaron en dirección Noreste, en combinación con una zona de décollement (Formación Minas Viejas), provocaron un deslizamiento de los sedimentos y colisión contra áreas de basamento somero, que por su geometría y distribución, configuraron la estructura de la Sierra Madre Oriental en su parte Norte. Como resultado, se emplazaron estructuras diapíricas en muchos de los núcleos de los anticlinales dentro y en el antepaís de la Sierra Madre Oriental (Bally, 1981; Cooper et al., 1989 & Chapa Guerrero et al., 2010). Por lo tanto, los aspectos estructurales del frente de la S.M.O. en la zona de Monterrey, condiciona la estabilidad de los macizos rocosos, al cambiar su estado natural.

### 2.2.1 GEOLOGÍA LOCAL

La Sierra Madre Oriental está constituida por una gruesa secuencia sedimentaria, que contiene diferentes unidades litológicas del Mesozoico, que varían en edad del Triásico Tardío al Cretácico Tardío. Las rocas del Jurásico Superior corresponden a sedimentos evaporíticos y carbonatos de agua poco profundos, arcillas y depósitos clásticos, calizas de aguas someras y arcillas del Cretácico Inferior que en su unidad superior corresponden a lutitas y rocas clásticas.

Tanto el Cerro de las Mitras como el Cerro de Loma Larga se encuentran al Norte de la Curvatura de Monterrey, dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental (SMO).

Dentro del área de estudio del Cerro de las Mitras se encuentran rocas sedimentarias que corresponden a edades del Cretácico Medio a Superior, entre las cuales se puede mencionar las formaciones de: Cupido, La Peña, Aurora, Cuesta del Cura y Agua Nueva. Por otra parte en el Cerro de Loma Larga las rocas sedimentarias corresponden a edades del

Cretácico Superior. Aquí, las formaciones aflorantes son: Agua Nueva y San Felipe (Figura 4). Se caracteriza principalmente por ser un anticlinal apretado y simétrico, con un plano axial casi vertical y una longitud aproximada de 15 km. Esta sierra corresponde al grupo de pliegues apretados y simétricos que De Cserna (1956) ha denominado “Anticlinorio de Arteaga” (DE CSERNA, 1956)

A continuación, se presenta una descripción litológica de las diferentes Formaciones que afloran en el área de estudio (Figura 4).

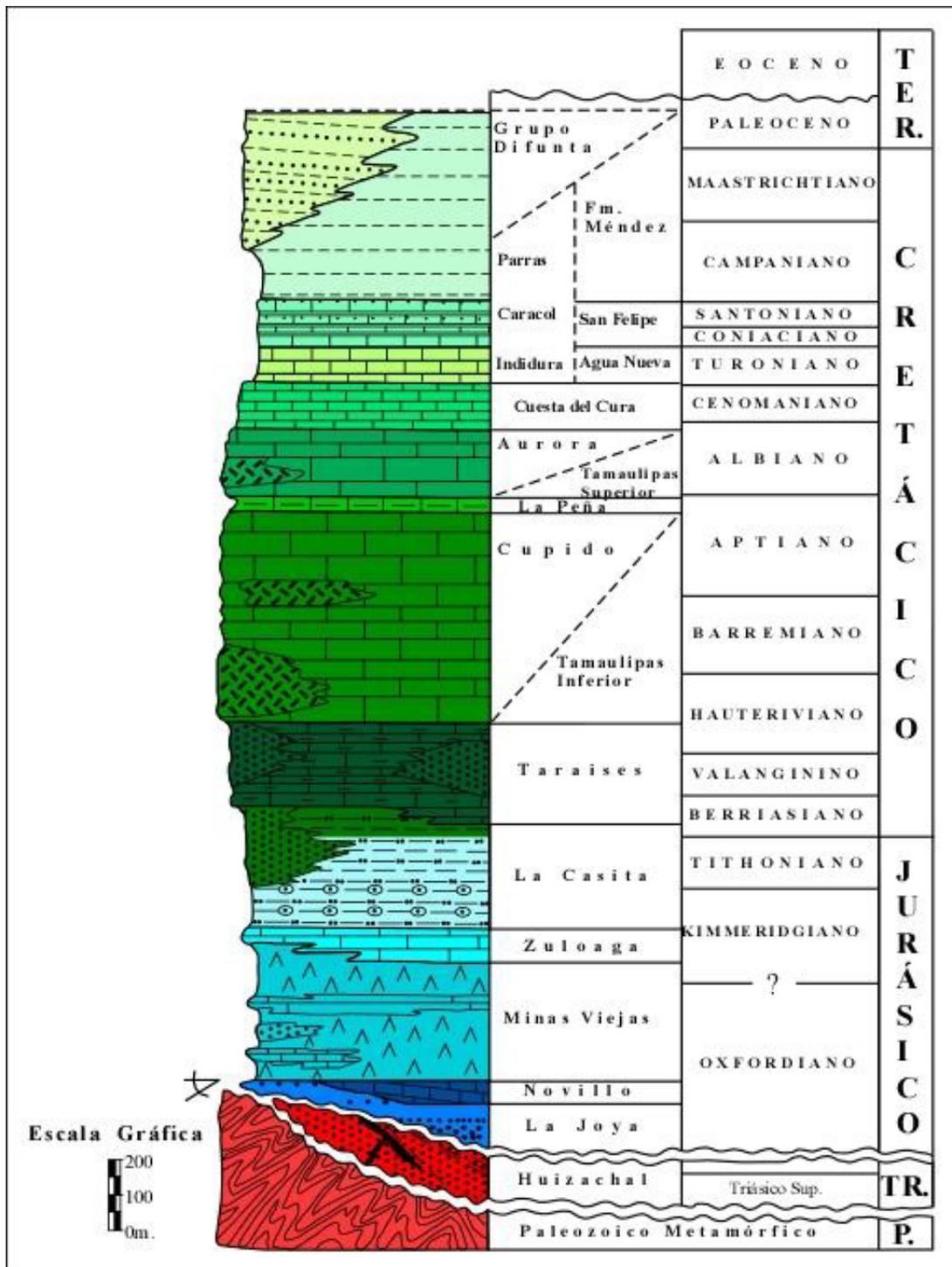


Figura 4. Columna Estratigráfica de la Sierra Madre Oriental, mostrando la secuencia de rocas Mesozoicas sobre yaciendo de manera discordante sobre el basamento metamórfico del Paleozoico (modificado de MICHALZIK, 1988).

### 2.2.1.1 CRETÁCICO INFERIOR

#### 2.2.1.1.1 FORMACIÓN CUESTA DEL CURA (ALBIANO SUPERIOR – CENOMANIANO INFERIOR)

La Formación Cuesta del Cura fue definida por IMLAY (1936). La localidad tipo de esta formación se encuentra en la parte Occidental de la Sierra de Parras, en Cuesta del Cura, a unos 6 km al Oeste de Parras, Coahuila. Esta formación se constituye por 80 m de calizas de estratificación delgada y ondulosa, acompañadas de lentes, capas y nódulos de pedernal oscuro.

La Formación Cuesta del Cura sobreyace a la Formación Aurora y subyace a la Formación Agua Nueva en forma concordante.

La edad asignada a esta Formación es Albiano Superior – Cenomaniano Inferior (STINNESBECK, 1992). PADILLA Y SÁNCHEZ (1982) le asigna una edad Albiano – Cenomaniano y menciona que su ambiente de depositación es de aguas profundas.

El espesor de esta formación varía dentro de la Sierra Madre Oriental desde los 65 m. hasta los 250 m. (PADILLA Y SÁNCHEZ, 1982). Dentro de la Curvatura de Monterrey se ha identificado a esta formación con características similares a las descritas por (IMLAY, 1936), con horizontes arcillosos que le permiten a esta unidad tener un comportamiento elástico hasta plástico al momento de la deformación, formando pliegues bastante apretados y algunas capas presentan boudinage (STINNESBECK, 1992).

En el área de estudio la Formación Cuesta del Cura se puede observar más ampliamente en un corte hecho al norte del Puente atirantado, en la parte sureste del Cerro de las Mitras y presenta estratos medianos de caliza con espesores entre 10 y 20 centímetros, así mismo las calizas se encuentran intercaladas entre rocas arcillosas y bandas de pedernal que oscilan en espesores entre 5 y 10 centímetros. La caliza presenta una coloración de gris claro en su zona expuesta y gris oscuro en muestra fresca. Los estratos arcillosos presentan una coloración marrón claro con un alto grado de intemperismo. El espesor de la Formación es de aproximadamente 70 metros (Figura 5).

---



**Figura 5.** Calizas intercaladas por material arcilloso y bandas de pedernal (boudinage) de la Formación Cuesta del Cura.

## 2.2.1.2 CRETÁCICO SUPERIOR

### 2.2.1.2.1 FORMACIÓN AGUA NUEVA (CENOMANIANO SUPERIOR – TURONIANO)

La Formación Agua Nueva está conformada por estratos calcáreos arcillosos expuestos en las faldas de las colinas Occidentales de la Sierra de Tamaulipas. MUIR (1936) aplicó formalmente esta nomenclatura en la localidad tipo, que se encuentra en el Cañón de la Borrega, ubicado en las colinas del Oeste de la Sierra de Tamaulipas, cerca de la Ranchería Agua Nueva. En esta localidad consiste de 127 m de lutitas negra interestratificadas con calcilutitas de color gris oscuro y negro que intemperiza en color gris claro, donde sobreyace a la Formación Cuesta del Cura (MUIR, 1936).

MUIR (1936) dividió a esta unidad en tres miembros: (1) Inferior, consiste de capas de caliza y algo de lutita delgada; (2) Medio, su contenido en su mayoría es arcilloso y contiene interestratificaciones delgadas de caliza, y (3) Superior, está constituido por intercalaciones

de caliza de color negro a gris con lutitas de color negro, las cuales contienen impresiones de *Inoceramus labiatus*.

PADILLA Y SÁNCHEZ (1982) mencionó que la Formación Agua Nueva en las proximidades de Monterrey, cambia de facie pasando de cuenca a facie de plataforma, reconociéndose en este caso como Formación Indidura. LOPEZ RAMOS (1982) sugirió que el nombre otorgado a esta formación no era correcto para esta región. MICHALZIK (1988) reporta un espesor promedio para la curvatura de Monterrey de 80 m LOPEZ RAMOS (1982), asigna una edad del Cenomaniano Superior al Turoniano a la Formación Agua Nueva.

La Formación Agua Nueva sobreyace concordantemente a la Formación Cuesta del Cura y subyace a la Formación San Felipe. Esta unidad se piensa que se depositó en ambientes de borde de plataforma y cuenca, bajo aguas neríticas – batiales en áreas de mar abierto.

En el área de estudio la Formación Agua Nueva la encontramos en el Cerro de las Mitras y en el Cerro de Loma Larga.

En el Cerro de las Mitras se presenta como el miembro superior de acuerdo a la clasificación tomada de MUIR (1936) para la Formación Agua Nueva en el cual se observan calizas de color negro a gris con lutitas de color negro, para esta zona la roca se encuentra altamente fracturada y los espesores de los estratos son medianos de 10 a 20 centímetros para la caliza y de 5 a 15 centímetros para la lutita. Tiene un espesor aproximado a los 60 metros (Figura 6).



**Figura 6.** Calizas oscuras y lutitas negras de la Formación Agua Nueva en el Cerro de las Mitras.

En el Cerro de Loma se observa el miembro inferior de acuerdo a la clasificación de MUIR (1936) para la Formación de Agua Nueva el cual presenta calizas intercaladas por lutitas delgadas. Las calizas presentan una coloración gris claro en su zona expuesta y en muestra fresca gris oscuro y las lutitas prestan una coloración marrón claro. Los espesores de las calizas van de medianos a gruesos de 30 a 60 centímetros, mientras que las lutitas presentan espesores medianos de 5 a 15 centímetros. Cabe mencionar que el grado de intemperismo presente en las lutitas es alto. El espesor correspondiente para esta Formación en esta zona es de 50 metros (Figura 7).



**Figura 7.** Calizas intercaladas por lutitas de la Formación Agua Nueva (zona inferior de la imagen).

#### **2.2.1.2.2 FORMACIÓN SAN FELIPE (CONIACIANO – SANTONIANO)**

La Formación San Felipe fue nombrada por JEFFREYS (1910) en las cercanías de Ciudad Valles San Luís Potosí y fue, posteriormente, descrita por MUIR (1936), nombrando así a una secuencia incompleta de calizas y lutitas. Sin embargo, SEIBERTZ (1988) propuso una localidad neotipo en la Sierra la Colmena en la parte Oeste de Ciudad Valles, San Luís Potosí. La Formación San Felipe sobreyace a la Formación Agua Nueva y subyace a la Formación Méndez.

PADILLA Y SÁNCHEZ (1982) le asigna una edad del Coniaciano Superior al Santoniano; LÓPEZ RAMOS (1982) le asigna una edad del Coniaciano – Santoniano con espesores que van

en el Noreste de México desde 100 hasta 1,370 m LÓPEZ RAMOS (1982) describió la Formación San Felipe como un ambiente de cuenca.

La Formación San Felipe se encuentra en el área de estudio tanto en el Cerro de las Mitras como en el Cerro de Loma Larga.

En el Cerro de las Mitras la Formación San Felipe presenta rocas arcillosas las cuales predominan con algunos estratos de Margas, los espesores de las lutitas son delgados de 3 a 6 centímetros mientras que en las Margas se observa un espesor mediano de 10 a 15 centímetros, la coloración preste en las lutitas es de marrón claro y las margas presentan una coloración marrón oscuro. El espesor neto de la Formación es de aproximadamente de 260 metros (Figura 8).



**Figura 8.** Material arcilloso de la Formación San Felipe en el Cerro de las Mitras.

En el Cerro de Loma Larga la Formación San Felipe presenta margas intercaladas de lutitas, las margas presentan una coloración marrón claro a verdoso, mientras que en las lutitas se observa una coloración marrón clara solamente. Los espesores de las margas son medianas de 10 a 20 centímetros y las lutitas presentan un espesor de 5 a 10 centímetros. Cabe mencionar que las lutitas presentan un alto grado de intemperismo. El espesor neto para esta Formación es de aproximadamente 200 metros (Figura 9).



**Figura 9.** Margas intercaladas de lutitas de la Formación San Felipe en el Cerro de Loma larga.

### 2.2.3 HETEROGENEIDAD DEL ÁREA

Debido a la Heterogeneidad geológica en donde se realizó el presente estudio, siendo que las Formaciones Geológicas se engloban en una misma zona homogénea, la cual se denomina Zona Homogénea Arcillosa-Calcárea, debido a que las formaciones en cuestión contienen rocas arcillosas y calcáreas, por lo mismo se realizará una caracterización Geomecánica de acuerdo a sus propiedades ingeniero geológicas, esto se observa en el CapítuloV.

### CAPITULO III GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

La Geología Estructural es otro factor condicionante a tomar en cuenta a la hora de realizar la proyección de una edificación, ya que en conjunto con el marco geológico que se determinó en el Capítulo 2 y en donde se menciona la Geología tanto Regional como Local y su interacción a la hora de realizar en Análisis de Estabilidad de Taludes, en conjunto con la Geología Estructural, se determina el tipo de estructura geología en la cual se desplantara la edificación proyectada y se toma en cuenta para realizar en análisis de estabilidad.

Es por esto que en este Capítulo se explica el marco estructural que se tiene en las zonas en donde se realiza el Análisis de estabilidad de taludes, teniendo en cuenta que en la realización del Análisis Cinemático se emplea la orientación de las diferentes discontinuidades estructurales en conjunto con la estructura del talud, no se podría realizar el análisis de estabilidad de taludes sin tener la geometría de dichas discontinuidades.

Por consiguiente, este factor condicionante es uno de los más críticos a la hora de realizar una evaluación de los Factores de Seguridad para un Talud. Por lo que a continuación se describe el marco estructural comprendido en la zona de estudio.

Cabe señalar que, la deformación es un término general que se refiere a todos los cambios de volumen o de forma que experimenta un cuerpo rocoso (Anguita - Virella Y Moreno Serrano, 1991).

Los datos estructurales se obtuvieron de manera sistemática, tratando de cubrir en su totalidad el área de estudio. Estos datos se tomaron sobre roca in situ de las diferentes Formaciones aflorantes en el Cerro de las Mitras y Cerro de Loma Larga, especialmente en

los taludes a realizar el análisis de su estabilidad. La representación de los planos y datos en general se tomaron con una brújula de tipo azimutal y corresponden a este tipo de brújula, aplicando el criterio de la mano derecha (CMD).

### 3.2 DESCRIPCIÓN DE LA GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL ÁREA EN ESTUDIO

El área de estudio se localiza, en la porción más al Norte dentro del Área Norte de la curvatura de Monterrey, en el anticlinal del Cerro de la Mitras (Figura 10). Este anticlinal mantiene una dirección algo curvada NW – SE y muestra una vergencia hacia el NE, mientras que su eje (b) presenta una bifurcación en su terminación SE, presentando ambas estructuras una inmersión hacia el valle de Monterrey (ALVA NIÑO, 1997).



**Figura 10.** Anticlinal del Cerro de las Mitras con sus bifurcaciones: el anticlinal de Vista Hermosa al Norte, el anticlinal del Obispado al Sur y el anticlinal de la Loma Larga (Google Earth, 2015)

Esta bifurcación del anticlinal de las Mitras es prolongada, formando un par de anticlinales semejantes: el anticlinal de Vista Hermosa al Norte y el anticlinal del Obispado al Sur, con un plano axial de  $221^{\circ}/80^{\circ}$  y  $115^{\circ}/81^{\circ}$  respectivamente, y con una inmersión de sus ejes de  $8^{\circ}$  -  $10^{\circ}$  hacia el SE, y el anticlinal de la Loma Larga, con un plano axial con una ligera vergencia hacia el NE (Hernández Padilla, 1994).

Durante la obtención de los datos estructurales para el Cerro de las Mitras no se observó falla alguna; esto es de gran relevancia ya que esto nos indica una cierta ductilidad del macizo rocoso. Las Formaciones que se encuentran en dicho pliegue consisten de macizos rocosos con una mayor competencia, las cuales son: Formación Cupido, Formación Aurora, Formación Cuesta del Cura y Agua Nueva. Es importante señalar que estas formaciones en cierta manera ayudaron a que la Formación San Felipe, la cual consiste de macizos rocosos menos competentes, no llegase a fallar en su estructura o por otra parte que el esfuerzo aplicado a esta zona no fue de tal magnitud para llegar a formar este tipo de estructuras. Para esta área, en específico, solo se encontraron fracturas.

Por otro lado, se pudo observar contrario a lo anterior que en el anticlinal del Cerro de Loma Larga, el cual es una bifurcación del pliegue del Cerro de las Mitras, si se encuentra una falla a lo largo de la charnela del pliegue. Esto se puede explicar, debido a que las Formaciones Agua Nueva en su miembro inferior de acuerdo a la clasificación de MUIR (1936) se constituida por estratos intercalados de caliza y lutita, perdiendo así su competencia como Formación. Al contrario, en el Cerro de las Mitras se encuentra el miembro medio el cual se compone por calizas en su mayoría, en conjunto con la segunda Formación que integra a dicho pliegue la cual es la Formación San Felipe.

En el área de estudio se encontraron 4 familias diferentes de fracturas las cuales son:  $hk_0$  con ángulo agudo respecto al eje b,  $hk_0$  con ángulo agudo respecto al eje a y fracturas de tipo ac y bc.

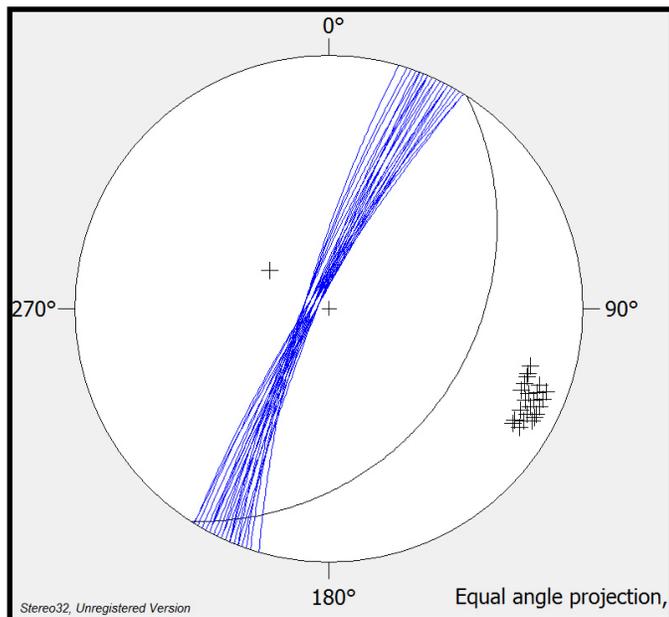
Las juntas de cizalla  $hk0$  con ángulo agudo respecto al eje a, se forman primero que las fracturas  $hk0$  con ángulo agudo respecto al eje b, en un estado inicial de deformación (HANCOCK, 1985).

Las fracturas  $hk0$  con ángulo agudo respecto al eje b se desarrollan después de la iniciación del plegamiento. Durante este proceso el pliegue presenta en su cresta una extensión en forma perpendicular al eje del mismo. Cuando el esfuerzo que origina esta extensión se vuelve más grande que el de compresión se desarrollan estas fracturas, debido a la reorientación del campo de esfuerzos y al alto esfuerzo diferencial que se produce (HANCOCK, 1985; PRICE Y COSGROVE, 1990).

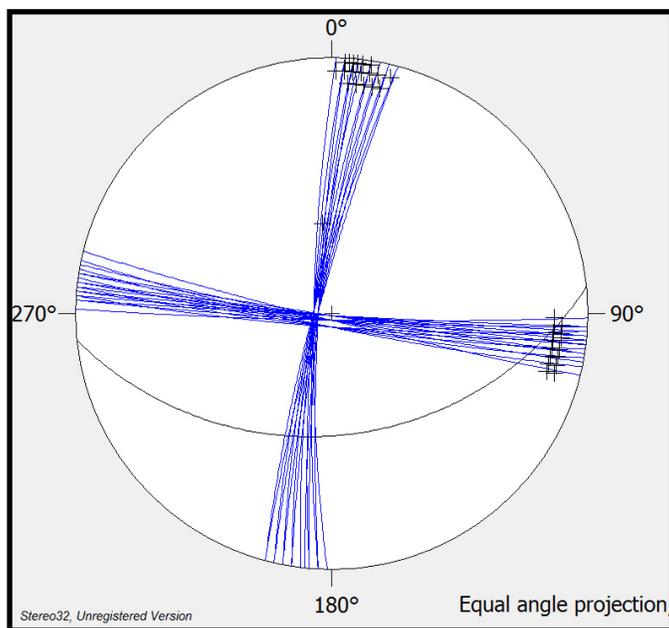
A continuación, se presenta una descripción por Formación de los datos estructurales obtenidos para las Formaciones en los que se realizaron los trabajos de Geomecánica y Estabilidad de taludes, los cuales se muestran en los capítulos 5 y 6 respectivamente.

### **3.2.1 Formación Cuesta del Cura en la zona del Cerro de las Mitras**

Para la Formación Cuesta del Cura los datos estructurales que se contemplan se encuentran en una bifurcación del anticlinal principal que corresponde al anticlinal del Obispado, por lo tanto, en base al levantamiento estructural determinado por criterio de la mano derecha para el flanco Noreste dos familias de fracturas con una orientación de  $J1=206^{\circ}/83^{\circ}$  y  $J2=115/82$  (Figura 11) y para el flanco Suroeste dos familias de fracturas con orientación de  $J1=99^{\circ}/87^{\circ}$  y  $J2=189^{\circ}/82^{\circ}$  (Figura 12).



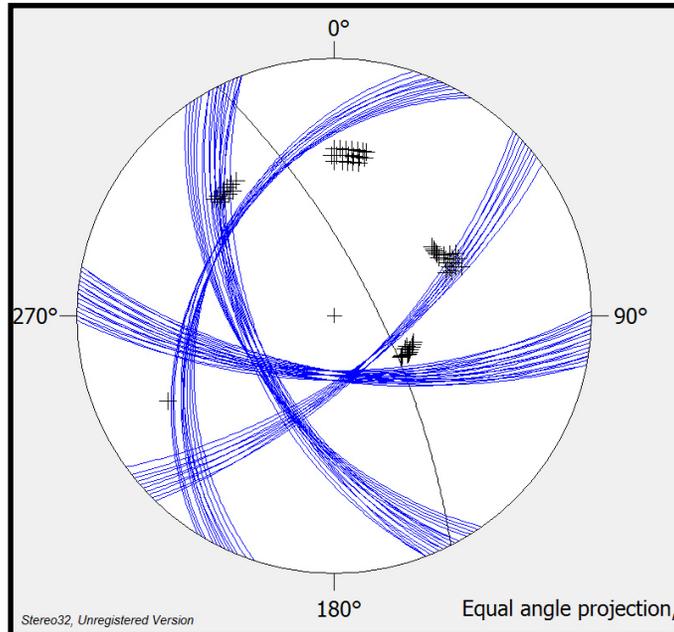
**Figura 11.** Proyección estereográfica de la Formación Cuesta del Cura para el flanco Noreste con una orientación de estratificación de  $SS=33^{\circ}/29^{\circ}$



**Figura 12.** Proyección estereográfica de la Formación Cuesta del Cura para el flanco Suroeste con una orientación de estratificación de  $SS=84^{\circ}/39^{\circ}$

### 3.2.2 Formación Agua Nueva en la zona del Cerro de las Mitras

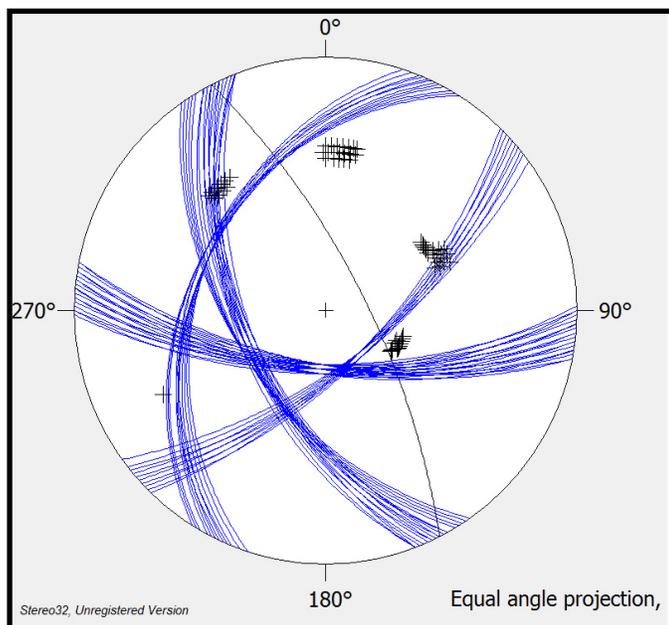
Por medio del análisis estructural de la Formación Agua para la zona del Cerro de las Mitras se determinaron cuatro familias de fracturas las cuales presentan orientaciones de  $J1= 89^\circ/64^\circ$ ,  $J2= 101^\circ/64^\circ$ ,  $J3= 155^\circ/52^\circ$  y  $J4= 206^\circ/36^\circ$  (Figura 13).



**Figura 13.** Proyección estereográfica de la Formación Agua Nueva para el Cerro de las Mitras con una orientación de estratificación de  $SS=335^\circ/63^\circ$

### 3.2.3 Formación Agua Nueva en la zona del Cerro de Loma Larga

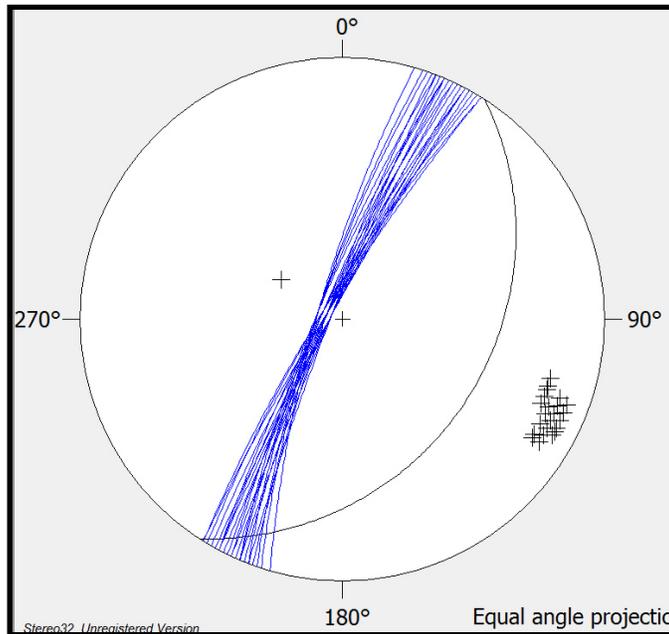
La Formación Agua Nueva para la zona del Cerro de Loma Larga presenta dos familias de fracturas las cuales tiene una orientación de  $J1=54^\circ/66^\circ$  y  $J2=234^\circ/87^\circ$  (Figura 14), las cuales se determinaron en el análisis estructural.



**Figura 14.** Proyección estereográfica de la Formación Agua Nueva para el Cerro de Loma Larga con una orientación de estratificación de  $SS=329^{\circ}/87^{\circ}$

### 3.2.4 Formación San Felipe en la zona del Cerro de las Mitras

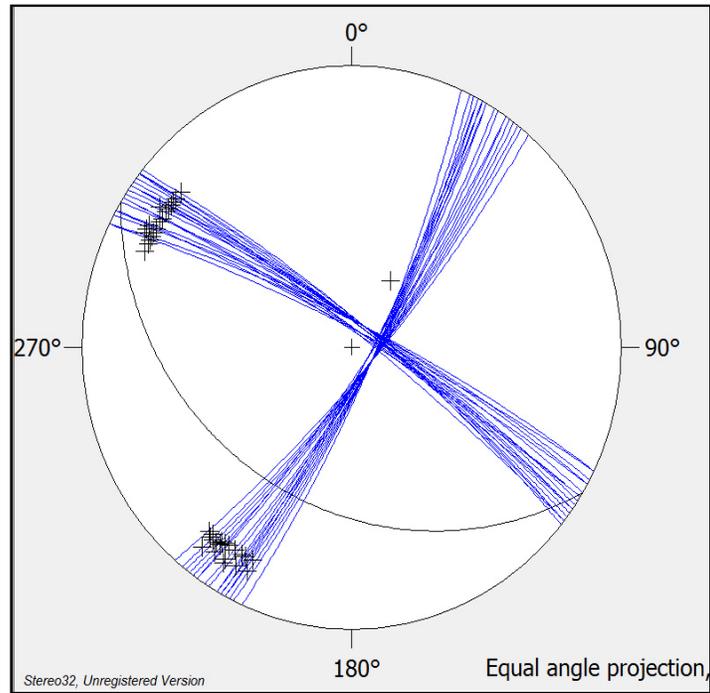
Por medio de un estudio estructura para la Formación San Felipe en la zona del Cerro de las Mitras se determinó una familia de fracturas la cual presenta una orientación de  $J1=72^{\circ}/81^{\circ}$  (Figura 15).



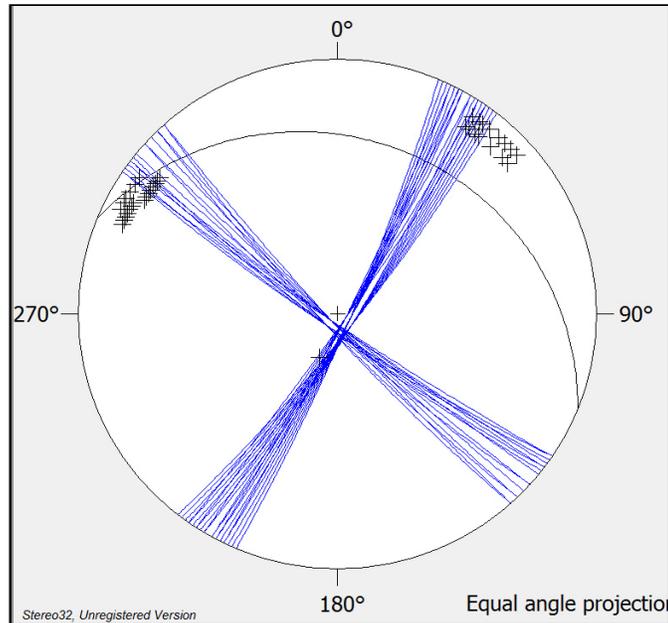
**Figura 15.** Proyección estereográfica de la Formación San Felipe para el Cerro de las Mitras con una orientación de estratificación de  $SS=335^{\circ}/72^{\circ}$ .

### 3.2.5 Formación San Felipe en la zona del Cerro de Loma Larga

En la Formación San Felipe en la zona del Cerro de Loma Larga se determinaron dos familias de fracturas las cuales presentan orientaciones de  $J1=30^{\circ}/84^{\circ}$  y  $J2=304^{\circ}/80^{\circ}$  con una orientación en su estratificación de  $121^{\circ}/31^{\circ}$  para el flanco Suroeste (Figura 16) y dos familias de fracturas con orientaciones de  $J1= 39^{\circ}/84^{\circ}$  y  $J2= 132^{\circ}/86^{\circ}$  y la estratificación presenta una orientación de  $292^{\circ}/21^{\circ}$  para el flanco Noreste (Figura 17).



**Figura 16.** Proyección estereográfica de la Formación San Felipe para el Cerro de Loma Larga con una orientación de estratificación de  $SS=121^{\circ}/31^{\circ}$  para el flanco Sur.



**Figura 17.** Proyección estereográfica de la Formación San Felipe para el Cerro de Loma Larga con una orientación de estratificación de  $SS=292^{\circ}/21^{\circ}$  para el flanco Norte.

En el mapa estructural del área de estudio aparecen los diferentes estereogramas realizados en diversos puntos, estando representados de manera muy esquemática. Para ver a detalle los diferentes estereogramas ver Carta Geológica - Estructural.

### CAPITULO IV ANÁLISIS CINEMÁTICO

#### 4.1 INTRODUCCIÓN

El análisis de estabilidad de un talud realizado en un macizo rocoso fracturado se realiza en dos procesos. El primero consiste en analizar la fábrica estructural para determinar si la orientación de las discontinuidades podría resultar en inestabilidad del talud, a esto se le denomina orientación desfavorable. Esta determinación se realiza por medio del análisis estereográfico de la fábrica estructural que se denomina Análisis Cinemático (PITEAU Y PECKOVER, 1978). El segundo proceso es el análisis de estabilidad por el método de Equilibrio Limite para comparar las fuerzas resistentes a la falla contra la fuerza causante de la falla del talud.

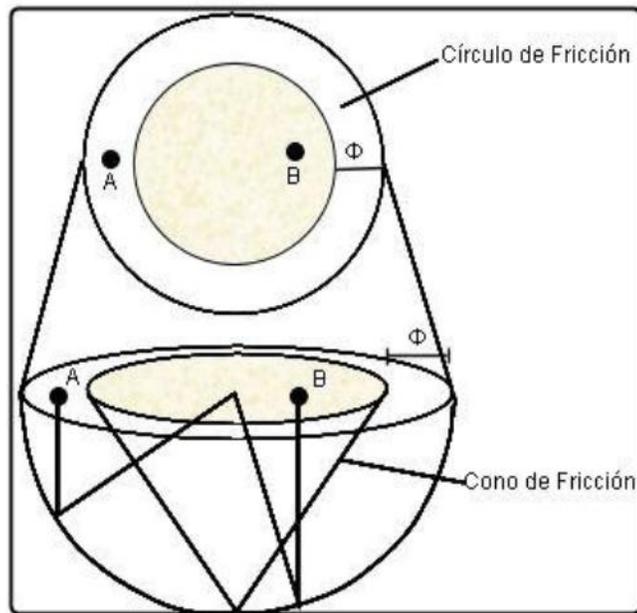
Para este capítulo solo se realizará el primer proceso que es el Análisis Cinemático y en el Capítulo VII se realizara el Análisis de Estabilidad (Equilibrio Limite).

Para poder realizar el Análisis es necesario proyectar las discontinuidades en un plano bidimensional denominadas proyecciones esféricas. Existen dos tipos de proyecciones esféricas: 1) red estereográfica de Lambert o Schmidt y 2) proyección de Wulff. No existe ninguna limitación para la utilización de la primera o la segunda proyección estereográfica, la única restricción es que, al iniciar el análisis con una proyección u otra, este debe continuarse empleando hasta el término del proyecto (HOEK Y BROWN, 1980). Para la realización de este trabajo se utilizará la proyección estereográfica de Lambert o Schmidt.

El análisis cinemático consiste en proyectar los datos estructurales y la cara y pie del talud en una red bidimensional antes mencionadas los dos tipos y en base a estos datos, por medio de sus orientaciones y buzamientos podemos determinar los mecanismos de falla.

### 4.2 CIRCULO DE FRICCIÓN

El concepto de cono de fricción dado por Talobre (1957), es usado para representar o determinar el ángulo entre una línea dada la dirección de una fuerza y una línea normal al plano. Combinada con el ángulo de fricción a través del plano, esta aproximación puede ser usada para evaluar gráficamente la posibilidad de deslizamiento a lo largo del plano bajo una carga activa en cualquier dirección. En el análisis estereográfico de Markland (1972), este cono se representa mediante un círculo que se proyecta en la red estereográfica midiendo su ángulo a partir del extremo de la estereofalsilla hacia el centro del talud, dándose la definición de que aquellos planos o líneas que se encuentran dentro del área comprendida entre dicho círculo y el extremo se encontrarán estructuralmente estables (Figura 18). La diferencia entre emplear el cono de fricción de Talobre y el círculo de fricción radica en que en el primero la representación del ángulo de fricción es mediante la normal del plano en la cual se tendrá estabilidad del bloque y esto se proyecta por medio de polos hacia el derredor del polo del círculo máximo del talud creando una elipse o envolvente, en el segundo se ubican planos y líneas que queden comprendidos dentro del área antes mencionada.



**Figura 18.** Representación estereográfica del cono de fricción. El ángulo de fricción delimitado por la proyección del cono en el hemisferio. El punto 1 se encuentra dentro del círculo de fricción lo cual indica que se encontrara cinemáticamente estable guardando una inclinación menor a  $\varphi$ ; el punto 2 siendo más inclinado, su proyección en el hemisferio se encuentra fuera del círculo lo cual crearía condiciones de inestabilidad (modificado de ARMAS-ZAGOYA, 2004).

### 4.3 TIPOS DE MECANISMOS DE INESTABILIDAD

Como mecanismos de inestabilidad definimos a los posibles movimientos que pudieran originarse como falla del talud dentro del macizo rocoso. Estos dependen del arreglo de las familias de discontinuidades presentes en la roca. A continuación presentamos los más comunes para macizos rocosos. En la figura 19 se muestra una representación estereográfica definiendo las diferentes zonas de la proyección, tanto estables como inestables.

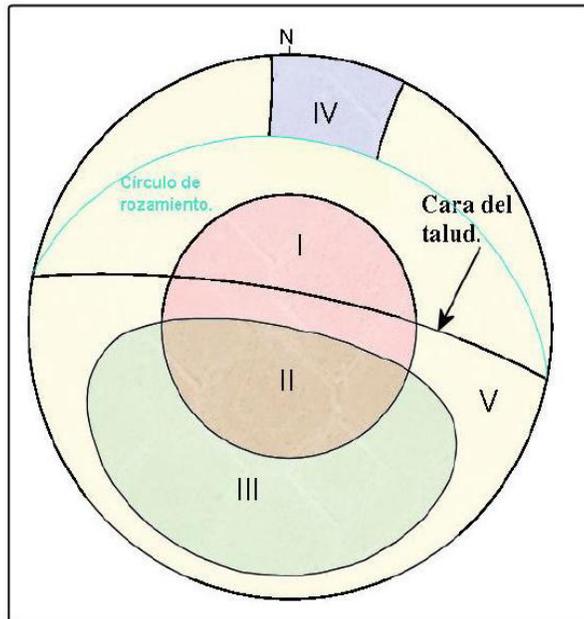


Figura 19. Estabilidad de zonas a partir del análisis cinemático.

- I) Círculo de fricción, estable.
- II) Combinación entre círculo de fricción y envolvente de Markland (daylight envelope), estable.
- III) Envolvente de Markland, inestable.
- IV) Zona de vuelco, inestable.
- V) No presenta inestabilidad, estable.

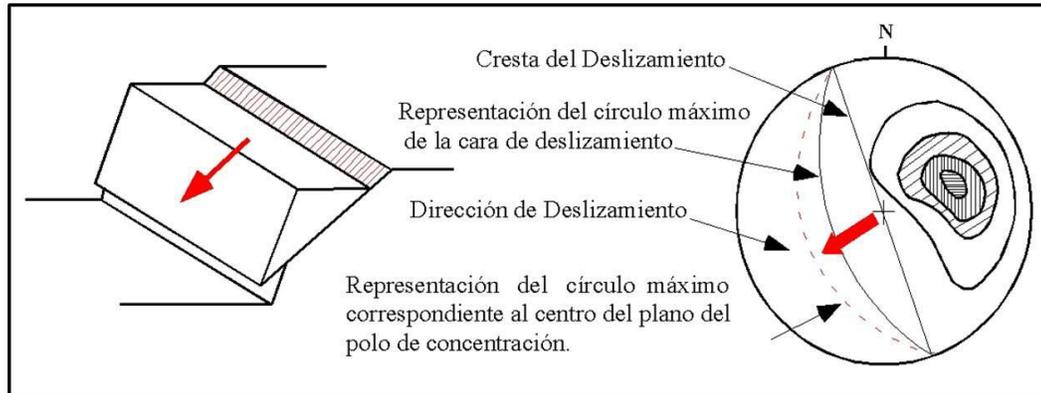
#### 4.4 TIPOS DE MECANISMOS DE FALLA EN TALUDES Y SU ANÁLISIS CINEMÁTICO

Para el Análisis de estabilidad de los taludes en estudio se analizan los siguientes mecanismos de inestabilidad:

##### 4.4.1 DESLIZAMIENTO PLANAR

Se produce a favor de una discontinuidad geológica preexistente ya sea la estratificación, juntas tectónicas, fallas, etc. Buza en forma paralela hacia la cara del talud y

su echado es mayor que el ángulo del talud y su echado es mayor que el ángulo de fricción (Figura 20). Este tipo de deslizamiento generalmente ocurre en macizos lutíticos o pizarrosos.



**Figura 20.** Rotura planar y representación estereográfica de este tipo de movimiento (HOEK & BRAY, 1977).

A continuación se resumen las condiciones que se tienen que cumplir para que ocurra un fallamiento de tipo Planar en un talud (TURNER Y SCHUSTER, 1996):

1. El rumbo de la discontinuidad planar debe estar  $20^\circ$  dentro del rumbo de la cara del talud en ambas direcciones:  $\alpha_p = \alpha_f \pm 20^\circ$  (ec. 4a-1).
2. El echado de la discontinuidad planar debe ser menor que el echado de la cara del talud, además de inclinarse hacia dicha cara:  $\psi_p < \psi_f$  (ec. 4a-2).
3. El echado de la discontinuidad debe ser mayor que el ángulo de fricción de la superficie de deslizamiento:  $\psi_p > \phi_p$  (ec. 4a-3).

Donde:

$\alpha_f$  = dirección del echado de la cara del talud.

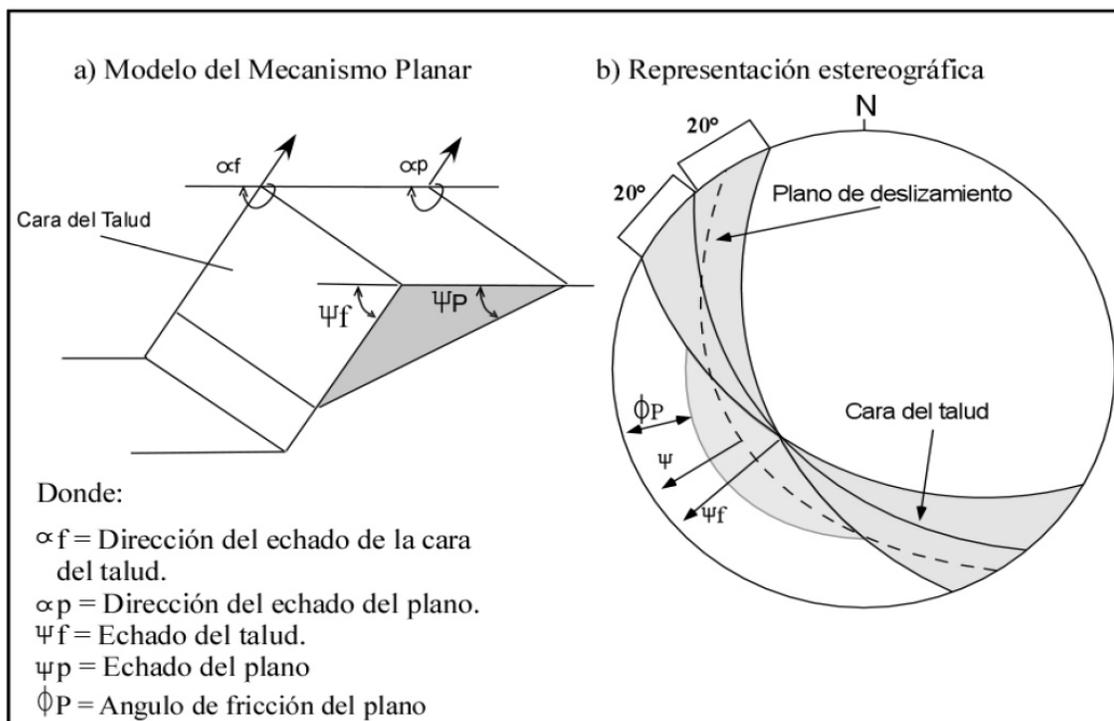
$\alpha_p$  = dirección del echado del plano.

$\psi_f$  = Echado del talud.

$\psi_p$  = Echado del plano.

$\phi_p$  = Angulo de fricción.

Los tres tipos de condiciones a evaluar se ilustran a continuación (Figura 21):



**Figura 21.** Análisis Cinemático para el Mecanismo de Falla tipo Planar. (HOEK & BRAY, 1981).

4.4.2 FALLAMIENTO EN CUÑA O TRIDIMENSIONAL

Este tipo de fallamiento o deslizamiento ocurre por la combinación de al menos dos discontinuidades a favor de una línea de intersección que a su vez buza a favor de la cara del talud en un ángulo oblicuo, formando un bloque en forma de cuña (HOEK & BRAY, 1981) (Figura 22). Comúnmente estas cuñas de material rocoso son expuestas por excavaciones las cuales hacen aflorar la línea de intersección al eje del deslizamiento, lo cual precipita el fallamiento.

La litología más propensa a desarrollar cuñas que otro tipo de rocas son las lutitas, limolitas en estratos delgados, arcilla, caliza y litología en capas. No obstante la litología no es un factor que influye en su formación (PITEAU, 1972).

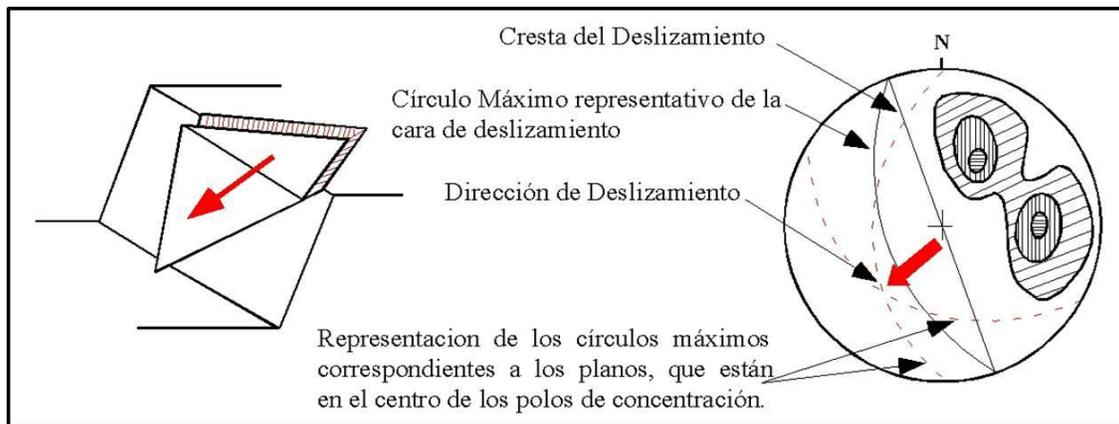


Figura 22. Mecanismo de rotura en cuña y la representación estereográfica de este tipo de movimientos (HOEK & BRAY, 1977).

A continuación se enlistan las condiciones que se deben de cumplir para que ocurra un fallamiento o deslizamiento en cuña (HOEK Y BRAY, 1981) (Figura 23):

1. El rumbo de la línea de intersección debe ser aproximadamente igual a la dirección de deslizamiento de la cara del talud:  $\alpha_i = \alpha_f \pm (\text{debe aflorar hacia la cara del talud})$  (ec. 5b-1).

2. La inmersión de la línea de intersección debe ser menor que el echado de la cara del talud. Bajo esta condición, se dice que la Línea de intersección debe ser menor que el echado de la cara del talud:  $\psi_i < \psi_f$  (ec. 4b-2).
3. La inmersión de la línea de intersección debe ser mayor que el ángulo de fricción del ólos planos de deslizamiento. si los ángulos de fricción para ambos planos son marcadamente diferentes, un ángulo de ellos puede ser aplicable:  $\phi < \psi_i$  (ec. 4b-3).

El Análisis Cinemático se encuentra gobernado por la orientación de la línea de intersección de los planos que delimitan la cuña. A este análisis se le denomina Markland Test (HOEK Y BRAY, 1981), el cual determina si el deslizamiento puede ocurrir. El postulado indica lo siguiente: Si  $\alpha_a$  ó  $\alpha_b$  están entre  $\alpha_i$  y  $\alpha_f$ , entonces el deslizamiento ocurre sobre el plano que tenga el valor más alto de echado (ec. 4b-4).

Donde:

$\alpha_f$  = Dirección del echado de la cara del talud.

$\psi_f$  = Echado del talud.

$\phi$  = Ángulo de Fricción.

$\psi_i$  = Inmersión de la línea de intersección.

$\alpha_i$  = Dirección del echado de la línea de intersección.

$\alpha_a$  = Dirección del echado del plano a.

$\alpha_b$  = Dirección del echado del plano b.

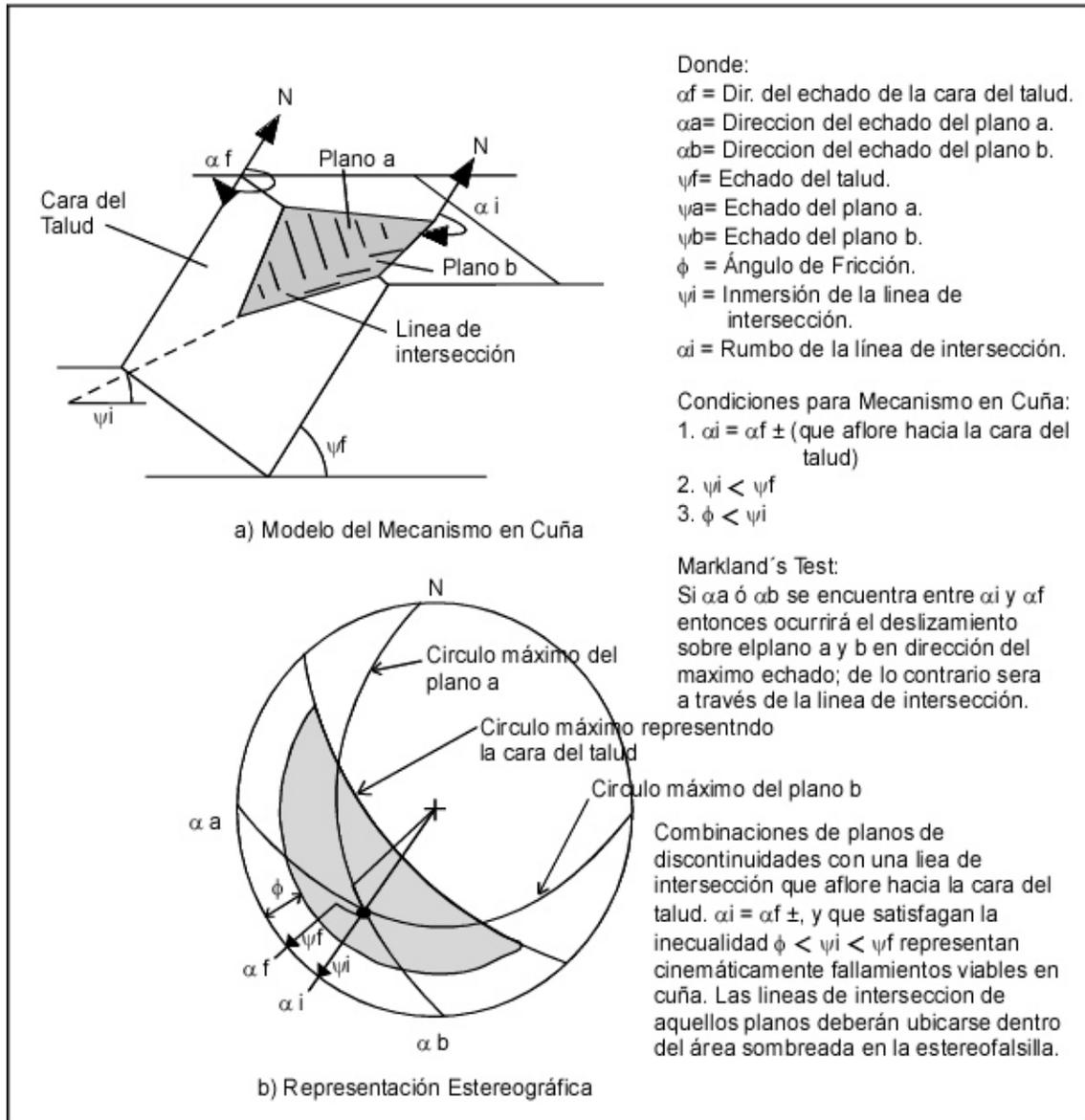
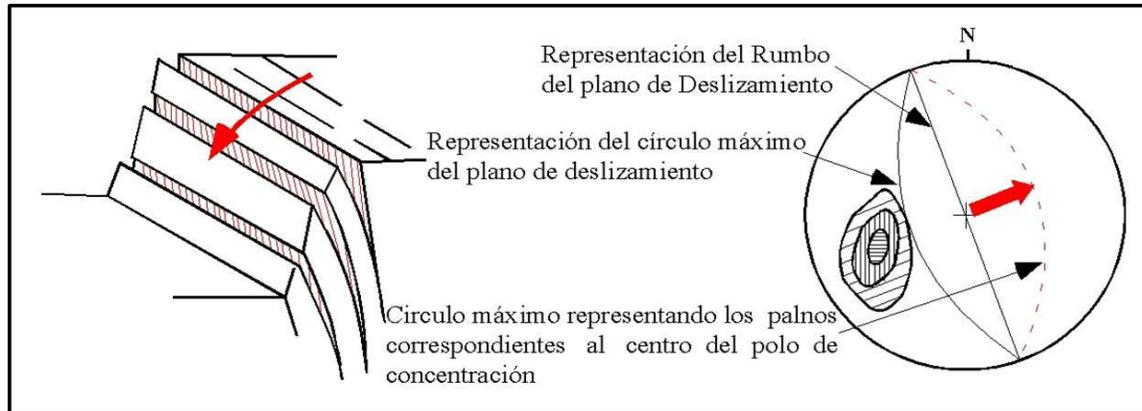


Figura 23. Análisis Cinemático para el Mecanismo de Falla en Cuña. (HOEK & BRAY, 1981).

#### 4.4.3 VUELCO (TOPPLING)

Este tipo de movimiento se produce cuando los estratos buzan encontrar del corte de talud, vertical o casi vertical (Figura 24). Implica una rotación de los bloques en forma de columna o bloques sobre una base, bajo la acción de la gravedad y fuerzas ejercidas por

bloques adyacentes o por la penetración de agua en las discontinuidades. Los vuelcos se pueden considerar exclusivamente de medios rocosos.



**Figura 24.** Vuelco de estratos, se muestra la representación estereográfica del movimiento (HOEK & BRAY, 1977).

Las condiciones para que se deben de cumplir para que ocurra este tipo de mecanismo de falla se enlistan a continuación (GOODMAN & BRAY, 1976) (Figura 25):

1. El rumbo de las capas debe ser aproximadamente paralelo al del talud. Diferencias en estas orientaciones de entre 15°-30° han sido citadas entre varios autores, pero por consistencia entre otros modelos de mecanismos de falla, un valor de 20° es apropiado.
2. El echado de las capas debe tender hacia el interior del talud. Usado el convenio de dirección del echado, las condiciones 1 y 2 se pueden fijar como sigue: la dirección del echado de las capas, entre la dirección de la cara del talud debe de ser entre 160° y 200°.  $\alpha_p = (\alpha_f \pm 180^\circ) \pm 20^\circ$  (ec. 4c-1).
3. En orden para que el deslizamiento intercapas ocurra, el polo del círculo máximo de la discontinuidad a volcarse debe tener una inmersión menor que la inclinación de la

cara del talud menor que el ángulo de fricción. Esta condición puede ser formulada como sigue:  $(90 - \psi_p) = (\psi_f - \phi_p)$  (ec. 4c-2).

Donde:

$\psi_p$ =Echado de las capas (planos).

$\psi_f$ =Echado de la cara del talud.

$\phi_p$ =Angulo de fricción a través de los planos.

$\alpha_p$ =Dirección del echado del plano.

$\alpha_f$ =Dirección del echado del talud.

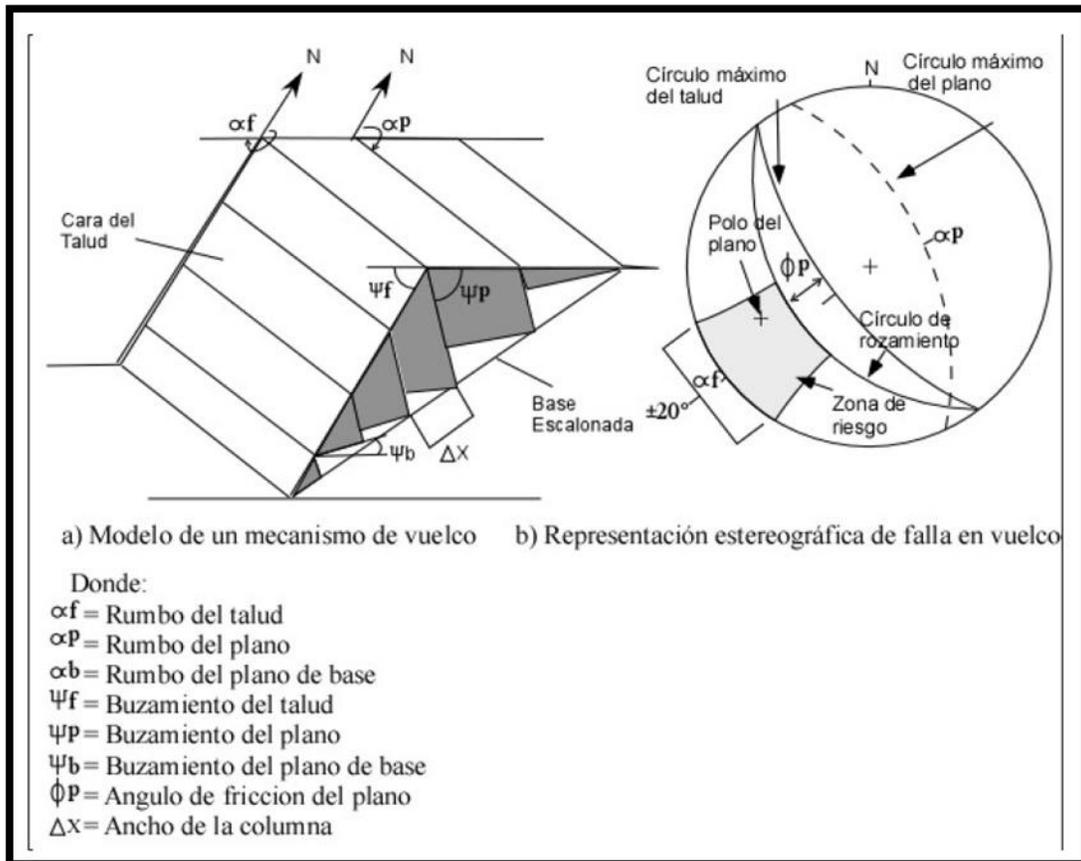
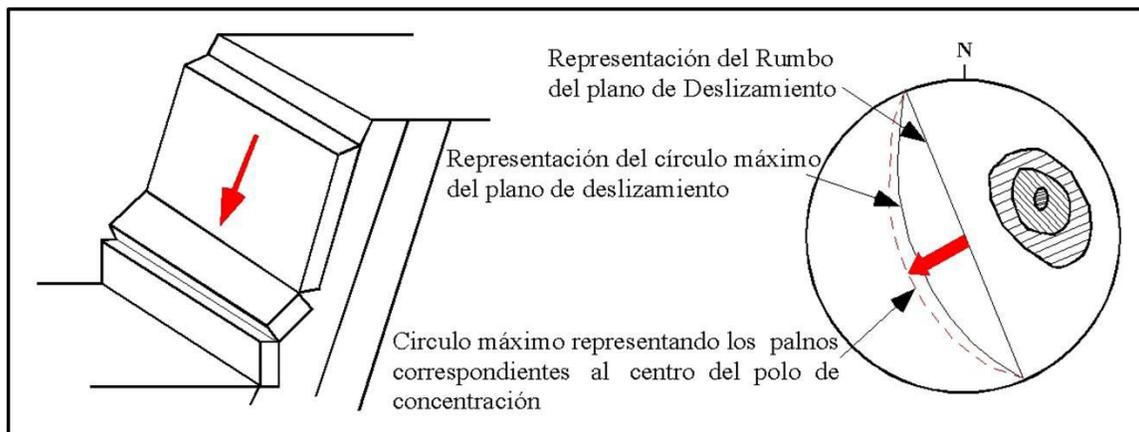


Figura 25. Análisis Cinemático para el Mecanismo de Falla tipo Vuelco(HOEK & BRAY, 1981).

### 4.4.4 ROTURA POR PANDEO O COLAPSO DE RODILLA

Este tipo de rotura ocurre debido a que los planos de estratificación son paralelos al talud. Las principales causas para que este tipo de movimiento ocurra son: la altura excesiva del talud, las fuerzas externas existentes aplicadas sobre los estratos, la geometría desfavorable de los estratos. El talud pierde su equilibrio debido a los procesos de erosión que ocurren en el pie del talud (Figura 26).



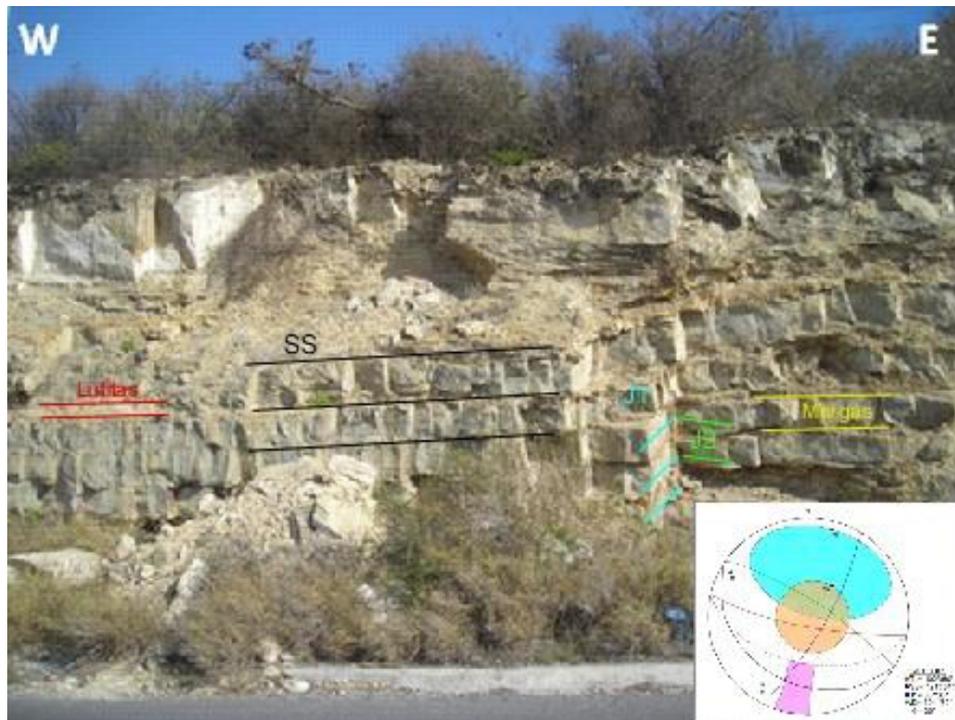
**Figura 26.** Rotura por pandeo o colapso de rodilla, se muestra la representación estereográfica del movimiento (HOEK & BRAY, 1977).

### 4.5 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE LOS TALUDES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Estos taludes se encuentran en dos diferentes Cerros que corresponden al Cerro de Loma Larga y el Cerro de las Mitras en sus dos diferentes flancos. La geología así como los datos estructurales fueron descritas con anterioridad en el Capítulo 3 y 4 correspondientemente. Es de suma importancia recalcar que la selección de los diferentes taludes se realizó por su importancia ya sea por edificación en el Cerro de Loma Larga o tramos carreteros importantes de conexión para el área metropolitana de Monterrey en el Cerro de las Mitras, los taludes se encuentran coordinados en la Carta de inventario de taludes (ANEXO C).

### 4.5.1 TALUD # 1

Se encuentra situado en el Cerro de Loma Larga en el flanco Suroeste, a una altura de 632 m.s.n.m., en la Formación San Felipe descrita en el Capítulo II (Figura 27). El talud tiene una altura aproximada de 5 metros, su rumbo es de  $102^\circ$  y buzamiento de  $80^\circ$ .



**Figura 27. Talud # 1**, en esta imagen se aprecian los estratos medianos de Margas con intercalaciones de material arcilloso altamente intemperizado.

El Análisis Cinemático (Figura 28) demuestra que se tiene un mecanismo de falla planar debido a la presencia del polo de SS dentro de la envolvente Markland, por lo mismo a continuación se realiza el análisis de viabilidad. Es importante recalcar que al observar el talud se observa un posible fallamiento en cuña el cual en el Análisis Cinemático no cumple con las condiciones por lo mismo se descarta.

### Valores

$$TL = 102^\circ/80^\circ$$

$$SS = 121^\circ/31^\circ$$

$$J1 = 30^\circ/80^\circ$$

$$J2 = 304^\circ/80^\circ$$

$$\Phi_p = 30^\circ$$

### Condiciones cinemáticas para el mecanismo planar

$$1. \alpha_p = \alpha_f \pm 20^\circ \quad (\text{ec. 4a-1})$$

$$2. \psi_p < \psi_f \quad (\text{ec. 4a-2})$$

$$3. \psi_p > \phi_p \quad (\text{ec. 4a-3})$$

Dónde:

Valores del talud actual:

$\alpha_f$  = dirección del echado del talud

$$\alpha_{TL} = 102^\circ$$

$\alpha_p$  = dirección del echado del plano

$$\alpha_{SS} = 121^\circ$$

$\psi_f$  = echado del talud

$$\psi_{TL} = 80^\circ$$

$\psi_p$  = echado del plano

$$\psi_{SS} = 31^\circ$$

$\Phi_p$  = ángulo de fricción

$$\Phi_p = 30^\circ$$

### Condiciones para viabilidad de falla

$$1. 121^\circ = 102^\circ \pm 20^\circ \quad (\text{ec. 4a-1})$$

$$2. 31^\circ < 80^\circ \quad (\text{ec. 4a-2})$$

$$3. 31^\circ > 30^\circ \quad (\text{ec. 4a-3})$$

En las tres condiciones cumple con la cinética necesaria para que se produzca el fallamiento.

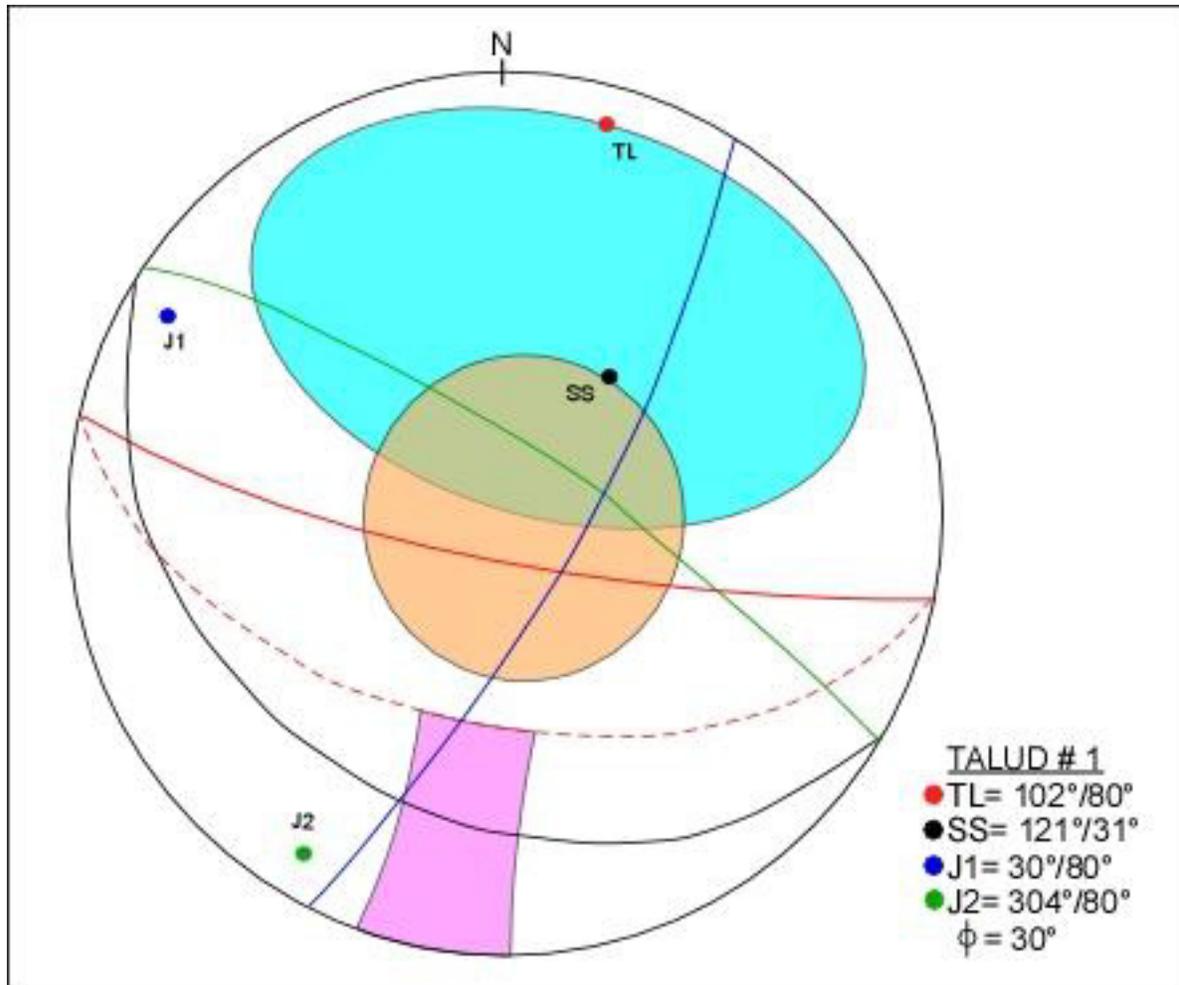
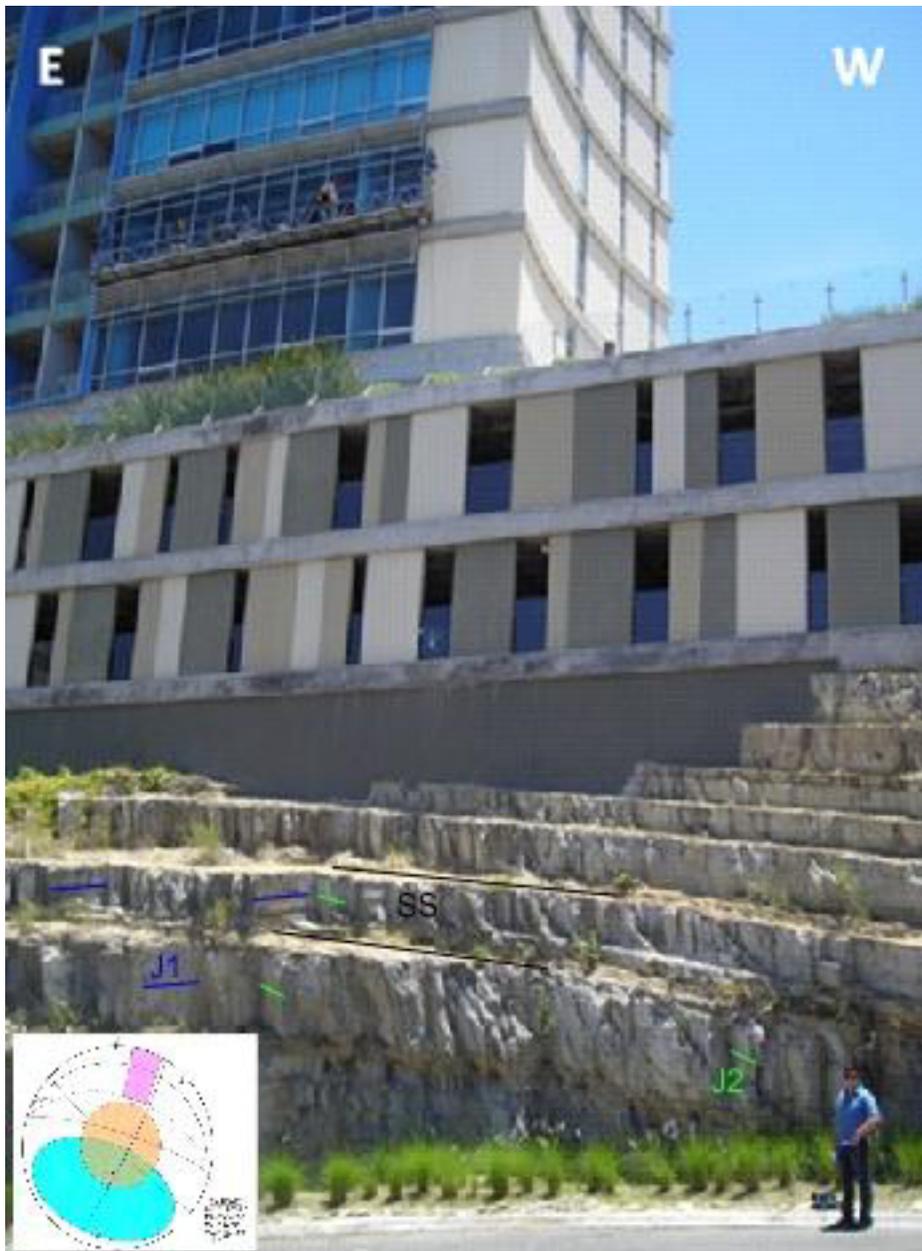


Figura 28. Análisis Cinemático.

#### 4.5.2 TALUD # 2

Se encuentra situado en el Cerro de Loma Larga hacia el flanco Noreste, a una altura de 649 m.s.n.m. Su litología corresponde a la Formación Agua Nueva descrita en el Capítulo III (Figura 29). El talud presenta una altura aproximada de 6 metros y una orientación 287° con un buzamiento de 80°.



**Figura 29.** Talud # 2, en esta imagen se aprecian la estratificación de caliza de estratos medianos a gruesos con intercalaciones de material arcilloso, a su vez se observa que sobre el talud se encuentra desplantado un edificio multifamiliar.

El Análisis Cinemático (Figura 30) revela que se encuentra un posible fallamiento planar, ya que el polo de SS se encuentra dentro de la envolvente de Markland, lo cual indica una posible inestabilidad, por lo tanto a continuación se realiza el análisis de viabilidad para este mecanismo.

### Valores

$$TL = 287^\circ / 80^\circ$$

$$SS = 292^\circ / 21^\circ$$

$$J1 = 29^\circ / 84^\circ$$

$$J2 = 132^\circ / 86^\circ$$

$$\Phi_p = 35^\circ$$

### Condiciones cinemáticas para el mecanismo planar

$$1. \alpha_p = \alpha_f \pm 20^\circ \quad (\text{ec. 4a-1})$$

$$2. \psi_p < \psi_f \quad (\text{ec. 4a-2})$$

$$3. \psi_p > \phi_p \quad (\text{ec. 4a-3})$$

Donde:

Valores del talud actual:

$\alpha_f$  = dirección del echado del talud

$$\alpha_{TL} = 287^\circ$$

$\alpha_p$  = dirección del echado del plano

$$\alpha_{SS} = 292^\circ$$

$\psi_f$  = echado del talud

$$\psi_{TL} = 80^\circ$$

$\psi_p$  = echado del plano

$$\psi_{SS} = 21^\circ$$

$\Phi_p$  = ángulo de fricción

$$\Phi_p = 35^\circ$$

### Condiciones para viabilidad de falla

$$1. 287^\circ = 292^\circ \pm 20^\circ \quad (\text{ec. 4a-1})$$

$$2. 21^\circ < 80^\circ \quad (\text{ec. 4a-2})$$

$$3. 21^\circ > 35^\circ \quad (\text{ec. 4a-3})$$

De acuerdo al análisis de viabilidad no existe un posible fallamiento planar ya que no cumple con las tres condiciones. Por lo tanto el talud no presenta, sin embargo por el tipo de arreglo que tiene la litología no se descarta un fallamiento planar ya que la intercalación de material arcilloso en conjunto con la presencia de agua funciona como una rampa y





**Figura 31.** Talud # 3, en esta imagen podemos observar la estratificación de calizas, los cuales van de delgados a mediano.

A raíz del análisis cinemático (Figura 32) se observa que este talud tiene una gran problemática, se presenta un fallamiento planar (J3), de tipo vuelco (SS) y dos diferentes mecanismos de fallamiento en cuña (J1-J3, J2-J3). Por lo tanto a continuación se realiza el análisis de viabilidad para los diferentes mecanismos de falla.

Valores

TL= 154°/84°

SS= 335°/63°

J1= 89°/64°

J2= 101°/64°

J3= 155°/52°

J4= 206°/36°

$\Phi_p = 35^\circ$

Condiciones cinemáticas para el mecanismo planar

1.  $\alpha_p = \alpha_f \pm 20^\circ$  (ec. 4a-1)

2.  $\psi_p < \psi_f$  (ec. 4a-2)

3.  $\psi_p > \phi_p$  (ec. 4a-3)

Donde:

$\alpha_f$  = dirección del echado del talud  
 $\alpha_p$  = dirección del echado del plano  
 $\psi_f$  = echado del talud  
 $\psi_p$  = echado del plano  
 $\phi_p$  = ángulo de fricción

Valores del talud actual:

$\alpha_{TL} = 15^\circ$   
 $\alpha_{J3} = 155^\circ$   
 $\psi_{TL} = 84^\circ$   
 $\psi_{J3} = 52^\circ$   
 $\phi_p = 35^\circ$

Condiciones para viabilidad de falla

1.  $155^\circ = 154^\circ \pm 20^\circ$  (ec. 4a-1)
2.  $52^\circ < 84^\circ$  (ec. 4a-2)
3.  $52^\circ > 35^\circ$  (ec. 4a-3)

En las tres condiciones cumple con la cinética necesaria para que se produzca el fallamiento.

Condiciones cinemáticas para el mecanismo de vuelco:

1.  $\alpha_p = (\alpha_f \pm 180^\circ) \pm 20^\circ$  (ec. 4c-1)
2.  $(90 - \psi_p) = (\psi_f - \phi_p)$  (ec. 4c-2)

Dónde:

$\psi_p$  = Echado de las capas (planos)  
 $\psi_f$  = Echado de la cara del talud  
 $\phi_p$  = Ángulo de fricción a través de los planos  
 $\alpha_p$  = Dirección del echado del plano  
 $\alpha_f$  = Dirección del echado del talud

Valores del talud actual:

$\psi_{SS} = 63^\circ$   
 $\psi_{TL} = 84^\circ$   
 $\phi_p = 35^\circ$   
 $\alpha_{SS} = 335^\circ$   
 $\alpha_{TL} = 154^\circ$

Condiciones para viabilidad de falla

1.  $335^\circ = (154^\circ \pm 180^\circ) \pm 20^\circ$  **(ec. 4c-1)**  
 $335^\circ = 334^\circ \pm 20^\circ$
2.  $(90^\circ - 63^\circ) \leq (84^\circ - 35^\circ)$  **(ec. 4c-2)**  
 $27^\circ \leq 49^\circ$

El análisis de viabilidad se cumple en sus dos condiciones para un mecanismo de falla de vuelco.

Para el análisis de viabilidad en mecanicismo de fallamiento en cuña, existen varias combinaciones entre ellas se descartaron las cuñas (J1-J4 y J2-J4) por no cumplir con todas las condiciones ya que el ángulo de fricción es mayor que el ángulo de inmersión de estas.

Por otro lado la cuña J1-J3 cumple con todas las condiciones para esto se toman en cuenta las siguientes:

Condiciones cinemáticas para el mecanismo en cuña:

1.  $\alpha_i = \alpha_f \pm$  (debe aflorar hacia la cara del talud) **(ec. 4b-1)**
2.  $\psi_i < \psi_f$  **(ec. 4b-2)**
3.  $\phi < \psi_i$  **(ec. 4b-3)**

Donde:

$\alpha_f$  = Dirección del echado de la cara del talud.  
 $\psi_f$  = Echado del talud.  
 $\phi_p$  = Ángulo de Fricción.  
 $\psi_i$  = Inmersión de la línea de intersección.  
 $\alpha_i$  = Dirección del echado de la línea de intersección.  
 $\alpha_a$  = Dirección del echado del plano a.  
 $\alpha_b$  = Dirección del echado del plano b.  
 $\phi_p$  = Angulo de fricción a través de los planos

Valores del talud actual:

$\alpha_{TL} = 154^\circ$   
 $\psi_{TL} = 84^\circ$   
 $\phi_p = 35^\circ$   
 $\psi_i = 51^\circ$   
 $\alpha_i = 129^\circ$   
 $\alpha_{J1} = 89^\circ$   
 $\alpha_{J3} = 155^\circ$   
 $\phi_p = 35^\circ$

Condiciones para viabilidad de falla

1.  $129^\circ = 154^\circ \pm$  (debe aflorar hacia la cara del talud) **(ec. 4b-1)**

2.  $51^\circ < 84^\circ$

(ec. 4b-2)

3.  $35^\circ < 51^\circ$

(ec. 4b-3)

El análisis de viabilidad se cumple en sus tres condiciones por lo tanto existe un mecanismo de fallamiento de tipo cuña.

### Markland Test

Si  $\alpha_a$  ó  $\alpha_b$  están entre  $\alpha_i$  y  $\alpha_f$ , entonces el deslizamiento ocurre sobre el plano que tenga el valor más alto de echado (4b-4). Las direcciones de echado se encuentran dentro por lo tanto el deslizamiento se produce sobre el plano de la J3.

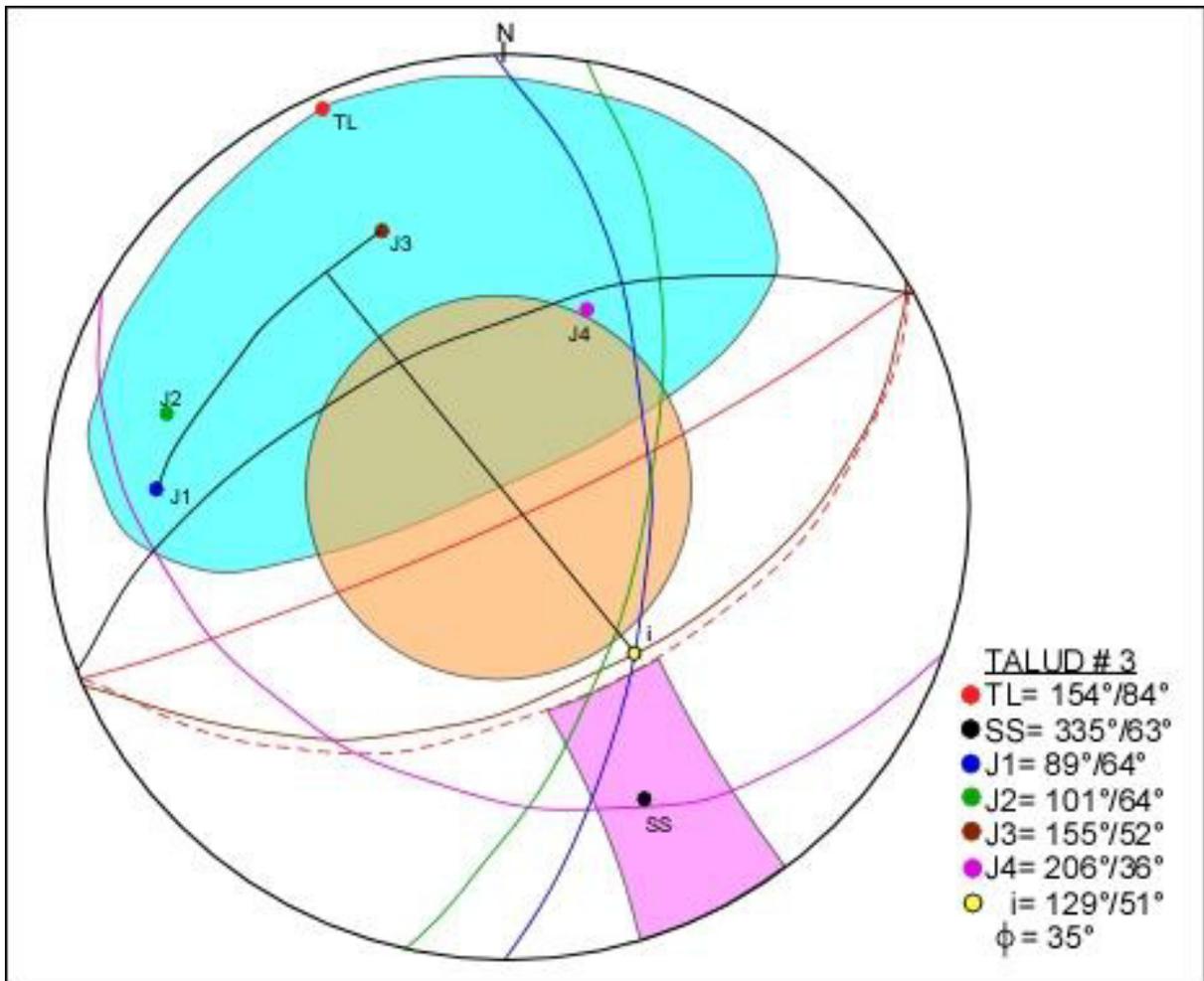


Figura 32. Análisis Cinemático.



El análisis cinemático (Figura 34) revela que existe un posible mecanismo de falla de tipo planar en el plano J1, para lo cual se realiza el siguiente análisis de viabilidad.

### Valores

$$TL = 345^\circ/85^\circ$$

$$SS = 329^\circ/89^\circ$$

$$J1 = 54^\circ/66^\circ$$

$$J2 = 234^\circ/87^\circ$$

$$\Phi_p = 35^\circ$$

### Condiciones cinemáticas para el mecanismo planar

$$1. \alpha_p = \alpha_f \pm 20^\circ \quad (\text{ec. 4a-1})$$

$$2. \psi_p < \psi_f \quad (\text{ec. 4a-2})$$

$$3. \psi_p > \phi_p \quad (\text{ec. 4a-3})$$

### Donde:

$\alpha_f$  = dirección del echado del talud

$\alpha_p$  = dirección del echado del plano

$\psi_f$  = echado del talud

$\psi_p$  = echado del plano

$\Phi_p$  = ángulo de fricción

### Valores del talud actual:

$$\alpha_{TL} = 345^\circ$$

$$\alpha_{J1} = 54^\circ$$

$$\psi_{TL} = 84^\circ$$

$$\psi_{J1} = 66^\circ$$

$$\Phi_p = 35^\circ$$

### Condiciones para viabilidad de falla

$$1. 54^\circ = 345^\circ \pm 20^\circ \quad (\text{ec. 4a-1})$$

$$2. 66^\circ < 84^\circ \quad (\text{ec. 4a-2})$$

$$3. 66^\circ > 35^\circ \quad (\text{ec. 4a-3})$$

De acuerdo al análisis de viabilidad no se cumplen las tres condiciones para este mecanismo, sin embargo ya que los estratos son delgados y se encuentran muy verticales existe una gran posibilidad de que se produzca un fallamiento de tipo rodilla.

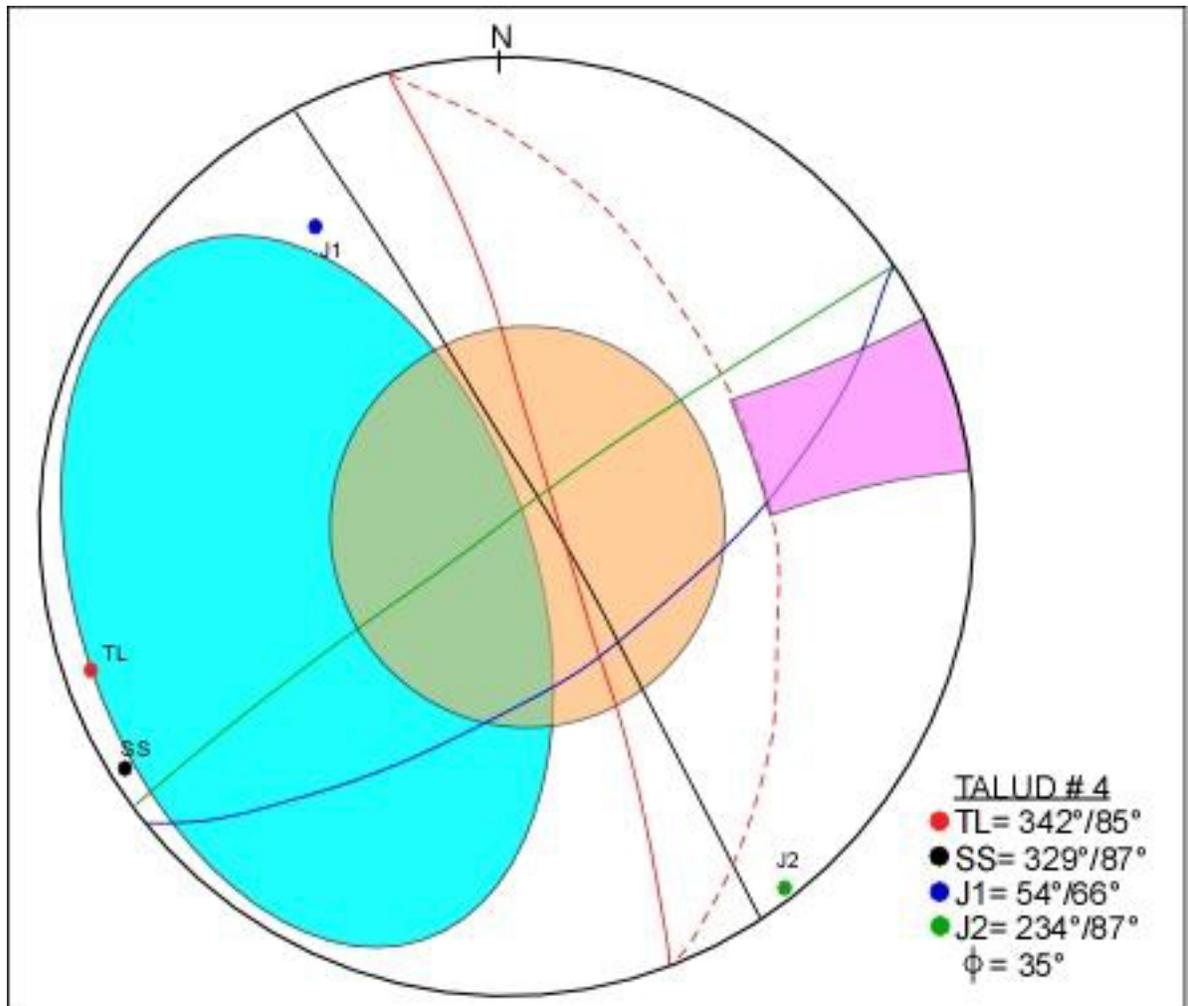


Figura 34. Análisis Cinemático.

#### 4.5.5 TALUD # 5

Ubicado en el Cerro de las Mitras, a una altura de 733 m.s.n.m. Su litología corresponde a la Formación San Felipe descrita en el Capítulo III (Figura 35). La altura del talud es de 8 metros y tiene un rumbo de  $338^\circ$  con un buzamiento de  $80^\circ$ .



**Figura 35.** Talud # 5, Se puede observar el material arcilloso en su parte superior cubierta por vegetación y en el talud descubierto por el desgajamiento del mismo.

El análisis cinemático (Figura 36) indica un posible mecanismo de fallamiento planar con respecto a la SS, ya que el polo de este plano se ubica dentro de la envolvente de Markland.

### Valores

$$TL = 338^\circ / 80^\circ$$

$$SS = 335^\circ / 72^\circ$$

$$J1 = 72^\circ / 81^\circ$$

$$\Phi_p = 30^\circ$$

### Condiciones cinemáticas para el mecanismo planar

$$1. \alpha_p = \alpha_f \pm 20^\circ \quad (\text{ec. 4a-1})$$

$$2. \psi_p < \psi_f \quad (\text{ec. 4a-2})$$

$$3. \psi_p > \phi_p \quad (\text{ec. 4a-3})$$

### Donde:

$\alpha_f$  = dirección del echado del talud

$\alpha_p$  = dirección del echado del plano

$\psi_f$  = echado del talud

$\psi_p$  = echado del plano

$\Phi_p$  = ángulo de fricción

### Valores del talud actual:

$$\alpha_{TL} = 338^\circ$$

$$\alpha_{SS} = 335^\circ$$

$$\psi_{TL} = 80^\circ$$

$$\psi_{J1} = 72^\circ$$

$$\Phi_p = 30^\circ$$

### Condiciones para viabilidad de falla

$$1. 335^\circ = 338^\circ \pm 20^\circ \quad (\text{ec. 4a-1})$$

$$2. 72^\circ < 80^\circ \quad (\text{ec. 4a-2})$$

$$3. 72^\circ > 30^\circ \quad (\text{ec. 4a-3})$$

En las tres condiciones cumple con la cinética necesaria para que se produzca el fallamiento de tipo planar.

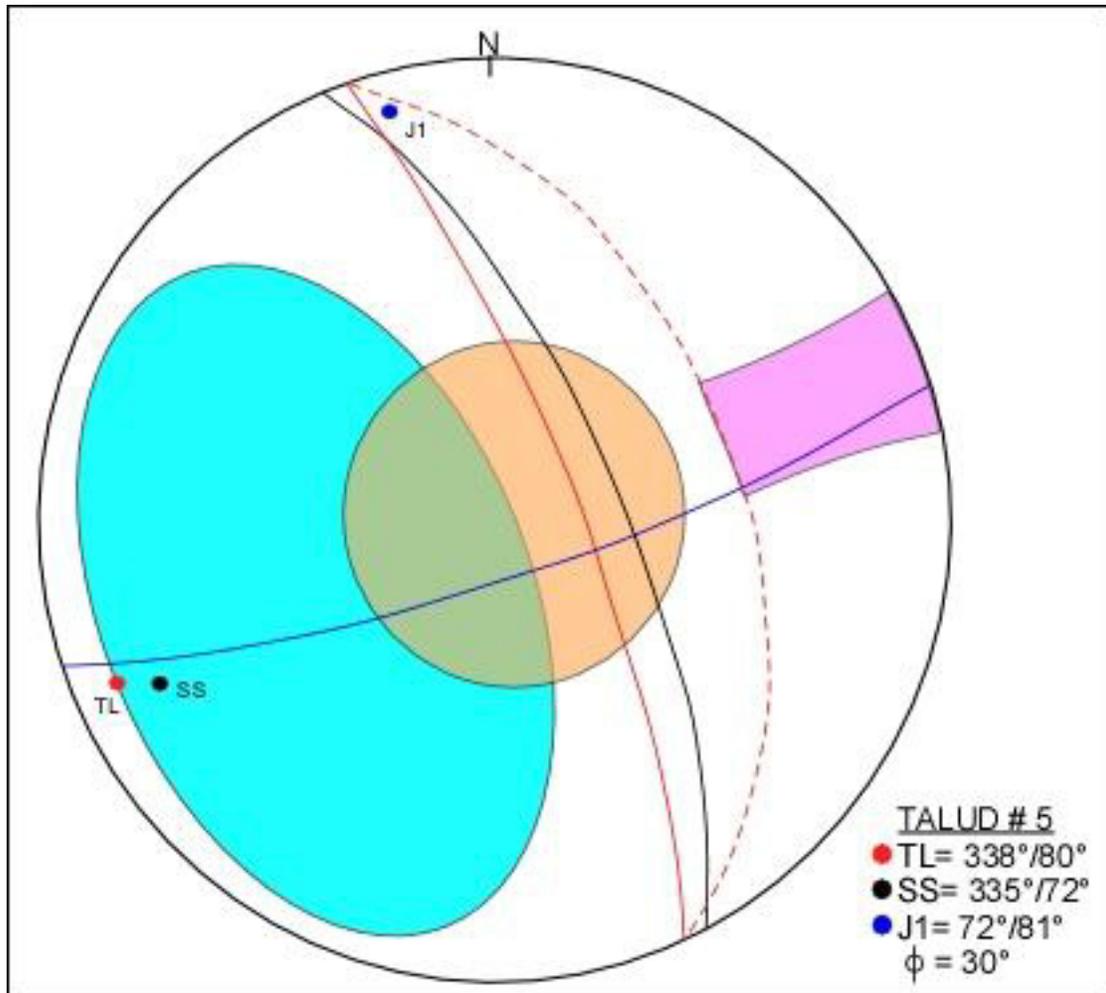


Figura 36. Análisis Cinemático.

#### 4.5.6 TALUD # 6

Se ubica en el Cerro de las Mitras y forma parte del talud # 7 a la vez ya que es la parte NE del talud, su litología corresponde a la Formación Cuesta del Cura descrita en el Capítulo III (Figura 37), se encuentra a una altura aproximada de 656 m.s.n.m. Esta zona tiene una altura aproximada de 7 metros y un rumbo de 41° con un buzamiento de 80°.



**Figura 37.** Talud # 6, en esta imagen se observa un talud construido para un tramo carretero en una curva.

El análisis cinemático (Figura 38) revela un mecanismo de fallamiento planar, ya que la horizontalidad de sus estratos SS aunado a que el estrato es delgado y su intercalación de material arcillosos hace que su cohesión con presencia de agua sea baja. A continuación, se presenta el análisis de viabilidad para el mismo.

Valores

TL= 41°/80°

SS= 33°/31°

J1= 206°/83°

$\Phi_p = 30^\circ$

Condiciones cinemáticas para el mecanismo planar

1.  $\alpha_p = \alpha_f \pm 20^\circ$  (ec. 4a-1)

2.  $\psi_p < \psi_f$  (ec. 4a-2)

3.  $\psi_p > \phi_p$  (ec. 4a-3)

Donde:

$\alpha_f$  = dirección del echado del talud  
 $\alpha_p$  = dirección del echado del plano  
 $\Psi_f$  = echado del talud  
 $\Psi_p$  = echado del plano  
 $\Phi_p$  = ángulo de fricción

Valores del talud actual:

$\alpha_{TL} = 41^\circ$   
 $\alpha_{SS} = 33^\circ$   
 $\Psi_{TL} = 80^\circ$   
 $\Psi_{J1} = 31^\circ$   
 $\Phi_p = 30^\circ$

Condiciones para viabilidad de falla

1.  $33^\circ = 41^\circ \pm 20^\circ$       **(ec. 4a-1)**
2.  $31^\circ < 80^\circ$               **(ec. 4a-2)**
3.  $31^\circ > 30^\circ$                 **(ec. 4a-3)**

En las tres condiciones cumple con la cinética necesaria para que se produzca el fallamiento de tipo planar.

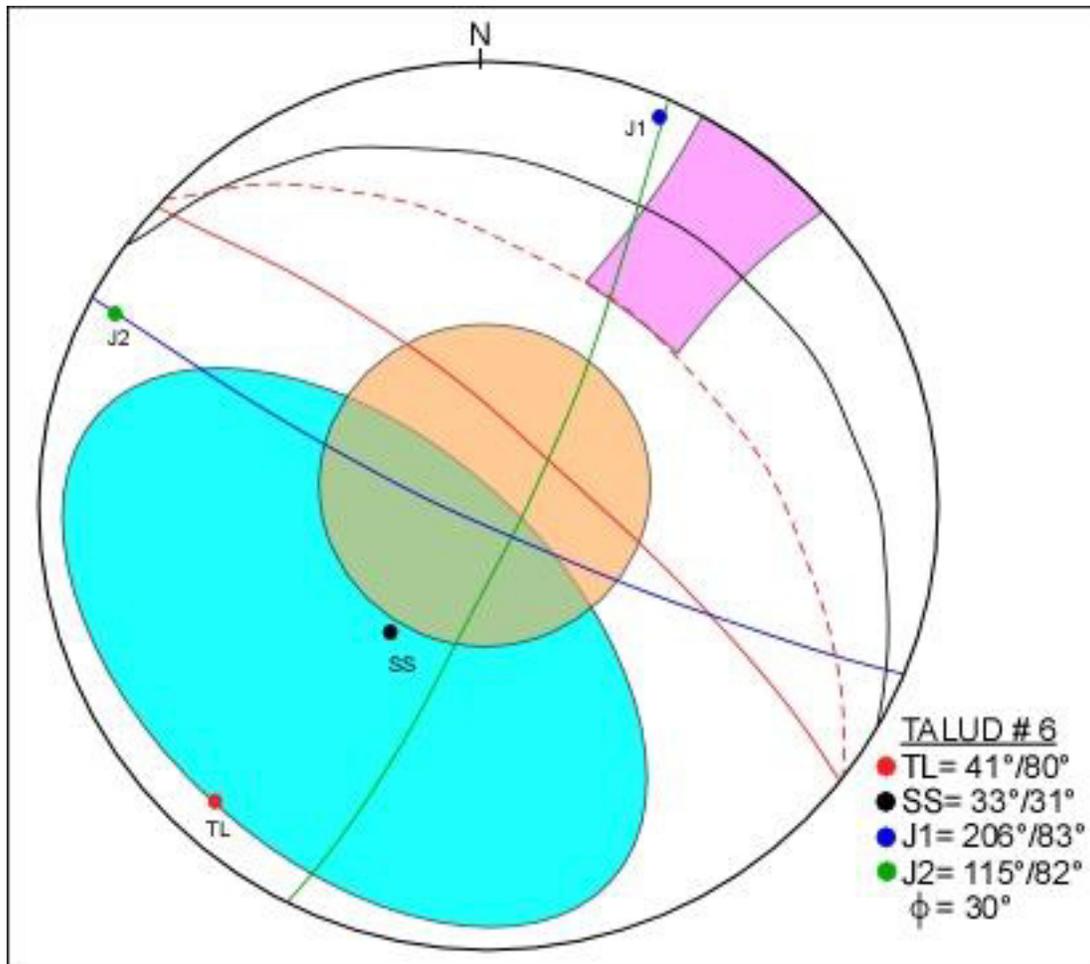


Figura 38. Análisis Cinemático.

#### 4.5.7 TALUD # 7

Se ubica en el mismo talud que el Talud # 6, su altura aproximada es de 656 m.s.n.m. Esta zona tiene una altura aproximada de 6 metros y un rumbo que aunque es el mismo talud que el anterior cambia ya que como se observa en la figura 39 se construyó sobre una curva y es de 31° con un buzamiento de 82°. Su litología corresponde a la Formación Cuesta del Cura descrita en el Capítulo III.



**Figura 39.** Talud # 7, en esta imagen se observa en la parte SW un talud ya fallado por un mecanismo de tipo planar.

El análisis cinemático (Figura 40) revela un posible fallamiento de tipo planar por el arreglo estructural en su estratificación SS. Para la validación de este mecanismo de falla se realiza el siguiente análisis de viabilidad.

Valores

$$TL = 31^\circ / 82^\circ$$

$$SS = 84^\circ / 39^\circ$$

$$J1 = 99^\circ / 87^\circ$$

$$J2 = 189^\circ / 82^\circ$$

$$\Phi_p = 30^\circ$$

Condiciones cinemáticas para el mecanismo planar

$$1. \alpha_p = \alpha_f \pm 20^\circ \quad (\text{ec. 4a-1})$$

$$2. \psi_p < \psi_f \quad (\text{ec. 4a-2})$$

$$3. \psi_p > \phi_p \quad (\text{ec. 4a-3})$$

Donde:

$\alpha_f$  = dirección del echado del talud  
 $\alpha_p$  = dirección del echado del plano  
 $\Psi_f$  = echado del talud  
 $\Psi_p$  = echado del plano  
 $\Phi_p$  = ángulo de fricción

Valores del talud actual:

$\alpha_{TL} = 31^\circ$   
 $\alpha_{SS} = 84^\circ$   
 $\Psi_{TL} = 82^\circ$   
 $\Psi_{J1} = 39^\circ$   
 $\Phi_p = 30^\circ$

Condiciones para viabilidad de falla

1.  $84^\circ = 31^\circ \pm 20^\circ$       **(ec. 4a-1)**
2.  $39^\circ < 82^\circ$               **(ec. 4a-2)**
3.  $39^\circ > 30^\circ$                 **(ec. 4a-3)**

No se cumplen las tres condiciones por lo tanto se puede decir que el talud es estable, aunque en campo se observa un fallamiento en el talud, el análisis nos revela lo contrario, por eso mismo aquí podemos darnos cuenta la importancia que tiene la observación del campo, ya que aunque el análisis de viabilidad nos dice que no existe un mecanismo de falla de tipo planearse puede decir que por la intercalación de rocas arcillosas en presencia con agua pierde su cohesión más su pendiente existe un fallamiento de tipo planar.

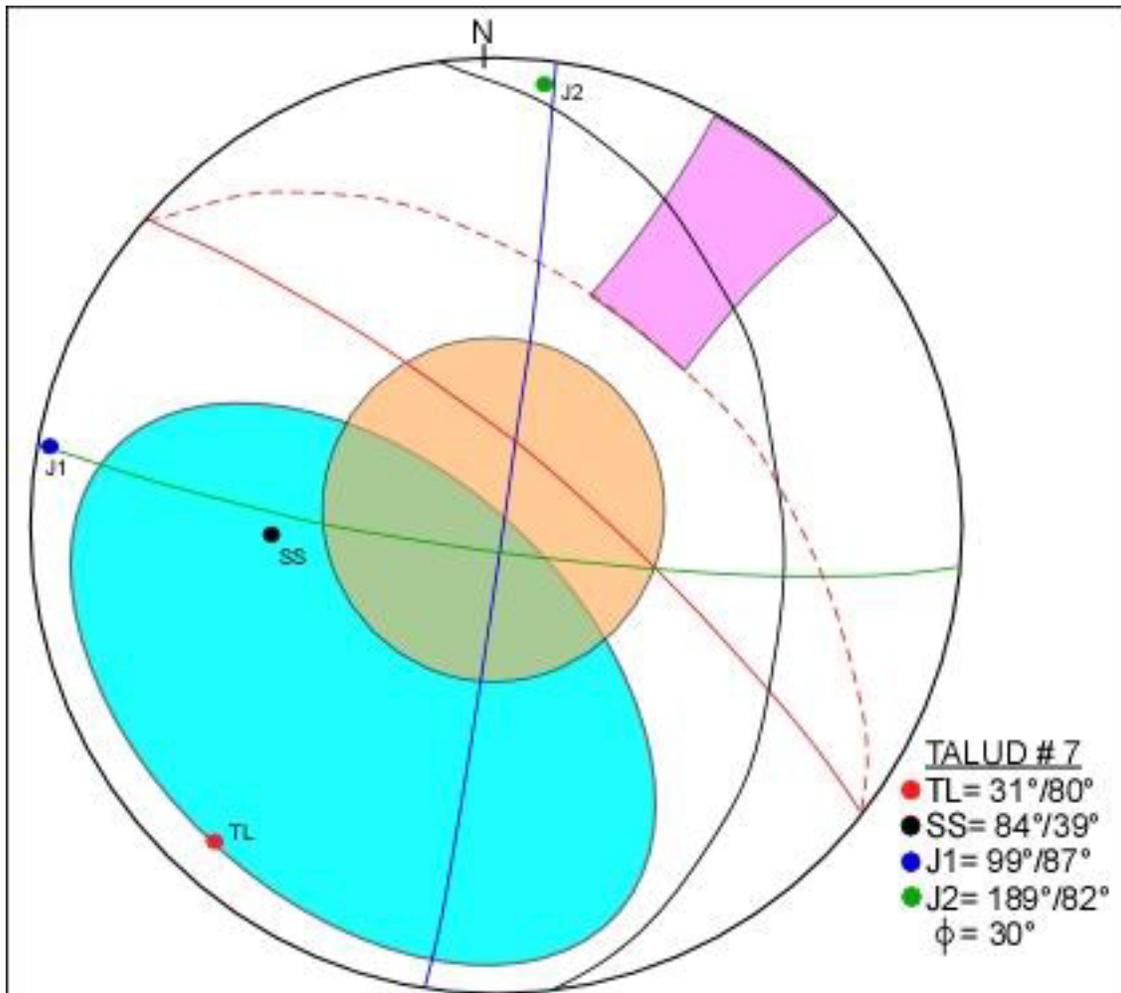


Figura 40. Análisis Cinemático.

### CAPITULO V

### CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

#### 5.1 INTRODUCCION

Para el estudio de estabilidad de taludes la caracterización geomecánica es de suma importancia ya que con esta se pretende predecir el comportamiento de los materiales ante la interacción de esfuerzos internos y externos.

La geomecánica surge por la necesidad de establecer diferentes parámetros para la utilización del medio geológico para obras superficiales y subterráneas para la explotación de recursos mineros.

A partir del año de 1966 se han realizado grandes avances e esta rama, lo mismo que con los suelos, también en este caso es de suma importancia el conocimiento de la geología es esencial para obtener el beneficio total que se deriva de la aplicación de las leyes de la mecánica a la estabilidad de la roca. Es por esto que la geomecánica guarda una estrecha relación con otras disciplinas como la geología estructural, para el estudio de los procesos y estructuras tectónicas que afectan a las rocas, y la mecánica de roca para la determinación de los diferentes parámetros de la roca altamente alterada y meteorizada en superficie.

GONZÁEZ DE VALLEJO et al. (2002) define que los parámetros de los macizos rocosos que se consideran en las distintas clasificaciones son los siguientes:

- Resistencia del material rocoso,
- Índice RQD de la calidad de la roca,
- Espaciamiento de las diaclasas,
- Orientación de las discontinuidades,
- Condiciones de las discontinuidades,

- Estructura geológica y fallas,
- Filtraciones y presencia de agua y
- Estado tensional.

Como parte del proceso para clasificar un macizo rocoso, las propiedades del material rocoso (ahora denominadas aquí como geomecánicas, puesto que son propias del comportamiento mecánico del material) se describen en base a observaciones y ensayos geotécnicos *in situ* de sus características, obteniendo información cuantitativa y cualitativa proporcionándoles términos descriptivos. A este proceso se denomina caracterización geomecánica o del macizo rocoso.

Para el presente trabajo se realizó una caracterización geomecánica de acuerdo a los principios más comunes o utilizados a nivel mundial los cuales son **RMR (Rock Mass Rating)** de BIENIAWSKI(1976) el cual se modificó por última vez en 1989 y el **SMR (Slope Mass Rating)** de Romana (1985) que funciona como un factor de ajuste a partir del RMR en función de la orientación de las discontinuidades con respecto al talud.

## 5.2 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

### 5.2.1 CLASIFICACIÓN RMR (ROCK MASS RATING)

Desarrollada por Bieniawski (1976) (Tabla 1), propuso una clasificación que tomará en cuenta aspectos que se relacionaran más con el comportamiento del macizo combinando el RQD de Deere (1964) con otras observaciones como la presencia de agua y la alteración de las fracturas. Fue la primera clasificación geomecánica que aportó datos cuantitativos como ángulos de fricción y el tiempo de soporte de un claro activo. Los cinco parámetros básicos que contempla son lossiguientes:

- Resistencia a la compresión uniaxial de la roca.
- Índice de Calidad de la Roca (RQD) de acuerdo a Deere (1964).
- Espaciamiento de las discontinuidades.
- Condición de las discontinuidades (rugosidad, continuidad, tamaño de la apertura, meteorización, tipos de rellenos, etc.).
- Flujo de agua a través de las juntas.
- Orientación de las discontinuidades.

Para la estimación del RQD, Deere (1964) emplea la recuperación de núcleos extraídos por barrenación a diamante con diámetros de 254 mm o superiores, mayores a 100 mm entre la longitud barrenada multiplicado por 100, la cual se define como sigue:

$$\text{RQD} = \frac{\sum \text{longitud de núcleos recuperados} \geq 100 \text{ mm}}{\text{Longitud total barrenada}} \times 100 \quad (\text{ec. 5.1})$$

En casos en los cuales se necesita estimar el RQD, pero no se tiene acceso a núcleos de barrenación a diamante, Palmstrom (1982) sugiere que en caso de que las discontinuidades sean visibles ya sea en planos expuestos de exploración, se puede realizar calculando el número de discontinuidades por unidad de volumen de acuerdo a la relación:

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 J_v \quad (\text{ec. 5.2})$$

Donde  $J_v$  es la suma del número de juntas por unidad de longitud de todas las familias de discontinuidades conocido como conteo volumétrico de juntas.

Para aplicar el RMR, el macizo rocoso es dividido en regiones estructurales y cada una se analiza por separado. Los límites de la región usualmente coinciden con la estructura característica mayor como una falla ó cambios en la litología. Después se analiza cada una de

## CAPÍTULO V CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

---

las características de la roca de acuerdo a la Tabla 1.1a. dando su respectivo valor respecto a las condiciones observadas. A esa valoración obtenida se le resta un factor de ajuste de acuerdo a la orientación de las discontinuidades con respecto a la obra con las Tablas 1.1b y 1.1f. Ya que se ha restado el rango correspondiente se compara con la Tabla 1.1c para asignar la clase y definición del tipo de roca, así como también aplicando el criterio de la Tabla 1.1d, obtener valores del comportamiento de macizo rocoso. El apartado 1.1e se aplica como guía para distinguir el tipo de discontinuidad al momento de hacer la clasificación.

## CAPÍTULO V CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

**Tabla 1.** Clasificación Geomecánica RMR de Bieniawski (1989)

a) Parámetros de clasificación y sus valores

1	Resistencia de la matriz rocosa	Ensayo de carga puntual	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Compresión simple (MPa)			
	(MPa)	Compresión simple	>250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25-5	5-1	< 1	
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%			
	Puntuación		20	17	13	6	3			
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m			
	Puntuación		20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad		< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Puntuación		6	4	2	1	0		
		Abertura		Nada	< 0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	> 5 mm		
		Puntuación		6	5	3	1	0		
		Rugosidad		Muy rugoso	Rugoso	Ligeramente rugoso	Ondulada	Suave		
		Puntuación		6	5	3	1	0		
		Relleno		Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación		6	4	2	2	0		
		Alteración		Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación		6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel		Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: presión de agua/Tensión principal mayor		0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Estado general		Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0			

b) Factor de ajuste por orientación de las discontinuidades

## CAPÍTULO V CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

Dirección y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

a) Clasificación del macizo rocoso de acuerdo a su valoración

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

b) Significado de la clasificación del macizo rocoso

No. Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de sostén	20 años para 15 m. de claro	1 año para 10 m. de claro	1 sema para 5 m. de claro	10 horas para 2.5 m. de claro	30 min. para 1 m. de claro
Cohesión del macizo (KPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Angulo de fricción (grados)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

c) Pautas para la clasificación de las condiciones de las discontinuidades

## CAPÍTULO V CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

Continuidad de discontinuidad (persistencia)	< 1 m. 6	1 - 3 m. 4	3 - 10 m. 2	10 - 20 m. 1	> 20 m. 0
Separación (apertura)	Ninguna 6	< 0.1 mm. 5	0.1 - 1.0 mm. 4	1 - 5 mm. 1	> 5 mm. 0
Rugosidad	Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugoso 3	Suave 1	Lisa 0
Relleno	Ninguno 6	Relleno duro < 5 mm. 4	Relleno duro > 5 mm. 2	Relleno suave > 5 mm. 2	Relleno suave < 5 mm. 0
Alteración	Inalterada 6	Ligeramente alterada 5	Moderadamente alterada 3	Altamente alterado 1	Descompuesto 0

### f) Efecto del rumbo y echado de las discontinuidades

Rumbo perpendicular al eje de la obra				Rumbo paralelo al eje de la obra		Echado de 0 - 20°  Independiente del rumbo
Penetración en sentido del rumbo		Penetración contra el rumbo				
Echado 45° - 90°	Echado 20° - 45°	Echado 45° - 90°	Echado 20° - 45°	Echado 45° - 90°	Echado 20° - 45°	
Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy favorable	Regular	Desfavorable

### 5.2.2 CLASIFICACIÓN SMR (SLOPE MASS RATING)

La clasificación SMR, desarrollada por Romana (1995) es una técnica para determinar los factores de ajuste que se necesitan para aplicar la clasificación original RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski (1976) a los taludes. En este caso dichos factores corresponden al tipo

de mecanismo de falla en la cual ocurre el talud rocoso ya que por lo regular la estabilidad está gobernada por las discontinuidades y la intersección de éstas produce superficies que delimitan bloques de roca que fallarán.

Este índice se obtiene del RMR básico sumando un "factor de ajuste", que es función de la orientación de las discontinuidades (producto de tres subfactores) y un factor de excavación que depende del método utilizado:

$$\text{SMR} = \text{RMR} + (\text{F1} * \text{F2} * \text{F3}) + \text{F4} \quad (\text{ec. 5.3})$$

Donde:

RMR = (rango de 0 a 100) Se calcula de acuerdo con los coeficientes de Bieniawski (1976) como la suma de las valoraciones correspondientes a cinco parámetros (Tabla 5.1a): El factor de ajuste de las discontinuidades es producto de tres subfactores (Tabla 5.2):

### **F1 Paralelismo entre el talud y la discontinuidad**

Depende del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo 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 baja). Estos valores, establecidos empíricamente se ajustan a la expresión:

$$\text{F1} = (1 - \text{sen } \alpha_p - \alpha_f)^2 \quad (\text{ec. 5.4})$$

Donde:

$\alpha_p$  = Dirección del echado de la discontinuidad.

$\alpha_f$  = Dirección del echado del talud.

### **F2 Inclinación del plano de discontinuidad**

Depende del echado de la discontinuidad en la rotura plana. En cierto sentido es una medida de la probabilidad a la resistencia a esfuerzo cortante de la discontinuidad. Varía entre 1.00 (para juntas con echado superior a 45°) y 0.15 (para juntas con echado inferior a 20°). Fue establecido empíricamente pero puede ajustarse según la relación:

$$F2 = (\tan^2 \psi_p)^2 \quad (\text{ec. 5.5})$$

Donde:

$\psi_p$  = Echado de la discontinuidad.

F2 tiene un valor de 1.0 para mecanismos de falla por vuelco.

### **F3 Relación echado del talud y echado del plano de discontinuidad**

Refleja la relación entre la orientación de los planos de discontinuidad con respecto al talud. Estos valores son los mismos propuestos por Bieniawski (1976) (Tabla 2) que siempre son negativos.

Para roturas planas F3 expresa la probabilidad de que las juntas afloren en el talud. Se supone que las condiciones son normales cuando el echado medido de la familia de juntas es igual al del talud y por lo tanto aflorarán algunos planos. Cuando el talud se inclina más que las juntas, casi todas aflorarán y las condiciones serán muy desfavorables, lo que supone un valor de F3 de -60 (para  $\psi_f - \psi_p > 10^\circ$ ), ó desfavorables lo que supone un valor de F3 de -50 (para  $0 < \psi_f - \psi_p < 10^\circ$ ). La diferencia con el valor de F3 normal (-25) es muy grande.

## CAPÍTULO V CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

**Tabla 2.** Factor de ajuste para las discontinuidades para la Clasificación SMR (Romana, 1995).

Factor F1						
Caso		Muy Favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muydesfavorable
P	$\alpha_p - \alpha_f$	<30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	< 5°
T	$\alpha_p - \alpha_f - 180^\circ$					
P/T	F1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Factor F2						
P	$\psi_p$	<20°	20°-30°	30°-35°	35°-40°	> 45°
	F2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T	F2	1	1	1	1	1
Factor F3						
P	$\Psi_p - \psi_f$	> 0°	10°-0°	0°	0°-(10°)	< -10°
T	$\Psi_p + \psi_f$	<110°	110°-120°	> 120°		--
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

### F4 Factor de Ajuste según el Método de Excavación

Este ha sido establecido empíricamente de acuerdo a los siguientes criterios (Tabla 3):

- Los taludes que se encuentran en un reposo natural por sus características naturales se encuentran meta 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.), para ello se otorga un valor de **F4= +15**.
- Utilizar la técnica del pre corte en las voladuras aumenta la estabilidad de los taludes en media clase. **F4= + 10**.
- La técnica de voladura suavizada (recorte o post-corte) bien calculada y ejecutada, también aumenta 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 empeorar la estabilidad propia del terreno. **F4= -8.**
- La excavación mecánica de los taludes por ripeado sólo es posible cuando el macizo rocoso está muy fracturado ó se excava roca blanda. Con frecuencia se combina con pre-voladuras que contemplan poco criterio de diseño. Las caras del talud presentan dificultades de acabado. Por ello el método ni mejora ni empeora la estabilidad. **F4= 0.**

**Tabla 3.** Factor de ajuste según el método de excavación del talud para la Clasificación SMR (Romana, 1985).

Método de excavación	Talud natural	Pre corte	Voladura Suave	Voladura o mecánico	Voladura deficiente
Valor F4	15	10	8	0	-8

Para aplicar esta clasificación, Romana(1985) hace las siguientes observaciones:

- 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 juntas. El valor más bajo obtenido para cada familia empíricamente, será el representativo del talud (Tabla 3).
- En rocas meteorizadas y en las evolutivas, la clasificación debe ser aplicada dos veces: para la situación inicial de roca sana y para la situación futura de la roca meteorizada. Los índices obtenidos serán distinto (Tabla 3).

Según el valor del índice SMR, se obtienen 5 clases de estabilidad, definidas en la siguiente tabla (Tabla 4):

## CAPÍTULO V CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

**Tabla 4.** Clases de estabilidad de acuerdo al SMR (Romana, 1995).

Clase No.	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descripción	Muy mala	Mala	Regular	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

### 5.3 VALORACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 5.3.1 VALORACIÓN GEOMECÁNICA DE LA FORMACIÓN SAN FELIPE TALUD # 1

Se ubica en el Cerro de Loma Larga en las Coordenadas UTM 0364487 N y 2838988 E. Su litología está comprendida por margas intercaladas de lutitas, presentando una compresión uniaxial de 1-5 MPa. Las mediciones en el sitio de las discontinuidades arrojan un RQD de 60%. Con una rugosidad suave, presentando un relleno arcilloso, con un espaciamiento 0.2 – 0.6 m y presentando una continuidad < 1 m (Figura 41).



**Figura 41.** En esta imagen observamos la litología del talud y su fractura miento.

Se obtuvo un total del RMR = 44 y un índice RMR en la Fm. San Felipe, arrojó como resultado una roca de clase III (Mediana calidad).

### 5.3.2 VALORACIÓN GEOMECÁNICA DE LA FORMACIÓN AGUA NUEVA TALUD # 3

Se encuentra en el Cerro de las Mitras en las coordenadas UTM 0361355 N y 2841886 E, El macizo rocoso de la Formación Agua Nueva está constituido por calizas con intercalaciones de lutitas y margas, presentando una compresión uniaxial de 25 - 50 MPa. Las mediciones en el sitio de las discontinuidades arrojan un RQD de 75%. Existen tres familias de discontinuidades, con una rugosidad suave, no presenta relleno entre sus discontinuidades, con un espaciamiento 0.2 – 0.6 m y presentando una continuidad < 1 m (Figura 42).



**Figura 42.** Se observa el espaciamiento entre estratos creado por tención de gravedad, debido a su verticalidad.

Se obtuvo un valor total del RMR = 58 y el índice RMR en la Formación Agua Nueva, arrojó como resultado una roca de clase III (Mediana calidad).

### 5.3.3 VALORACIÓN GEOMECÁNICA DE LA FORMACIÓN CUESTA DEL CURA TALUDES 6 Y 7

Se ubica en el Cerro de las Mitras en las coordenadas UTM 0361523 N y 2840420 E, su litología se encuentra comprendida por Calizas grisáceas con estratos ondulados, con nódulos de pedernal y algunas marcas de estratificación, presentando una comprensión uniaxial  $> 250$  MPa. Las mediciones en el sitio de las discontinuidades arrojan un RQD de 80%. Existen familias de discontinuidades, con una rugosidad suave, no presenta relleno entre sus discontinuidades, con un espaciamiento 0.2 – 0.6 m y presentando una continuidad  $< 1$  m (Figura 43).



**Figura 43.** Se observa la presencia de pedernal característico para esta formación.

Se obtuvo un valor total del RMR = 77 y el índice RMR en la Formación Cuesta del Cura, arrojo como resultado una roca de clase II (Buena calidad).

### 5.4 Peso específico

El peso específico o peso unitario de la roca depende de sus componentes, y se define como el peso por unidad de volumen. Sus unidades son las de fuerza (kilopondio, newton, tonelada-fuerza, etc.) por volumen. En general se considera el mismo valor para el peso específico,  $\gamma$ , y para la densidad,  $\rho$  ( $\rho = \text{masa/volumen}$ ), por lo que en ocasiones en la bibliografía geotécnica se emplea el término "densidad" aunque se está haciendo referencia al peso específico.

Las rocas a diferencia de los suelos, presentan una gran variación de pesos específicos (Tabla 5).

**Tabla 5.** Valores típicos del peso específico.

<b>Roca</b>	<b>Peso específico(g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>Arenisca</b>	2.3 - 2.6
<b>Caliza</b>	2.3 - 2.6
<b>Cuarcita</b>	2.6 - 2.7
<b>Lutita</b>	2.2 - 2.6

Para este trabajo se determinaron los pesos específicos de las Formaciones San Felipe, Agua Nueva y Cuesta del Cura, por medio de laboratorio utilizando la siguiente metodología propuesta por BROWN, 1981.

En primera instancia se obtuvieron diferentes muestras representativas de cada Formación, el número de muestras obtenidas vario para cada Formación de acuerdo a la intercalación litológica que presenta cada una. Dichas muestras se llevaron a laboratorio y se cortaron para obtener muestras inalteradas, con el fin de que los datos obtenidos sean viables para su interacción con el cálculo que se realiza en el Capítulo VI.

El corte que se realizó aparte del fin antes mencionado también tuvo como propósito obtener núcleos de un determinado tamaño para su uso en el laboratorio y colocarlo en la probeta.

Habiendo obtenido los núcleos, se prosiguió a colocarlo en el horno para que la muestra no fuera alterada por la humedad que contiene el ambiente así como la obtenida en el momento de realizar los cortes.

El secado de la muestra fue de varios días a 100 °C, al determinar que la muestra perdió su humedad se colocaron en frascos desecadores para su traslado y manipulación, siempre teniendo cuidado que las muestras no se mezclaran.

El siguiente paso fue pesarlas en una pesa digital de precisión, habiente tenido los pesos se les dio un baño de parafina para evitar que al momento de determinar su volumen por el desplazamiento del agua en una probeta las muestras absorbieran el agua y existiese con ello un error.

## CAPÍTULO V CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

---

Teniendo las muestras cubiertas con parafina se pesaron para determinar la diferencia de pesos de la muestra más la parafina, para con ello determinar el volumen desplazado de la muestra más la parafina y obtener solo el volumen de la muestra que es la que nos interesa.

Por consiguiente se sumergió cada una de las muestras en una probeta gradada para obtener el volumen de desplazamiento por milímetro.

Teniendo los datos de los pesos y el volumen se realizó la siguiente (Tabla 6) en la cual se observan los datos obtenidos y el resultado de cada muestra así como el promedio del peso específico para cada formación de interés.

## CAPÍTULO V CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

**Tabla 6.** Datos obtenidos en laboratorio y resultados de los pesos específicos por muestra y Formación.

Muestra	Replica	Litología	Peso de la Muestra (g)	Peso de la Muestra + parafina (g)	Volumen Total (ml)	Peso Parafina (g)	Volumen Parafina (ml)	Volumen Roca (ml)	Peso Específico de la Roca (g/cm <sup>3</sup> )	Peso Específico por diferencia litológica (g/cm <sup>3</sup> )	Rangos del Peso Específico de la Formación (g/cm <sup>3</sup> )	Peso Específico de la Formación Promediado (g/cm <sup>3</sup> )
TLSF-1	1	Bentonita	12.3169	13.3388	6.00	1.0219	1.14	4.86	2.53	2.63	2.28 - 2.73	2.48
	2		8.9897	9.6210	4.00	0.6313	0.70	3.30	2.73			
TLSF-2	1	Marga	8.4397	8.8939	4.00	0.4542	0.50	3.50	2.41	2.45		
	2		5.9013	6.2703	3.00	0.3690	0.41	2.59	2.28			
	3		6.0421	6.4755	2.75	0.4334	0.48	2.27	2.66			
TLSF-3	1	Arcilla	11.7629	12.6232	6.00	0.8603	0.96	5.04	2.33	2.36		
	2		17.5705	18.6217	8.50	1.0512	1.17	7.33	2.40			
TLAN-1	1	Caliza	11.3641	11.9005	4.90	0.5364	0.60	4.30	2.64	2.59		
	2		9.8707	10.3318	4.40	0.4611	0.51	3.89	2.54			
TLAN-2	1	Caliza con alto contenido arcilloso	9.3009	10.0043	4.50	0.7034	0.78	3.72	2.50	2.78		
	2		7.7495	8.3954	4.00	0.6459	0.72	3.28	2.36			
	3		8.2429	9.0113	4.50	0.7684	0.85	3.65	2.26			
	4		10.0109	10.6863	4.75	0.6754	0.75	4.00	2.50			
TLCC-1	1	Pedernal	6.3283	6.7137	2.50	0.3854	0.43	2.07	3.05	2.65		
	2		7.5186	7.9828	3.50	0.4642	0.52	2.98	2.52			
	3		8.8169	9.3199	4.00	0.5030	0.56	3.44	2.56			
	4*		6.9582	7.5681	3.50	0.6099	0.68	2.82	2.47			
TLCC-2	1	Caliza	5.0683	5.5814	2.50	0.5131	0.57	1.93	2.63	2.70		
	2		10.6534	11.2920	4.50	0.6386	0.71	3.79	2.81			
	3		8.3512	8.9014	3.75	0.5502	0.61	3.14	2.66			
TLCC-3	1	Caliza	6.7594	7.5477	3.40	0.7883	0.88	2.52	2.68	2.67		
	2		10.8383	11.4527	4.75	0.6144	0.68	4.07	2.66			

### CAPITULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

#### 6.1 INTRODUCCIÓN

Al tener definido el mecanismo de falla por medio del Análisis Cinemático (Capítulo IV) y teniendo identificados los valores de los parámetros del talud, ya sean geológicos o geomecánicos, se procederá en el presente capítulo a realizar el Análisis de Estabilidad para determinar la potencialidad del fallamiento del talud, tomando en cuenta los parámetros obtenidos.

En la Ingeniería Geológica el Factor de Seguridad se calcula frente a condiciones geológicas y geotécnicas mediante el coeficiente de seguridad, en donde se indica la relación entre la Fuerza Estabilizadora ( $F_r$ ; Fuerza Resistente) y la desestabilizadora ( $F_a$ ; Fuerza Actuante).

$$F.S. = F_r / F_a > 1.00 \quad (\text{ec. 6.1})$$

La elección del Factor de Seguridad (ec. 6.1) depende del grado de conocimiento de los parámetros de resistencia del terreno, presión hidrostática, superficie de rotura potencial y magnitud de las fuerzas externas que actúan o pueden actuar sobre el terreno.

El parámetro más importante en la estabilidad de un talud es el agua, como consecuencia de la infiltración del agua se produce un aumento o elevación en el nivel freático el cual da lugar a un aumento de presión del agua en los huecos, cuyo efecto es una disminución aparente de peso y por lo tanto de la resistencia a fricción y por otra parte la carga de fisuras preexistentes que implican un empuje hacia el exterior del talud.

En los análisis de estabilidad que se llevan a cabo, se supone que la roca sigue el criterio de rotura de Mohr-Coulomb, según el cual la resistencia a cortante viene expresada en función de la cohesión y el ángulo de fricción a lo largo de la superficie de rotura.

### 6.2 TIPOS DE MECANISMOS

#### 6.2.1 Mecanismo planar

Para el análisis de mecanismos planares, se utilizó el Método del Cono de Fricción (Kliche, 1999). Consiste en la combinación del análisis cinemático y cinético para analizar y determinar las fuerzas normales al plano y la fuerza causante del deslizamiento, vistas en una red estereográfica de Schmidt.

La fuerza principal que induce al deslizamiento es la componente en x de W, dada por la ecuación  $W \sen\beta$ .

En el equilibrio límite, de las fuerzas resistentes al deslizamiento son iguales a las que lo provocan y se puede definir con la siguiente ecuación:  $N \tan\phi = W \sen \beta$ , donde N es la fuerza normal o componente en “y” de W y  $\phi$  es el ángulo de fricción. Esto puede ser expresado como  $(W \cos \beta) (\tan\phi) = W \sen \beta$ .

Despejando obtenemos:

$$\tan \phi = \frac{W \sen \beta}{W \cos \beta} \quad (\text{ec. 6.2})$$

Reduciendo y simplificando la ecuación anterior:

$$\tan \phi = \tan \beta \quad (\text{ec. 6.3})$$

Para un factor de seguridad de 1.0 en equilibrio límite. La ecuación general para el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \quad (\text{ec. 6.4})$$

Considerando la cohesión:

Las fuerzas resistentes al deslizamiento del bloque son obtenidas con la siguiente ecuación:

$$cA + W \cos\beta \cdot \tan \varphi \quad (\text{ec. 6.5})$$

Donde  $c$  es la cohesión y  $A$  el área del bloque que descansa en la superficie. Para el cálculo del factor de seguridad considerando la cohesión se toma la siguiente expresión:

$$FS = \frac{cA + W \cos\beta \cdot \tan \Phi}{W \sin\beta} \quad (\text{ec. 6.6})$$

### 6.2.2 Mecanismo de cuña

El análisis para el análisis de cuñas propuesto por Hoek & Bray (1981), consiste en las relaciones angulares que guardan las líneas de intersección de los planos que delimitan la cuña respecto al balance de fuerzas que actúan sobre ella. Para la realización de este análisis es necesario definir la geometría de la cuña por la localización y orientación de por lo menos cuatro superficies limitantes. Estas superficies limitantes son dos que forman los planos de la cuña, la cara del talud y la pendiente natural de la ladera (Figura 44).

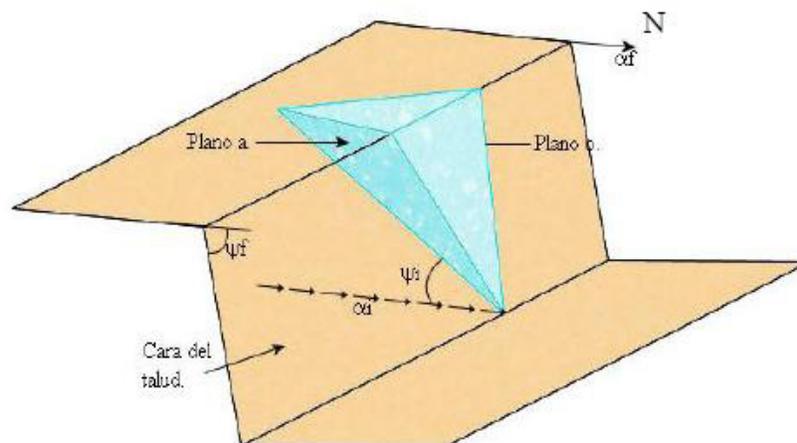


Figura 44. Partes de una cuña.

Hoek *et al* (1973) propusieron la siguiente ecuación para obtener el factor de seguridad.

$$FS = \frac{3}{\gamma H} \cdot (cA \cdot X + cB \cdot Y) + \left[ A - \frac{\gamma_w}{2\gamma} \cdot X \right] \tan \Phi a + \left[ B - \frac{\gamma_w}{2\gamma} \cdot Y \right] \tan \Phi b \quad (\text{ec.6.7})$$

Donde:

- $\gamma$  = peso específico de la roca.
- $\gamma_w$  = peso específico del agua.
- H = Altura total.

X, Y, A, B = factores adimensionales que depende de la geometría de la cuña y se obtienen mediante las siguientes expresiones.

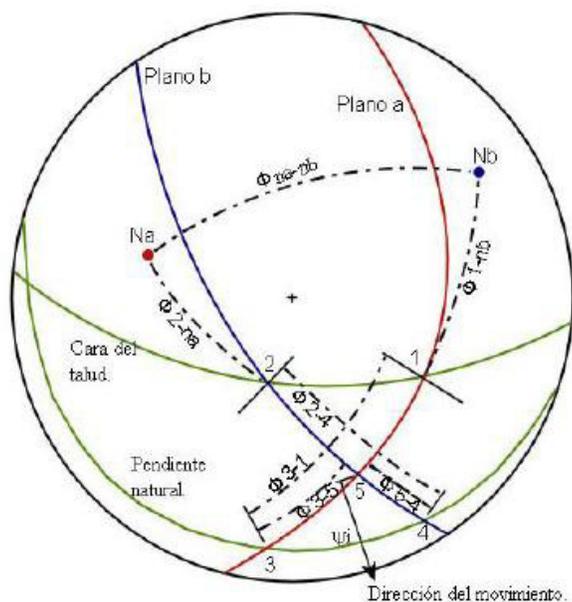
$$X = \frac{\text{sen } \theta \ 24}{\text{sen } \theta \ 45 \cdot \cos \theta \ 2na} \quad (\text{ec. 6.7a})$$

$$Y = \frac{\text{sen } \theta \ 13}{\text{sen } \theta \ 35 \cdot \cos \theta \ 1nb} \quad (\text{ec. 6.7b})$$

$$A = \frac{\cos \varphi \ a - \cos \varphi \ b \cdot \cos \theta \ na \cdot nb}{\text{sen } \varphi \ 5 \cdot \text{sen}^2 \theta \ na \cdot nb} \quad (\text{ec. 6.7c})$$

$$B = \frac{\cos \varphi \ b - \cos \varphi \ a \cdot \cos \theta \ na \cdot nb}{\text{sen } \varphi \ 5 \cdot \text{sen}^2 \theta \ na \cdot nb} \quad (\text{ec. 6.7d})$$

Los valores angulares se tomaron con la representación estereográfica (Figura 45) a través del programa DIPS de ROCSIENCE (versión de prueba).



**Figura 45.** Esquema que muestra como son obtenidos los ángulos de las intersecciones de planos (Hoek & Bray, 1981).

### 6.2.3 Mecanismo de vuelco.

Para analizar este mecanismo, se utilizó el modelo general para fallas tipo vuelco (Kliche, 1999); que funciona para bloques o columnas individuales, ya que al no estar excavado el talud, no hay mas bloques expuestos. El factor dominante que controla el vuelco de un bloque se encuentra en su peso ( $W$ ) con respecto del punto pivote en el bloque (Figura 46).

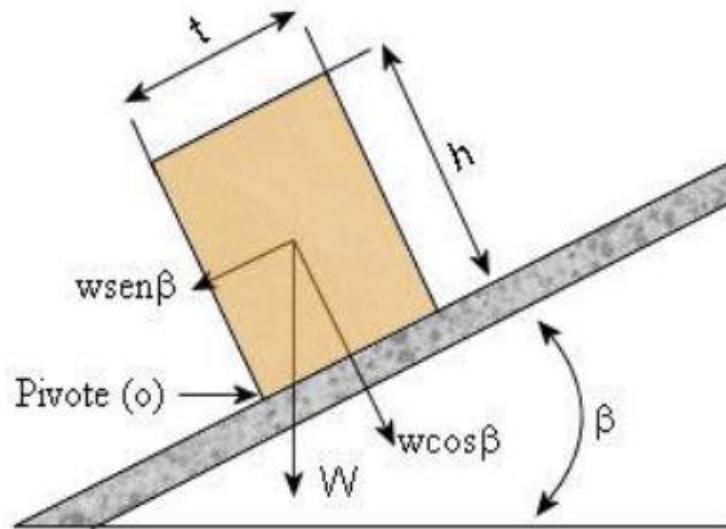


Figura 46. Modelo general para un mecanismo de vuelco.

Si la proporción de delgadez ( $t/h$ ) es menor a la tangente del plano sobre el cual se encuentra el bloque ( $\beta$ ), la fuerza resultante hace que el bloque vuelque. Por otra parte, el factor dominante para el deslizamiento del bloque está relacionado entre el plano sobre el cual se encuentra el bloque ( $\beta$ ) y el ángulo de fricción ( $\phi$ ). Si  $\beta > \phi$  el deslizamiento puede ocurrir. Hoek & Bray (1977), proponen cuatro diferentes zonas (Figura 47).

- Zona 1.  $\beta < \phi$  y  $t/h > \tan\beta$  ; el bloque es estable y no hay riesgo de vuelco o deslizamiento.
- Zona 2.  $\beta > \phi$  y  $t/h > \tan\beta$  ; el bloque podrá deslizarse pero no volcarse.
- Zona 3.  $\beta < \phi$  y  $t/h < \tan\beta$  ; el bloque tiende a volcarse pero no deslizarse.
- Zona 4.  $\beta > \phi$  y  $t/h < \tan\beta$  ; el bloque puede tanto volcarse como deslizarse.

Goodman, (1976), definió la siguiente ecuación para obtener un factor de seguridad en mecanismos de tipo vuelco:

$$FS = \frac{\left[ \frac{t}{h} \right]}{\tan \beta} \quad (6.8)$$

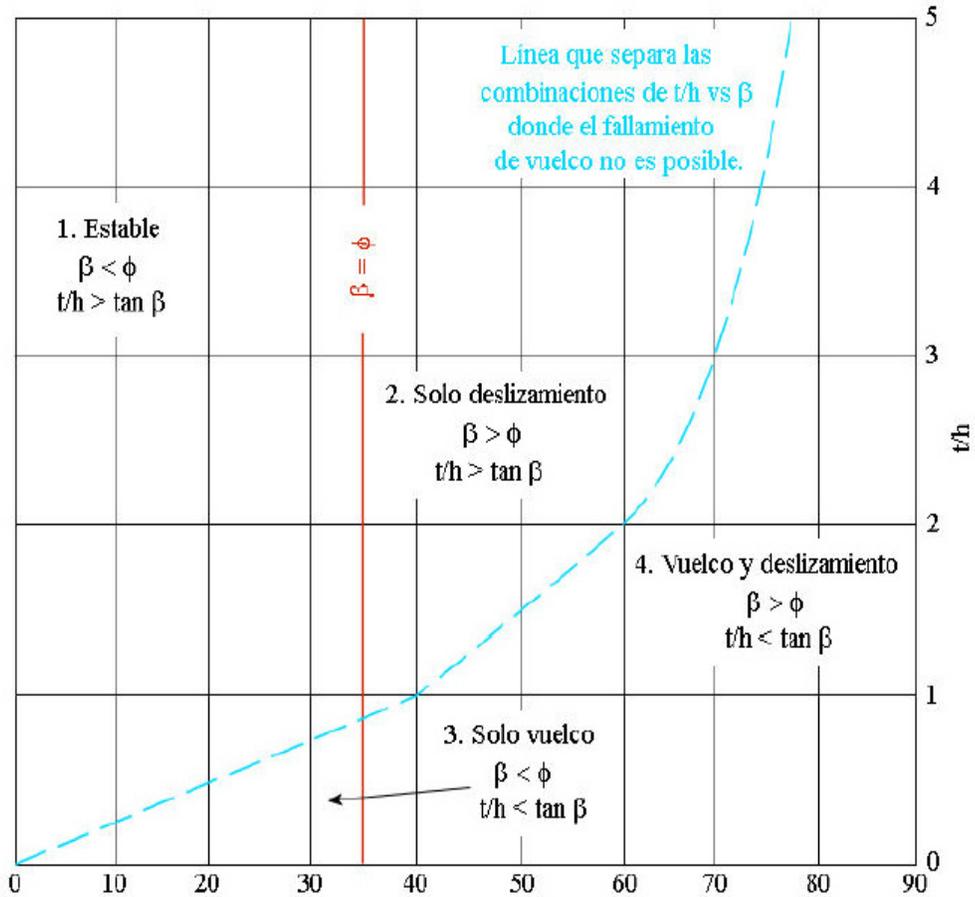


Figura 47. Zonas de estabilidad e inestabilidad de los bloques. Modificada de Hoek & Bray (1977).

### 6.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 6.3.1 TALUD #1 San Felipe

Para este talud se determinó un mecanismo de Fallamiento de tipo Planar por medio del análisis cinemático descrito en el Capítulo IV, este se encuentra ubicado en el Cerro de Loma Larga y geológicamente en la Formación San Felipe, su plano de falla se encuentra delimitado por la interacción de la estratificación la cual tiene una orientación de  $121^\circ$  y un buzamiento de  $31^\circ$  y el talud presenta una orientación de  $102^\circ$  con un buzamiento de  $80^\circ$  y una altura de 5.00 metros, el ángulo de fricción se obtuvo de (CHAPA GUERRERO, 1993 EN MEDINA BARRERA, 1996) y (ARMAS ZAGOYA, 2004), el cual fue determinado para el primero por un método regresivo (MR) y para el segundo por un método de *Tilt Test (TT)*(Tabla 7).

Lo que corresponde para el peso específico se explica el método con el que se determinó en el Capítulo V. De igual manera que el ángulo de fricción la cohesión se obtuvo de la literatura empleando los valores más elevados y más críticos de (Barton & Choubey, 1977) y (ARMAS ZAGOYA, 2004).

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

**Tabla 7.** Datos del Talud # 1

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Zw	Profundidad de agua en la grieta de tracción	0
Z	Profundidad de la grieta de tracción	0
$\gamma$	Peso específico de la roca	2400 kg/m <sup>3</sup> 2480 kg/m <sup>3</sup> (Laboratorio)
$\psi_p$	Buzamiento del plano	31°
$\psi_t$	Buzamiento del talud	80°
$\phi$	Angulo de fricción	30°TT 25°MR
H	Altura	5.00 m
$\gamma_w$	Peso específico del Agua	1000
C	Cohesión	2942 kg/m <sup>2</sup> (TT) 5375.94 kg/m <sup>2</sup> (Barton & Choubey, 1977)

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

**Tabla 8.** Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2400 kg/m<sup>3</sup>.

FORMULA	SUSTITUCIÓN	RESULTADO
$A = \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi_p}$	$A = \frac{5 - 0}{\text{sen } 31^\circ}$	9.7080
$U = \frac{1}{2}(\gamma)(Z_w)(z) \left( \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi_p} \right)$	$U = \frac{1}{2}(2400)(0)(0) \left( \frac{5 - 0}{\text{sen } 31^\circ} \right)$	0
$V = \frac{1}{2}(\gamma_w)(Z_w)^2$	$V = \frac{1}{2}(1000)(0)^2$	0
$W = \frac{1}{2}(\gamma)(H)^2 \left( \frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\tan \Psi_p} - \frac{1}{\tan \Psi_t} \right)$	$W = \frac{1}{2}(2400)(5)^2 \left( \frac{1 - \left(\frac{0}{5}\right)^2}{\tan 31} - \frac{1}{\tan 80} \right)$	44638.57505

Factor de Seguridad

Formula

$$F.S. = \frac{cA + (W \cos \psi_p - U - V \text{ sen } \psi_p) \tan \phi}{W \text{ sen } \psi_p + V \cos \psi_p}$$

A continuación, se realizará el cálculo para obtener el Factor de Seguridad, obteniéndolo por diferentes parámetros de ángulo de fricción y cohesión, para observar el comportamiento o cambio del factor de seguridad de acuerdo a estas combinaciones. (Tabla 8).

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (TT) y  $c = 2942 \text{ kg/m}^2$  (TT).

$$F.S. = \frac{(2942)(9.7080) + (44638.57 * \cos 31^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 31^\circ) \tan 30^\circ}{44638.57505 \text{ sen } 31^\circ + 0 * \cos 31^\circ}$$

$$F.S. = 2.2031$$

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

---

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (TT) y  $c = 5375.94 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(5375.94)(9.7080) + (44638.57 * \cos 31^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 31^\circ) \tan 30^\circ}{44638.57505 \text{ sen } 31^\circ + 0 * \cos 31^\circ}$$

$$F.S. = 3.2309$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 25^\circ$  (MR) y  $c = 2942 \text{ kg/m}^2$  (TT).

$$F.S. = \frac{(2942)(9.7080) + (44638.57 * \cos 31^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 31^\circ) \tan 25^\circ}{44638.57505 \text{ sen } 31^\circ + 0 * \cos 31^\circ}$$

$$F.S. = 2.0183$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 25^\circ$  (MR) y  $c = 5375.94 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(5375.94)(9.7080) + (44638.57 * \cos 31^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 31^\circ) \tan 25^\circ}{44638.57505 \text{ sen } 31^\circ + 0 * \cos 31^\circ}$$

$$F.S. = 3.0461$$

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

**Tabla 9.** Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2480 kg/m<sup>3</sup>.

FORMULA	SUSTITUCIÓN	RESULTADO
$A = \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi_p}$	$A = \frac{5 - 0}{\text{sen } 31^\circ}$	9.7080
$U = \frac{1}{2}(\gamma)(Z_w)(z) \left( \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi_p} \right)$	$U = \frac{1}{2}(2480)(0)(0) \left( \frac{5 - 0}{\text{sen } 31^\circ} \right)$	0
$V = \frac{1}{2}(\gamma_w)(Z_w)^2$	$V = \frac{1}{2}(1000)(0)^2$	0
$W = \frac{1}{2}(\gamma)(H)^2 \left( \frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\tan \Psi_p} - \frac{1}{\tan \Psi_t} \right)$	$W = \frac{1}{2}(2480)(5)^2 \left( \frac{1 - \left(\frac{0}{5}\right)^2}{\tan 31} - \frac{1}{\tan 80} \right)$	46126.5276

Factor de Seguridad

Formula

$$F.S. = \frac{cA + (W \cos \psi_p - U - V \text{ sen } \psi_p) \tan \phi}{W \text{ sen } \psi_p + V \cos \psi_p}$$

A continuación, se realizará el cálculo para obtener el Factor de Seguridad, obteniéndolo por diferentes parámetros de ángulo de fricción y cohesión, para observar el comportamiento o cambio del factor de seguridad de acuerdo a estas combinaciones (Tabla 9).

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (TT) y  $c = 2942 \text{ kg/m}^2$  (TT).

$$F.S. = \frac{(2942)(9.7080) + (44638.57 * \cos 31^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 31^\circ) \tan 30^\circ}{46126.5276 \text{ sen } 31^\circ + 0 * \cos 31^\circ}$$

$$F.S. = 2.1630$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (TT) y  $c = 5375.94 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(5375.94)(9.7080) + (44638.57 * \cos 31^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 31^\circ) \tan 30^\circ}{46126.5276 \text{ sen } 31^\circ + 0 * \cos 31^\circ}$$

$$F.S. = 3.1576$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 25^\circ$  (MR) y  $c = 2942 \text{ kg/m}^2$  (TT).

$$F.S. = \frac{(2942)(9.7080) + (44638.57 * \cos 31^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 31^\circ) \tan 25^\circ}{46126.5276 \text{ sen } 31^\circ + 0 * \cos 31^\circ}$$

$$F.S. = 1.9782$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 25^\circ$  (MR) y  $c = 5375.94 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(5375.94)(9.7080) + (44638.57 * \cos 31^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 31^\circ) \tan 25^\circ}{46126.5276 \text{ sen } 31^\circ + 0 * \cos 31^\circ}$$

$$F.S. = 2.9728$$

### 6.3.2 Talud # 2 Agua Nueva

El talud se encuentra ubicado en el Cerro de Loma Larga y geológicamente en la Formación Agua Nueva, presen un fallamiento de tipo planar, el cual se delimita por la interacción de las condiciones del talud que tiene un rumbo de  $287^\circ$  y su buzamiento es de  $80^\circ$ , su altura es de 6.00 metros y la estratificación tiene un rumbo de  $292^\circ$  y un buzamiento de  $21^\circ$ , esto se determinó por medio del análisis cinemático el cual se describe en el Capítulo IV, el ángulo de fricción se obtuvo de (MR) y (TT), el cual fue determinado para el primero por un método regresivo y para el segundo por un método de *Tilt Test* (Tabla 10).

Lo que corresponde para el peso específico se explica el método con el que se determinó en el Capítulo V. De igual manera que el ángulo de fricción la cohesión se obtuvo de la literatura empleando los valores más elevados y más críticos de (Barton & Choubey, 1977) y (MR).

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

**Tabla 10.** Datos del Talud # 2.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Zw	Profundidad de agua en la grieta de tracción	0
Z	Profundidad de la grieta de tracción	0
$\gamma$	Peso específico de la roca	2400 kg/m <sup>3</sup> 2690 kg/m <sup>3</sup> (Laboratorio)
$\Psi_p$	Buzamiento del plano	21°
$\psi_t$	Buzamiento del talud	80°
$\phi$	Angulo de fricción	35° (TT) 30° (MR)
H	Altura	6.00 m
$\gamma_w$	Peso específico del Agua	1000
c	Cohesión	856.562 kg/m <sup>2</sup> (Barton & Choubey, 1977) 3000 kg/m <sup>2</sup> (MR)

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

**Tabla 11.** Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2400 kg/m<sup>3</sup>.

FORMULA	SUSTITUCIÓN	RESULTADO
$A = \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi_p}$	$A = \frac{6 - 0}{\text{sen } 21^\circ}$	16.7425
$U = \frac{1}{2}(\gamma)(Z_w)(Z)\left(\frac{H - Z}{\text{sen } \Psi_p}\right)$	$U = \frac{1}{2}(2400)(0)(0)\left(\frac{6 - 0}{\text{sen } 21^\circ}\right)$	0
$V = \frac{1}{2}(\gamma_w)(Z_w)^2$	$V = \frac{1}{2}(1000)(0)^2$	0
$W = \frac{1}{2}(\gamma)(H)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\tan \Psi_p} - \frac{1}{\tan \Psi_t}\right)$	$W = \frac{1}{2}(2400)(6)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{0}{6}\right)^2}{\tan 21} - \frac{1}{\tan 80}\right)$	104922.522

Factor de Seguridad

Formula

$$F.S. = \frac{cA + (W \cos \psi_p - U - V \text{ sen } \psi_p) \tan \phi}{W \text{ sen } \psi_p + V \cos \psi_p}$$

A continuación se realizara el cálculo para obtener el Factor de Seguridad, obteniéndolo por diferentes parámetros de ángulo de fricción y cohesión, para observar el comportamiento o cambio del factor de seguridad de acuerdo a estas combinaciones (Tabla 11).

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 35^\circ$  (TT) y  $c = 856.562 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(856.562)(16.7425) + (104922.522 * \cos 21^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 21^\circ) \tan 35^\circ}{104922.522 \text{ sen } 21^\circ + 0 * \cos 21^\circ}$$

$$F.S. = 2.2055$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 35^\circ$  (TT) y  $c = 3000 \text{ kg/m}^2$  (MR).

$$F.S. = \frac{(3000)(16.7425) + (104922.522 * \cos 21^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 21^\circ) \tan 35^\circ}{104922.522 \text{ sen } 21^\circ + 0 * \cos 21^\circ}$$

$$F.S. = 3.1599$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (MR) y  $c = 856.562 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(856.562)(16.7425) + (104922.522 * \cos 21^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 21^\circ) \tan 30^\circ}{104922.522 \text{ sen } 21^\circ + 0 * \cos 21^\circ}$$

$$F.S. = 1.8854$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (MR) y  $c = 3000 \text{ kg/m}^2$  (MR).

$$F.S. = \frac{(3000)(16.7425) + (104922.522 * \cos 21^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 21^\circ) \tan 30^\circ}{104922.522 \text{ sen } 21^\circ + 0 * \cos 21^\circ}$$

$$F.S. = 2.8398$$

**Tabla 12.** Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2690 kg/m<sup>3</sup>.

FORMULA	SUSTITUCIÓN	RESULTADO
$A = \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi_p}$	$A = \frac{6 - 0}{\text{sen } 21^\circ}$	16.7425
$U = \frac{1}{2}(\gamma)(Z_w)(Z)\left(\frac{H - Z}{\text{sen } \Psi_p}\right)$	$U = \frac{1}{2}(2690)(0)(0)\left(\frac{6 - 0}{\text{sen } 21^\circ}\right)$	0
$V = \frac{1}{2}(\gamma_w)(Z_w)^2$	$V = \frac{1}{2}(1000)(0)^2$	0
$W = \frac{1}{2}(\gamma)(H)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\tan \Psi_p} - \frac{1}{\tan \Psi_t}\right)$	$W = \frac{1}{2}(2690)(6)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{0}{6}\right)^2}{\tan 21} - \frac{1}{\tan 80}\right)$	117600.66

Factor de Seguridad

Formula

$$F.S. = \frac{cA + (W \cos \psi_p - U - V \text{ sen } \psi_p) \tan \phi}{W \text{ sen } \psi_p + V \cos \psi_p}$$

A continuación se realizara el cálculo para obtener el Factor de Seguridad, obteniéndolo por diferentes parámetros de ángulo de fricción y cohesión, para observar el comportamiento o cambio del factor de seguridad de acuerdo a estas combinaciones (Tabla 12).

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 35^\circ$  (TT) y  $c = 856.562 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(856.562)(16.7425) + (104922.522 * \cos 21^\circ - 0 - 0 * \operatorname{sen} 21^\circ) \tan 35^\circ}{117600.66 \operatorname{sen} 21^\circ + 0 * \cos 21^\circ}$$

$$F.S. = 2.1643$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 35^\circ$  (TT) y  $c = 3000 \text{ kg/m}^2$  (MR).

$$F.S. = \frac{(3000)(16.7425) + (104922.522 * \cos 21^\circ - 0 - 0 * \operatorname{sen} 21^\circ) \tan 35^\circ}{117600.66 \operatorname{sen} 21^\circ + 0 * \cos 21^\circ}$$

$$F.S. = 3.0159$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (MR) y  $c = 856.562 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(856.562)(16.7425) + (104922.522 * \cos 21^\circ - 0 - 0 * \operatorname{sen} 21^\circ) \tan 30^\circ}{117600.66 \operatorname{sen} 21^\circ + 0 * \cos 21^\circ}$$

$$F.S. = 1.8443$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (MR) y  $c = 3000 \text{ kg/m}^2$  (MR).

$$F.S. = \frac{(3000)(16.7425) + (104922.522 * \cos 21^\circ - 0 - 0 * \operatorname{sen} 21^\circ) \tan 30^\circ}{117600.66 \operatorname{sen} 21^\circ + 0 * \cos 21^\circ}$$

$$F.S. = 2.6958$$

### 6.3.3 Talud # 3 Agua Nueva

El talud se ubica en el Cerro de las Mitras y geológicamente en la Formación Agua Nueva, este presenta un grado de complejidad ya que el análisis cinemático descrito en el Capítulo IV nos indica la presenta de tres diferentes sistemas de fallamiento los cuales se presentan en fallamiento de tipo planar, vuelco y cuña. El fallamiento de tipo planar está asociado a la J3 la cual tiene una orientación de  $155^\circ$  con un buzamiento de  $52^\circ$ , para el fallamiento de tipo vuelco se delimita por la estratificación en el cual la tiene un rumbo de

335° y un buzamiento de 63°, por último el fallamiento de tipo cuña se delimita por la interacción de la J1 y J3 las cuales presentan un rumbo y buzamiento de 89°/64° y 155°/52° respectivamente , claro está que estos mecanismos de falla interaccionan con el rumbo y buzamiento del talud que presenta 154°/84° y una altura de 7.00 metros.

El ángulo de fricción se obtuvo de (MR) y (TT), el cual fue determinado para el primero por un método regresivo y para el segundo por un método de *Tilt Test*. Lo que corresponde para el peso específico se explica el método con el que se determinó en el Capítulo V. De igual manera que el ángulo de fricción la cohesión se obtuvo de la literatura empleando los valores más elevados y más críticos de (Barton & Choubey, 1977) y (MR). (Tabla 13 y 14).

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

**Tabla 13.**Datos del Talud # 3.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Zw	Profundidad de agua en la grieta de tracción	0
Z	Profundidad de la grieta de tracción	0
$\gamma$	Peso específico de la roca	2400 kg/m <sup>3</sup> 2690 kg/m <sup>3</sup> (Laboratorio)
$\Psi_p$	Buzamiento del plano	52°
$\Psi_t$	Buzamiento del talud	84°
$\Phi$	Angulo de fricción	35° (TT) 30° (MR)
H	Altura	7.00 m
$\gamma_w$	Peso específico del Agua	1000
C	Cohesión	856.562 kg/m <sup>2</sup> (Barton & Choubey, 1977) 3000 kg/m <sup>2</sup> (MR)

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

**Tabla 14.** Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2400 kg/m<sup>3</sup>.

FORMULA	SUSTITUCIÓN	RESULTADO
$A = \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi p}$	$A = \frac{7 - 0}{\text{sen } 52^\circ}$	8.8831
$U = \frac{1}{2}(\gamma)(Z_w)(z)\left(\frac{H - Z}{\text{sen } \Psi p}\right)$	$U = \frac{1}{2}(2400)(0)(0)\left(\frac{7 - 0}{\text{sen } 52^\circ}\right)$	0
$V = \frac{1}{2}(\gamma_w)(Z_w)^2$	$V = \frac{1}{2}(1000)(0)^2$	0
$W = \frac{1}{2}(\gamma)(H)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\tan \Psi p} - \frac{1}{\tan \Psi t}\right)$	$W = \frac{1}{2}(2400)(7)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{0}{7}\right)^2}{\tan 52} - \frac{1}{\tan 84}\right)$	39753.4658

Factor de Seguridad

Formula

$$F.S. = \frac{cA + (W \cos \psi p - U - V \text{ sen } \psi p) \tan \phi}{W \text{ sen } \psi p + V \cos \psi p}$$

A continuación se realizara el cálculo para obtener el Factor de Seguridad, obteniéndolo por diferentes parámetros de ángulo de fricción y cohesión, para observar el comportamiento o cambio del factor de seguridad de acuerdo a estas combinaciones (Tabla 14).

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 35^\circ$  (TT) y  $c = 856.562 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(856.562)(8.8831) + (39759.4658 * \cos 52^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 52^\circ) \tan 35^\circ}{39759.4658 \text{ sen } 52^\circ + 0 * \cos 52^\circ}$$

$$F.S. = 0.7899$$

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 35^\circ$  (TT) y  $c = 3000 \text{ kg/m}^2$  (MR).

$$F.S. = \frac{(3000)(8.8831) + (39759.4658 * \cos 52^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 52^\circ) \tan 35^\circ}{39759.4658 \text{ sen } 52^\circ + 0 * \cos 52^\circ}$$

$$F.S. = 1.3976$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (MR) y  $c = 856.562 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(856.562)(8.8831) + (39759.4658 * \cos 52^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 52^\circ) \tan 30^\circ}{39759.4658 \text{ sen } 52^\circ + 0 * \cos 52^\circ}$$

$$F.S. = 0.6939$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (MR) y  $c = 3000 \text{ kg/m}^2$  (MR).

$$F.S. = \frac{(3000)(8.8831) + (39759.4658 * \cos 52^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 52^\circ) \tan 30^\circ}{39759.4658 \text{ sen } 52^\circ + 0 * \cos 52^\circ}$$

$$F.S. = 1.3016$$

**Tabla 15.** Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de  $2690 \text{ kg/m}^3$ .

FORMULA	SUSTITUCIÓN	RESULTADO
$A = \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi_p}$	$A = \frac{7 - 0}{\text{sen } 52^\circ}$	8.8831
$U = \frac{1}{2}(\gamma)(Z_w)(z) \left( \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi_p} \right)$	$U = \frac{1}{2}(2690)(0)(0) \left( \frac{7 - 0}{\text{sen } 52^\circ} \right)$	0
$V = \frac{1}{2}(\gamma_w)(Z_w)^2$	$V = \frac{1}{2}(1000)(0)^2$	0
$W = \frac{1}{2}(\gamma)(H)^2 \left( \frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\tan \Psi_p} - \frac{1}{\tan \Psi_t} \right)$	$W = \frac{1}{2}(2690)(7)^2 \left( \frac{1 - \left(\frac{0}{7}\right)^2}{\tan 52} - \frac{1}{\tan 84} \right)$	44563.7346

Factor de Seguridad

Formula

$$F.S. = \frac{cA + (W \cos \psi p - U - V \operatorname{sen} \psi p) \tan \phi}{W \operatorname{sen} \psi p + V \cos \psi p}$$

A continuación se realizara el cálculo para obtener el Factor de Seguridad, obteniéndolo por diferentes parámetros de ángulo de fricción y cohesión, para observar el comportamiento o cambio del factor de seguridad de acuerdo a estas combinaciones (Tabla 15).

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 35^\circ$  (TT) y  $c = 856.562 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(856.562)(8.8831) + (39759.4658 * \cos 52^\circ - 0 - 0 * \operatorname{sen} 52^\circ) \tan 35^\circ}{44563.7346 \operatorname{sen} 52^\circ + 0 * \cos 52^\circ}$$

$$F.S. = 0.7637$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 35^\circ$  (TT) y  $c = 3000 \text{ kg/m}^2$  (MR).

$$F.S. = \frac{(3000)(8.8831) + (39759.4658 * \cos 52^\circ - 0 - 0 * \operatorname{sen} 52^\circ) \tan 35^\circ}{44563.7346 \operatorname{sen} 52^\circ + 0 * \cos 52^\circ}$$

$$F.S. = 1.3059$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (MR) y  $c = 856.562 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(856.562)(8.8831) + (39759.4658 * \cos 52^\circ - 0 - 0 * \operatorname{sen} 52^\circ) \tan 30^\circ}{44563.7346 \operatorname{sen} 52^\circ + 0 * \cos 52^\circ}$$

$$F.S. = 0.6677$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (MR) y  $c = 3000 \text{ kg/m}^2$  (MR).

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

$$F.S. = \frac{(3000)(8.8831) + (39759.4658 * \cos 52^\circ - 0 - 0 * \operatorname{sen} 52^\circ) \tan 30^\circ}{44563.7346 \operatorname{sen} 52^\circ + 0 * \cos 52^\circ}$$

$$F.S. = 1.2099$$

Para el análisis del Factor de Seguridad de Cuñas para el Talud 3 se toman los mismos valores más la fórmulas de inicio son diferentes para lo cual se obtiene los siguientes datos:

Cálculos para obtener X, Y, A, B, con un peso específico de 2690 kg/m<sup>3</sup>.

FORMULA	RESULTADO
$X = \frac{\operatorname{sen} \theta 24}{\operatorname{sen} \theta 45 \cdot \cos \theta 2na}$	0
$Y = \frac{\operatorname{sen} \theta 13}{\operatorname{sen} \theta 35 \cdot \cos \theta 1nb}$	3.31
$A = \frac{\cos \varphi a - \cos \varphi b \cdot \cos \theta na.nb}{\operatorname{sen} \varphi 5 \cdot \operatorname{sen}^2 \theta na.nb}$	0.86
$B = \frac{\cos \varphi b - \cos \varphi a \cdot \cos \theta na.nb}{\operatorname{sen} \varphi 5 \cdot \operatorname{sen}^2 \theta na.nb}$	0.23

Con la fórmula que se representa a continuación se obtiene el Factor de Seguridad para una Cuña y se sustituye con los parámetros y valores antes obtenidos.

$$FS = \frac{3}{\gamma H} \cdot (cA \cdot X + cB \cdot Y) + \left[ A - \frac{\gamma w}{2\gamma} \cdot X \right] \tan \phi a + \left[ B - \frac{\gamma w}{2\gamma} \cdot Y \right] \tan \phi b$$

$$F.S. = 1.2$$

### 6.3.4 Talud # 4 Agua Nueva

El talud se encuentra ubicado en el Cerro de las Mitras y geológicamente en la Formación Agua Nueva, este talud presenta un fallamiento de tipo planar de acuerdo a el análisis cinemático descrito en el Capítulo IV, el fallamiento está delimitado por la J1 la cual presenta un rumbo de  $54^\circ$  y un buzamiento de  $66^\circ$ , en interacción con las características del talud el cual tiene un rumbo de  $342^\circ$  y un buzamiento de  $85^\circ$ , con una altura de 14.00 metros. El ángulo de fricción se obtuvo de (MR) y (TT), el cual fue determinado para el primero por un método regresivo y para el segundo por un método de *Tilt Test*.

Lo que corresponde para el peso específico se explica el método con el que se determinó en el Capítulo V. De igual manera que el ángulo de fricción la cohesión se obtuvo de la literatura empleando los valores más elevados y más críticos de (Barton & Choubey, 1977) y (MR). (Tabla 16).

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

**Tabla 16.**Datos del Talud # 4.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Zw	Profundidad de agua en la grieta de tracción	0
Z	Profundidad de la grieta de tracción	0
$\gamma$	Peso específico de la roca	2400 kg/m <sup>3</sup> 2690 kg/m <sup>3</sup> (Laboratorio)
$\Psi_p$	Buzamiento del plano	66°
$\Psi_t$	Buzamiento del talud	80°
$\Phi$	Angulo de fricción	35° (TT) 30° (MR)
H	Altura	14.00 m
$\gamma_w$	Peso específico del Agua	1000
C	Cohesión	856.562 kg/m <sup>2</sup> (Barton & Choubey, 1977) 3000 kg/m <sup>2</sup> (MR)

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

**Tabla 17.** Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2400 kg/m<sup>3</sup>.

FORMULA	SUSTITUCIÓN	RESULTADO
$A = \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi p}$	$A = \frac{14 - 0}{\text{sen } 66^\circ}$	15.3249
$U = \frac{1}{2}(\gamma)(Z_w)(z)\left(\frac{H - Z}{\text{sen } \Psi p}\right)$	$U = \frac{1}{2}(2400)(0)(0)\left(\frac{14 - 0}{\text{sen } 66^\circ}\right)$	0
$V = \frac{1}{2}(\gamma_w)(Z_w)^2$	$V = \frac{1}{2}(1000)(0)^2$	0
$W = \frac{1}{2}(\gamma)(H)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\tan \Psi p} - \frac{1}{\tan \Psi t}\right)$	$W = \frac{1}{2}(2400)(14)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{0}{14}\right)^2}{\tan 66} - \frac{1}{\tan 80}\right)$	63245.6809

Factor de Seguridad

Formula

$$F.S. = \frac{cA + (W \cos \psi p - U - V \text{ sen } \psi p) \tan \phi}{W \text{ sen } \psi p + V \cos \psi p}$$

A continuación se realizara el cálculo para obtener el Factor de Seguridad, obteniéndolo por diferentes parámetros de ángulo de fricción y cohesión, para observar el comportamiento o cambio del factor de seguridad de acuerdo a estas combinaciones (Tabla 17).

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 35^\circ$  (TT) y  $c = 856.562 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(856.562)(15.3249) + (63245.6809 * \cos 66^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 66^\circ) \tan 35^\circ}{63245.6809 \text{ sen } 66^\circ + 0 * \cos 66^\circ}$$

$$F.S. = 0.5389$$

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 35^\circ$  (TT) y  $c = 3000 \text{ kg/m}^2$  (MR).

$$F.S. = \frac{(3000)(15.3249) + (63245.6809 * \cos 66^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 66^\circ) \tan 35^\circ}{63245.6809 \text{ sen } 66^\circ + 0 * \cos 66^\circ}$$

$$F.S. = 1.1074$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (MR) y  $c = 856.562 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(856.562)(15.3249) + (63245.6809 * \cos 66^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 66^\circ) \tan 30^\circ}{63245.6809 \text{ sen } 66^\circ + 0 * \cos 66^\circ}$$

$$F.S. = 0.4842$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (MR) y  $c = 3000 \text{ kg/m}^2$  (MR).

$$F.S. = \frac{(3000)(8.8831) + (39759.4658 * \cos 52^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 52^\circ) \tan 30^\circ}{39759.4658 \text{ sen } 52^\circ + 0 * \cos 52^\circ}$$

$$F.S. = 1.0527$$

**Tabla 18.** Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de  $2690 \text{ kg/m}^3$ .

FORMULA	SUSTITUCIÓN	RESULTADO
$A = \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi_p}$	$A = \frac{14 - 0}{\text{sen } 66^\circ}$	15.3249
$U = \frac{1}{2}(\gamma)(Z_w)(z) \left( \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi_p} \right)$	$U = \frac{1}{2}(2690)(0)(0) \left( \frac{14 - 0}{\text{sen } 66^\circ} \right)$	0
$V = \frac{1}{2}(\gamma_w)(Z_w)^2$	$V = \frac{1}{2}(1000)(0)^2$	0
$W = \frac{1}{2}(\gamma)(H)^2 \left( \frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\tan \Psi_p} - \frac{1}{\tan \Psi_t} \right)$	$W = \frac{1}{2}(2690)(14)^2 \left( \frac{1 - \left(\frac{0}{14}\right)^2}{\tan 66} - \frac{1}{\tan 80} \right)$	70887.8674

Factor de Seguridad

Formula

$$F.S. = \frac{cA + (W \cos \psi p - U - V \operatorname{sen} \psi p) \tan \phi}{W \operatorname{sen} \psi p + V \cos \psi p}$$

A continuación se realizara el cálculo para obtener el Factor de Seguridad, obteniéndolo por diferentes parámetros de ángulo de fricción y cohesión, para observar el comportamiento o cambio del factor de seguridad de acuerdo a estas combinaciones (Tabla 18).

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 35^\circ$  (TT) y  $c = 856.562 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(856.562)(15.3249) + (63245.6809 * \cos 66^\circ - 0 - 0 * \operatorname{sen} 66^\circ) \tan 35^\circ}{70887.8674 \operatorname{sen} 66^\circ + 0 * \cos 66^\circ}$$

$$F.S. = 0.5144$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 35^\circ$  (TT) y  $c = 3000 \text{ kg/m}^2$  (MR).

$$F.S. = \frac{(3000)(15.3249) + (63245.6809 * \cos 66^\circ - 0 - 0 * \operatorname{sen} 66^\circ) \tan 35^\circ}{70887.8674 \operatorname{sen} 66^\circ + 0 * \cos 66^\circ}$$

$$F.S. = 1.0216$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (MR) y  $c = 856.562 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(856.562)(15.3249) + (63245.6809 * \cos 66^\circ - 0 - 0 * \operatorname{sen} 66^\circ) \tan 30^\circ}{70887.8674 \operatorname{sen} 66^\circ + 0 * \cos 66^\circ}$$

$$F.S. = 0.4597$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (MR) y  $c = 3000 \text{ kg/m}^2$  (MR).

$$F.S. = \frac{(3000)(8.8831) + (39759.4658 * \cos 52^\circ - 0 - 0 * \sin 52^\circ) \tan 30^\circ}{70887.8674 \sin 52^\circ + 0 * \cos 52^\circ}$$

$$F.S. = 0.9669$$

### 6.3.5 Talud # 5 San Felipe

Se ubica en el Cerro de las Mitras y geológicamente en la Formación San Felipe, el análisis cinemático descrito en el Capítulo IV indica un fallamiento de tipo planar el cual se encuentra delimitado por la estratificación la cual presenta un rumbo de 335° y un buzamiento de 72° claramente este fallamiento interactúa con el talud en el cual se determinó un rumbo de 338° y un buzamiento de 80° y presenta un altura de 8.00 metros. El ángulo de fricción se obtuvo de (MR) y (TT), el cual fue determinado para el primero por un método regresivo y para el segundo por un método de *Tilt Test*.

Lo que corresponde para el peso específico se explica el método con el que se determinó en el Capítulo V. De igual manera que el ángulo de fricción la cohesión se obtuvo de la literatura empleando los valores más elevados y más críticos de (Barton & Choubey, 1977) y (TT) (Tabla 19).

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

**Tabla 19.** Datos del Talud # 5.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Zw	Profundidad de agua en la grieta de tracción	0
Z	Profundidad de la grieta de tracción	0
$\gamma$	Peso específico de la roca	2400 kg/m <sup>3</sup> 2480 kg/m <sup>3</sup> (Laboratorio)
$\Psi_p$	Buzamiento del plano	72°
$\Psi_t$	Buzamiento del talud	80°
$\Phi$	Angulo de fricción	30° (TT) 25° (MR)
H	Altura	8.00 m
$\gamma_w$	Peso específico del Agua	1000
C	Cohesión	2942 kg/m <sup>2</sup> (TT) 5375.94 kg/m <sup>2</sup> (Barton & Choubey, 1977)

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

**Tabla 20.** Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2400 kg/m<sup>3</sup>.

FORMULA	SUSTITUCIÓN	RESULTADO
$A = \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi p}$	$A = \frac{8 - 0}{\text{sen } 72^\circ}$	8.4116
$U = \frac{1}{2}(\gamma)(Zw)(z)\left(\frac{H - Z}{\text{sen } \Psi p}\right)$	$U = \frac{1}{2}(2400)(0)(0)\left(\frac{8 - 0}{\text{sen } 72^\circ}\right)$	0
$V = \frac{1}{2}(\gamma w)(Zw)^2$	$V = \frac{1}{2}(1000)(0)^2$	0
$W = \frac{1}{2}(\gamma)(H)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\tan \Psi p} - \frac{1}{\tan \Psi t}\right)$	$W = \frac{1}{2}(2400)(8)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{0}{8}\right)^2}{\tan 72} - \frac{1}{\tan 80}\right)$	11411.9206

Factor de Seguridad

Formula

$$F.S. = \frac{cA + (W \cos \psi p - U - V \text{ sen } \psi p) \tan \phi}{W \text{ sen } \psi p + V \cos \psi p}$$

A continuación se realizara el cálculo para obtener el Factor de Seguridad, obteniéndolo por diferentes parámetros de ángulo de fricción y cohesión, para observar el comportamiento o cambio del factor de seguridad de acuerdo a estas combinaciones (Tabla 20).

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (TT) y  $c = 2942 \text{ kg/m}^2$  (TT).

$$F.S. = \frac{(2942)(8.4116) + (11411.9206 * \cos 72^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 72^\circ) \tan 30^\circ}{11411.9206 \text{ sen } 72^\circ + 0 * \cos 72^\circ}$$

$$F.S. = 2.4677$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (TT) y  $c = 5375.94 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(5375.94)(8.4116) + (11411.9206 * \cos 72^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 72^\circ) \tan 30^\circ}{11411.9206 \text{ sen } 72^\circ + 0 * \cos 72^\circ}$$

$$F.S. = 4.3541$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 25^\circ$  (MR) y  $c = 2942 \text{ kg/m}^2$  (TT).

$$F.S. = \frac{(2942)(8.4116) + (11411.9206 * \cos 72^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 72^\circ) \tan 25^\circ}{11411.9206 \text{ sen } 72^\circ + 0 * \cos 72^\circ}$$

$$F.S. = 2.4316$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 25^\circ$  (MR) y  $c = 5375.94 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(5375.94)(8.4116) + (11411.9206 * \cos 72^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 72^\circ) \tan 25^\circ}{11411.9206 \text{ sen } 72^\circ + 0 * \cos 72^\circ}$$

$$F.S. = 4.3180$$

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

**Tabla 21.** Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2480 kg/m<sup>3</sup>.

FORMULA	SUSTITUCIÓN	RESULTADO
$A = \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi p}$	$A = \frac{8 - 0}{\text{sen } 72^\circ}$	8.4116
$U = \frac{1}{2}(\gamma)(Z_w)(z)\left(\frac{H - Z}{\text{sen } \Psi p}\right)$	$U = \frac{1}{2}(2480)(0)(0)\left(\frac{8 - 0}{\text{sen } 72^\circ}\right)$	0
$V = \frac{1}{2}(\gamma_w)(Z_w)^2$	$V = \frac{1}{2}(1000)(0)^2$	0
$W = \frac{1}{2}(\gamma)(H)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\tan \Psi p} - \frac{1}{\tan \Psi t}\right)$	$W = \frac{1}{2}(2480)(8)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{0}{8}\right)^2}{\tan 72} - \frac{1}{\tan 80}\right)$	11792.3179

Factor de Seguridad

Formula

$$F.S. = \frac{cA + (W \cos \psi p - U - V \text{ sen } \psi p) \tan \phi}{W \text{ sen } \psi p + V \cos \psi p}$$

A continuación se realizara el cálculo para obtener el Factor de Seguridad, obteniéndolo por diferentes parámetros de ángulo de fricción y cohesión, para observar el comportamiento o cambio del factor de seguridad de acuerdo a estas combinaciones (Tabla 21).

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (TT) y  $c = 2942 \text{ kg/m}^2$  (TT).

$$F.S. = \frac{(2942)(8.4116) + (11411.9206 * \cos 72^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 72^\circ) \tan 30^\circ}{11792.3179 \text{ sen } 72^\circ + 0 * \cos 72^\circ}$$

$$F.S. = 2.3941$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (TT) y  $c = 5375.94 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(5375.94)(8.4116) + (11411.9206 * \cos 72^\circ - 0 - 0 * \sen 72^\circ) \tan 30^\circ}{11792.3179 \sen 72^\circ + 0 * \cos 72^\circ}$$

$$F.S. = 4.2197$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 25^\circ$  (MR) y  $c = 2942 \text{ kg/m}^2$  (TT).

$$F.S. = \frac{(2942)(8.4116) + (11411.9206 * \cos 72^\circ - 0 - 0 * \sen 72^\circ) \tan 25^\circ}{11792.3179 \sen 72^\circ + 0 * \cos 72^\circ}$$

$$F.S. = 2.3580$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 25^\circ$  (MR) y  $c = 5375.94 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(5375.94)(8.4116) + (11411.9206 * \cos 72^\circ - 0 - 0 * \sen 72^\circ) \tan 25^\circ}{11792.3179 \sen 72^\circ + 0 * \cos 72^\circ}$$

$$F.S. = 4.1836$$

### 6.3.6 Talud # 6 Cuesta del Cura

Para este talud se determinó un mecanismo de fallamiento planar por medio del análisis cinemático, este se encuentra ubicado en el Cerro de las Mitras y geológicamente en la Formación San Felipe, el fallamiento se encuentra delimitado por la estratificación la cual presenta un rumbo de  $33^\circ$  y un buzamiento de  $31^\circ$ , en interacción con el talud que presenta un rumbo de  $41^\circ$  y su buzamiento es de  $80^\circ$ , con una altura de 7.00 metros. El ángulo de fricción se obtuvo de (TT), el cual fue determinado por un método de *Tilt Test*.

Lo que corresponde para el peso específico se explica el método con el que se determinó en el Capítulo V. De igual manera que el ángulo de fricción la cohesión se obtuvo

---

de la literatura empleando los valores más elevados y más críticos de (Barton & Choubey, 1977) y (TT) (Tabla 22).

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

**Tabla 22.** Datos del Talud # 6.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Zw	Profundidad de agua en la grieta de tracción	0
Z	Profundidad de la grieta de tracción	0
$\gamma$	Peso específico de la roca	2400 kg/m <sup>3</sup> 2670 kg/m <sup>3</sup> (Laboratorio)
$\Psi_p$	Buzamiento del plano	31°
$\Psi_t$	Buzamiento del talud	80°
$\Phi$	Angulo de fricción	30° (TT)
H	Altura	7.00 m
$\gamma_w$	Peso específico del Agua	1000
C	Cohesión	2942 kg/m <sup>2</sup> (TT) 2667.58 kg/m <sup>2</sup> (Barton & Choubey, 1977)

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

**Tabla 23.** Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2400 kg/m<sup>3</sup>.

FORMULA	SUSTITUCIÓN	RESULTADO
$A = \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi_p}$	$A = \frac{7 - 0}{\text{sen } 31^\circ}$	13.5912
$U = \frac{1}{2}(\gamma)(Z_w)(z)\left(\frac{H - Z}{\text{sen } \Psi_p}\right)$	$U = \frac{1}{2}(2400)(0)(0)\left(\frac{7 - 0}{\text{sen } 31^\circ}\right)$	0
$V = \frac{1}{2}(\gamma_w)(Z_w)^2$	$V = \frac{1}{2}(1000)(0)^2$	0
$W = \frac{1}{2}(\gamma)(H)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\tan \Psi_p} - \frac{1}{\tan \Psi_t}\right)$	$W = \frac{1}{2}(2400)(7)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{0}{7}\right)^2}{\tan 31} - \frac{1}{\tan 80}\right)$	87491.6071

Factor de Seguridad

Formula

$$F.S. = \frac{cA + (W \cos \psi_p - U - V \text{ sen } \psi_p) \tan \phi}{W \text{ sen } \psi_p + V \cos \psi_p}$$

A continuación se realizara el cálculo para obtener el Factor de Seguridad, obteniéndolo por diferentes parámetros de ángulo de fricción y cohesión, para observar el comportamiento o cambio del factor de seguridad de acuerdo a estas combinaciones (Tabla 23).

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (TT) y  $c = 2942 \text{ kg/m}^2$  (TT).

$$F.S. = \frac{(2942)(13.5912) + (87491.6071 * \cos 31^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 31^\circ) \tan 30^\circ}{87491.6071 \text{ sen } 31^\circ + 0 * \cos 31^\circ}$$

$$F.S. = 1.8482$$

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (TT) y  $c = 2667.58 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(2667.58)(13.5912) + (87491.6071 * \cos 31^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 31^\circ) \tan 30^\circ}{87491.6071 \text{ sen } 31^\circ + 0 * \cos 31^\circ}$$

$$F.S. = 1.7654$$

**Tabla 24.** Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de  $2480 \text{ kg/m}^3$ .

FORMULA	SUSTITUCIÓN	RESULTADO
$A = \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi_p}$	$A = \frac{7 - 0}{\text{sen } 31^\circ}$	13.5912
$U = \frac{1}{2}(\gamma)(Z_w)(z)\left(\frac{H - Z}{\text{sen } \Psi_p}\right)$	$U = \frac{1}{2}(2480)(0)(0)\left(\frac{7 - 0}{\text{sen } 31^\circ}\right)$	0
$V = \frac{1}{2}(\gamma_w)(Z_w)^2$	$V = \frac{1}{2}(1000)(0)^2$	0
$W = \frac{1}{2}(\gamma)(H)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\tan \Psi_p} - \frac{1}{\tan \Psi_t}\right)$	$W = \frac{1}{2}(2480)(7)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{0}{7}\right)^2}{\tan 31} - \frac{1}{\tan 80}\right)$	90407.994

Factor de Seguridad

Formula

$$F.S. = \frac{cA + (W \cos \psi_p - U - V \text{ sen } \psi_p) \tan \phi}{W \text{ sen } \psi_p + V \cos \psi_p}$$

A continuación se realizara el cálculo para obtener el Factor de Seguridad, obteniéndolo por diferentes parámetros de ángulo de fricción y cohesión, para observar el comportamiento o cambio del factor de seguridad de acuerdo a estas combinaciones (Tabla 24).

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (TT) y  $c = 2942 \text{ kg/m}^2$  (TT).

$$F.S. = \frac{(2942)(13.5912) + (87491.6071 * \cos 31^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 31^\circ) \tan 30^\circ}{90407.994 \text{ sen } 31^\circ + 0 * \cos 31^\circ}$$

$$F.S. = 1.8195$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (TT) y  $c = 2667.58 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(2667.58)(13.5912) + (87491.6071 * \cos 31^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 31^\circ) \tan 30^\circ}{90407.994 \text{ sen } 31^\circ + 0 * \cos 31^\circ}$$

$$F.S. = 1.7395$$

### 6.3.7 Talud # 7 Cuesta de Cura

El talud se ubica en el Cerro de las Mitras y geológicamente en la Formación Cuesta del Cura, el análisis cinemático descrito en el Capítulo IV nos revela la un fallamiento de tipo planar, el cual se encuentra delimitado por la estratificación que tiene un rumbo de  $84^\circ$  con un buzamiento de  $39^\circ$  en conjunto con el talud que presenta un rumbo de  $31^\circ$  y su buzamiento es de  $82^\circ$ , con una altura de 6.00 metros. El ángulo de fricción se obtuvo de (TT), el cual fue determinado por un método de *Tilt Test*.

Lo que corresponde para el peso específico se explica el método con el que se determinó en el Capítulo V. De igual manera que el ángulo de fricción la cohesión se obtuvo de la literatura empleando los valores más elevados y más críticos de (Barton & Choubey, 1977) y (TT) (Tabla 25).

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

**Tabla 25.** Datos del Talud # 7.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Zw	Profundidad de agua en la grieta de tracción	0
Z	Profundidad de la grieta de tracción	0
$\gamma$	Peso específico de la roca	2400 kg/m <sup>3</sup> 2670 kg/m <sup>3</sup> (Laboratorio)
$\Psi_p$	Buzamiento del plano	39°
$\Psi_t$	Buzamiento del talud	82°
$\Phi$	Angulo de fricción	30° (TT)
H	Altura	6.00 m
$\gamma_w$	Peso específico del Agua	1000
C	Cohesión	2942 kg/m <sup>2</sup> (TT) 2667.58 kg/m <sup>2</sup> (Barton & Choubey, 1977)

## CAPÍTULO VI ESTABILIDAD DE TALUDES

**Tabla 26.** Cálculos para obtener A, U, V, W, con un peso específico de 2400 kg/m<sup>3</sup>.

FORMULA	SUSTITUCIÓN	RESULTADO
$A = \frac{H - Z}{\text{sen } \Psi p}$	$A = \frac{6 - 0}{\text{sen } 39^\circ}$	9.5340
$U = \frac{1}{2}(\gamma)(Z_w)(z)\left(\frac{H - Z}{\text{sen } \Psi p}\right)$	$U = \frac{1}{2}(2400)(0)(0)\left(\frac{6 - 0}{\text{sen } 39^\circ}\right)$	0
$V = \frac{1}{2}(\gamma_w)(Z_w)^2$	$V = \frac{1}{2}(1000)(0)^2$	0
$W = \frac{1}{2}(\gamma)(H)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\tan \Psi p} - \frac{1}{\tan \Psi t}\right)$	$W = \frac{1}{2}(2400)(6)^2\left(\frac{1 - \left(\frac{0}{6}\right)^2}{\tan 39} - \frac{1}{\tan 82}\right)$	47276.1931

Factor de Seguridad

Formula

$$F.S. = \frac{cA + (W \cos \psi p - U - V \text{ sen } \psi p) \tan \phi}{W \text{ sen } \psi p + V \cos \psi p}$$

A continuación se realizara el cálculo para obtener el Factor de Seguridad, obteniéndolo por diferentes parámetros de ángulo de fricción y cohesión, para observar el comportamiento o cambio del factor de seguridad de acuerdo a estas combinaciones (Tabla 26).

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (TT) y  $c = 2942 \text{ kg/m}^2$  (TT).

$$F.S. = \frac{(2942)(9.5340) + (47276.1931 * \cos 39^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 31^\circ) \tan 30^\circ}{47276.1931 \text{ sen } 39^\circ + 0 * \cos 39^\circ}$$

$$F.S. = 1.6557$$

Sustitución con los parámetros de  $\phi = 30^\circ$  (TT) y  $c = 2667.58 \text{ kg/m}^2$  (Barton & Choubey, 1977).

$$F.S. = \frac{(2667.58)(9.5340) + (47276.1931 * \cos 39^\circ - 0 - 0 * \text{sen } 31^\circ) \tan 30^\circ}{47276.1931 \text{ sen } 39^\circ + 0 * \cos 39^\circ}$$

$$F.S. = 1.5678$$

**DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Para la realización del presente trabajo se ubicaron siete taludes dentro del Área Metropolitana de Monterrey (AMM), como áreas tipo el Cerro de las Mitras y el Cerro de Loma Larga, en esta tesis se trata de ejemplificar de una manera clara y precisa, con base en los conocimientos adquiridos en el ramo de la Geología aplicada (Geología, Geología Estructural, Mecánica de Rocas y Análisis de Estabilidad de Taludes), las condiciones geomecánicas del macizo rocoso como un factor determinante en la estabilidad del talud y así como el factor agua, que en un momento dado es el factor determinante en desencadenar (detonante) la pérdida de estabilidad del talud, generando el fallamiento del mismo.

Los taludes analizados, no fueron elegidos al azar, se tomo en cuenta las formaciones observadas en el AMM que presentan la mayoría de los taludes fallados o con más problemática. Estas formaciones son San Felipe, Agua Nueva y Cuesta del Cura, por lo que los taludes analizados en la presente tesis solamente se encuentran dentro de estas Formaciones.

Las Formaciones Geológicas en las cuales se encuentran los siete taludes analizados, la Formación San Felipe, Formación Agua Nueva y la Formación Cuesta del Cura, mencionándolas de la más joven a la más antigua. En su mayoría los taludes se encuentran constituidos por material arcilloso (Lutitas) con intercalaciones de rocas Margosas y en algunos casos de calizas y pedernal.

Estas intercalaciones se vuelven más peligrosas al momento que interviene el factor agua, ya que la hidratación del macizo menos competente, para este caso el material

## **CAPÍTULO VII DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

arcilloso, pudiese llegar a comportarse como un suelo, el cual pierde su cohesión creando inestabilidad en el talud.

Las elevaciones topográficas como Cerro de las Mitras y el Cerro de Loma Larga presentan una estructura de tipo anticlinal, lo cual crea fracturas de apertura (tensión), que pudieran ser rellenadas, en un momento dado, por material alóctono. Estas fracturas rellenas por material alóctono facilitan a que el agua que se infiltre y fluya por el macizo y desestabilice la estructura del mismo.

Desde el punto de vista de geología estructural los siete taludes analizados se localizan al frente de la Sierra Madre Oriental en el Cerro de la Mitras.

El Cerro de la Mitras mantiene una dirección NW – SE y muestra una pequeña vergencia hacia el NE, mientras que su eje presenta una bifurcación en su terminación SE, presentando ambas estructuras una inmersión hacia el valle de Monterrey (ALVA NIÑO, 1997). Una de sus bifurcaciones es el Cerro de Loma Larga.

Debido a la estructura de anticlinal se forman discontinuidades de tipo bc, las cuales son paralelos al eje b del anticlinal del cerro de las mitas y loma larga y ac perpendicular al eje b.

En la parte superior-central del anticlinal las discontinuidades bc, se aprecian con mayor apertura que hacia los flancos y las ac debido a que el anticlinal es un braquianticlinal. Esta disposición de discontinuidades de diaclasamiento (ab y bc) aunadas a las discontinuidades de estratificación son un condicionante bastante fuerte a considerar, por lo que se recomienda que cada vez que se realice un corte en un talud se haga un análisis cualitativo de la situación estructural, la disposición entre discontinuidades, sus ángulos de inclinación y en su defecto analizar cuantitativamente la estabilidad del mismo.

Las características del macizo rocoso se deben determinar por talud no por Formación Geológica ya que estas cambian de un talud a otro, aunque estos se encuentren

---

## CAPÍTULO VII DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

muy cercano uno de otro. Por lo que para cada talud se realizó una caracterización del macizo rocoso por separado. Para fines prácticos se agrupan los taludes por formación, obteniendo los siguientes resultados (Tabla 27).

**Tabla 27.** Resultados geomecánicos de campo, obtenidos para los diferentes taludes analizados.

Talud	Compresión Uniaxial	RQD	RMR	Clase	Calidad del macizo rocoso
1 y 2	1-5 MPa	60%	44	III	Mediana
3, 4 y 5	25-50 MPa	75%	58	III	Mediana
6 y 7	> 250 MPa	80%	77	II	Buena

Como se puede observar en la Tabla 28, los valores varían de acuerdo a la formación en la que se encuentran los taludes. El Talud 1 y 2 se encuentran en la Formación San Felipe, los taludes 3, 4 y 5 en la Formación Agua Nueva y los Taludes 6 y 7 en la Formación Cuesta del Cura.

Por otro lado, para estos mismos taludes se determinaron, en el laboratorio, los pesos específicos para cada uno y por Formación Geológica. Este análisis se encuentra en el capítulo 4 en el apartado 4.7, Tabla 4.13, para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados, dados a conocer en la siguiente Tabla 28.

**Tabla 28.** Pesos específicos por formación.

Formación	Rangos del Peso Específico de la Formación (g/cm <sup>3</sup> )	Peso Específico de la Formación Promediado (g/cm <sup>3</sup> )
TLSF	2.28 - 2.73	2.48
TLAN	2.26 - 2.64	2.69
TLCC	2.47 - 3.05	2.67

TLSF (Talud San Felipe), TLAN (Talud Agua Nueva) y TLCC (Talud Cuesta del Cura)

## **CAPÍTULO VII DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

En la tabla 28 se puede observar los pesos específicos correspondientes a cada Formación, así como el promedio que fue el dato que se utilizó para realizar los cálculos correspondientes en el capítulo 6. Por lo que con esto se concluye que el dato utilizado con anterioridad, que para fines prácticos se estableció en  $2.4 \text{ g/cm}^3$  para cualquier tipo de macizo rocoso, no se encontraba tan lejos de los resultados obtenidos en laboratorio, aunque este dato si vario por formación, por lo que es importante tener siempre un dato más adecuado obtenido en laboratorio para la realización del cálculo de factor de seguridad (F.S.) del talud.

Con la obtención del peso específico en laboratorio de cada Formación se observó que el dato de  $2.4 \text{ g/cm}^3$  corresponde a macizos rocosos predominados por material arcilloso (Lutitas y Margas), en cambio si el macizo rocoso presenta intercalaciones de calizas con otro material más competente como es el caso de la Formación Cuesta del Cura que presenta intercalaciones de Pedernal, entonces este valor debe de ser un poco mayor.

Es importante tomar en cuenta lo observado en campo y lo determinado con el Análisis cinemática, ya que en ocasiones uno puede observar en campo un talud fallado por cualquiera de los mecanismos de falla y al momento de realizar la evaluación en gabinete las condiciones no se cumplen, o viceversa podemos no notar algo en campo y al realizar el análisis se obtiene un mecanismo de falla que no teníamos contemplado. Por lo tanto, se recomienda tomar en cuenta lo observado en campo y lo determinado por el Análisis Cinemática, para la determinación final de la conveniencia de la realización del análisis del factor de seguridad (F.S.) numérico del talud en cuestión.

## CAPÍTULO VII DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

**Tabla 29.** Resultados de los Análisis Cinemáticos.

Talud	Formación	Mecanismo de Falla	Cumple la Cinética
1	San Felipe	Planar	Si cumple
		Cuña	No cumple
2	Agua Nueva	Planar	No cumple
3	Agua Nueva	Planar	Si cumple
		Vuelco	Si cumple
		Cuña	Si cumple
4	Agua Nueva	Planar	No cumple
5	San Felipe	Planar	Si cumple
6	Cuesta del Cura	Planar	Si cumple
7	Cuesta del Cura	Planar	No cumple

Como se observa en la tabla 29 algunos mecanismos de falla dieron negativa a la hora de realizar la validación, más esto no quiere decir que no pudiese existir un fallamiento, por lo que es de suma importancia realizar una buena interpretación de campo y observar nuestros condicionantes, para poder realizar una buena interpretación en el gabinete, ya que para algunos métodos se dejan de lado parámetros importantes y como se mencionó en la introducción del Capítulo 4, el Análisis Cinemática es un método que se emplea

## **CAPÍTULO VII DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

gráficamente y tiene una comprobación, pero no es más que el primer paso en gabinete para la realización del Análisis de un talud. Aunque en ocasiones no validemos un mecanismo de falla por este método y en campo observamos el fallamiento por cualquier condición del talud, se debe de realizar el cálculo de F.S. (Factor de Seguridad).

El cálculo de estabilidad que es el cálculo por el cual determinamos la Seguridad o la probabilidad de que un talud falle por medio de un número el cual denominamos F.S. (Factor de Seguridad), para esta tesis se realizó el análisis de estabilidad para 7 taludes, los cuales se observan en la siguiente tabla con sus resultados (Tabla 30).

## CAPÍTULO VII DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

**Tabla 30.** Resultados del análisis de estabilidad de los diferentes taludes analizados en la presente tesis.

Talud	Formación	Ubicación	Mecanismo de Falla	Parámetros utilizados para la obtención de F.S.		Factor de Seguridad (F.S) con un peso específico de 2.4 g/cm <sup>3</sup> (literatura)	Factor de Seguridad (F.S) con un peso específico obtenido en laboratorio para cada formación.	Estado del talud
				$\Phi$	C (kg/m <sup>2</sup> )			
1	San Felipe	Cerro de Loma Larga	Planar	30°	2942	2.2	2.1	Bueno
				30°	5375.94	3.2	3.1	
				25°	2942	2.0	1.9	
				25°	5375.94	3.0	2.9	
2	Agua Nueva	Cerro de Loma Larga	Planar	35°	856.562	2.2	2.1	Bueno
				35°	3000	3.1	3.0	
				30°	856.562	1.8	1.8	
				30°	3000	2.8	2.6	
3	Agua Nueva	Cerro de las Mitras	Planar	35°	856.562	0.7	0.7	Muy malo
				35°	3000	1.3	1.3	
				30°	856.562	0.6	0.6	
				30°	3000	1.3	1.2	
			Vuelco					

## CAPÍTULO VII DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

			Cuña					
4	Agua Nueva	Cerro de las Mitras	Planar	35	856.562	0.5	0.5	Muy malo
				35	3000	1.1	1.0	
				30	856.562	0.4	0.4	
				30	3000	1.0	0.9	
5	San Felipe	Cerro de las Mitras	Planar	30	2942	2.4	2.3	Muy bueno
				30	5375.94	4.3	4.2	
				25	2942	2.4	2.3	
				25	5375.94	4.3	4.1	
6	Cuesta del Cura	Cerro de las Mitras	Planar	30	2942	1.8	1.8	Bueno
				30	2667.58	1.7	1.7	
7	Cuesta del Cura	Cerro de las Mitras	Planar	30	2942	1.6	1.6	Bueno
				30	2667.58	1.5	1.5	

De esta manera que es de suma importancia determinar el valor a utilizar ya que si colocamos valores muy críticos tendemos a que nuestros taludes siempre fallen y la remediación sea costosa, y si colocamos valores sobre valorados o muy altos nuestros

## **CAPÍTULO VII DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

taludes se van a encontrar en un F.S. alto. Por lo que nos arriesgamos a que en el cálculo tengamos un buen talud (estable) y en la realidad este nos pueda fallar.

Es importante llegar a un equilibrio entre los valores que utilicemos para realizar cada cálculo de un talud, consientes de mantener un equilibrio entre los costos de la remediación en su caso por un lado y por otro lado, algo muy importante, manteniendo muy en alto la seguridad.

CAPÍTULO VIII

BIBLIOGRAFÍA

**ADAME RIVERA (2013):** Urbanismo vulnerable a los procesos de remoción en masa en el municipio de San Pedro Garza García, Nuevo León, México. Tesis de Maestría en Ciencias para la Planificación de Asentamientos Humanos. UANL.

**ALVA NIÑO, E. (1997):** Estudio Geológico – Hidrogeológico de la región noroeste (Sierra las Mitras – Cerro del Topo – Cerro el Durazno) de Monterrey, Nuevo León, México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL, Linares, Nuevo León, 109 p.

**ANGUITA-VIRELLA, F.Y MORENO-SERRANO, F., (1991):** Procesos Geológicos Internos. Editorial Rueda, Madrid. 232p.

**ARMAS ZAGOYA, J.M. (2004):** Cartografía geológica estructural del Valle de Huizachal, como base para el análisis de estabilidad de taludes de la carretera Rumbo Nuevo, Tamps. México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L.

**BALLY, A.; (1981):** Thoughts on the tectonics of folded belts. Geological Society. London, Special Publications, Vol. 9, pp. 13 - 32.

**BALLY, A.; (1981):** Thoughts on the tectonics of folded belts. Geological Society. London, Special Publications, Vol. 9, pp. 13 - 32.

**BARTON, N., & CHOUBEY, V.; (1977):** The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mechanics, Vol. 10, No. 1, pp. 1 - 54.

**BIENIAWSKI, Z.T. (1976):** Classification of Jointed Rock Masses. Transactions, South African Institution of Civil Engineering. XV(12): 335-344.

**BRAWNER C.O. & MILLIGAN V. (1971):** Stability in open pit mining: Proceedings. New York: Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, p 242.

**BROWN, E.T., (1981):** Rock characterization testing and monitoring: ISRM Suggested Methods. Commission on Testing Methods. International Society of Rock Mechanics. Pergamon Press. New York.

**BURROWS, R.H. (1910):** Geology of the Northern México. Bol, Soc. Geol. México, V.7, p. 85-103.

**CHAPA ARCE, GARCÍA PUENTE, LEMUS ALARCÓN & GARZA VELA, (2010):** Estudio geológico-estructural-geofísico para determinar movimientos en masa y riesgos geológicos en el Cañón el Huajuco (La Estanzuela), al sureste del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias de la Tierra. UANL.

**CHAPA, GUERRERO, J. R. (1993):** Massenbewegungen an Steilhängen der Sierra Madre Oriental im Grossraum Monterrey, Mexiko. Tesis Doctoral, RWTH- Aachen, 164 p.

**CHAPA GUERRERO, J. R. (1994):** Riesgos Geológicos en la Sierra Madre Oriental (Estado de Nuevo León) México., Zbl. Geol. Paläontol.- Teil 1, 1993: 555 - 556 p.

**CHAPA GUERRERO, J. R. (1996):** Estabilidad de taludes escarpados, Sierra Madre Oriental N. L., México., Zbl. Geol. Paläontol.- Teil 1, 1994: 1019 – 1026 p.

**CHAPA GUERRERO, J. R., DE LEÓN GOMEZ, H., ALVA NIÑO, E. & IBARRA MARTINEZ, S. (2010):** Geología e Hidrogeología. Biodiversidad y conservación del monumento Natural de La Silla, México. Impreso en la Universidad Autónoma de Nuevo León. Primera edición.

**CONEY, P.J. (1976):** Plate tectonics and the Laramide orogeny New México. Geological Society Special Publication, pp. 5-10.

**COOPER, M. A., WILLIAMS, G. D., ET AL.; (1989):** Inversion Tectonics - a discussion. Geological Society. London, Special Publications, Vol. 44, pp. 335- 347.

**CORDOVA JIMENÉZ (2007):** Carta diagnóstica de riesgos geológicos por inestabilidad de laderas de la saliente SE del Cerro de las Mitras en Monterrey N.L. UANL.

**DE CSERNA, Z. (1956):** Tectónica de la Sierra Madre Oriental de México, entre Torreón y Monterrey, México, en XX Congreso Geológico Internacional: México, Distrito Federal, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 2 mapas, pp. 87.

**DEERE, D.U. (1964):** Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes. Kock Med. Eng. Geol., V. 1, pp: 17-22.

**DICKINSON, W. R., KLUTE, M.A, HAYES, MJ., JANECKE, S.U., LUNDIN, E.R., MICKITTRICK, M.A y OLIVARES, M.D. (1988):** Paleogeographic and paleotectonic setting of Laramide sedimentary basins in the Mountain region: GSA Bulletin, v. 100, pp. 1023-1039.

**DICKINSON, W. & SNYDER, S. (1977):** Inferred plate tectonic setting of classic Laramide Orogeny: Geological Society of America, pp. 9 (7) 950.

**EGUILUZ, S. ARANDA, M. MARRETT, R. (2000):** Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México. Bol.Soc. Geol. Mex. LIII: 1-26.

**GARCÍA QUINTERO, J. (2008):** Determinación de los Riesgos Geológicos en el noreste del cerro de las mitras dentro del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L.

**GOLDHAMMER, R.K., LEHMANN ET., P.J., TODD, R.G., WILSON, J.L., WARD, W.C. y JOHNSON, C.R., (1991):** Sequence stratigraphy and cyclostratigraphy of the Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of North America Special Paper 340. p 1-58.

**GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. I., M. FERRER, L. ORTUÑO, C. OTEO (2002):** Ingeniería Geológica. Pearson Educación, Madrid. 774 p.

**GOODMAN, R. E. & BRAY, J. W.; (1976):** Toppling of rock slopes. In: Rock engineering for foundations and slopes; proceedings of a specialty conference, Am. Soc. Civ. Eng. New York. Vol. 2, pp. 201-233.

**HANCOCK, P. L., (1985):** Brittle microtectonics: principles and practice. J. Struct. Geol. V.7, pp: 437-458.

**HERNÁNDEZ PADILLA, M. (1994):** Investigaciones geológicas e hidrogeológicas en el área metropolitana de Monterrey, N.L./México. Tesis de Licenciatura, FCT/UANL.

**HOEK E., & BRAY, J. W., (1977):** Rock slope engineering, 2<sup>nd</sup> edition: Institute of Mining & Metallurgy, London, 402 p.

**HOEK, E. & BRAY, J. W.; (1981):** Rock slope engineering. 3rd. edn. The Institution of Mining and Metallurgy. London. pp. 358.

**HOEK, E. AND BROWN, E. T.; (1980):** Underground excavation in rock. The Institution of Mining and Metallurgy. London.

**HUMPREY, W. E. (1949):** Geology of the Sierra de los Muertos Area.- Geol. Am. Bull., vol. 60: 89-176 p.

**IBARRA MARTINEZ, S.E. (2007):** Riesgos geológicos en la región sursureste del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México (Mederos). Tesis de Licenciatura, FCT, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N.L.

**IMLAY, R. W. (1936):** Geology of the western part of the Sierra de Parras. Geol. Soc. Am. Bull., V. 47, pp: 1091-1152.

**IMLAY, R.W. (1937):** Geology of the middle part of the Sierra de Parras, Coahuila, México. Geol. Soc. Am. Bull., V.48, p. 587-630.

**INEGI (1986):** Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León, Ed. Secretaría de Programación y Presupuesto (SSP), 170 p; México, D.F., México.

**INEGI (2010):** Población y Vivienda de Monterrey, Nuevo León, México.

**JEFFREYS, G. (1910):** Reporte “No Publicado” y utilizado en MUIR (1936).

**KLICHE C. (1999):** Rock slope stability. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc (SME). 8307 Shaffer Parkway, Littleton, CO, USA 80127.

**LEGGET, R. F. & KARROW, P. F. (1986):** Geología Aplicada a la Ingeniería Civil. Mc Graw – Hill.

**LONGORIA, J. F. & DÁVILA, V. M. (1979):** Estratigrafía y microfacies del Cerro de la Silla, SE de Monterrey: Hermosillo, Mexico, Universidad de Sonora, Bolertín del Departamento de Geología, 2, 65 – 95 p.

**LÓPEZ-RAMOS, E. (1982):** Geología de México; Provincia VI Noreste de México: México, Distrito Federal, Edición Escolar, 3ª Edición, V.2, pp. 244-290.

**MARKLAND, J. T.; (1972):** A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge sliding type of failure is expected. Imperial College Rock Mechanics Research Report, 19.

**MEDINA BARRERA, F. (1989):** Sicherheitsanalyse und Risikobewertung von Massenbewegungen für die Stadt Rayones, Nuevo León, Sierra Madre Oriental, México. (Análisis de las condiciones de seguridad de los movimientos en masa y estimación de riesgos para la población de Rayones, Nuevo León, Sierra Madre Oriental, México). Tesis Maestría, Technische Hochschule Darmstadt, Alemania., 110 p.

**MEDINA-BARRERA, F.; (1996):** Kleintektonische Untersuchungen und Standsicherheitsberechnungen mit Hilfe der Backanalysis an Strassenböschungen der Sierra Madre Oriental, Mexiko. (Curvatura von Monterrey im Staat Nuevo León, Strasse La Palma-Rayones). Mitt. Ing.-u. Hydrogeol. 62. Aachen.

**MEIBURG, P. (1987):** Paleogeografía y desarrollo estructural del Cretácico de la Sierra Madre Oriental Septentrional, México. Actas 2, Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL., Linares, p. 197-199.

**MICHALZIK, D., (1988):** Trias bis tiefste Unter- Kreide der Nordostlichen Sierra Madre Oriental, Mexiko- Fazielle Entwicklung eines passiven Kontinental randes, Tesis Doctoral, Technischen Hochschule Darmstadt, Alemania, 247 pp.

**MUIR, J. M., (1936):** Geology of the Tampico region, Mexico. Tulsa, Oklahoma. Am. Ass. Of Petr. Geol., V.19, pp: 200.

**PADILLA Y SÁNCHEZ, R.J. (1978):** Geología y Estratigrafía (Cretácico Superior) del límite suroeste del Estado de Nuevo León. Univ. Nac. Autón. México, Inst. geología, Revista, V.2, no. 1, p. 37-44.

**PADILLA Y SÁNCHEZ, R. J., (1982):** Geologic Evolution of the Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oro, Saltillo and Monterrey, México.- Ph. D. Diss., Univ. Of Texas at Austin, p.217

**PADILLA Y SÁNCHEZ, R.J., (1985):** Las Estructuras de la Curvatura de Monterrey, Estado de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luís Potosí. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, V.6, pp: 1-20.

**PADILLA Y SÁNCHEZ, R. J., (1986):** Post-Paleozoic tectonics of Northeast México and its role in the evolution of the Gulf of México. Geofísica Internacional. Vol. 25-1, pp 157-206.

**PADILLA Y SÁNCHEZ, R.J., MARTÍNEZ S., R.G. Y TORRES R., V., (1995):** Carta Tectónica de los Estados Unidos Mexicanos: Edición Conjunta Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Escala 1:2,000,000.

**PALMSTROM, A. (1982):** The volumetric joint count - a useful and simple measure of the degree of rock jointing. Proc. 4th congr. Int. Assn Engng Geol.

**PETERSON-RODRÍGUEZ, R. (1998):** Análisis estructural en el Anticlinorio de La Casita, Sierra de Parras, Coahuila, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias de la Tierra/Universidad Autónoma de Nuevo León. 173p.

**PITEAU, D.R., (1972):** Engineering geology considerations and approach in assessing the stability of rock slopes. Bulletin of the Association of Engineering Geologists. Vol. 9, pp. 301-320.

**PITEAU, D.R., PECKOVER, F.L., (1978):** Engineering of rock slopes. In special Report 176: *Landslides: Analysis and Control* (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), TBR. National Research Council, Washington D.C., pp: 192-234.

**PRICE, N.J. & J.W. COSGROVE, (1990).** Analysis of geological structures. Cambridge University Press (Cambridge), 494p.

**ROMANA, M.; (1995):** A geomechanics classification for slopes: Slope Mass Rating. (En *Comprehensive Rock Engineering*. Ed. J. Hudson). Pergamon. Vol. 3, pp. 575 - 600.

**ROMANA, M.; (1985):** New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. Int. Symp. on the role of rock mechanics ISRM. Zacatecas, pp. 49-53.

**SÁNCHEZ CARLÍN E., (2001).** Riesgos Geológicos en la porción NW del Cerro de la Silla, Monterrey, Nuevo León, México. Tesis de licenciatura. FCT Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L.

**SEIBERTZ, E. (1988):** El Desarrollo Cretácico del Archipiélago de Tamaulipas- I. Litogénesis, Paleogeografía y Datación Bioestratigráfica de la Formación San Felipe por medio de Inocerámidos en el Estado de Nuevo León (Turoniano, Noreste de México). Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares 3, pp.13-29.

**STINNESBECK, W. (1992).** Ammonites de la Formación Cuesta del Cura (Albiano Superior – Cenomaniano Inferor) en el área de Galeana, Nuevo León. Rev. Soc. Mex. Paleont., 1991: p. 63-85. México.

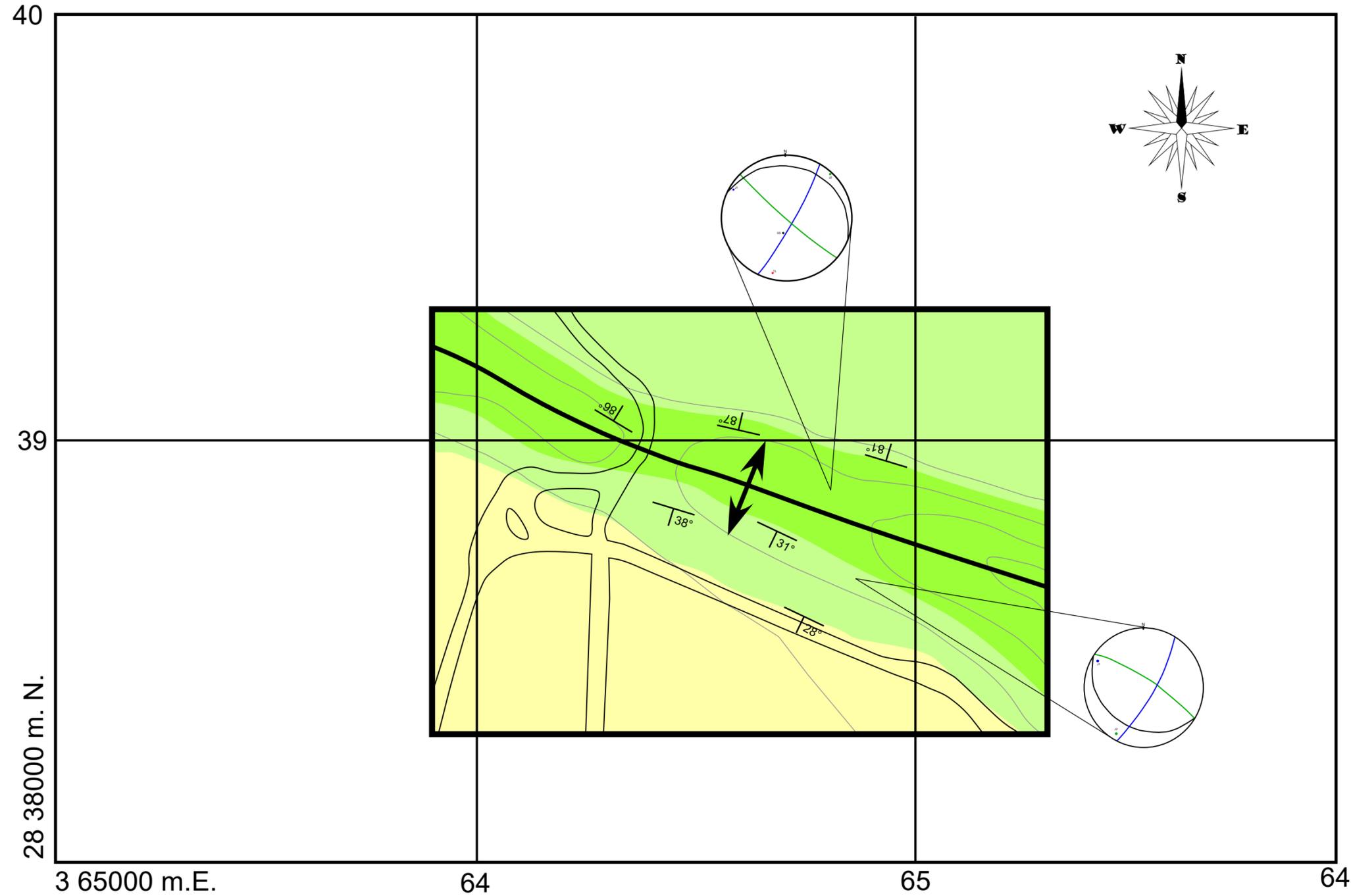
**TALOBRE, J. (1957):** La Mécanique des Roches. Dunod, Paris.

**TURNER, A.K., SCHUSTER, R. L., (1996):** Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report 247. Transport research board, National Research Council. 673 p.

**TWISS, R. J. AND MOORES, E. M. (1992).** Structural geology. Editorial Freeman and Company. New York, pp.

**CARTAS GEOLÓGICA-ESTRUCTURAL**

# CARTA GEOLÓGICA-ESTRUCTURAL DEL CERRO DE LOMA LARGA



## LEYENDA COLUMNAGEOLÒGICA

CRETÁCICO SUPERIOR	Ksme	Fm. Mendez
	Kssf	Fm. San Felipe
	Ksan	Fm. Agua Nueva

## REPRESENTACION DEL RELIEVE

- CURVA DE NIVEL ACOTADA EN METROS
- CURVA DE NIVEL ORDINARIA
- CAMINO ABANDONADO
- ARROYOS SALVAJES

Universidad Autónoma de Nuevo León  
Facultad de Ciencias de la Tierra

Carta Geológica Estructural

ROSBELL IVAN CHAPAARCE

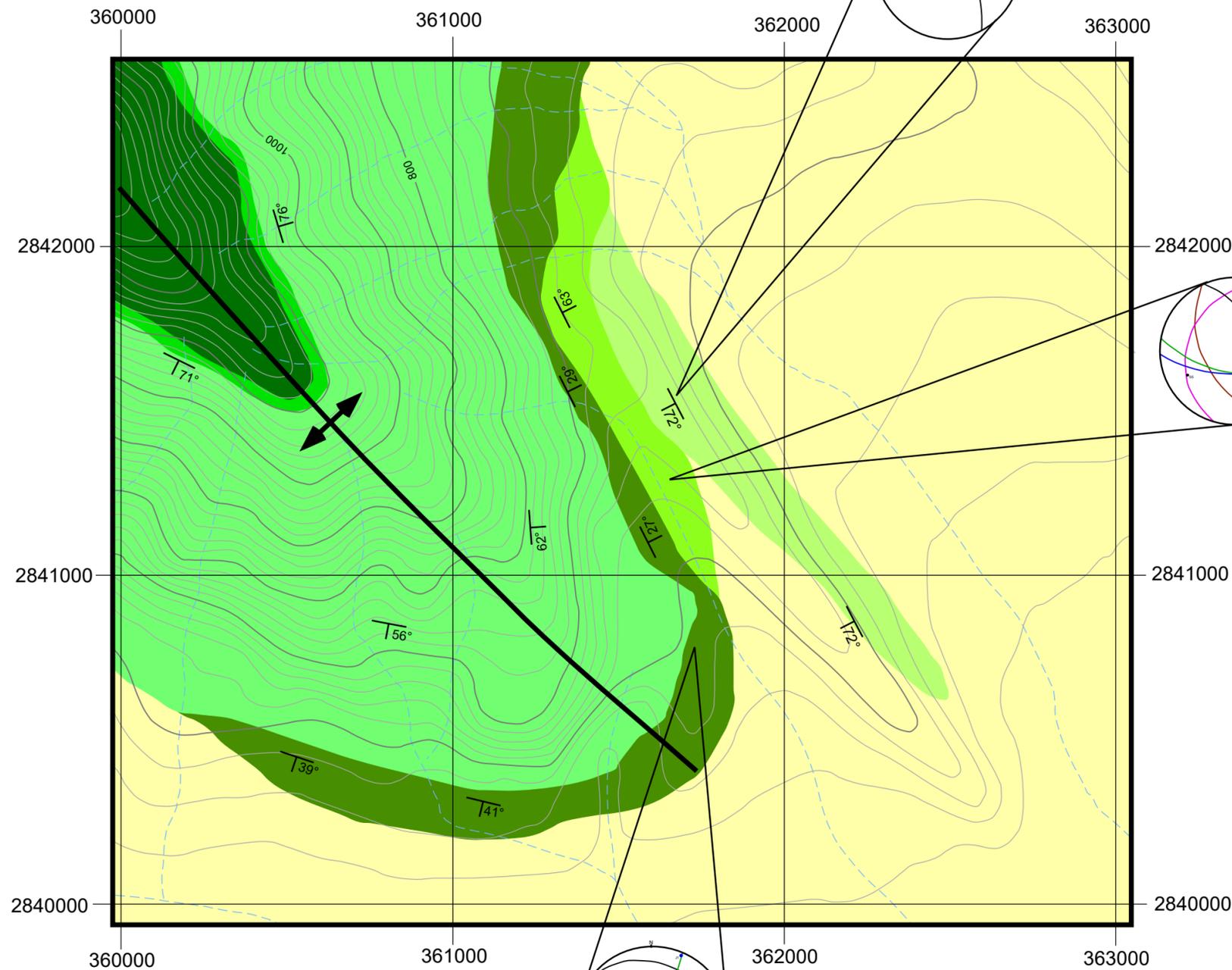
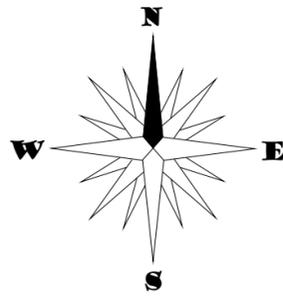
ESCALA: 1:10000

2016

ANEXO II



# CARTA GEOLÓGICA-ESTRUCTURAL DEL CERRO DE LAS MITRAS



## LEYENDA COLUMNAGEOLÓGICA

C R E T Á C I O	S U P E R I O R	<span style="background-color: #ffffcc; border: 1px solid black; padding: 2px;">Ksme</span> Fm. Mendez
		<span style="background-color: #ccffcc; border: 1px solid black; padding: 2px;">Kssf</span> Fm. San Felipe
		<span style="background-color: #99ff99; border: 1px solid black; padding: 2px;">Ksan</span> Fm. Agua Nueva
	I N F E R I O R	<span style="background-color: #669933; border: 1px solid black; padding: 2px;">Kicc</span> Fm. Cuesta del Cura
		<span style="background-color: #99cc99; border: 1px solid black; padding: 2px;">Kiau</span> Fm. Aurora
		<span style="background-color: #33cc33; border: 1px solid black; padding: 2px;">Kilp</span> Fm. La Peña
		<span style="background-color: #336633; border: 1px solid black; padding: 2px;">Kicu</span> Fm. Cupido

## REPRESENTACION DEL RELIEVE

	CURVA DE NIVEL ACOTADA EN METROS
	CURVA DE NIVEL ORDINARIA
	CAMINO ABANDONADO
	ARROYOS SALVAJES
	ZONA EXPLOTADA

Universidad Autónoma de Nuevo León  
Facultad de Ciencias de la Tierra

Carta Geológica Estructural

ROSBELL IVAN CHAPAARCE

ESCALA: 1:10000

2016

ANEXO I