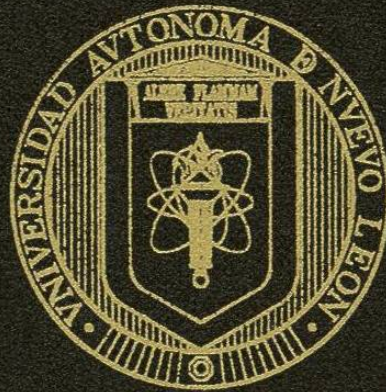


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA ESTRUCTURAL DEL VALLE DE  
HUIZACHAL, COMO BASE PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD  
DE TALUDES DE LA CARRETERA RUMBO NUEVO, TAMPS.,  
MÉXICO.**

**TESIS**

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

**PRESENTA:**

**JUAN MIGUEL ARMAS ZAGOYA**

**LINARES, N. L.**

**ENERO DE 2004**



TM

Z5818

.E3

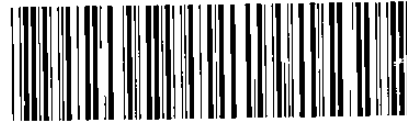
FCT

2004

A7

JUAN MIGUEL ARIMAS ZAGGOYA (MAESTRÍA) 2004

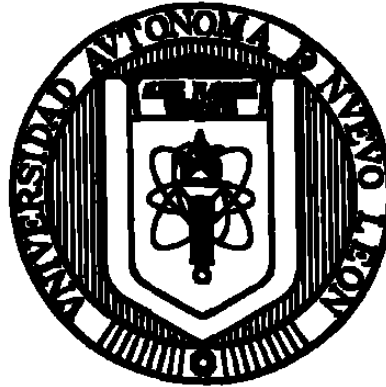




1020149840

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA ESTRUCTURAL DEL VALLE DE  
HIZACHAL, COMO BASE PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD  
DE TALUDES DE LA CARRETERA RUMBO NUEVO, TAMPS.,  
MÉXICO.**

**TESIS**

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

**PRESENTA:**

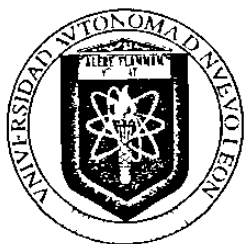
**JUAN MIGUEL ARMAS ZAGOYA**

**LINARES, N. L.**

**ENERO DE 2004**



FONDO  
TE IS



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**  
HDA. DE GUADALUPE CARR. A CERRO PRIETO KM. 8, A.P. 104  
67700 LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO  
TELS. (821) 21 420 30 y 21 420 20, FAX (821) 21 420 30



La Tesis

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA ESTRUCTURAL DEL VALLE DE  
HUIZACHAL, COMO BASE PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD  
DE TALUDES DE LA CARRETERA RUMBO NUEVO, TAMPS.,  
MÉXICO.**

Elaborada por

**JUAN MIGUEL ARMAS ZAGOYA**

Ha sido aceptada como requisito parcial para optar el grado académico de

**MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

Vo. Bo.  
**DIRECTOR DE TESIS**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. FRANCISCO MEDINA BARRERA**

**LINARES, N.L.**

**ENERO DE 2004**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**  
HDA. DE GUADALUPE CARR. A CERRO PRIETO KM. 8, A.P. 104  
67700 LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO  
TELS. (821) 21 420 30 y 21 420 20, FAX (821) 21 420 30



La Tesis

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA ESTRUCTURAL DEL VALLE DE  
HUIZACHAL, COMO BASE PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD  
DE TALUDES DE LA CARRETERA RUMBO NUEVO, TAMPS.,  
MÉXICO.**

Elaborada por

**JUAN MIGUEL ARMAS ZAGOYA**

Ha sido aceptada como requisito parcial para optar el grado académico de

**MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

Vo. Bo.  
**COMITÉ DE REVISIÓN**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. FRANCISCO MEDINA BARRERA**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. JOSÉ GUADALUPE LÓPEZ  
OLIVA**

  
\_\_\_\_\_  
**M.C. TOMÁS COSSIO TORRES**

Vo. Bo.  
**SUBDIRECTOR DE POSGRADO**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. JUAN ALONSO RAMÍREZ FERNÁNDEZ**

LINARES, N.L.

ENERO DE 2004

*Esta tesis esta dedicada a mi familia:*

***Angélica e Isaac***

*La fortaleza de mi vida. Los amo...*

***Amaida Zagoya Hernández<sup>†</sup>***

*Tú no te has ido, porque soy parte de ti y vives en mí. Te amo Mami...*

***Familia Ramírez Armas***

***Familia Armas Gutiérrez***

***Beatriz Zagoya Hernández***

*Sin tu apoyo no hubiera podido hacer nada. Gracias.*

***Josefina Aparicio Ortiz***

*Gracias por tu apoyo*



---

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca-crédito otorgada para el desarrollo de mis estudios de Maestría y proyecto de tesis.

A mi Maestro y Director de Tesis, Dr. Francisco Medina Barrera, por su orientación y apoyo incondicional para realizar mi formación como maestrante, y aventurarnos a realizar este trabajo.

A Dr. José Guadalupe López Oliva y M.C. Tomás Cossío Torres, por la aportación al engrandecimiento de este trabajo de tesis con sus revisiones y comentarios.

Al Dr. Juan Alonso Ramírez Fernández, Sub-Director de Posgrado, por su apoyo incondicional para ingresar a esta institución y la atención oportuna que tuvo durante nuestra estancia.

A los Doctores Dirk Masuch Oesterreich, Uwe Jenchen, Héctor de León Gómez y José Rosbel Chapa Guerrero, por compartir sus conocimientos en clase.

A Ing. Javier Rocha Rodríguez y Dr. Raymundo Rivera Villareal del Instituto de Ingeniería Civil de la U.A.N.L., por las facilidades otorgadas para el préstamo del equipo de geotecnia.

A M.C. Víctor Manuel Navarro Hernández de la Escuela de Minas de la Universidad Autónoma de Zacatecas, por la disponibilidad del Laboratorio de Mecánica de Rocas para la realización de los ensayos triaxiales.

A Ing. Juan Manuel Quezada, Dr. Jaime Rueda Gaxiola y Dr. Samuel Eguiluz de Antuaño, por sus comentarios durante el desarrollo de la tesis.

A Mtra. Manuelita M. González y Mtra. Verónica Dülmer, por su ayuda en el entendimiento de otros idiomas.

Sr. Patricio Becerra y Sra. Santos Medina, por su amabilidad y hospitalidad en el Valle de Huizachal.

A mis compañeros de Posgrado Angélica Bueno, Natalia Amezcua, Ernesto Núñez, Adalberto Treviño, José Juan Medina, Alberto Blanco, Liliana Lizárraga, Elizama Requena y Araceli Rivera.

## RESUMEN

La cartografía geológica estructural del Valle de Huizachal, lugar donde se ubica el trazo carretero "Rumbo Nuevo", fue la base principal para determinar el grado de estabilidad de los taludes construidos. Esta vía anteriormente diseñada sin ningún control estructural, fue afectada por la falla de los cortes realizados en forma desfavorable respecto a la orientación del fracturamiento y estratificación de las formaciones geológicas aflorantes. El estudio consistió en primer orden de la cartografía geológica estructural, de la cual se reconoció una secuencia principalmente calcárea muy heterogénea de edades desde Triásico Superior hasta Cretácico Superior, dentro de una estructura anticlinal con rumbo NW-SE. El tipo de fracturamiento predominante es de tipo hk0 con orientación preferencial N-S, que funge como principal delimitador de bloques de roca. El inventario tectónico levantado en cada uno de los taludes, definió el mecanismo de falla presente. Se puede reconocer que en los flancos de anticlinal se tienen deslizamientos planares por la posición de la estratificación, mientras que en la zona de la charnela y del núcleo, las fracturas hk0 delimitan cuñas potenciales. Se estimaron parámetros geomecánicos de las formaciones que alojan a los cortes, partiendo de la descripción litológica durante la realización de la cartografía. Ensayos directos a roca intacta y a los planos de discontinuidad, además de la aplicación de clasificaciones geomecánicas, aportaron los valores de la cohesión del macizo y ángulos de fricción. Teniendo como base la definición del mecanismo de falla presente y las propiedades geomecánicas de la roca, se calcularon factores de seguridad para cada uno de los cortes, bajo diferentes condiciones de saturación y cohesión. Los resultados muestran un rango superior muy bajo respecto al equilibrio límite de las fuerzas actuantes, considerando las condiciones de seguridad que se deben de tener para este tipo de obras. La implementación de bermas y anclajes para el control de la estabilidad de los taludes estudiados, con determinadas especificaciones para las condiciones estructurales que presenta cada uno, se recomendó para aumentar el factor de seguridad presente en la vía.

## ABSTRACT

The structural geologic cartography of the Valle de Huizachal, was used to determine the degree of stability of the constructed slopes where the “Rumbo Nuevo” road is located. This route was previously designed without structural control, thus being affected by slides of the cuts which were made in an unfavorable form with respect to the direction of the joints and stratification geologic formations outcrops. The study consisted firstly on the structural geologic cartography, of which a very heterogenous secuencia of ages was recognized from the Upper Triassic to Upper Cretaceous, being mainly calcareous, in an anticlinal structure with NW-SE strike. The type of predominant joints is  $hk0$  with preferential N-S direction, this is regardless the main delimiter of rock blocks. The tectonic inventory raised in each of the slopes defined the mechanism that brought about the fail, enabling us to say that in anticline flanks mechanisms are planar slides because of the position of the stratification. In contrast, in the zone of the hinge and the nucleus, the fractures  $hk0$  delimit potential wedges. Geomechanical parameters of the geological formations at the site of the cuts were considered during the cartography, starting with lithologic description, followed by direct tests to intact rock and to planes of discontinuity. This was supported by geomechanical classifications to consider cohesion of the rock mass and friction angles. Based on the definition of the failure mechanism and the geomechanical properties of the rock, factors of safety were calculated for each of the cuts, taking into account different conditions of saturation and cohesion. The results obtained gave a rank just above the medium compared to the balance limit of the operating forces, considering the conditions of security that are required for this type of roads. The implementation of berms and anchorages to control the stability of the studied slopes, with certain specifications for the structural conditions, were recommended to increase safety for the road.

## CONTENIDO

<b>Introducción</b>	1
<b>1. GENERALIDADES</b>	
1.1 Problemática	2
1.2 Objetivo	2
1.3 Metas	3
1.4 Localización y Vías de Acceso al Área de Estudio	3
1.5 Fisiografía	3
1.6 Clima y Vegetación	4
1.7 Trabajos Previos	6
1.8 Metodología	6
<b>2. GEOLOGIA</b>	
2.1 Geología Regional	8
2.2 Litología	9
2.3 Geología Estructural	26
<b>3. ANÁLISIS CINEMATICO</b>	
3.1 Introducción	32
3.2 Tipos de Mecanismos de Falla en Taludes y su Análisis Cinemático	34
3.3 Análisis Cinemático de los Taludes en el Área de Estudio	44
<b>4. CARACTERIZACION GEOMECANICA</b>	
4.1 Introducción	59
4.2 Ensayo Triaxial a Roca Intacta	61
4.3 Criterio de Barton y Choubey	63
4.4 Clasificación Geomecánica RMR (Rock Mass Rating)	70
4.5 Clasificación Geomecánica SMR (Slope Masss Rating)	73
4.6 Zonificación de Unidades Litológicas	84
<b>5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD</b>	
5.1 Introducción	86
5.2 Análisis de Estabilidad para Mecanismos de Falla	88
5.3 Análisis de Estabilidad de los Taludes en Estudio	100
<b>6. DISCUSION</b>	
6.1 Introducción	110
6.2 Análisis Cinemático	110
6.3 Caracterización Geomecánica	111
6.4 Análisis de Estabilidad	112
<b>7. PROPUESTA DE SANEAMIENTO PARA TALUDES</b>	
7.1 Introducción	115
7.2 Recomendaciones de Saneamiento para el Talud #1	116
7.3 Recomendaciones de Saneamiento para el Talud #2	118
7.4 Recomendaciones de Saneamiento para el Talud #3	119
7.5 Recomendaciones de Saneamiento para el Talud #4	121
7.6 Recomendaciones de Saneamiento para el Talud #5	123
7.7 Recomendaciones de Saneamiento para el Talud #6	124

**8. CONCLUSIONES** 125

**9. BIBLIOGRAFÍA** 127

**ANEXOS**

1. Carta Geológica Estructural del Valle de Huizachal, Carretera Rumbo Nuevo.
2. Carta Ingeniero-Geológica del Valle de Huizachal, Carretera Rumbo Nuevo.



## INDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Fig. 1.1 Localización del Área de Estudio (sin escala). La línea rayada muestra el trazo de la carretera "Rumbo Nuevo".	4
Fig. 1.2 Grafica de la precipitación mensual promedio entre los años 1960 - 1999. (Fuente: CNA en INEGI, 2003).	5
Fig. 2.1 Columna Estratigráfica del Valle de Huizachal.	9
Fig. 2.2 Areniscas de grano fino de la Formación Huizachal. Nótese la laminación de éstas. Ubicación a 2 Km hacia el N del poblado del mismo nombre en el antiguo camino. Martillo como referencia.	10
Fig. 2.3 Cuerpo ígneo principal formando relieves en el centro del valle. Vista hacia el Este.	11
Fig. 2.4 Intercalaciones de arenisca, limolita y lutita en estratificación cruzada. Brújula como referencia.	11
Fig. 2.5 Secuencia clástica de la Formación La Joya. La línea punteada muestra el contacto entre el miembro de areniscas y limolitas, con el conglomerado cercano a la parte superior de la formación.	12
Fig. 2.6 Calizas de la Formación Novillo. Ubicación Km 26+650. Tabla como referencia. Vista hacia el N.	13
Fig. 2.7 Contacto discordante entre Formaciones La Joya (subyacente) y Novillo. Ubicación Km. 26+600. Vista hacia el N.	13
Fig. 2.8 Aspecto general de la Formación Olvido. Ubicación Km. 27+000.	14
Fig. 2.9. Calizas masivas de la Formación Zuloaga. Km 26+890. Vista hacia el NW.	15
Fig. 2.10. Contacto transicional de las Formaciones Olvido y Zuloaga. Km 27+000. Vista hacia el SW.	16
Fig. 2.11 Miembro basal de calizas arenosas de la Formación La Casita. Ubicación arroyo en el Km. 27+000.	16
Fig. 2.12. Miembro de alternancia de calizas, margas y lutitas carbonosas de la Formación La Casita. Ubicación en parte media del Cerro de las Cabras. Vista hacia el S.	17
Fig. 2.13 Calizas arcillosas de la Formación Taraises. Km. 28+200. Vista hacia el NE.	18
Fig. 2.14 Calizas masivas de la Formación Tamaulipas Inferior. Km 28+850. Vista hacia el NE.	19
Fig. 2.15 Concreciones redondeadas de composición calcárea de la Formación Tamaulipas Inferior.	19
Fig. 2.16 Formación Otates. Nótese el contraste litológico entre la Formación Tamaulipas Inferior subyacente. La línea punteada marca el contacto litológico. Km. 29+450. Vista hacia el SW.	20
Fig. 2.17 Calizas masivas de la Formación Tamaulipas Superior. Km 30+000. Vista hacia el S.	21
Fig. 2.18 Aspecto general de la Formación Cuesta del Cura. Nótese el bandeamiento característico de ésta marcado por la línea punteada. Vista hacia el S.	22
Fig. 2.19. Alternancia de calizas con lutitas laminares y margas de la Formación Agua Nueva. Vista hacia el NE.	22
Fig. 2.20 Calizas arcillosas, margas y lutitas de la Formación San Felipe Km 31+300. Vista hacia el N.	23

Fig. 2.21 Brecha de la Formación San Felipe. Moneda como referencia.	23
Fig. 2.22 Lutitas y margas de la Formación Méndez, en ambos taludes. Km. 34+000, Vista hacia el W.	24
Fig. 2.23 Coluvión ubicado en la parte superior del túnel falso.	25
Fig. 2.24. Coluvión arcilloso ubicado en Km. 33+000.	25
Fig. 2.25 Estereofalsilla con datos estructurales (rumbo/echado) que presenta la estratificación de todas las Formaciones del área de estudio.	26
Fig. 2.26 Fallamiento normal de la Formación Huizachal. Vista hacia el SE	27
Fig. 2.27 Fallamiento inverso dentro de la Formación Tamaulipas Superior. Vista hacia el S.	27
Fig. 2.28 Clasificación de fracturas de acuerdo a Hancock (1985). a) definición de la orientación de la fabrica; b) fracturas de cizalla en a-b; c) fracturas de extensión en a-b; d) estilolitas en a-b; e) fracturas de extensión en b-c; f) estilolitas en b-c; g) fracturas de extensión en a-c; h) estilolitas en a-c; i) fracturas conjugadas 0kl formando un ángulo agudo respecto al eje b; j) fracturas conjugadas 0kl formando un ángulo agudo respecto al eje c; k) fracturas conjugadas h0l formando un ángulo agudo respecto al eje a; l) fracturas conjugadas h0l formando un ángulo agudo respecto al eje c; m) fracturas conjugadas hk0 formando un ángulo agudo respecto al eje a; n) fracturas conjugadas hk0 formando un ángulo agudo respecto al eje b.	28
Fig. 3.1 Representación gráfica del ángulo de fricción. 1) Se tiene un bloque sobre otro, 2) éstos se inclinan a cierto ángulo $\alpha$ siendo menor al ángulo de fricción $\phi$ lo cual no induce al deslizamiento, 3) conforme se va aumentando la inclinación actúa la cohesión $c$ oponiéndose a la fuerza de movimiento producido por el peso $W$ del bloque superior, 4) cuando $\alpha$ es mayor que $\phi$ se produce el deslizamiento del bloque superior. La fuerza de deslizamiento es representada por $\tau$ .	33
Fig. 3.2 Representación estereográfica del cono de fricción. El ángulo de fricción $\phi$ delimitado por la proyección del cono en el hemisferio. El punto 1 se encuentra dentro del círculo de fricción lo cual indica que se encontrará cinemáticamente estable guardando una inclinación menor a $\phi$ ; el punto 2 siendo mas inclinado, su proyección en el hemisferio se encuentra fuera del círculo lo cual crearía condiciones de inestabilidad. Estas líneas se podrían atribuir a intersecciones de planos por ejemplo.	34
Fig. 3.3 Desprendimientos de roca debido a la alternancia de roca competente con roca débil. (Ayala, 1984).	35
Fig. 3.4 Fases del mecanismo de desprendimiento: 1) Serie alternante, 2) Diferente grado de meteorización y erosión, 3) Basculamiento del estrato superior, 4) Rotura en el pie del bloque. (Ayala, 1984).	35
Fig. 3.5 Diferentes trayectorias que pueden alcanzar los bloques de roca desprendidos en su desplazamiento por el talud. (Ayala, 1984).	36
Fig. 3.6 Disposición de las discontinuidades con respecto al talud parad deslizamiento planar. (Hoek-Bray, 1981).	37
Fig. 3.7 Análisis Cinemático para Mecanismo de Falla tipo Planar.	38
Fig. 3.8. Orientación de las familias de discontinuidades respecto al talud para fallamientos en cuña. (Hoek-Bray, 1981).	39
Fig. 3.9. Análisis Cinemático para Fallamientos en Cuña.	40

Fig. 3.10 Vuelco por pandeo o flexión. Característico de este mecanismo es el fracturamiento de las capas en la base del talud con una separación de éstas anterior al desprendimiento. (Hoek-Bray, 1981).	42
Fig. 3.11 Vuelco en bloques. (Hoek-Bray, 1981).	42
Fig. 3.12 Vuelco mixto. (Hoek-Bray, 1981).	42
Fig. 3.13 Análisis Cinemático del Mecanismo de Falla por Vuelco.	43
Fig. 3.14 Aspecto general del Talud #1. Ubicación Km. 26+890. Vista hacia el SW.	45
Fig. 3.15. Análisis Cinemático del Talud #1. La línea de intersección de los planos J1 y J2 se encuentra dentro del área sombreada, región que se considera como crítica por la potencialidad del deslizamiento de la cuña formada por los planos. La línea proyectada desde el punto de intersección que cruza por el centro de la red, no interseca el círculo máximo dentro de los polos de los planos, lo cual indica que el deslizamiento se realizará a través de J3 por ser el del valor más alto de buzamiento.	47
Fig. 3.16 Aspecto general del Talud #2. Se aprecia notablemente el sistema de fracturamiento ortogonal con respecto a la estratificación. Ubicación Km 29+080. Vista hacia el W.	48
Fig. 3.17 Análisis cinemático del Talud #2. Los polos de los planos J3 y J4 se encuentran dentro del área ascurada que representa mecanismo potencial de vuelco para dichos planos. El plano J1 se encuentra dentro del area sombreada que representa el mismo ángulo de fricción para mecanismo planar, señalándola como potencial superficie de deslizamiento al ubicarse su polo dentro de la envolvente de Markland-Talobre, pero estable al ubicarse también dentro del Cono de Fricción.	49
Fig. 3.18 Aspecto general del Talud #3. Se expone en esta fotografía, el mecanismo de falla correspondiente a cuña, de la cual aflora en forma notable la línea de intersección de los planos que delimitan dicho bloque, indicada en la gráfica por la flecha. Ubicación 29+360. Vista hacia el SE.	50
Fig. 3.19 Análisis cinemático del Talud #3. La línea de intersección I formada por los planos J1 y J2 se encuentra dentro del área del círculo de fricción, lo cual se puede interpretar que cinemáticamente no es posible su deslizamiento. La intersección de línea proyectada desde el punto I con el círculo máximo dentro de los polos de los planos, se ubica dentro de la envolvente de Markland confirmando la potencialidad de deslizamiento.	52
Fig. 3.20 Aspecto general del Talud #4. Ubicación Km 31+280. Vista hacia el SW.	53
Fig. 3.21. Análisis cinemático del Talud #4. La línea de intersección I formada por los planos J3 y J5 se ubica dentro de la zona sombreada que representa la viabilidad para deslizamiento de cuñas. La intersección de la línea proyectada desde el punto I con el círculo máximo dentro de los polos de los planos, se ubica dentro de la envolvente de Markland lo cual indica deslizamiento a través de la línea de intersección de la cuña. El polo de J1 también se ubica dentro de dicha envolvente, pero es estable por fricción al ubicarse su plano dentro del círculo de fricción.	54
Fig. 3.22. Aspecto general del Talud #5. Ubicación Km 31+300. Vista hacia el S.	55
Fig. 3.23 Análisis cinemático del Talud #5. El círculo máximo de J1 se ubica dentro de la zona delimitada $\pm 20^\circ$ y fuera del círculo de fricción $\phi_p$ , lo cual indica la potencialidad para fallamiento tipo planar. Esto se comprueba al quedar el polo de este plano dentro de la envolvente de Markland.	56
Fig. 3.24. Aspecto general del Talud #6. Ubicación Km 31+770. Vista hacia el S.	57
Fig. 3.25. Análisis cinemático del Talud #6. El polo del plano J1 se ubica dentro de la envolvente de Markland indicando condiciones cinemáticas para su deslizamiento. El círculo máximo de este mismo plano se encuentra dentro del círculo de fricción $\phi_p$ , presentando estabilidad por fricción.	58

Fig 4.1. Representación de los esfuerzos cortante y normal en una discontinuidad formada por dos bloques de roca (modificado de Hoek y Bray, 1981).	60
Fig. 4.2 Grafica del desplazamiento por cortante $u$ versus el esfuerzo cortante $\tau$ (modificado de Hoek y Bray, 1981).	60
Fig. 4.3. Gráfica del esfuerzo cortante versus esfuerzo normal (modificado de Hoek y Bray, 1981).	61
Fig 4.4. Diferencias entre las envolventes de la resistencia al corte pico y residual (modificado de Hoek y Bray, 1981).	61
Fig. 4 5 Gráfica de la envolvente de Mohr aplicando valores de ensayos triaxiales. (Kliche, 1999).	62
Fig. 4.7. Técnicas para estimar el coeficiente de rugosidad JRC. A la izquierda perfiles estandarizados de Barton (Brown, 1981) para comparar con la rugosidad presente en la junta. Abajo ensayo de Inclinación Tilt Test. El ángulo al momento de deslizar los bloques, se considera para el cálculo.	64
Fig. 4.8 Determinación de la resistencia a la compresión simple de la discontinuidad con el Martillo de Schmidt (esclerómetro). Se aplica el ensayo directamente a la junta, leyendo el valor del rebote al costado del martillo.	
Fig. 4.8 Determinación de la resistencia a la compresión simple de la discontinuidad con el Martillo de Schmidt (esclerómetro). Se aplica el ensayo directamente a la junta, leyendo el valor del rebote al costado del martillo.	65
Fig. 4.9 Estado de las discontinuidades presentes para el Talud #1.	67
Fig. 4.10 Discontinuidades presentes en el Talud #2 y #3.	68
Fig. 4.11 Aspecto de las discontinuidades que afectan al Talud #4.	69
Fig. 4.12 Aspecto de las discontinuidades que afloran en los Taludes 5 y 6.	70
Fig. 5.1 Diagrama de cuerpo libre mostrando las fuerzas que actúan en un bloque reposando sobre un plano inclinado. $W$ corresponde al peso del bloque, $\beta$ ángulo de inclinación del plano, $W\sin\beta$ al vector resultante de $W$ paralelo al plano, $W\cos\beta$ al vector resultante perpendicular, $\tau$ resistencia a cortante sobre el plano y $N$ esfuerzo normal resultante por el peso mismo del bloque, (Kliche, 1999).	87
Fig. 5.2 Cono de Fricción de un bloque en Equilibrio Límite. El triángulo representa ángulo de fricción $\phi$ . Si el vector $W$ se encuentra fuera del cono el deslizamiento ocurrirá, la ubicación dentro o fuera dependerá de la inclinación del plano porque el cono y $W$ no cambiarán sus dirección vectorial. (Kliche, 1999).	88
5.3 Representación estereográfica de las fuerzas actuantes sobre el bloque y el cono de fricción. $P$ es el polo del plano que tiene la misma dirección de $N$ y $W$ que es el peso del bloque que siempre será el centro de la falsilla porque la gravedad siempre se ejerce verticalmente, (Kliche, 1999).	89
Fig. 5.4 Proyección estereográfica del ángulo de fricción aparente. Sobre el mismo polo $P$ se proyecta un círculo máximo, sobre el cual se medirá a partir de $P$ el ángulo $\phi_a$ en ambas direcciones, al igual que paralelo al echado del plano. En el ejemplo se muestra $\phi_a - 49^\circ$ y $\phi - 30^\circ$ . $W$ queda fuera del cono considerando sólo la fricción de $\phi$ lo cual indica inestabilidad, mientras que si consideramos la cohesión definida por $\phi_a$ , $W$ queda dentro del cono indicando estabilidad por cohesión, (Kliche, 1999).	91
Fig. 5.5 Geometría de la Cuña. Las líneas 1 y 3 corresponden a las delimitaciones del plano A, 2 y 4 al plano B y, 5 a la línea de intersección de dichos planos, (Ayala et al, 1987).	92
Fig. 5.6 Diagrama esquemático para la obtención de las dimensiones angulares de las líneas mediante	93

estereofalsilla. (Hoek y Bray, 1981).	
Fig. 5.7 Condiciones para el deslizamiento y vuelco de un bloque sobre un plano, relacionada con el rango (t/h) que define la relación de esbeltez versus el ángulo de inclinación del plano base. La curva punteada define el límite del deslizamiento y vuelco del bloque. (Hoek y Bray, 1981).	94
Fig. 5.8 Representación de fuerzas para un bloque en condiciones de vuelco. (Modificado de Kliche, 1999).	95
Fig. 5.9. Clasificación de los bloques a analizar de acuerdo a mecanismo en el cual se presentarán. (Ayala et al, 1987).	96
Fig. 5.10 Fuerzas que actúan en Equilibrio Límite para un bloque volcador (Hoek y Bray, 1981).	97
Fig. 5.11 Diagrama de presiones intersticiales que actúan sobre el bloque. (Ayala et al, 1987).	98
Fig. 5.12 Diagrama de fuerzas que actúan sobre un bloque deslizante. (Hoek y Bray, 1981).	99
Fig. 5.13 Representación estereográfica de las dimensiones angulares de las líneas que delimitan la cuña para el Talud #1.	100
Fig. 5.14. Dimensiones del Talud #2.	102
Fig. 5.15 Análisis estereográfico de estabilidad para el Talud #2. El vector del peso W correspondiente al centro de la falsilla, queda dentro de la envolvente del ángulo de fricción aparente $\alpha \sim 40^\circ$ , lo cual indica condiciones de estabilidad por cohesión.	103
Fig. 5.16 Representación estereográfica de las dimensiones angulares de la geometría de la cuña.	104
Fig. 5.17 Representación estereográfica de las dimensiones angulares de acuerdo a la geometría de la cuña, correspondientes al Talud #4.	105
Fig. 5.18. Dimensiones del Talud #5.	107
Fig. 5.19 Análisis estereográfico de estabilidad correspondiente al Talud #5. El vector W queda fuera de la envolvente del ángulo de fricción aparente, señalando inestabilidad de la masa rocosa.	107
Fig. 5.20 Dimensiones del Talud #6.	108
Fig. 5.21 Análisis de estabilidad estereográfico del Talud #6. La envolvente del ángulo de fricción aparente engloba al vector W, que indica estabilidad por cohesión entre los planos de la superficie de deslizamiento	109
Fig. 7.1 Especificaciones de ademado mediante anclaje sistemático, para el Talud #1.	118
Fig. 7.2 Dimensiones de las bermas para el control de los deslizamientos del Talud #2.	119
Fig. 7.3 Especificaciones de ademado sistemático de cuñas para el Talud #3, empleando anclas cementadas.	121
Fig. 7.4 Especificaciones de la aplicación de anclaje sistemático embebido en cemento para el sostenimiento de cuñas del Talud #4.	123
Fig. 7.5 Dimensiones del sistema de bermas para control de la estabilidad del Talud #5.	124
Fig. 7.6 Implementación de bermas para el control de los deslizamientos de bloques para el Talud #6.	124



## INDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla 1.1 Temperaturas promedio mensuales en grados centígrados, de la región de Cd. Victoria, Tamps., (Fuente: CNA en INEGI, 2003).	5
Tabla 1.2 Índice de precipitación promedio mensual en milímetros de precipitación, de la región de Cd. Victoria, Tamps., (Fuente: CNA en INEGI, 2003).	5
Tabla 4.1 Clasificación Geomecánica RMR de Bieniawski (1989).	72
Tabla 4.2 Factor de ajuste para las discontinuidades para la Clasificación SMR (Romana, 1995).	75
Tabla 4.3 Factor de ajuste según el método de excavación del talud para la Clasificación SMR (Romana, 1995).	76
Tabla 4.4 Clases de estabilidad de acuerdo al SMR (Romana, 1995).	76
Tabla 4.5 Valores límite para la clasificación SMR (Romana, 1995).	77
Tabla 6.1. Valores obtenidos mediante las diferentes técnicas aplicadas para caracterización geomecánica de cada talud (valores de cohesión en KPa).	111
Tabla 6.2 Valores obtenidos del Factor de Seguridad en condiciones diferentes para cada talud.	113

## INTRODUCCION

Los trabajos de ingeniería en la actualidad requieren de una gran inversión para ser realizados. El crecimiento de la población y economía de un país está sustentado por una infraestructura de comunicaciones que permite el acercamiento de los habitantes y de insumos para el sostenimiento de la sociedad. Podemos resumir que al inicio de las actividades económicas de un pueblo, éste genera productos que se comercializan en la misma región; al incrementarse la demanda se crea mayor empleo para manufactura y la distribución de los productos abarca regiones cada vez más lejanas, motivando una dinámica de transporte hacia dichas regiones. Así iniciaron las vías de comunicación que encabezó anteriormente el ferrocarril y en la actualidad las carreteras.

Este tipo de infraestructura requiere de varios factores para ser diseñado: primeramente tenemos el tipo de vehículos a transitar que indican el material en que se circulará, después la densidad vehicular para determinar las dimensiones y características especiales de ésta (p. Ej. Carreteras de dos vías para tránsito poco frecuente en contraste con las autopistas para altas velocidades); y finalmente las condiciones del terreno donde se trazará dicha avenida. Este último factor es el menos considerado para tal fin, siendo la base para el desarrollo de la carretera. En países como México que aún no se tiene una cultura de diseño basada en las condiciones geológicas, se pueden citar varios ejemplos en los cuales se observa el dominio de los aspectos estructurales del terreno sobre la ingeniería, tal es el caso de la “Autopista del Sol” que comunica al Valle de México con el Puerto de Acapulco, en donde los intentos fallidos por lograr la estabilidad de los cortes carreteros ha aumentado los costos de mantenimiento de dicha vía a través de los años.

Los estudios geológicos son una herramienta de gran ayuda, ya que se pueden predecir las condiciones de inestabilidad que pudieran presentarse, anticipando al proyecto a requerir de la infraestructura necesaria para mitigarlas y controlarlas. La Geología como ciencia, ha pasado ser de contemplativa y descriptiva a una disciplina aplicada a proyectos de ingeniería, colaborando a obtener seguridad en el uso de ésta infraestructura.

Juan Miguel Armas Zagoya