

ISSN 0188-7297



Certificación ISO 9001:2008 ‡

Metodología para la Gestión de Cortes Carreteros

Paul Garnica Anguas
Carlos Pérez García

**Publicación Técnica No. 370
Sanfandila, Qro, 2012**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Metodología para la Gestión de
Cortes Carreteros**

Publicación Técnica No. 370
Sanfandila, Qro, 2012

Esta investigación fue realizada en la Coordinación Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte, por el Dr. Paul Garnica Anguas y el M.I. Carlos Pérez García.

Índice

Resumen	vii
Abstract	viii
Resumen ejecutivo	xi

Introducción	1
1. Problemática latente	3
1.1 Actividad antrópica	4
1.1.1 Modificación del talud natural	4
1.2 Necesidad de reducir riesgos	5
1.3 Estabilidad de taludes	5
1.3.1 Condiciones de estabilidad del corte identificadas en campo	6
1.3.2 Factores que pueden producir fallas en los taludes	6
1.3.2.1 Erosión	10
1.3.3 Influencia del tipo de material	12
1.3.4 Clasificación y tipo de deslizamientos	13
1.3.4.1 Caídos de roca (desprendimientos)	14
1.3.4.2 Vuelcos (topples)	15
1.3.4.3 Deslizamientos	17
1.3.4.4 Extensiones laterales	18
1.3.4.5 Flujos (coladas)	20
1.3.5 Signos de movimiento	22
1.3.5.1 Grietas sobre la carretera o del talud cercano a ella.	22
1.3.5.2 Cambios abruptos de pendiente	22
1.3.5.3 Guarniciones	22
1.3.5.4 Escombros sobre las cuentas o sobre la vía	23
1.3.5.5 Deficiencias en el drenaje (agua superficial)	23
1.3.5.6 Deficiencias en el drenaje (agua subterránea)	25
1.3.5.7 Cambios en las características	26
1.3.5.8 Cambios en las estructuras	26
2. Conceptos y modelo de gestión	27
2.1 Introducción	27
2.2 Definición de gestión	27
2.2.1 Definición de gestión de activos	27
2.3 Gestión de activos geotécnicos	27
2.4 Gestión de cortes carreteros	28
2.4.1 Procedimientos para la gestión de cortes carreteros	28

2.4.2 Medidas de desempeño	29
2.5 Gestión con desarrollo gradual	30
2.5.1 Características del sistema de gestión con desarrollo gradual	31
2.6 Toma de decisiones	32
2.7 Alcances	32
3. Metodología para la evaluación de estabilidad en cortes	33
3.1 Generalidades	33
3.2 Concepto de la Metodología	33
3.3 Limitaciones	34
3.4 Reconocimiento del tramo en estudio	34
3.5 Necesidad de un ingeniero	38
3.6 Evaluación preliminar	38
3.7 Inspecciones detalladas	41
3.8 Sistema de base de datos	41
3.9 Relación entre peligro, riesgo y estabilidad	42
3.10 Índice General de Estabilidad de Cortes Carreteros (IGE _{CC})	43
3.10.1 Sistema de puntuaciones para los factores	43
3.10.2 Importancia de la aplicación del IGE _{CC}	44
3.10.3 Algunas metodologías existentes	45
3.10.3.1 Gestión de deslizamientos en Hong-Kong	46
3.10.3.2 Departamento de Transporte de Oregon	46
3.10.3.3 Departamento de Transporte de Colorado	47
4. Factores y procedimientos	50
4.1 Introducción	50
4.2 Antecedentes	50
4.3 Categorías de la metodología de evaluación de riesgo	51
4.3.1 Características del talud	51
4.3.1.1 Altura del talud	51
4.3.1.2 Mantenimiento/Limpieza	53
4.3.1.3 Angulo del talud	54
4.3.1.3.1 Ángulo de talud en suelos	55
4.3.1.3.2 Ángulo de talud en formaciones rocosas	55
4.3.1.4 Irregularidades en la cara del corte	56
4.3.1.5 Tipo de sección transversal	57
4.3.1.6 Área de Captación	58
4.3.1.7 Vegetación	61
4.3.2 Clima	63
4.3.2.1 Precipitación media anual o precipitación normal	64
4.3.2.2 Infiltración/Agua presente	67
4.3.3 Geología	68
4.3.3.1 Roca sedimentaria	68
4.3.3.1.1 Grado de erosión bajo los estratos del corte (descalce)	69
4.3.3.1.2 Grado de Interestratificación	69
4.3.3.1.3 Presencia de surcos	69

4.3.3.2 Roca cristalina	70
4.3.3.2.1 Tipo de roca	70
4.3.3.2.2 Grado de salientes (bloques en cantiliver)	71
4.3.3.2.3 Grado de erosión de la roca	71
4.3.3.2.4 Discontinuidades	72
4.3.3.2.4.1 Tamaño de bloques/volumen	73
4.3.3.2.4.2 Número de familias de discontinuidades	73
4.3.3.2.4.3 Persistencia y orientación	73
4.3.3.2.4.4 Abertura	74
4.3.3.2.4.5 Condiciones de erosión	74
4.3.3.2.4.6 Fricción (rugosidad entre discontinuidades)	75
4.3.3.3 Bloques en una matriz/rocas envueltas en suelo	75
4.3.3.3.1 Tamaño del bloque	76
4.3.3.3.2 Forma del bloque	76
4.3.3.3.3 Deslizamientos/Desplazamientos	76
4.3.3.4 Suelos residuales	77
4.3.3.4.1 Conceptos de horizonte y capa	78
4.3.3.4.2 Análisis cualitativo del suelo	79
4.3.3.4.3 Escurrimiento superficial	79
4.3.3.4.4 Contacto suelo sobre roca	80
4.4 Análisis estadístico del riesgo	80
4.4.1 Análisis de datos multivariantes	81
4.4.1.1 Análisis de conglomerados (análisis cluster)	82
4.4.1.1.1 Análisis jerárquico de conglomerados	82
4.4.1.1.1.1 Construcción de la matriz binaria	84
4.4.1.1.1.2 Distancias y similitudes	85
4.4.1.1.1.3 Método de conglomeración	87
4.4.1.1.1.4 Dendrograma	92
4.4.2 Validación Estadística	95
4.4.2.1 Exploración de datos gráficamente	95
4.4.2.2 Prueba de normalidad mediante el método de kolmogorov-Smirnov	98
4.4.2.3 Comparación de las puntuaciones medias entre los tres grupos de inestabilidad	99
4.4.2.4 Validez del criterio utilizado	102
5. Evaluación del tramo piloto	104
5.1 Aspectos generales	104
5.2 Evaluación de los cortes mediante el IGEcc	105
5.2.1 Caso de cortes con inestabilidad baja	105
5.2.2 Caso de cortes con inestabilidad media	116
5.2.3 Caso de cortes con inestabilidad alta	125
5.3 Presentación de resultados	136

6. Conclusiones y recomendaciones 149

Bibliografía 153

Resumen

En México, los estados gastan millones de pesos en reparar cada año los daños causados por los derrumbes de cortes. Con el paso del tiempo, en muchas carreteras del país la mayoría de peligros de inestabilidad potencialmente altos se convierten en derrumbes que pueden causar pérdidas humanas y económicas. Debido a los riesgos que corren los usuarios así como las pérdidas económicas de las empresas encargadas del mantenimiento, se inicia la búsqueda de un método sistemático y lógico capaz de lograr que los niveles de riesgo de los cortes se mantengan en los valores más convenientes. Para poder determinar los valores de riesgo, la metodología propuesta en este trabajo se centra en el cálculo de un Índice General de Estabilidad para Cortes Carreteros (IGE_{CC}). El IGE_{CC} es el resultado de la sumatoria de puntuaciones numéricas que se les otorga a cada uno de los factores que se han establecido como principales responsables de la falla en un talud. La sumatoria de puntuaciones supondrá la inestabilidad que existe, designando como grado alto a la puntuación mayor ($IGE_{CC} > 400$) y grado bajo a la puntuación menor ($IGE_{CC} < 250$). Es decir que entre más se eleve el valor del IGE_{CC} , mayor será su inestabilidad y debería de tener mayor prioridad en el respectivo mantenimiento.

Abstract

In Mexico states spend millions of pesos to repair each year damages caused for landslides. With the pass of time in many countries highways most of the potentially high instability dangers result in collapses that may cause human and economical losses. Due to the risk of the users as well as the economical loses of the companies in charge of maintenance starts the search of a logical and systematic method capable of maintain the cut risks between more convenient values has been started. To determine risk values the methodology is focused in the calculus of the Indice General de Estabilidad para Cortes Carreteros (IGEcc). The IGEcc is the result of numerical grading sum that are assigned to each of the factors that had been established as the main responsible of failure in a slope. The sum of punctuations is the existing instability designated as high grade to the highest punctuation (IGEcc > 400) and low grade to the lowest punctuation (IGEcc < 250). In other words the higher the value of the IGEcc higher the instability and should have higher maintenance priority.

Resumen ejecutivo

Cada vez es más notoria la importancia de contar con información precisa y de calidad como base en la toma de decisiones acerca de infraestructuras territoriales de una determinada región. En los últimos años, las administraciones públicas con competencias en la gestión de carreteras han empezado a invertir parte de sus recursos en estudios y análisis de las características de la red viaria, así como en herramientas para trabajar adecuadamente con los datos obtenidos.

En particular, la gestión de activos geotécnicos ha tomado mucha importancia en los últimos años en todos aquellos países en donde existe un riesgo significativo en los taludes y en donde la seguridad y rentabilidad en la operación de una carretera es comúnmente afectada por diversas fallas geotécnicas.

Anteriormente los departamentos de mantenimiento de carreteras, le prestaban más atención al comportamiento de los pavimentos y estructuras (puentes). A partir del seguimiento que se le ha dado durante años a los costos de reparación de muchas vías del país, se ha notado que muchos de los fracasos y costos, son atribuibles a las pequeñas y grandes fallas de los taludes existentes. Por tal motivo, actualmente se empieza a tener una incursión en la exploración de activos geotécnicos. Se ha determinado que una parte importante en la evaluación de las carreteras es conocer el desempeño de cada talud de corte que se tenga en el tramo evaluado. Podemos decir que la gestión de cortes carreteros es un plan estratégico que nos ayudará a crear soluciones asociadas al desempeño, riesgos y gastos que representa el talud durante la vida útil de la vía en que se encuentra.

En este trabajo se propone Índice General de Estabilidad de Cortes Carreteros (IG_{CC}), que es definido como el grado de estabilidad de un talud de corte respecto al riesgo que representa. El IG_{CC} está basado totalmente en la experiencia y juicio del ingeniero y nace de la necesidad de tener una herramienta capaz de identificar mediante la integración y asociación de los factores más relevantes y condicionantes de una forma rápida y práctica, el nivel de riesgo de falla, para posteriormente programar las actividades de mantenimiento necesarias en el tiempo adecuado.

El IG_{CC} es el resultado de la sumatoria de puntuaciones numéricas que se les otorga a cada uno de los factores que se han establecido como principales responsables de la falla en un talud. La sumatoria de puntuaciones supondrá la inestabilidad que existe, designando como grado alto a la puntuación mayor ($IG_{CC} > 400$) y grado bajo a la puntuación menor ($IG_{CC} < 250$). Es decir que entre más se eleve el valor del IG_{CC} , mayor será su inestabilidad y debería de tener mayor prioridad en el respectivo mantenimiento.

El cálculo del IGE_{CC} evalúa básicamente: Características del talud (altura del talud, Mantenimiento/limpieza, ángulo del talud, irregularidades, tipo de sección, área de captación y vegetación), clima (Precipitación media anual e infiltración/agua presente) y Geología (Rocas sedimentarias, Rocas, Bloques en una matriz de suelo, suelos residuales).

Las categorías de evaluación fueron establecidas pensando en los diferentes tipos de materiales que pueden encontrarse en el campo y que suelen ser los más representativos de los desastres que a menudo ocurren.

Con la ayuda de un análisis multivariante de datos se determinaron tres grupos que delimitan los rangos de inestabilidad para los cortes carreteros de acuerdo al IGE_{CC} (baja inestabilidad, media inestabilidad y alta inestabilidad). El responsable de la administración de la red carretera buscará mantener los valores del IGE_{CC} en el rango de inestabilidad baja pues son los más convenientes para poder evitar gastos innecesarios.

El IGE_{CC} resulta ser un indicador fácil de interpretar y de manejar, pues una simple puntuación nos dice con fundamentos teóricos y técnicos que nivel de riesgo tiene el corte y en base al presupuesto que se tenga, asignar recursos al corte que presente mayor riesgo.

Se presenta su aplicación en la evaluación en un tramo piloto. Sin embargo la importancia radica en la voluntad por parte de las administraciones encargadas del mantenimiento, de llevar un seguimiento de cada corte mediante el registro de su IGE_{CC} durante diferentes tiempos, para que se vaya creando una historia de cada uno de los cortes que se tienen en las diferentes redes carreteras y poco a poco ir afinando los factores y rangos de puntuación.

Introducción

La red de caminos representa un importante medio de desarrollo que permite la comunicación entre las poblaciones y la integración territorial de un país. Los caminos son inversiones importantes que demandan atención permanente a través de trabajos de mantenimiento para estar en buenas condiciones y ser transitables la mayor parte del año. Las vías de comunicación requieren tanto el aseguramiento de la calidad, como la garantía del servicio y la seguridad, tanto en el factor humano como en el ambiental. Por tanto, es necesario desarrollar instrumentos que permitan por un lado establecer prioridades para la asignación de los escasos recursos disponibles, y por otro facilitar estrategias de labores de prevención y control que ofrezcan a las empresas un nuevo procedimiento de diagnóstico del estado de las carreteras, y así poder realizar un estudio más profundo sobre su fiabilidad.

Algunos países han adoptado políticas nacionales para sostener una conservación vial de carácter preventivo y han generado niveles de organización adecuados para la gestión vial, con cierto éxito. El mantener los caminos en niveles que permiten la circulación vehicular durante todas las épocas del año, ha permitido crear una conciencia nacional acerca de la importancia de mantener las vías permanentemente en buen estado y ha permitido un ahorro considerable en los costos de operación vehicular. Sin embargo, en muchas ocasiones, las diversas organizaciones encargadas del mantenimiento de carreteras han dejado de lado a los taludes que se presentan, para tan solo preocuparse por la superficie de rodamiento. Esta situación ha significado la inversión de importantes recursos económicos así como la pérdida de muchas vidas. Tomando conciencia de esto, la metodología presentada tiene como principal objetivo otorgar una herramienta práctica que ayude al encargado del mantenimiento en el sistema de evaluación de los taludes de corte, para que así pueda tener en todo momento un conocimiento profundo y concreto sobre su desempeño en la vía y así prever con suficiente exactitud una posible inestabilidad para poder organizar todas las tareas de mantenimiento que se requiera llevar a cabo.

La presente metodología, constituye una herramienta práctica para los profesionales que realizarán la estimación del riesgo de los taludes de corte y una guía que orientará en la elaboración de los respectivos Informes; con la finalidad de contribuir a prevenir o mitigar los impactos que puedan ocasionar los peligros a la población, su patrimonio y el ambiente.

1 Descripción de la problemática

1.1 Actividad Antrópica

Las actividades antrópicas son las acciones humanas, entre las cuales se pueden mencionar a la deforestación, cambio de uso del suelo, construcción de carreteras, vibraciones generadas por el uso de explosivos y extracción de material pétreo, entre otras. Estas actividades o acciones humanas por lo general actúan como aceleradores de los procesos de deslizamientos y en algunos casos podrían ser disparadores del mismo.

Las actividades antrópicas que más causan problemas son los procesos constructivos. La lista siguiente (tomada de: La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Volumen 1, Rico y del Castillo) muestra los procesos constructivos más problemáticos:

1. Modificación de las condiciones naturales de flujo interno de agua al colocar rellenos o hacer zanjas o excavaciones.
2. Sobrecarga de estratos débiles por relleno, a veces de desperdicios.
3. Sobrecarga de terrenos con planos de estratificación desfavorables por relleno.
4. Remoción por corte de algún estrato delgado de material permeable que funcionará como un manto natural drenante de estratos de arcilla suave.
5. Aumento de presiones de filtración u orientación desfavorables de fuerzas de filtración al producir cambios en la dirección del flujo interno del agua, por haber practicado cortes o construido rellenos.
6. Exposición al aire y al agua, por corte de arcillas fisuradas.
7. Remoción de capas superficiales de suelo por corte, lo que puede causar el deslizamiento de capas del mismo estrato ladera arriba, sobre mantos subyacentes de suelo más duro o roca.
8. Incremento de cargas hidrostáticas o niveles piezométricos bajo la superficie de un corte al cubrir la cama del mismo con una capa impermeable.

1.1.1 Modificación del talud natural

La formación de las diferentes litologías ha sido proceso de la meteorización de rocas durante varios años. El acomodamiento de los diferentes estratos, reflejan la edad que presenta cada formación. Debido al tiempo y a las condiciones a las que las masas de materiales deben su origen, se presentan dentro de ellas esfuerzos varios como los de rocas meteorizadas, que después de haberse movido durante mucho tiempo, han llegado a un estado de reposo. Se debe de comprender entonces, que desde el inicio de la excavación de un corte carretero, los taludes naturales entran en un nuevo cambio, es decir, un ciclo dinámico que provoca un sistema de inestabilidad, por lo que al concebir un proyecto es necesario tomar en cuenta el grado de inestabilidad sobre el cual se parte, para no incurrir en el aumento de la probabilidad de desastres mediante malas prácticas durante el proceso de excavación. Por ejemplo, un mal uso de los explosivos podría dejar superficies irregulares llenas de fallas sobre la cara del corte.

1.2 Necesidad de reducir riesgos

En nuestros días el gran volumen de construcción lineal (carreteras, autopistas, ferrocarriles, etc.) hace necesario alterar constantemente la superficie natural del terreno, siendo unidades de obra muy comunes la excavación de laderas naturales, dando lugar a superficies creadas de forma artificial denominadas comúnmente cortes. Los factores antrópicos como la inestabilidad intrínseca de los cortes debida a la modificación de esfuerzos del talud natural, los malos hábitos de excavación y las vibraciones producidas por lo vehículos, así como todos los factores naturales (agua, terremotos, nieve, etc.), generan un peligro latente para la vía carretera tanto como principalmente a los usuarios.

Con el paso del tiempo, en muchas carreteras del país la mayoría de peligros de inestabilidad potencialmente altos se convierten en derrumbes que pueden causar pérdidas humanas y económicas. La mayoría de las veces el tiempo transcurrido para que una falla pueda ocurrir es impredecible, algunos cortes pueden fallar año tras año; otros pueden fallar cada 50 años. Un talud que presenta muchos desprendimientos en un lapso de tiempo corto, genera enormes problemas económicos para las agencias encargadas del mantenimiento. En México, los estados gastan millones de pesos en reparar cada año los daños causados por los derrumbes de cortes. Estos derrumbes varían de tal forma que algunos caídos de material sobre la carretera pueden ser removidos por una sola cuadrilla de trabajo y en unos cuantos minutos; mientras que para un derrumbe mayor se requieren meses de trabajo y millones de pesos para corregirlo.

Debido a los riesgos que corren los usuarios así como las pérdidas económicas de las empresas encargadas del mantenimiento, se inicia la búsqueda de un método sistemático y lógico capaz de lograr que los niveles de riesgo de los cortes se mantengan en los valores más convenientes (Figura 1.1) para ayudar a prevenir

catástrofes para los usuarios así como para ayudar a determinar los costos eficientes de reparación en un tiempo adecuado.

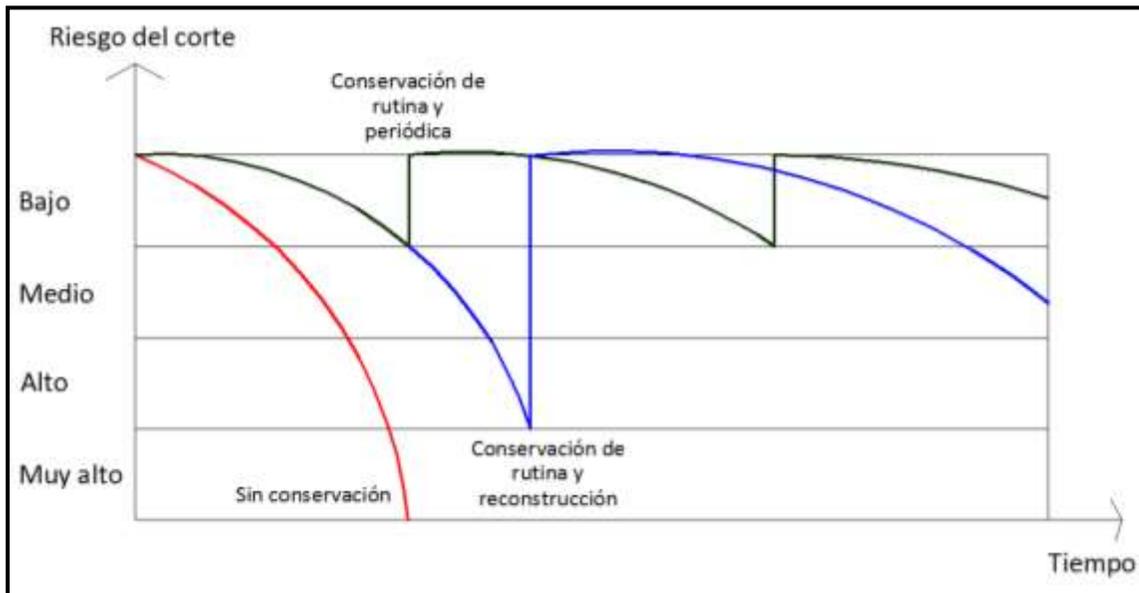


Figura 1.1 Niveles de riesgo de acuerdo a el tipo de conservación

1.3 Estabilidad de taludes

Usualmente los derrumbes o fallas de los taludes no son el resultado de un solo factor; por consiguiente la correcta comprensión de todos los posibles factores contribuyentes es de vital importancia. La mayoría de la literatura referente a este tema enfatiza la importancia del conocimiento fundamental de los factores que manipulan la transición de estado estable a inestable.

La estabilidad de un talud depende en general de factores propios de los materiales constitutivos, tales como su naturaleza, estructura, estratigrafía, condiciones de meteorización, y de todo un conjunto de circunstancias externas al propio talud o ambientales, como la topografía de la zona, el clima, la vegetación. Las condiciones de régimen hidráulico superficial son vitales, así como la gravedad que actúa siempre como factor desequilibrante. Siempre que la gravedad esté compensada con la resistencia del terreno, el talud estará en equilibrio, por el contrario, cuando el equilibrio se rompa se producirá una inestabilidad de la masa en forma de deslizamientos, avalanchas, desprendimientos, etc.

1.3.1 Condiciones de estabilidad del corte identificadas en campo

Tras los reconocimientos generales y las investigaciones previas para la detección de deslizamientos, los reconocimientos de campo tienen como finalidad la identificación del tipo y causas del movimiento. En este apartado se tratará sobre las evidencias y señales en el campo para el reconocimiento de deslizamientos y la identificación del tipo de movimiento general. En numerosas ocasiones la presencia de grietas puede ser la que lleva a la localización de los movimientos, así como a su identificación, si estas se saben interpretar correctamente.

La interpretación visual en las visitas de campo suelen ser de gran importancia, pues con base en los conocimientos por experiencias anteriores se pueden obtener una serie de datos que permiten deducir la respuesta del terreno a través del tiempo o ante una obra determinada. Es una parte demasiado significativa para poder asignar una cierta prioridad de mantenimiento a cada corte evaluado.

Las condiciones de estabilidad tienen que expresarse con base en el comportamiento del talud de corte, obtenido de un conjunto continuo y suficientemente detallado de interpretaciones cualitativas y subjetivas a base de mediciones de campo. Las características observadas en campo serán la parte más importante para poder clasificar las fallas de los diferentes cortes, pues dependiendo de ello serán los métodos correctivos en que pueda pensarse (Tabla 1.1).

1.3.2 Factores que pueden producir fallas en los taludes

Una de las tareas más difíciles del ingeniero dedicado a este tipo de problemas, es poder establecer los factores que producen una falla en los taludes. Sin embargo, existen ciertas características que pueden ser de gran ayuda para el evaluador, como por ejemplo se sabe que la mayoría de las fallas importantes ocurren en el periodo que sigue al comienzo de la temporada lluviosa. En la Tabla 1.3 se muestra una lista de posibles factores causantes de falla. En general, las causas de los deslizamientos pueden ser externas o internas. Las externas producen aumento en los esfuerzos cortantes actuantes sin modificar la resistencia al esfuerzo cortante del material (Tabla 1.2). Las causas internas son las que ocurren sin cambio en las condiciones exteriores del talud; deben de ligarse siempre a una disminución de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo constitutivo (Tabla 1.2).

Tipo de movimiento	Clase de material	Partes estables que rodean al deslizamiento				Partes que se han movido			
		Corona o iniciación de la zona fallada	Talud principal (detrás de la zona fallada)	Flancos	Cabeza	Cuerpo	Base	Pie	
Caídos y derrumbes 1) Caídos de rocas	Roca	Roca suelta, grietas probables detrás de la línea de falla, aspecto irregular caracterizado por sistemas de juntas.	Normalmente casi vertical, irregular, liso, roca de aspecto fresco. Roca juntada.	En general filos de roca limpios.	Generalmente no está bien definida. El material caído forma un monton de rocas cerca del escarpio.	Superficie irregular con fragmentos de roca. Si es muy grande y si tiene árboles o materiales de colores contrastantes, el material puede indicar dirección del movimiento radial desde el escarpio. Puede contener depresiones.	La base comúnmente enterrada. Si está visible presenta generalmente las razones de falla, tales como roca subyacente débil o estratos socavados por el agua.	Si el caído es pequeño tiene un talud irregular de detritos. Si la caída de rocas es grande el pie puede tener un contorno redondo.	
2) Caídos de suelos	Suelos	Grietas detrás de la línea de falla	Casi vertical. Suelo húmedo. Superficialmente muy agrietado.	Con frecuencia casi verticales	Generalmente no está bien definida. El material caído forma un monton de rocas cerca del escarpio.	Irregular	Como el de arriba	Irregular	
Deslizamiento 1) Circular	Suelo	Numerosas grietas, la mayoría de ellas cóncavas hacia el deslizamiento	Inclinado, limpio, cóncavo hacia el deslizamiento, comúnmente alto. Puede presentar estrías y zanjas en la superficie, que van de la corona a la cabeza. La parte superior del talud tras la falla puede ser vertical.	Las estrías en los flancos del escarpio tienen grandes componentes verticales cerca de la cabeza y notables componentes horizontales cerca de la base. La altura de los flancos decrece hacia la base. El falco del deslizamiento puede ser mas alto que las superficies originales del terreno entre la base y el pie. Grietas en escalón rodean el deslizamiento en las primeras etapas.	La parte superior del material fallado conserva partes del terreno natural antes de fallar. Se producen al pie del talud principal encharcamientos. Toda la cabeza de falla está surcada por grietas y los árboles en la zona caída apuntan cerro arriba.	La parte del suelo que se mueve se rompe y se disgrega. Grietas longitudinales, bufamiento. Generalmente se desarrollan encharcamientos justo arriba de la base.	Normalmente se desarrollan bufamientos transversales y grietas sobre la base. Zona de levantamiento, ausencia de bloques individuales grandes. Los árboles inclinados cuesta abajo.	Poco o ningún flujo de tierra. El pie con frecuencia es casi recto y cercano a la base. Puede tener un frente abrupto.	
	Roca	Las grietas tienden a seguir las fracturas en la roca original	Como el de arriba	Como el de arriba	Como el de arriba	Como el de arriba, pero el material no se rompe tanto ni se deforma plásticamente.	Como el de arriba		

Tabla 1.1 Signos exteriores más usuales de los distintos tipos de fallas. “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Volumen 1, Rico y del Castillo”

Flujo de material seco:	1) Fijos de fragmentos de roca	2) Fijos de arena	3) Deslizamiento de roca	Clase de material	Tipo de movimiento	Partes estables que rodean al deslizamiento			
						Corona o iniciación de la zona fallada	Talud principal (detrás de la zona fallada)	Flancos	
						Partes que se han movido			
						Cabeza	Cuerpo	Base	Pie
	Roca	Suelo	Roca	Roca o suelo	2) Traslacional	No hay grietas	Igual que en las caídas de roca	Roca suelta, grietas entre los bloques.	La mayoría de las grietas son casi verticales y tienden a seguir el contorno del talud
	Roca					Forma de embudo cuando alcanza el ángulo de reposo.	Igual que en las caídas de roca	Generalmente escalonado de acuerdo con el espaciamiento de juntas o planos de estratificación. Superficie irregular en la parte superior y ligeramente inclinada en la parte baja; puede ser casi plana o compuesta de derrames de rocas.	Casi vertical en la parte superior; en la parte inferior casi plano y con transición gradual.
						Desarrollados en una curva continua a partir de la corona	Igual que en las caídas de roca	Irregular.	Los falcos laterales muy bajos, grietas verticales. Las grietas generalmente divergen cuesta abajo.
						Generalmente sin cabeza	No hay cabeza	Muchos bloques de roca.	Relativamente inalterada. No hay rotación
						Montículo cónico de arena igual en volumen a la parte vaciada de la cabeza.	Superficie irregular de fragmentos de roca mezclados, derramados hacia abajo en abanico. Muestra valles y lomas transversales lobuladas.	Superficie rugosa con muchos bloques. Algunos bloques pueden estar en su posición original, pero mas baja si el movimiento fue de traslación lenta.	Compuesto generalmente de una o varias unidades inalteradas excepto por grietas de tensión. Las grietas presentan tan poco o ningún desplazamiento vertical.
						no hay base	No hay base	Generalmente no hay una verdadera base.	Ni base, ni zona de levantamiento.
						No hay pie o éste es un amplio abanico poco perceptible.	Compuesta de lenguas. Puede deslizarse siguiendo líneas de cauce natural.	Acumulación de fragmentos de roca.	Deslizante sobre la superficie del terreno.

Tabla 1.1 (Continuación)

Tipo de movimiento	Clase de material	Partes estables que rodean al deslizamiento			Partes que se han movido			
		Corona o iniciación de la zona fallada	Talud principal (detrás de la zona fallada)	Flancos	Cabeza	Cuerpo	Base	Pie
De material húmedo: 1) Flujo de lodos	Suelo	Pocas grietas	La parte superior en forma dentada o de V, larga y angosta, lisa y comúnmente estriada	Inclinados, irregulares en la parte superior. Amontonamiento de material en la parte inferior de los flancos	Puede no haber cabeza	De húmedo a muy húmedo; puede contener grandes bloques empacados en matriz de material fino. Líneas de flujo. Sigue las líneas de drenaje y puede dar vueltas pronunciadas. Muy largo comparado con el ancho.	Ausencia de base o enterrada en los detritos	Extendido lateralmente en lóbulos. Cuando el pie se seca puede tener un escalon frontal de escasa altura.
2) Flujo de tierra	Suelo	Puede haber algunas grietas	Cóncavo hacia el deslizamiento. En algunos casos es casi circular. El deslizamiento ocurre a través de un estrechamiento.	Curvos, lados empinados	Consiste comúnmente en un bloque hundido.	Roto en muchos pedazos pequeños. Húmedo, muestra la estructura del flujo	No hay base	Extendido en lóbulos
3) Flujo de arena o limo	Suelo	Pocas grietas	Inclinado, cóncavo hacia el deslizamiento, puede haber variedades de formas en el contorno (casi recta, tendencia a arco circular o forma de botella).	Frecuentemente los flancos convergen en la dirección del movimiento	Generalmente bajo agua.	El cuerpo se extiende como fluido.	No hay base	Extendido en lóbulos

Tabla 1.1 (Continuación)

Factores que contribuyen a aumentar los esfuerzos cortantes actuantes en un talud		
1. Remoción de soporte	Cortes y excavaciones	4. Remoción de materiales subyacentes que proporcionaban soporte
Erosión	Remoción de muros de retención o tablaestacados	
Por corriente y ríos	Vaciado de lagos, lagunas o depósitos de agua	Por ríos o mar
Por glaciares	2. Sobrecarga	Por meteorización
Por acción de oleaje o corrientes marinas	Por causas naturales	Por erosión subterránea por flujo de agua (tubificación, lavado de solventes, etc.)
Por procesos sucesivos de humedecimiento y secado (brisa, congelamiento, etc.)	Peso de lluvias, nieve, etc.	Por actividad Humana. Excavación o minería
	Acumulación de materiales por caídos, deslizamientos u otras causas.	Por pérdida de resistencia del material subyacente.
Modificación del talud previo por caídos, deslizamiento, asentamiento o cualquier otra causa	Por actividad humana	5. Aumento de presión lateral
Actividad humana	Construcción de rellenos	Por agua en grietas y fisuras
	Edificios y otras sobrecargas en la corona	Por congelación del agua en grietas
	Eventuales fugas de agua de tubería y ducto	Por expansión de arcillas susceptibles.
	3. Efectos transitorios, como sismos	

Factores que contribuyen a disminuir la resistencia al esfuerzo cortante	
1. Factores inherentes a la naturaleza de los materiales	2. Cambios por meteorización
Composición	3. Efecto de las presiones de poro, incluyendo las debidas al flujo de agua
Estructuración	4. Cambios en la estructura, incluyendo fisuración por liberación de esfuerzos y degradación estructural bajo los esfuerzos cortantes previamente actuantes.
Estructuras secundarias o heredadas	
Estratificación desfavorable	

Tabla 1.2 Factores que modifican el esfuerzo Cortante

1.3.2.1 Erosión

La erosión es el desgaste de la corteza terrestre originada por fenómenos naturales o antrópicos y cuyos agentes causantes son la fuerza eólica o la fuerza hídrica. La erosión comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca.

Sin duda, la erosión es uno de los principales problemas que afectan la estabilidad de los taludes. La profundidad y la rapidez de la meteorización, la alta erosionabilidad de los materiales, la tectónica, la topografía y sobre todo la intensidad de las lluvias hace que los problemas de erosión sean especialmente difíciles.

El problema de la erosión no es un problema de corte profundo sino un problema de fuerzas en la superficie del suelo; la influencia de la geometría y la localización de las partículas tienen gran influencia. Las partículas en la superficie están expuestas a fuerzas netas menores que las que están debajo de la superficie y cuando existe orientación de la partícula, la erosión es mucho menor. La iniciación del movimiento de una partícula de suelo debido a la acción hidráulica se define como el instante en el cual las fuerzas generadas por el fluido arrancan y levantan la partícula produciendo su movimiento, excediéndose por lo tanto la fuerza estabilizante debida a la gravedad y las fuerzas de fricción y cohesión.

Agente	Proceso que pone al agente en acción	Medio por el cual actúa el agente	Materiales más sensibles a la acción del agente	Naturaleza física de la acción del agente	Efectos sobre la estabilidad
Erosión y transporte	Procesos constructivos o erosiones	1. Aumenta la altura o la inclinación del talud	Todos los materiales	Cambios en el estado de esfuerzos	Aumento de los esfuerzos cortantes
			Arcillas rígidas o fisuradas. Lutitas	Cambios en los estados de esfuerzos y abertura de fisuras	Aumento de los esfuerzos cortantes. Se desencadena el proceso 8
Esfuerzos tectónicos	Movimientos tectónicos	2. Deformaciones grandes de la corteza terrestre	Todos los materiales	Aumenta el ángulo de talud	Aumento de los esfuerzos cortantes
Esfuerzos tectónicos o uso de explosivos	Temblores o explotación con explosivos	3. Vibraciones de alta frecuencia	Todos los materiales	Cambios de esfuerzos transitorios	Aumento de los esfuerzos cortantes
			Loess, arenas ligeramente cementadas y gravas	Alteración de los nexos interparticulares	Disminución de la cohesión y aumento de los esfuerzos cortantes
			Arena fina o media, suelta y saturada	Reacomodo de granos	Licuación
Peso del material que forma el talud	Construcción del talud	4. Deslizamiento superficial	Arcilla dura o fisurada. Lutita. Remanentes de viejos deslizamientos	Apertura de fisuras cerradas y producción de nuevas fisuras	Disminución de la cohesión. Se acelera el proceso 8
		5. Deslizamiento en estratos débiles al pie del talud	Materiales duros sobre estratos blandos		
Agua	Lluvias o fusión de nieve	6. Desplazamiento de aire en los vacíos	Arena húmeda	Aumento de presión de poro en el agua	Disminución de resistencia
		7. Desplazamiento de aire en juntas abiertas	Roca junteada. Lutitas		
		8. Reducción de presiones capilares asociada con expansión	Arcilla dura y fisurada. Algunas lutitas	Expansión	Disminución de la cohesión
		9. Descomposición química	Cualquier roca	Debilitamiento de los nexos interparticulares	
	Congelación del terreno	10. Expansión del agua por congelación	Roca junteada	Apertura de fisuras cerradas y producción de nuevas fisuras	Disminución de la cohesión
		11. Formación de lentes de hielo en el suelo	Limos y arenas limosas	Aumento en el contenido de agua del suelo congelado	Disminución de la resistencia por fricción
	Período de sequía	12. Contracción	Arcilla	Agrietamiento por contracción	Disminución de la cohesión
	Vaciado rápido	13. Flujo hacia el pie del talud	Limos y arenas finas	Aumento de presión de poro en el agua	Disminución de la resistencia por fricción
	Fluctuaciones en la elevación del nivel	14. Reacomodo de granos	Arena media a fina, suelta, saturada	Aumento de presión de poro en el agua	Licuación
	Ascenso de nivel freático en un acuífero distante	15. Elevación del nivel piezométrico en el material que forma el talud	Estratos de arena o limo entre o debajo de estratos de arcilla	Aumento de presión de poro en el agua	Disminución de la resistencia por fricción
	Flujo interno de agua	16. Flujo hacia el talud	Limo saturado	Aumento de presión de poro en el agua	Disminución de la resistencia por fricción
		17. Desplazamiento de aire en los vacíos	Arena fina húmeda	Disipación de la tensión superficial	Disminución de la cohesión
		18. Remoción de cementantes solubles	Loess	Debilitamiento de los nexos interparticulares	
		19. Erosión interna	Limo o arena fina	Tubificación	Aumento de los esfuerzos cortantes

Tabla 1.3 Factores que producen los deslizamientos. “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Volumen 1, Rico y del Castillo”

Los cortes carreteros por ser un producto de la actividad antrópica, presentan una alta probabilidad de ser erosionados, por lo que la erosión en este tipo de taludes artificiales se convierte en el mayor reto de los ingenieros encargados de la construcción y mantenimiento de las vías terrestres.

Para el estudio de la erosión en cortes carreteros deben de comprenderse los diferentes tipos en que pueda presentarse:

1. *Erosión superficial*. La acción del agua sobre la superficie del talud trae como efecto cambios topográficos los cuales pueden alterar las condiciones hidrológicas y de esfuerzos los cuales pueden conducir a un deslizamiento del terreno.
2. *Erosión laminar*. El proceso de erosión laminar se inicia por el impacto de las gotas de agua de lluvia contra la superficie del suelo, complementada por la fuerza de la escorrentía produciendo un lavado de la superficie del terreno como un todo, sin formar canales definidos.
3. *Erosión en surcos*. Los surcos de erosión se forman por la concentración del flujo de agua en caminos preferenciales, arrastrando las partículas y dejando canales de poca profundidad, generalmente paralelos.
4. *Erosión en cárcavas*. Las cárcavas constituyen el estado más avanzado de erosión y se caracterizan por su profundidad, que facilita el avance lateral y frontal por medio de desprendimientos de masas de material en los taludes generalmente de pendiente alta que conforman el perímetro de la cárcava. Las cárcavas son generalmente producidas por la falta de atención a la aparición de surcos, que poco a poco se van haciendo más grandes y profundos hasta que logran unirse unos con otros, generando una oquedad grande.
5. *Erosión interna (piping)*. El agua al fluir por ductos concentrados dentro del suelo produce erosión interna, la cual da origen a derrumbamientos o colapsos que pueden provocar un hundimiento del terreno o la formación de una cárcava.
6. *Erosión por afloramiento de agua*. Un caso de erosión puede ocurrir en los sitios de afloramiento de agua, formando pequeñas cavernas o taludes negativos, los cuales a su vez pueden producir desprendimientos de masas de suelo.

1.3.3 Influencia del tipo de material

El término más comúnmente utilizado para designar los movimientos producidos en los taludes es el de deslizamiento. Dicho término, de acepción muy extendida implica movimientos de taludes formados por diferentes clases de materiales a

través de una superficie de rotura determinada. La naturaleza intrínseca del material mantiene una estrecha relación con el tipo de inestabilidad que puede producirse, condicionando y pudiendo estimarse de antemano la susceptibilidad de cada material, a que se desarrolle un movimiento determinado. Los terrenos en los que se producen los movimientos pueden dividirse en tres grupos:

- a) *Macizos Rocosos*. El término se identifica con los medios rocosos, en los que existen una serie de discontinuidades naturales antes de iniciarse un movimiento.
- b) *Suelos*. Estos materiales constituyen un agregado de partículas solidas con diferente grado de consolidación, que pueden desarrollarse “in situ” formando una cobertura de los macizos rocosos o bien pueden haber sufrido un cierto tipo de transporte.
- c) *Materiales de relleno*. Se consideran los depósitos acumulados debido a la realización de determinadas obras o actividades, generalmente compuestos de materiales heterogéneos.

1.3.4 Clasificación y tipo de deslizamientos

Un deslizamiento puede clasificarse utilizando dos términos. El primer término describe el material y el segundo término describe el tipo de movimiento, ambos se encuentran referidos en la Tabla 1.4.

Tipo de Movimientos	Tipo de materiales			
	Lecho rocoso	Tipo de talud		
		Predominantemente grueso	Predominantemente fino	
Desprendimientos (caídos).	Caídos de roca	Desprendimiento de escombros	Desprendimiento de suelo	
Vuelcos (Topples)	Vuelco de roca	Vuelco de escombros	Vuelco de suelo	
Extensiones laterales (spread)	Extensiones de roca	Extensiones de escombros	Extensiones de suelo	
Flujos (coladas)	Flujos de roca		Flujos de escombros	Flujos de suelo
Deslizamientos	Rotacionales	Caída repentina de rocas	Caída repentina de escombros	Caída repentina de Suelo
	Traslacionales/ en cuña	Deslizamiento de bloques de roca	Deslizamiento de bloques de escombros	Deslizamiento de bloques de suelo
		Deslizamiento de roca	Deslizamiento de escombros	Deslizamiento de suelo

Tabla 1.4 Clasificación abreviada de los tipos de movimiento

Los términos utilizados en la Tabla 1.4 para los tipos de materiales quedan definidos de la siguiente manera:

- Roca. Una masa firme y dura que antes de iniciar su movimiento se encuentra intacta, en su estado natural.
- Suelo. Agregado de partículas sólidas, producto del desgaste de rocas sanas.
- Tierra. Material con el 80 % o más de partículas menores a 2 mm, el límite superior de tamaño de las partículas de arena.
- Escombros. Contiene una significativa proporción de materiales gruesos.

1.3.4.1 Caídos de roca (desprendimientos)

Se define como una masa separada de un talud sobre la superficie de un corte. El material del terreno o de la roca desciende a través del aire cayendo, rebotando, o rodando. El movimiento sucede de rápido a muy rápido. Estos fenómenos suelen producirse en zonas constituidas geológicamente por alternancias sedimentarias de capas resistentes y débiles (Figura 1.2, Imagen 1.1).

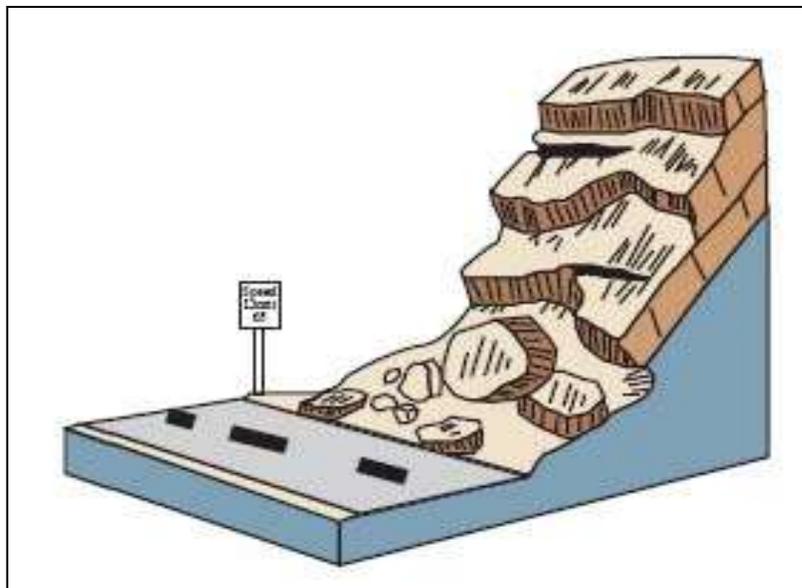


Figura 1.2 Desprendimientos



Imagen 1.1 Desprendimientos.

1.3.4.2 Vuelcos (Topples)

Estos movimientos implican una rotación de unidades con forma de columna o bloque sobre una base, bajo la acción de la gravedad y fuerzas ejercidas por unidades adyacentes o por inclusión de agua en las discontinuidades (Figura 1.3, Imagen 1.2).

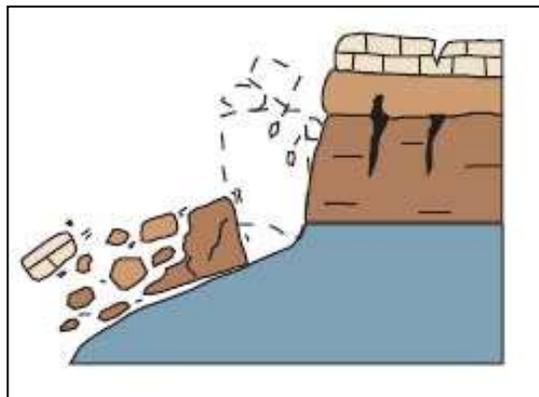


Figura 1.3 Vuelcos



Imagen 1.2 Vuelcos.

Comúnmente las fallas por vuelco se presentan de la siguiente forma:

- a) *Vuelco por flexión.* Se desarrolla bajo un mecanismo compuesto por flexiones semicontinuas del material, individualizado en columnas, debido a una serie de eventos acumulados a lo largo de las discontinuidades. Cuando se desencadena el movimiento, por transmisión de la carga en el pie del talud, el mecanismo progresa hacia el interior el macizo rocoso, originando grietas de tracción con profundidad y anchura variables.
- b) *Vuelco de bloques.* Es característico de aquellos macizos rocosos que contienen sistemas de discontinuidades ortogonales, dando lugar a una geometría de columnas dividida en bloques. El empuje sobre los bloques inferiores origina su desplazamiento y una vez producido, el movimiento progresa a la parte superior del talud.
- c) *Vuelco mixto.* Es una combinación de los dos anteriores. Se produce cuando los bloques son alargados, debido a flexiones en el pie del talud e intermovimientos relativos de las distintas unidades

1.3.4.3 Deslizamientos

Son movimientos que se producen al superarse la resistencia al corte del material y tienen lugar a lo largo de una o varias superficies o a través de una franja relativamente estrecha del material. Sobre las superficies donde se produce el movimiento se generan estrías indicativas de la dirección del movimiento. Se distinguen dos tipos de deslizamientos:

- a) *Deslizamientos rotacionales*. Tienen lugar a lo largo de una superficie de deslizamiento interna, de forma aproximadamente circular y cóncava (Figura 1.4, Imagen 1.3). El movimiento simula una naturaleza rotacional, alrededor de un eje dispuesto paralelamente al talud.

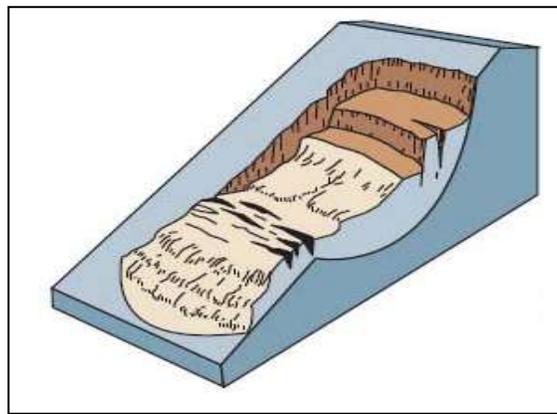


Figura 1.4 Deslizamiento Rotacional



Imagen 1.3 Deslizamiento rotacional.

Si la superficie de rotura corta al talud por encima de su pie, se denomina superficie de rotura de talud. Cuando la salida se produce por el pie del talud y queda por encima de la base de dicho talud, recibe el nombre superficie de rotura de pie del talud. Si la superficie de rotura pasa bajo el pie del talud con salida en la base del mismo y alejada del pie, se denomina rotura de base del talud.

- a) *Deslizamientos traslacionales*. En este tipo de deslizamientos la masa de terreno se desplaza hacia afuera y abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o suavemente ondulada, con pequeños movimientos de rotación (Figura 1.5, Imagen 1.4). comúnmente el movimiento de la masa deslizada hace que esta quede sobre la superficie original del terreno.

Los deslizamientos traslacionales están condicionados por las discontinuidades, influyendo la variación de resistencia al corte entre estratos de diferente naturaleza, diferente grado de meteorización, distintos tipos de relleno en discontinuidades, etc. Generalmente se desarrollan en macizos rocosos, con discontinuidades bien marcadas.

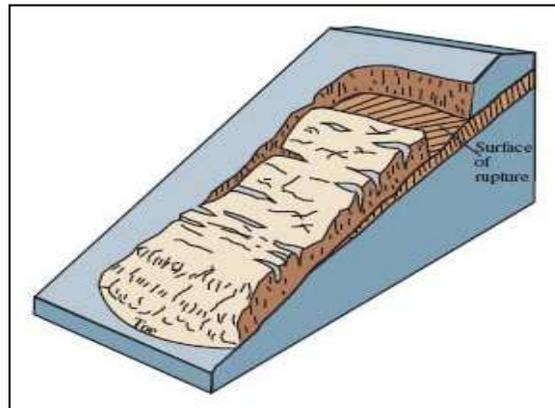


Figura 1.5 Deslizamiento Traslacional

1.3.4.4 Extensiones laterales

El movimiento consiste en una extensión lateral controlada por superficies de corte y/o fracturas de tensión. Pueden aparecer sobre macizos rocosos con diferente competencia o bien sobre materiales con carácter de suelo (Figura 1.6). Con carácter genérico pueden subdividirse en dos tipos:

1. Movimientos que comprenden una extensión, sin que se reconozca o exista una superficie basal neta de corte o se produzca un flujo plástico. Son propios de crestas modeladas en medios rocosos estratificados.



Imagen 1.4 Deslizamiento traslacional.

2. Movimientos que pueden comprender una extensión y fracturación del material más competente (roca o suelo), debido a una licuación o flujo plástico del material subyacente. Simultáneamente en los materiales superiores pueden producirse fenómenos de subsidencia, traslación, rotación e incluso licuación y flujo, dependiendo de la naturaleza intrínseca del material.

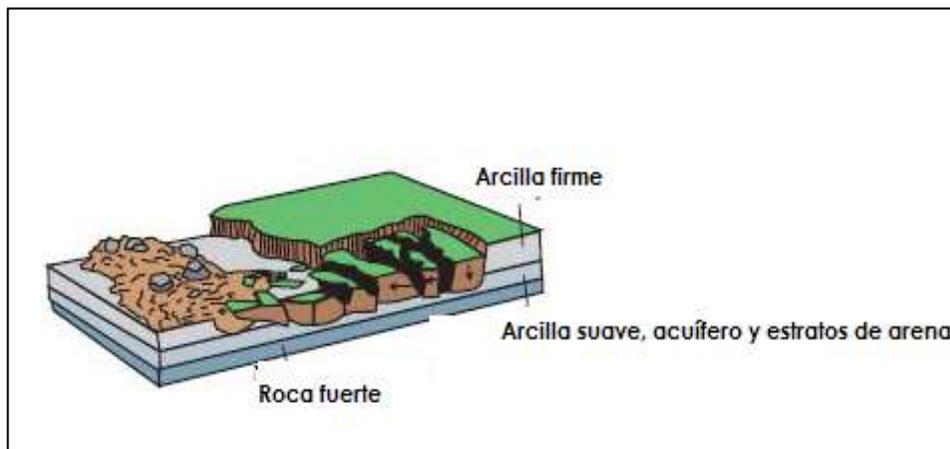


Figura 1.6 Extensiones laterales

1.3.4.5 Flujos (coladas)

La granulometría del material y el contenido de agua, son los dos factores más determinantes en el desarrollo de este tipo de procesos. Se contemplan bajo esta denominación ciertos movimientos producidos en materiales rocosos (menos frecuente) y en materiales de tipo suelo, que constituyen las coladas en sentido estricto.

- *Flujos en roca.* Son poco frecuentes y propias de macizos rocosos no muy competentes, con una estratificación definida y afectados por otros plegamientos y otras manifestaciones de comportamiento plástico. Incluyen deformaciones que se distribuyen entre fracturas grandes o pequeñas e incluso entre microfracturas sin aparente conexión entre ellas. No existe una concentración de desplazamiento continuo sobre una superficie definida, entre unidades relativamente intactas.
- *Flujos en suelos.* Presentan una semejanza a los fluidos viscosos. Son propios de materiales tipo suelo, su característica principal es presentar grandes desplazamientos de la masa movida y el efecto fluidificante del agua como parte del proceso.

Atendiendo a la granulometría de los mismos, contenido de agua, movilidad y carácter del movimiento se mencionan los siguientes subtipos más representativos:

- Reptaciones (Creep). Son deformaciones continuas, generalmente superficiales y extremadamente lentas, que pueden aparecer acompañando a otros tipos de movimientos de los materiales subyacentes (Figura 1.7).



Figura 1.7 Reptación

- Flujo de derrubios (debris flow). Materiales con un elevado porcentaje de fragmentos gruesos. La masa que desliza se divide en pequeñas partes con movimiento lento. Cuando este es rápido y progresivo, suele utilizarse el término avalancha (Figura 1.8, Imagen 1.5).

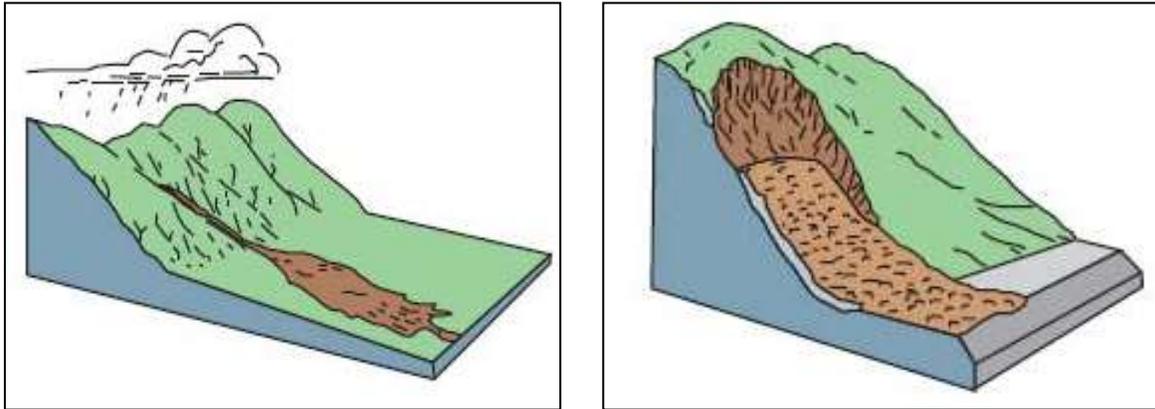


Figura 1.8 Derrubios. Izquierda escombros, derecha avalancha.



Imagen 1.5 Flujo de derrubios.

- Flujos de barro (mud flow). Se produce en materiales con al menos el 50% de fracción fina y con un contenido de agua suficiente para permitir fluir el material

1.3.5 Signos de movimientos

Muchos derrumbes ocurren sin previo aviso. El personal de mantenimiento debe de tener la habilidad necesaria para poder detectar cualquier indicio. Si un deslizamiento es descubierto en su etapa de nacimiento, se podrán realizar las tareas coherentes para no llegar a un fracaso del talud así como impedir costos de reparación demasiado altos. Es importante entonces, identificar las distintas señales o signos que evidencian la existencia de deslizamientos antiguos o recientes, aunque los primeros resultan, por lo general, mas difíciles de identificar en una investigación general. Algunos de estos rasgos que pueden aparecer asociados con movimientos, se explican en esta parte de la investigación.

1.3.5.1 Grietas sobre la carretera o sobre el talud cercano a ella

Los diferentes tipos de movimientos desarrollan grietas características con distintas orientaciones que las hacen muy importantes a la hora del reconocimiento de movimientos. Las grietas delinean los límites de rotura y son en la mayoría de los casos las primeras señales de movimiento que aparecen en el campo. Su aparición en la cabecera del talud y en los límites laterales del deslizamiento, pueden definir, según la forma de las mismas, el tipo de movimiento a que corresponden. Las grietas de tensión que se presentan en la carretera señalan que un movimiento ha iniciado. Estas grietas permiten que el agua penetre, suavizando el material e incrementado la presión ejercida.

1.3.5.2 Cambios abruptos de pendiente

Estos cambios indican que una masa de terreno o roca ya ha fallado o se ha movido. Algunos derrumbes presentarán más de un cambio de pendiente pues la masa de material tiene una tendencia a moverse en bloques.

1.3.5.3 Guarniciones

Las guarniciones son un elemento protector en las vías carreteras, pero también pueden servir como indicador de movimientos (Imagen 1.6). Cuando en la superficie de rodamiento no se presenten cambios visibles, el observar la condición de las guarniciones suele ser de gran ayuda. Una guarnición oblicua, inclinada o con buzamiento, indicará problemas con el terraplén. Al existir problemas en el terraplén se deberá observar si existe continuidad con algún corte, puesto que las deformaciones pudieran ser producto del empuje de la masa de tierra ocasionado por un deslizamiento rotacional. Un escurrimiento de material

por debajo del pie del talud de corte puede modificar la estructura de las guarniciones.



Imagen 1.6 Deformación de Guarnición.

1.3.5.4 Escombros sobre las cunetas o sobre la vía

Los escombros de suelo pueden indicar la existencia de un corte inestable cercano a la carretera (Imagen 1.7). La presencia de escombros puede ser el origen de los desprendimientos mayores. Un problema continuo de escombros sobre la vía requiere la atención del personal de mantenimiento con el objetivo de implementar la mejor solución.

1.3.5.5 Deficiencias en el drenaje (agua superficial)

- a) *Alcantarillas bloqueadas.* Una alcantarilla bloqueada no permite que el agua fluya correctamente, lo cual a su vez puede causar estancamiento de agua cerca del pie del talud. Esta condición tiende a saturar el pie del talud, causando que el terreno pierda fuerza e impidiendo su habilidad para resistir su propio peso. Consecuentemente un derrumbe puede llegar a ocurrir.



Imagen 1.7 Escombros. Autopista Maravatío-Zapotlanejo, KM 343 + 550 cuerpo A

- b) *Cunetas recubiertas que presentan daños.* Las cunetas que presentan resquebrajaduras permiten que el agua superficial fluya hacia abajo. Esto puede erosionar el talud o permitir agua en la superficie que sature porciones del talud (Imagen 1.8).
- c) *Agua estancada.* El agua estancada puede ocasionar problemas de infiltración.
- d) *Desagües sobre el talud.* Las tuberías, alcantarillas, cunetas, bordillos, contracunetas que permitan que el agua escurra dentro del talud pueden ser causas importantes para un deslizamiento. El agua de estos elementos puede infiltrarse hasta aumentar las fuerzas que desequilibran el talud.



Imagen 1.8 Consecuencia de mal drenaje, talud erosionado.

1.3.5.6 Deficiencias en el drenaje (agua subterránea)

- a) *Agua emanada de la cara o del pie del talud.* Los emanados indican la presencia de agua subterránea interceptando la superficie del terreno. Un emane puede señalar que el agua de una formación acuífera ha saturado una porción del corte. El área alrededor de un emane de agua es vulnerable a un derrumbe.
- b) *Color en la cara del talud.* Los colores diferentes pueden indicar diferencias bien definidas en la cantidad de agua presente. Un color más oscuro será indicador de mayor cantidad de agua presente. El área que contiene mayor cantidad de agua es más sensible a los derrumbes.
- c) *Vegetación.* El tipo y condición de la vegetación creciendo en los taludes puede indicar la presencia de agua subterránea. Las aneas y los sauces son plantas que indican la presencia de agua subterránea. Las áreas cubiertas de vegetación verde en estaciones temporales secas también son indicadoras de agua subterránea.

1.3.5.7 Cambios en las características

Algunos otros signos sutiles de movimiento pueden ser los cambios de verticalidad de diferentes elementos presentes en el talud. Árboles inclinados en el pie del talud indicarán que ha existido movimiento en algún tiempo atrás, pero que actualmente ha dejado de moverse, permitiendo que los árboles sigan creciendo verticalmente. Rocas visibles cubiertas de un suelo blando, indicarán que el talud se está moviendo.

1.3.5.8 Cambios en las estructuras

- a) Las desnivelación entre la unión de las vigas de un puente con la carretera son indicadores de que existe un movimiento dentro del talud.
- b) Muros de contención. La inclinación, grietas o los desniveles en un muro de retención muestran que la masa de suelo está en movimiento.
- c) Edificios. Los edificios localizados en las áreas de deslizamiento pueden proveer pruebas de movimientos de suelo. Las pruebas más notables son grietas en diversas partes de su estructura.

2 Conceptos y modelo de gestión

2.1 Introducción

Cada vez es más notoria la importancia de contar con información precisa y de calidad como base en la toma de decisiones acerca de infraestructuras territoriales de una determinada región. En los últimos años, las administraciones públicas con competencias en la gestión de carreteras han empezado a invertir parte de sus recursos en estudios y análisis de las características de la red viaria, así como en herramientas para trabajar adecuadamente con los datos obtenidos.

2.2 Definición de gestión

La definición que podremos encontrar en cualquier libro o texto informativo acerca de esta herramienta de administración dice que básicamente la gestión se encarga de ejecutar todas aquellas órdenes planificadas por la administración, en este caso, del mantenimiento de carreteras.

2.2.1 Definición de gestión de activos

Para nuestro caso, PIARC define a la gestión de activos como: “un proceso sistemático de mantenimiento que opera y mejora los activos, combinando los conocimientos de ingeniería con sondeos prácticos comerciales y razonamiento económico, para proveer herramientas que faciliten una mejor organización y una estrategia flexible para poder tomar las decisiones correctas y necesarias de acuerdo a las necesidades del usuario”.

2.3 Gestión de Activos Geotécnicos

La gestión de activos geotécnicos ha tomado mucha importancia en los últimos años en todos aquellos países en donde existe un riesgo significativo en los taludes y en donde la seguridad y rentabilidad en la operación de una carretera es comúnmente afectada por diversas fallas geotécnicas (PIARC, Indicators Representative of the Condition of Geotechnical Structures for Road Asset Management).

Los activos geotécnicos de una carretera principalmente comprenden: terraplenes y cortes, taludes reforzados y estabilizados, subrasante y otras capas debajo de la superficie de rodamiento, drenaje, cimentaciones, etc.

2.4 Gestión de cortes carreteros

Anteriormente los departamentos de mantenimiento de carreteras, le prestaban más atención al comportamiento de los pavimentos y estructuras (puentes). A partir del seguimiento que se le ha dado durante años a los costos de reparación de muchas vías del país, se ha notado que muchos de los fracasos y costos, son atribuibles a las pequeñas y grandes fallas de los taludes existentes. Por tal motivo, actualmente se empieza a tener una incursión en la exploración de activos geotécnicos. Se ha determinado que una parte importante en la evaluación de las carreteras es conocer el desempeño de cada talud de corte que se tenga en el tramo evaluado. Así entonces, en base a las investigaciones de la PIARC en su artículo “Indicators Representative of the Condition of Geotechnical Structures for Road Asset Management”, podemos concluir que la gestión de cortes carreteros es un plan estratégico que nos ayudará a crear soluciones asociadas al desempeño, riesgos y gastos que representa el talud durante la vida útil de la vía en que se encuentra.

2.4.1 Procedimientos para la gestión de cortes carreteros

Los procedimientos que se mencionan a continuación están basados en las recomendaciones de PIARC y serán una herramienta primordial para poder entender la forma en que la metodología de evaluación de cortes tiene que ser aplicada.

1. Recopilación de datos que definen las características físicas del corte y sus alrededores (geología, ángulo del talud, altura, localización, condiciones de humedad, etc.).
2. Recopilación de datos que definen las condiciones presentes de los cortes, que se basan primordialmente en las observaciones de inspecciones visuales.
3. Creación de banco de datos con la información recopilada. Se debe de registrar cualquier cambio en las características del corte. La base de datos ayudará a crear un archivo histórico que en un futuro nos proporcionará información valiosa para poder determinar varios parámetros implicados en el mantenimiento y estabilidad de taludes. En esta investigación queda fuera de alcance la creación de un banco de datos.

4. Evaluación del corte. Esta es la parte más importante en la gestión de este tipo de activo geotécnico, sin embargo, la investigación en este trabajo no se adentra en el valor monetario que puede recibir cada talud artificial, sino más bien en el valor que se otorgará de acuerdo al grado de inestabilidad que representa cada corte. Aunque cabe dejar claro, que al conocer el grado de inestabilidad de un corte, se pueden determinar los costos de mantenimiento.
5. Análisis de los datos. El análisis de datos se realizará mediante la observación de los niveles del Índice General de Estabilidad para Cortes Carreteros (IGE_{CC}), el cual se explica en el capítulo 3. Al tener evaluado el tramo, se procede a organizar los datos de acuerdo a la severidad de cada corte.
6. Registro de los resultados de la evaluación y el análisis en la base de datos. Al paso de varios años de seguimiento, en los cortes de una vía determinada se pueden ver los cambios que han existido a lo largo del tiempo. Cualquier modificación que el talud sufriera debido a un mantenimiento, se deberá de registrar.

2.4.2 Medidas de desempeño

El desempeño de un corte, será factor importante en el desempeño general de la carretera analizada. La forma en que un corte está respondiendo a lo largo del tiempo, será tarea de un buen sistema de gestión. La gestión de todo el ciclo de vida de los cortes se realiza con el fin de maximizar el valor de la carretera. La gestión de los cortes puede mejorar el rendimiento de la vía, reducir sus costos, extender su vida útil y mejorar el retorno de inversión.

Las funciones de la gestión de cortes deben volverse un elemento fundamental en las organizaciones para sobreponerse a el comportamiento reactivo (avería – reparación), se necesita adoptar la filosofía de planificación total del ciclo de vida, procesos de mantenimiento preventivo y otras mejores prácticas.

Según investigaciones de la PIARC, las mayores prácticas, metodologías y criterios de evaluación respecto al desempeño de las vías a partir del análisis de activos geotécnicos (para esta investigación: cortes) se están realizando en varios departamentos de mantenimiento del Reino Unido. En esta investigación se adaptan tales criterios para definir el estado de nuestras carreteras. La evaluación estará basada en un indicador muy importante llamado Índice General de Estabilidad para Cortes Carreteros (IGE_{CC}). El IGE_{CC} , es una puntuación para cada talud de corte analizado y representará la inestabilidad empírica en la que se encuentra, de acuerdo a los siguientes rangos: alta inestabilidad, mediana inestabilidad, baja inestabilidad.

Otorgándole puntuación a todos los taludes encontrados, se puede implementar el sistema de representación de datos del Reino Unido (Geotechnical Asset Database, "GAD"), ordenando las características en diferentes gráficas de acuerdo al porcentaje de las diferentes longitudes (figura 2.1).

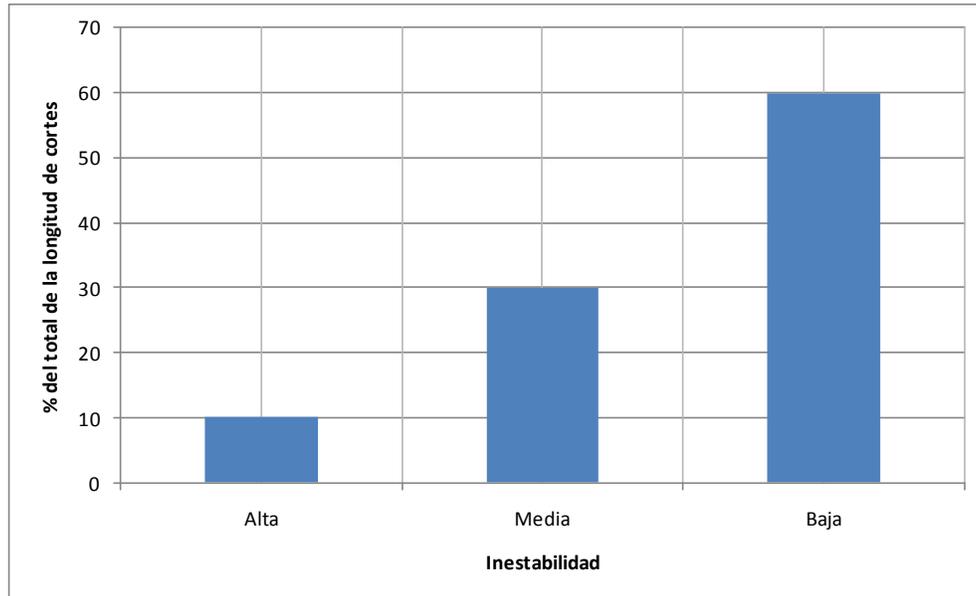


Figura 2.1 Ejemplo de la Inestabilidad de un tramo analizado en base al IGE de cada corte.

2.5 Gestión con desarrollo gradual

Debido a la falta de experiencia de las empresas encargadas de las carreteras de nuestro país, en lo que respecta a los aspectos de gestión de activos geotécnicos, se propone en este trabajo, una estrategia de desarrollo gradual. La experiencia obtenida por los ingenieros encargados del mantenimiento, evaluación tras evaluación, ayudará a ajustar los objetivos específicos en función de los logros y dificultades encontradas. Se espera de este modo que muchos beneficios se obtengan gradualmente y no sea crítico el impacto de los posibles fracasos.

La metodología para la evaluación de cortes permitirá mejorar la planificación del desarrollo de la infraestructura carretera, a mediano y largo plazo, brindando información sobre la evolución esperada de la condición de los cortes.

2.5.1 Características del sistema de gestión con desarrollo gradual

Debido a la falta de coherencia en la dinámica de gestión de muchas empresas encargadas del mantenimiento de los sistemas viales, la metodología propuesta debe de contar con las siguientes características principales:

Simplicidad

El Sistema de evaluación de cortes debe de seguir un método relativamente simple y práctico para analizar las condiciones de estabilidad. En ese sentido se consideró que las acciones deben de realizarse en base a la facilidad de maniobrar el IGE_{CC} de una forma tal que permita lo siguiente:

1. Realizar un diagnóstico de la situación actual desde el punto de vista de la condición de la infraestructura (forma puramente visual) y el servicio a los usuarios, utilizando indicadores ingenieriles, claros.
2. Predecir las condiciones actuales y futuras de cada uno de los cortes, con un grado de detalle adecuado para poder ejecutar un análisis en mediano y largo plazo.
3. Plantear distintos escenarios de grado de inversión en cada área.
4. Determinar la situación de la carretera para cada grupo de cortes de cada escenario.
5. Hacer el seguimiento y ajuste permanente de la metodología utilizada.

Flexibilidad

Considerando que el sistema debe mantenerse en funcionamiento por varios años, su diseño está orientado a permitir que:

1. Los inventarios puedan evolucionar sin que ello impida la manera de evaluar un corte, es decir, la continuidad del sistema.
2. Los métodos de priorización de acciones dentro de cada análisis puedan evolucionar de acuerdo a las necesidades futuras.

2.6 Toma de decisiones

Es necesario proveer a los departamentos encargados de las vías, herramientas que ayuden a la toma de decisiones en lo relacionado a la conservación y las necesidades de inversión, que permitan evaluar el avance e impacto de las inversiones realizadas así como ajustar y adaptar los planes trazados de acuerdo a las circunstancias. Las herramientas de apoyo a la toma de decisiones deben asistir en la determinación de acciones concretas tales como: planes de obras y mantenimiento, seguimiento de indicadores de avance y eficiencia y adopción de acciones correctivas en función del cumplimiento de los objetivos.

2.7 Alcances

La visión de poder generar un puntaje para cada talud de corte, lleva consigo la importancia de obtener las alternativas de acción más convenientes dentro de un marco conceptual definido por la asignación presupuestal para cada área. Por consiguiente, este proceso implica realizar las siguientes actividades:

1. Evaluar cada corte mediante un IGE_{CC} para obtener alternativas de acción que brinden el estándar de servicio requerido en las carreteras.
2. Mediante el análisis de cambios en los cortes con el paso del tiempo, establecer puntos de fracaso para posibles disminuciones en los gastos económicos así como en los índices de accidentes.
3. Generar mediante el IGE_{CC} , antecedentes históricos y las posibles afectaciones en un futuro.

Resulta claro que el sistema implementado en esta investigación, no puede ser una versión definitiva, muy por el contrario se considera este desarrollo como la primera fase para la implementación de un sistema de gestión de cortes carreteros, el cual tendrá como deficiencia más notable la falta de precisión de algunos resultados, debidos a la falta de continuidad de la persona que evalúa y otorga una puntuación a los cortes, y como mayor virtud el establecer un procedimiento sistematizado para gestionar la infraestructura vial nacional.

3 Metodología para la evaluación de estabilidad de cortes para fines de gestión

3.1 Generalidades

Se considera como un riesgo de talud de corte, aquel que pueda generar un deslizamiento de materiales o escombros de suelo y roca, que puedan causar afectación severa a la integridad de la población y/o al medio carretero.

Para poder desarrollar un sistema de administración de riesgos, el primer paso es identificar cuáles son los sitios en los que se han presentado con mayor frecuencia las fallas, cuáles han sido las causas y frecuencias de dichas fallas, y cuál ha sido su afectación al sistema vial, así como si han recibido o no un tratamiento adecuado.

La metodología presentada pretende sentar las bases en la generación de información adecuada, que corresponda principalmente al nivel de riesgo que representa cada uno de los taludes de corte, así como seleccionar un tramo carretero crítico, realizar el análisis de datos en dicho tramo, identificar los posibles efectos a la autovía, y hacer las recomendaciones pertinentes.

3.2 Concepto de la metodología

Durante la revisión de la literatura se ha encontrado que los factores que afectan a los taludes de corte son las altas pendientes y altura, la calidad geomecánica de los materiales y su susceptibilidad a la erosión, el efecto de pérdida de resistencia con el tiempo de los terrenos afectados por el hidrotermalismo, la heterogeneidad de los materiales presentes a lo largo de la ruta, las discontinuidades que se presentan en el material, etc.

Se deduce entonces que gran parte de los problemas en las vías ocasionados por las fallas de taludes, presentan un alto porcentaje de índole superficial (esto conduce a que a mediano y largo plazo puedan tener un comportamiento inestable de mayores proporciones), por lo que la evaluación es puramente visual y con mayor enfoque en la cara del talud.

La información se recolecta mediante observaciones directas del terreno a nivel de la rasante de la carretera. La investigación consiste en una inspección geotécnica y las valoraciones que se realizan son de tipo cualitativo.

3.3 Limitaciones

El trabajo realizado incluye la calificación de un corte, comentarios y recomendaciones basados en las experiencias de profesionales dedicados a la ingeniería de vías terrestres, a partir de las observaciones realizadas en una visita de inspección y una visita de análisis detallado.

La investigación no incluye la realización de ensayos de campo ni de laboratorio para caracterizar los materiales; tampoco incluye análisis de estabilidad de ningún tipo o la verificación del diseño de alguna obra de estabilización, además existe falta de acceso a información técnica como estudios geológicos y geotécnicos del terreno y a los planos con el diseño de las obras. También es de importancia mencionar que en muchas ocasiones por la falta de accesibilidad, las inspecciones se harán desde el nivel de la carretera, omitiendo recorridos por las partes altas de los taludes.

Se debe de tener muy claro, que la implementación de la metodología presentada tiene las siguientes limitaciones:

- No resolverá los problemas directamente, sino que proveerá la información necesaria para poder conducir el problema a la solución más efectiva.
- El otorgar un valor numérico a un corte no establecerá una estrategia óptima, sino permite la implementación de alguna estrategia seleccionada.
- No es autosustentable, pues requiere de una alimentación de la base de datos, mantenimiento, programas mejorados, financiación y sobre todo ganas de laborar en campo además de una depuración de datos por parte del personal de mantenimiento.

3.4 Reconocimiento del tramo en estudio

El reconocimiento trata acerca de conocer la mayoría de las características que identifican cada corte de la vía que se pretende analizar. Es una forma de estar familiarizado con cada uno de los taludes.

En muchas ocasiones no se conocerá ningún dato estadístico sobre los sitios que se necesitan evaluar, por esta razón se recomienda realizar una visita que

anteceda a la evaluación numérica de los factores causantes de riesgo. La visita, es llamada “reconocimiento del tramo piloto”, pues tiene como objetivo reconocer los puntos en donde existe un mayor riesgo. Sería una pérdida de tiempo evaluar cortes que analizados a simple vista y por experiencia presentaran características de buena estabilidad.

La base de este apartado se encuentra en la recopilación de información relevante y una correcta evaluación de esta información. Por ello se proponen las siguientes actividades:

1. Referenciar el reconocimiento del tramo piloto mediante la fecha en que se está realizando dicha actividad, fotografías, nombre de la persona que lo asistió, etc.
2. Identificar el tipo y régimen de la carretera, así como sus características hidrológicas y geológicas. Identificar la cantidad de automóviles (baja, media y alta) en el tiempo que tarda la evaluación para tener un juicio rápido de TDPA.
3. Registrar la ubicación mediante el tramo (para su mantenimiento, y debido a la longitud, algunas vías están divididas en tramos y se otorgan a diferentes grupos de personal) y kilómetro de cada uno de los cortes evaluados.
4. Otorgar un código o numeración a cada uno de los cortes evaluados, para una mayor facilidad de almacenamiento y búsqueda en una base de datos.
5. Diferenciar entre los distintos tipos de suelos que se presentan en los taludes. De acuerdo al tipo de material será diferente la forma en que cada talud pueda fracasar (Imagen 3.1, a, b, c y d – Carretera tipo “A”).
6. Obtener las mediciones sobre las características geométricas principales de los taludes (Imagen 3.2 – Carretera tipo “A”).
7. Observar los diferentes tipos de fallas que se presentan alrededor de cada uno de los cortes para poder establecer un juicio preliminar. Si existe un método de corrección, indicar el estado en que se encuentra.



Imagen 3.1 (a) Roca sedimentaria.



Imagen 3.1 (b) Suelo residual.



Imagen 3.1 (c) Roca Cristalina.



Imagen 3.1 (d) Bloques en una matriz de suelo. Km 262 + 400



Imagen 3.2 Principales dimensiones geométricas del talud de corte.

3.5 Necesidad de un ingeniero

La metodología que se propone, está basada en un análisis puramente visual descriptivo, por tal motivo es de vital importancia la evaluación mediante un ingeniero conocedor de la materia.

El ingeniero debe de ser capaz de observar puntos críticos de acuerdo con aspectos geométricos tales como la pendiente y altura de los taludes y con aspectos geotécnicos como el tipo de terreno, litología, condiciones de meteorización, alteración, erosión y grado de fracturamiento. Recabar datos en campo, es uno de los grandes retos, pues ello reclama un juicio adecuado y sin titubeos; es decir, necesita de los conocimientos adquiridos en la práctica profesional.

3.6 Evaluación preliminar

Antes de otorgar cualquier rango de puntuación a los diferentes factores de fallas de los taludes, necesitamos conocer los sitios que representan o representarán mayor riesgo, esto para poder implementar la metodología de una forma eficaz y

no perder tiempo ni dinero en la evaluación de cortes que no merecen atención alguna.

La evaluación preliminar se dará con base a la interpretación del reconocimiento del tramo y de las inspecciones detalladas. Se determinará basándose en el peligro que se observa en cada corte y el riesgo que esto representa a las vulnerabilidades que se tienen.

El sistema utilizado para evaluar preliminarmente a los cortes, se plantea de acuerdo a las prácticas de los departamentos de protección civil de países como México, Colombia y Costa Rica. El criterio se sustenta en una matriz de doble entrada (Tabla 3.1), que contiene parámetros de clasificación muy subjetivos.

		Riesgo			
		Alto	Alto	Muy alto	Muy alto
Peligro	Muy alto	Alto	Alto	Muy alto	Muy alto
	Alto	Medio	Medio	Alto	Muy alto
	Medio	Bajo	Medio	Medio	Alto
	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Alto
		Baja	Media	Alta	Muy alta
		Vulnerabilidad			

Tabla 3.1 Matriz de peligro y vulnerabilidad para la obtención del riesgo preliminar

Para juzgar el grado de peligro y vulnerabilidad, el ingeniero evaluador debe de considerar experiencias anteriores. Sin embargo se menciona de referencia lo siguiente:

Peligro.

El peligro, es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por la actividad del hombre, potencialmente nocivo, de una magnitud dada, en una zona o localidad conocida, que puede afectar un área poblada, infraestructura física y/o el medio ambiente.

En otros países se utiliza el término de amenaza, para referirse al mismo concepto, sin embargo de acuerdo a las investigaciones, se entiende por Amenaza como peligro inminente.

A continuación se mencionan algunas características que se deben de tomar en cuenta en la evaluación preliminar de acuerdo a las categorías de la tabla 3.1.

1. Bajo. El corte presenta pequeños desprendimientos y desgranamientos, fácil limpieza. Altura menor a 5 m y ángulo de talud menor a 30°.
2. Medio. Los desprendimientos suelen ser entre 30 cm y 60 cm, existen irregularidades en la superficie de de la cara. Altura entre 5 a 10 m y ángulo de talud entre 30° y 40°.
3. Alto. Desprendimientos y escombros, requiere acciones de mantenimiento considerables, no basta con simple limpieza. Erosión en la cara y corona del talud, entre 10 a 20 m y ángulo de talud entre 40° y 60°.
4. Muy alto. Desprendimientos mayores a 1.50 m, y presencia de escombros. Requiere mantenimientos mayores y reparaciones en la vía, existe presencia de agua en la cara del talud. Presenta variaciones estratigráficas y fuertes discontinuidades. Erosión en la cara y corona mayor a 20 m y ángulo de talud mayor a 60°.

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad, es el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada. Es la facilidad de como un elemento (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta y desarrollo político-institucional, entre otros) puede sufrir daños humanos y materiales.

La vulnerabilidad, es entonces una condición previa que se manifiesta durante el desastre, cuando no se ha invertido lo suficiente en obras o acciones de prevención y mitigación y se ha aceptado un nivel de riesgo demasiado alto.

Para su análisis, la vulnerabilidad debe promover la identificación y caracterización de los elementos que se encuentran expuestos, en una determinada área geográfica, a los efectos desfavorables de un peligro adverso. A continuación se mencionan algunas características que se deben de tomar en cuenta en la evaluación preliminar de acuerdo a las categorías de la Tabla 3.1.

1. Baja. Tráfico vehicular bajo. Los conductores pasan desapercibidos ante las fallas.
2. Media. Tráfico vehicular considerable. El conductor debe desacelerar en presencia de la falla. Existen daños poco notables en las estructuras cercanas (puentes, superficie de rodamiento, guarniciones, tuberías, señalamientos, postes de luz/teléfono).
3. Alta. Tráfico vehicular considerable. El conductor debe desacelerar frecuentemente en presencia de la falla. Las estructuras cercanas

presentan alteración en la verticalidad así como en otras de sus características.

4. Muy alta. Tráfico vehicular mayor. El conductor frena totalmente en presencia de la falla. Existen daños muy notables en las estructuras cercanas (puentes, superficie de rodamiento, guarniciones, tuberías, señalamientos, postes de luz/teléfono).

3.7 Inspecciones detalladas

Después de un análisis de los datos obtenidos en la visita al tramo estudiado, estos se incorporan a un sistema de evaluación numérica, que permita otorgar valores a los factores causantes de riesgo a las diferentes vulnerabilidades.

Las principales vulnerabilidades producto de la inestabilidad de los taludes de una carretera, son: la pérdida de vidas humanas, los daños materiales sobre la propiedad privada como terrenos, vehículos, productos y sobre obras de infraestructura como puentes, líneas de transmisión eléctrica o de telefonía y los daños ambientales. Los efectos de las inestabilidades en carreteras impactan a los usuarios en los tiempos de espera mientras se limpia la vía o se reconfirman taludes, impactan el costo del transporte de bienes y servicios y actividades productivas como la agricultura y el turismo, además de provocar el congestionamiento de otras vías de menor capacidad.

Entonces, la inspección detallada se refiere a interpretar los datos de acuerdo al riesgo que pueden causar y se dará, después de haber ido a reconocer la carretera en estudio. Tendrá lugar como una visita posterior, con el objetivo de llegar con una convicción entera de lo que puede pasar en la vía. Las inspecciones detalladas contemplarán la revisión y validez de todos los datos que sean recabados y se realizarán mediante la herramienta propuesta posteriormente dentro de este capítulo, llamada: Índice General de Estabilidad para Cortes Carreteros (IGE_{CC}). Deberán de llevarse a cabo, mínimo dos veces al año (temporada de lluvias y temporada de secas).

3.8 Sistema de base de datos

El levantamiento masivo de datos de cortes en las carreteras permite disponer de gran detalle sobre la red vial y su almacenamiento en forma ordenada conlleva una serie de ventajas. Esta información es muy importante a la hora de abordar cualquier actuación sobre las infraestructuras viales y para planificar debidamente cualquier proyecto. Por esa razón es vital conseguir maximizar el valor de estos datos para que puedan ser aprovechados eficazmente, así como simplificar su

comprensión y su manejo. La base de datos estará formada por los factores que ayudan a calcular el IGE_{CC} , pero además deberá incluir todos aquellos datos representativos de la situación de los cortes que quedaron fuera del sistema IGE_{CC} , así como los que se muestran a continuación:

- Información ordenada secuencialmente por meses, hasta mejor aún, por días, acerca de las precipitaciones pluviales en los tramos de más incidencia de fallas así como los más importantes socialmente.
- Tráfico diario promedio cuantificado en las etapas más relevantes del año, así como en los cambios de períodos, como por ejemplo: períodos vacacionales.
- Tipo y frecuencia de mantenimiento.
- Cualquier cambio en las características geométricas del talud, detallando la posible causa de esto.
- Cualquier cambio en las características geométricas de la vía, detallando las posibles causas de esto.
- Cambios en los aspectos socioeconómicos, como por ejemplo, cambios de administraciones.

La calidad y precisión con que el ingeniero evaluador obtenga los factores que formaran la base de datos, así como la organización y formatos que se les dé por parte del cuerpo técnico de administración, darán como resultado una fuente de información capaz de poder ayudar a organizar diversos planes y estrategias de solución.

Se debe de considerar que la base de datos es parte de un sistema que funcionará de manera más eficiente de acuerdo al paso de los años y de la cantidad de datos que se le adicionen. Después de varios años, la base de datos se convertirá en la experiencia que muchos evaluadores desean tener. Se debe de pensar como una herramienta más de la estadística.

3.9 Relación entre peligro, riesgo y estabilidad

Puede existir un poco de confusión a la hora de referirse a los términos que se muestran en esta investigación, por lo cual, el objetivo de este apartado es mencionar los nexos que existen entre el peligro, el riesgo, la estabilidad e inestabilidad.

Cada factor que se presenta para el cálculo del IGE_{CC} está evaluado mediante el peligro que representa. A su vez, la sumatoria de todos los peligros existentes, nos darán como resultado un riesgo. El riesgo resultante define en términos abstractos

la estabilidad que presenta cada corte. La estabilidad no difiere de la inestabilidad pues son términos que acentúan lo mismo.

3.10 Índice General de Estabilidad para Cortes Carreteros (IGE_{CC})

El índice General de Estabilidad de Cortes Carreteros (IGE_{CC}) es definido como el grado de estabilidad de un talud de corte respecto al riesgo que representa. El IGE_{CC} está basado totalmente en la experiencia y juicio del ingeniero y nace de la necesidad de tener una herramienta capaz de identificar mediante la integración y asociación de los factores más relevantes y condicionantes de una forma rápida y práctica, el nivel de riesgo de falla, para posteriormente programar las actividades de mantenimiento necesarias en el tiempo adecuado.

El IGE_{CC} es el resultado de la sumatoria de puntuaciones numéricas que se les otorga a cada uno de los factores que se han establecido como principales responsables de la falla en un talud. La sumatoria de puntuaciones supondrá la inestabilidad que existe, designando como grado alto a la puntuación mayor ($IGE_{CC} > 400$) y grado bajo a la puntuación menor ($IGE_{CC} < 250$). Es decir que entre más se eleve el valor del IGE_{CC} , mayor será su inestabilidad y debería de tener mayor prioridad en el respectivo mantenimiento. Los rangos de puntuaciones para designar el nivel de inestabilidad se explican en el capítulo 4 “Factores y procedimientos” de esta investigación.

3.10.1 Sistema de puntuaciones para los factores

Las puntuaciones que se otorgan a cada factor, han sido investigadas desde el nacimiento del RMR (Rock Mass Rating, Bieniawski 1984) que a pesar de ser para el estudio de túneles, es pionera de varias metodologías de evaluación de fallas en rocas, como el RHR (Rock Hazard Rating, Pierson – Van Vickle, 1993). Las investigaciones para el RHR, llevaron a la necesidad de poder distinguir entre un evento poco desastroso hasta el evento más desastroso posible. Esto produjo una evaluación de factores causantes de riesgo mediante las categorías de: bajo peligro, mediano peligro, alto peligro y muy alto peligro. Estas categorías han pretendido encerrar el nivel de severidad presentado en un evento de falla y ser indicadoras de lo que puede suceder. De acuerdo al RHR, las puntuaciones para los factores causantes de riesgo son establecidos a partir de un aumento de escala de los valores de entre 1 y 4 por medio de una función exponencial ($y = 3^x$) que permite apreciar de una mejor manera el nivel de inestabilidad o estabilidad que se presenta. Por lo tanto, los valores numéricos con los que se otorgará una calificación a cada factor causante de riesgo se presentan en la Tabla 3.2.

Puntuaciones	Nivel
3	Bajo
9	Medio
27	Alto
81	Muy alto

Tabla 3.2 Puntuaciones para cada factor causante de riesgo

3.10.2 Importancia de la aplicación del IGE_{CC}

Los cortes que se presenten en cualquier tramo carretero tendrán un cierto grado de inestabilidad diferente, el IGE_{CC} pretende ser un calificativo para poder desarrollar planes de mantenimiento óptimos. La importancia de obtener un IGE_{CC} radica en un resultado inmediato a la hora de evaluar en campo. La acumulación de todos los IGE_{CC} a lo largo de un tramo carretero, nos revelarán los niveles de inestabilidad actuantes (Figura 3.1).

En el caso de una primera evaluación, se tendría solo una gráfica de IGE_{CC}, que marcaría a los cortes que necesitan atención inmediata (inestabilidad alta), cortes que necesitan contemplar un mantenimiento mayor al que se está ejecutando (inestabilidad media) y cortes que no requieren acciones diferentes a las actualmente aplicadas (inestabilidad baja). Esta primera evaluación debe de pasar a ser parte de la base de datos.

Cuando se le aplica la debida corrección al problema de inestabilidad presente y esta es satisfactoria, se debe de contemplar la disminución del IGE_{CC} en la siguiente evaluación. Si con el paso del tiempo, los índices de estabilidad varían de una forma demasiado irregular (Figura 3.2), se hace necesario revisar en la base de datos que es lo que está sucediendo, es decir, cuales son los factores que han ocasionado variabilidad. Si el problema fueran los factores analizados, la metodología tiene la cualidad de poder ser modificada. En cada corte que presente irregularidades, se realizarán gráficas comparativas de todos los factores involucrados para observar cómo es que están variando en cada evaluación, y ver si los problemas recaen en errores por parte del ingeniero evaluador o son errores puramente de los factores, como complejidad al evaluarlos o deterioros severos. La experiencia muestra que si un factor es el causante de las irregularidades, este puede ser mitigado aisladamente, sin necesidad de aplicar un tratamiento general y más costoso que encierre a todos los factores. Para denotar si el problema consiste en el mantenimiento, es importante realizar una comparación entre sus gráficas, contra las gráficas del IGE_{CC}.

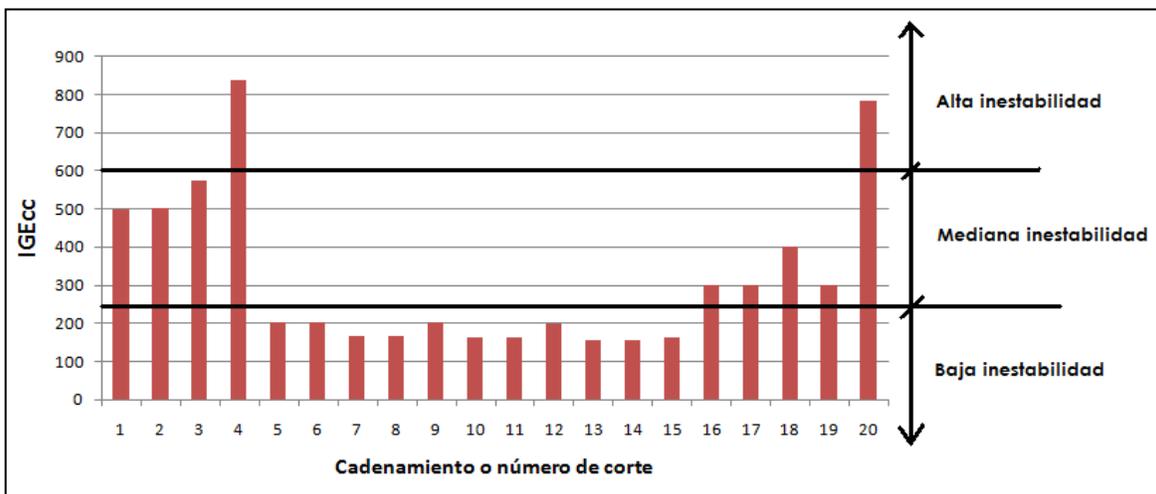


Figura 3.1 Ejemplo del registro de los IGE_{cc} de un tramo carretero

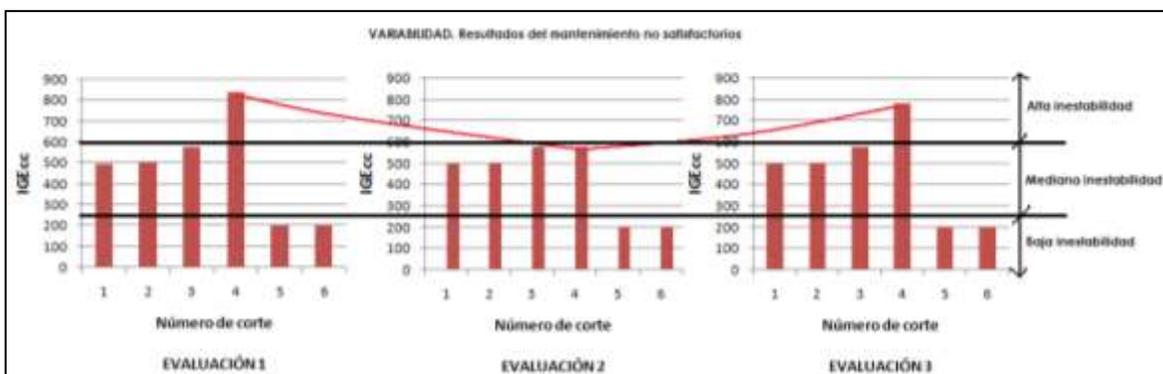


Figura 3.2 Ejemplo de variabilidad no satisfactoria

3.10.3 Algunas metodologías existentes

Se acepta que fue Terzaghi (1946) el primero en clasificar el riesgo de falla mediante una clasificación del riesgo en base al terreno, orientada a la construcción de túneles. Su utilización requiere la experiencia directa en obra. Las que podemos denominar clasificaciones modernas (Sistema RMR (Bieniawski) y RQD (Barton)) intentan un mayor grado de objetividad. En ambos casos se trata de combinar atributos del macizo rocoso (de tipo geológico, geométrico y tensional) en un número único relacionado con la calidad global de la roca. A su vez, este número permite, a través de la experiencia recogida en su utilización en casos reales, la definición de un sostenimiento del túnel y la estimación de otros parámetros o datos de interés (resistencia del macizo rocoso, tiempo de

estabilidad de una excavación no sostenida, etc.). Durante el paso de los años varios países han tomado dichas investigaciones para poder transportarlas a los cortes carreteros y así desarrollar un método capaz de categorizar a los taludes en base a la inestabilidad que presentan.

Actualmente varias agencias encargadas de las carreteras alrededor del mundo han desarrollado sistemas de evaluación de riesgos de deslizamientos. Sin embargo han sido pensados solo para los rasgos locales (características geológicas, densidad de población, tráfico, etc.), además de que las personas que han participado, tienen diferente experiencia de acuerdo al lugar al que pertenecen. No obstante la mayoría de los sistemas ofrecen una evaluación cuantitativa sobre el riesgo que representa cada talud.

3.10.3.1 Gestión de Deslizamientos en Hong-Kong

Por sus problemas con taludes debido al alto grado de inclinación en gran parte de ellos, además de la intensa población existente, Hong-Kong desarrolló un sistema de evaluación numérica para los deslizamientos en taludes. La mayoría de sistemas de gestión de taludes en la ciudad de Hong-Kong, están más enfocados en laderas que amenazan la seguridad de las urbanizaciones.

El sistema de evaluación para los cortes fue desarrollado basado en la evaluación de las consecuencias de falla junto con el potencial de falla. La puntuación de las consecuencias justifica el riesgo que existe en la vía ante un deslizamiento. La puntuación de inestabilidad refleja el riesgo de que se produzca una falla.

Las limitaciones que presenta este sistema de evaluación pueden ser resumidas en lo siguiente: en un rango definido como alto, la puntuación para la consecuencia puede ser grande, pero la puntuación para la inestabilidad puede ser baja. Además el sistema puede no ser eficiente para otras áreas que no son tan severas como en Hong-Kong. Los datos usados para calificar los taludes son subjetivos por esta naturaleza, lo cual ha llevado a asignar ciertos valores (weightings) que equilibren los criterios.

Un aspecto muy importante e interesante de los sistemas de Hong-Kong es la evaluación de la precipitación, pues por la extensa base de datos que tienen, pueden predecir a cuantos milímetros de agua los taludes pueden fallar.

3.10.3.2 Departamento de Transporte de Oregon

Alrededor del año 1980, el Departamento de Transporte de la ciudad de Oregon desarrolló un sistema de evaluación de riesgos para caídos de roca, con el apoyo financiero de los departamentos de transporte de varios estados. Más de 3000 sitios con problemas de caídos de roca, fueron inventariados. El sistema adopta

seis procesos para la evaluación de taludes: inventario del talud, evaluación preliminar, evaluación detallada, diseño preliminar y costos estimados, identificación y desarrollo del proyecto de mantenimiento, así como revisión anual y base de datos.

3.10.3.3 Departamento de Transporte de Colorado

El departamento de Transporte de Colorado (CDOT) adopta y modifica el sistema de evaluación de la ciudad de Oregon (Rock Hazard Rating System, RHRS) para la evaluación de las fallas ocurrentes dentro de sus carreteras. En 1994 el sistema de colorado fue finalizado (Andrew, 1994), incluyendo los siguientes parámetros: Perfil del talud (altura, ángulo de inclinación, etc.), factores geológicos (erosiones, discontinuidades, tamaños de roca, tipos de suelo, etc.).

En 1997, CDOT, modifica el RHRS para incluir el área de captación (cunetones), distancia de toma de decisión, y el tráfico diario promedio (TDP). Otra modificación en el año 2003, fue eliminar el TDP para sustituirlo por el riesgo promedio vehicular.

“Riesgo promedio vehicular: es una medida del porcentaje del tiempo, que un vehículo puede estar en el área de inestabilidad del corte”.

4 Factores y procedimientos

4.1 Introducción

En el pasado, los departamentos estatales encargados del mantenimiento de carreteras, reaccionaban ante las fallas de roca como se les ocurriera o por la forma en que los acontecimientos se presentaran, por ejemplo, limpiando el sitio e instalando estructuras de mitigación temporales. El desarrollo de la Metodología para la Gestión de Cortes Carreteros presentada en esta investigación, permite a los departamentos de mantenimiento categorizar a los cortes carreteros de acuerdo al grado de riesgo de inestabilidad que presenten. El grado de riesgo presentado se denomina Índice General de Estabilidad para Cortes Carreteros (IG_{CC}) y es obtenido mediante la sumatoria de puntuaciones que ya anteriormente se habían explicado en el capítulo 3. El IG_{CC} permite dar prioridad a los taludes de corte más peligrosos que deberían recibir mitigación conforme al tiempo y fondos que se tengan disponibles.

La parte más importante en la obtención del IG_{CC} , es la determinación de los factores que estarán envueltos en el proceso de puntuación. Los factores utilizados para el cálculo del IG_{CC} son producto del análisis y revisión de la autopista Maravatío-Zapotlanejo, así como de los sistemas de evaluación utilizados por los diferentes departamentos de transporte de los países como Estados Unidos, Reino Unido, Hong Kong, etc., pero principalmente del denominado Rockfall Hazard Rating System (RHRS) del Departamento de Transporte de la Ciudad de Colorado, E.U. (CDOT). El RHRS es un mejoramiento de los demás sistemas de otros estados de igual país.

4.2 Antecedentes

En varios países, la mayoría de las metodologías actuales de evaluación de riesgo de un talud, están basadas en el RMR y SRC, investigaciones de la International Society for Rock Mechanics (ISRM). Por lo tanto el IG_{CC} también tiene sus orígenes en el ISRM, pero basado desde un punto más actualizado: el RHRS.

Muchas de las modificaciones a los sistemas anteriores encontradas en el IG_{CC} implican suprimir la mayoría de la terminología subjetiva (por ejemplo: posible, menor, pequeño), remplazándola con rangos de calificación más descriptivos con base en la literatura revisada, así como no solo evaluar los sitios que ya están fallados, sino también aquellos que aparentemente a simple vista no tienen ningún problema.

4.3 Categorías del IGE_{CC}

El cálculo del IGE_{CC} consta de tres categorías que contribuyen al riesgo de falla de rocas: Características del talud (altura del talud, Mantenimiento/limpieza, ángulo del talud, irregularidades, tipo de sección, área de captación y vegetación), clima (Precipitación media anual e infiltración/agua presente) y Geología (Rocas sedimentarias, Rocas, Bloques en una matriz de suelo, suelos residuales).

Las categorías de evaluación fueron establecidas pensando en los diferentes tipos de materiales que pueden encontrarse en el campo y que suelen ser los más representativos de los desastres que a menudo ocurren.

Todos los factores del Sistema de Evaluación de Riesgo para obtener el IGE_{CC} son presentados en la Tabla 4.1

4.3.1 Características del talud

Con frecuencia las propias manipulaciones del ingeniero pueden ser fuente de graves problemas de estabilidad de taludes. Los cortes practicados son el principal problema en las vías carreteras, ya que se modifican las condiciones de estabilidad de las laderas naturales afectando factores de importancia como la altura, inclinación y la superficie.

4.3.1.1 Altura del talud

Si el corte es alto y largo, tendrá una mayor masa de suelo o rocas con riesgo de caerse. Cuanto mayor sea dicha masa, mayor será el riesgo de que se produzca el desprendimiento. A mayor cantidad de suelo y rocas, mayor riesgo de desprendimiento y mayores desperfectos. Los materiales caídos de cortes más altos tienen una mayor energía potencial que los materiales en cortes pequeños, lo que representa un mayor riesgo y por lo tanto reciben una puntuación mayor.

La altura es medida desde la superficie de rodadura de la carretera hasta punto más alto en el cual los desastres son esperados. Si hay un riesgo en el talud más allá del corte, la altura total del talud es medida. Si sólo se pretende evaluar el corte, la máxima altura del corte es considerada. Si el corte ya no se diferenciara, se deberá tomar la máxima altura de los peligros presentes.

Información General		Datos actuales		
Numero de corte:		Tipo de Falla:		Fallas en el pavimento:
Kilometro:		Tipo de Tratamiento:		Frecuencia de mant:
Fotografía No:		Altura:		Observaciones:
Ciudad:		Angulo:		
Fecha:		Limite de velocidad:		
		Tipo de corte:		
CATEGORIA	FACTORES	PUNTUACIONES		
		3	9	27
Características del talud	Altura del talud	0 a 5 m	5 m a 10 m	> 10 m a 20 m
	Mantenimiento/Limpieza	Menor	Moderado	Alto
	Suelo	< 30°	30° ≤ ángulo ≤ 40°	40° < ángulo ≤ 60°
	Roca	Categoría < 2	2 ≤ Categoría < 4	4 ≤ Categoría ≤ 8
	Irregularidades	Ninguna	Menor	Moderada
	Tipo de sección del corte	Cajón	Cajón con fallas en pav.	Balcón
	Area de Captación	Clase 1, 95 % a 100 %	Clase 2, 65 % a 94 %	Clase 3, 30 % a 64 %
	Cuerpo	Poblado/Arbustivo	Poblado/Herbáceo	Semidesnudo/Herbáceo
	Corona	Poblado/Arboreo	Semidesnudo/Arboreo	Semidesnudo/Herbáceo
	Veget.	Corona	Semidesnudo/Arboreo	Semidesnudo/Herbáceo
Clima	Precipitación media anual (mm)	≤ 200	200 < Precipitación ≤ 500	500 < Precipitación ≤ 850
	Infiltración/Agua presente	Sin humedad	Humedo/mojado	Goteando
Rocas sedimentarias	Descalce (m)	0 a 0.3	0.3 a 0.6	0.6 a 1.5
	Grado de interstratificación	1 a 2 interestratos debiles < 15 cm	1 a 2 interestratos debiles > 15 cm	Mas de 2 interestratos debiles < 15 cm
Geología	Presencia de surcos	Profundidad ≤ 5 cm Ancho ≤ 2 cm Muy separados	5 cm < Profundidad ≤ 10 cm 2 cm < Ancho ≤ 5 cm Muy continuos	10 cm < Profundidad ≤ 20 cm 5 cm < Ancho ≤ 10 cm Muy continuos
	Tipo de roca	Homogeneo/Macizo	Pequeñas fallas/Venas fuertes	Esquistos/Zona de cizallamiento < 15 cm
Suelos residuales	Grado de Salientes (m)	0 a 0.3	0.30 a 0.60	0.60 a 1.20
	Grado de erosión en la roca	Reciente	Desgastado/Decolorado	Ligeramente alterado/atenuado
	Tamaño de Bloques (m)/Volumen (m ³)	< 0.30 / < 0.5	0.30 a 0.60 / 0.5 a 2	0.60 a 1.50 / 2 a 6
	Set de discontinuidades	1	1 aleatorio	2
	Persistencia/orientación	< 3 m / Buzamiento hacia adentro del talud	> 3 m / Buzamiento hacia adentro del talud	< 3 m / Orientación hacia la carretera
	Abertura (mm)	Cerrada	0.1 a 1	1 a 5
	Condiciones de erosión	Reciente	Desgastado/Decolorado	Aberturas llenas de material granular
	Fricción	Rugosa	Ondulada	Planar
	Tamaño del Bloque (m)	< 0.30	0.30 a 0.60	0.60 a 1.50
	Forma del Bloque	Tabulares	Cúbicos	Cúbicos angulares
Bloques en matriz	Deslizamientos / Desplazamientos	Agrtamientos en la corona del talud	Agrtamientos y Humillamientos notables	Acumulación de material en el pie del talud
	Perfil de meteorización	Horizonte B-C	Horizonte B	Horizonte A-B
Suelos residuales	Escurrimiento superficial	Formación de torrentes pequeños	Menos de 1/2 del corte presenta torrentes y zurcos	Mas de 1/2 del corte presenta torrentes y zurcos
	Contacto suelo sobre roca	Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	Salientes de roca cúbica con tamaños de 30 a 60 cm	Rocas con superficie de fricción onduladas
				Rocas con superficie planar lisa
				Presencia de carcazas, concentración de arrastre de sólidos en el pie
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía defor. En forma de gradas
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				> 5
				Aberturas llenas de material arcilloso
				Planar lisa
				> 1.50
				Redondas lisas/Planas con inclinación hacia la vía
				Horizonte A
				> 1.50
				> 1.50
				> 2
				> 3 m / Orientación hacia la carretera
				>

Para poder medir la altura en una forma práctica, se recomienda el uso de un clinómetro. Una buena aproximación de la altura vertical del talud puede ser obtenida utilizando la relación de la Figura 4.1.

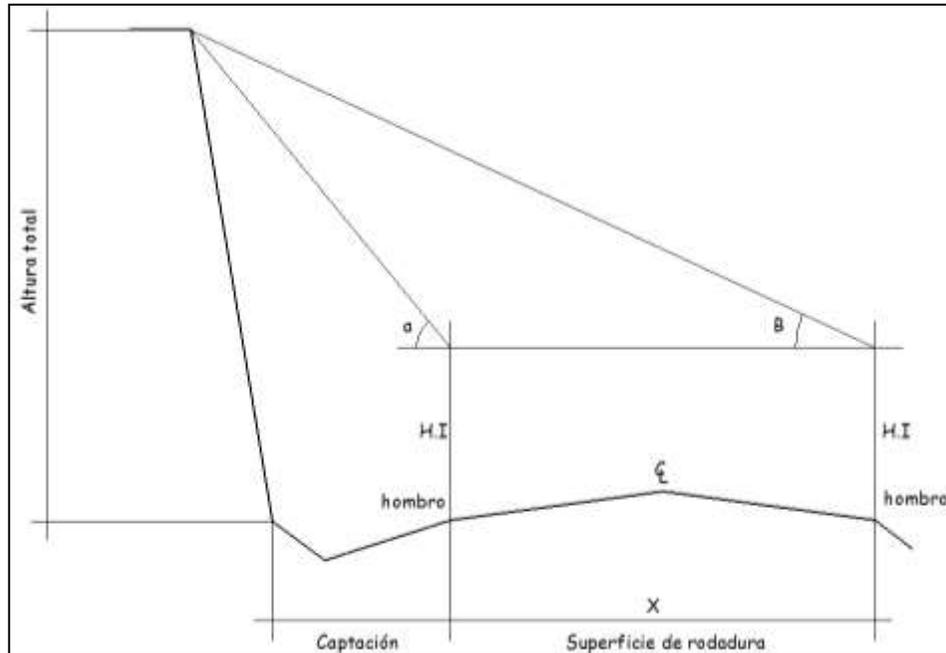


Figura 4.1 Medición de la altura del talud mediante clinómetro

$$\text{Altura total} = \frac{(X) \text{sen } a \sin B}{\sin(a - B)} + H.I$$

Donde:

X = Distancia entre las medidas de los ángulos

$H.I$ = Altura del instrumento

4.3.1.2 Mantenimiento/Limpieza

En el mantenimiento de los taludes de corte existe una situación que se debe de analizar detalladamente, esta situación es la frecuencia con que se levantan escombros de la carretera y lo exhaustivo de esta tarea. El realizar muchas actividades de limpieza durante el año, es un indicativo de que algo está mal con los taludes de corte, y muchas actividades de limpieza se hacen caras y engorrosas comparadas con un solo tratamiento mayor, además, lo más importante es: que es una advertencia de falla que genera riesgo a los usuarios. Por lo tanto, el otorgar una puntuación a los taludes de corte mediante este factor, tiene una enorme significancia para describir el riesgo.

Este factor trata de la frecuencia con que se realiza el mantenimiento así como de las características del sitio que pueden llegar a conducir a una limpieza de escombros. Está basado en la experiencia histórica que se tenga. El ingeniero encargado de evaluar a los cortes en campo deberá tener un conocimiento y juicio aptos, pues algunos sitios tan solo requerirán de un barrido hacia la orilla fuera de la carretera; mientras que otros requerirán de carga y acarreo. Los sitios de corte que requieran menos acciones en un lapso de tiempo largo tendrán una puntuación baja y los que necesiten más acciones en un tiempo relativamente corto, recibirán una puntuación más alta. La evaluación de este factor se realiza mediante la Tabla 4.2 “frecuencia de mantenimiento vs acciones de limpieza”.

FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO	LIMPIEZA			
	Menor Barrido de escombros, limpieza de cunetas	Moderado Algunas cargas y acarreos	Mayor Cargas y acarreos significantes	Trabajo extenso
No tan frecuente	Menor	Menor	Menor	Moderado
Anualmente (1 vez por año)	Menor	Menor	Moderado	Alto
Estacional (1 a 3 veces por año)	Menor	Moderado	Alto	Muy alto
Mas de 3 veces por año	Moderado	Alto	Muy alto	Muy alto

Tabla 4.2 Riesgo del corte. Mantenimiento/Limpieza

4.3.1.3 Ángulo del talud

Mucho de lo que en cortes se pueda hacer para identificar las fallas, está ligado a los cambios en la apariencia geométrica. La forma en que los materiales productos de un derrumbe caen dentro de la carretera depende en gran parte de la inclinación que el talud presente y del tipo de material que se tenga. Para poder evaluar este factor se hace la diferencia entre suelo y roca.

La medición del ángulo del talud no solo se debe de realizar para dar una puntuación en ese momento, sino se debe tener en claro que también se necesita para archivarlo como base de datos, ya que la inclinación del corte puede variar con el tiempo debido a las posibles fallas que se presenten. Si en cada levantamiento del mismo corte, en tiempos diferentes, se presenta variación en el ángulo de inclinación, es prueba contundente de un riesgo presente.

4.3.1.3.1 Ángulo de talud en suelos

El factor se basa en el deslizamiento y la rapidez con que una masa de suelo llegará a la vía carretera, y no en el área de captación que presente. Queda entonces claro que se reconocen los riesgos de tener un corte con poca inclinación (demasiado tendido) que puede captar mayor cantidad de agua y saturar el suelo; aunque esta situación no es relevante, puesto que queda cubierto con la evaluación de factores como la precipitación, la infiltración y la erosión.

Un corte con mayor ángulo tendrá una puntuación más alta, por representar mayor peligro ante el desprendimiento de una masa de suelo, puesto que a mayor inclinación mayor es la rapidez con que se desplazará hacia la carretera.

4.3.1.3.2 Ángulo de talud en formaciones rocosas

El ángulo del talud en los cortes con formaciones rocosas es usado para determinar las consecuencias de la probabilidad de que una roca caiga rebotando hacia la carretera, caiga directamente dentro de la cuneta o pueda bajar por el corte con bastante energía para alcanzar la carretera. El Departamento de Transporte de Missouri, E.U. usando el programa de simulación de fallas de Colorado, E.U., (CRSP, Colorado Rockfall Simulation) ha encontrado que las rocas grandes que bajan rodando de taludes con ángulos de 30° son más probables de alcanzar la carretera y las rocas pequeñas que se desprenden de los cortes casi verticales de alrededor de 85° son más probables de ir rebotando sobre la cara del corte para parar en la carretera. Las rocas que caen de taludes menores a 30° no logran generar el suficiente momento para alcanzar la carretera, así como las rocas originadas por los cortes verticales que caen dentro de las cunetas. La puntuación aumenta conforme el ángulo del talud decrece de 70° a 30° , debido a que las rocas mayores tienen más probabilidades de rodar y adquirir bastante momento horizontal para alcanzar la carretera (Figura 4.2)

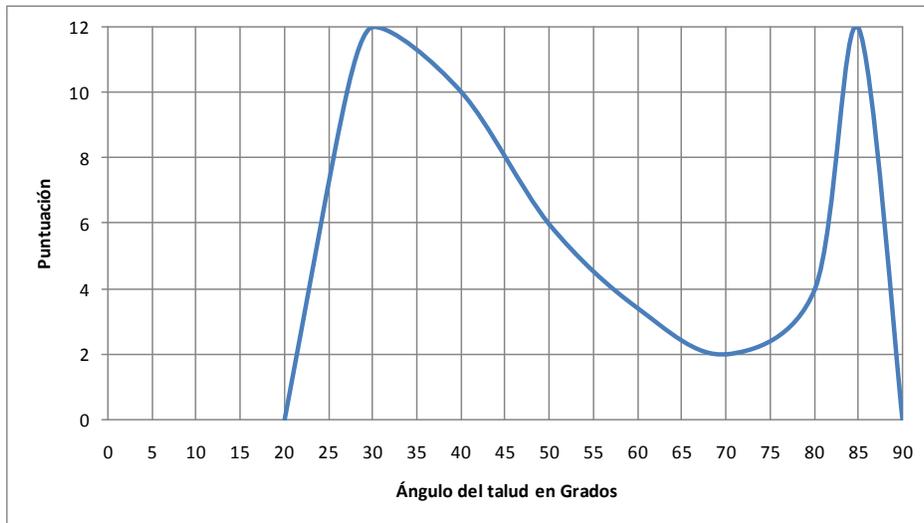


Figura 4.2 Puntuación para caídas de roca (tomado de Missouri DOT's RHRS)

4.3.1.4 Irregularidades en la cara del corte

Las irregularidades en el corte pueden ser a causa de técnicas pobres en el método de excavación (por ejemplo, el mal uso de los explosivos) o por un deterioro, como la erosión. El reconocimiento de las posibles futuras fallas se han hecho con base en un juicio experimental que interpreta las irregularidades sobre el corte, dentro del marco de una experiencia precedente. Es de vital importancia poder diferenciar el nivel de irregularidad de una roca cristalina y la de un suelo. Debido a que las rocas tendrán una apariencia más desastrosa; es necesario tener un juicio para compensar el criterio de puntuación, por ejemplo; en un corte de roca cristalina, no se puede esperar una apariencia lisa o plana como en la de un suelo. De acuerdo con lo anterior, es importante contar con la habilidad de un ingeniero experto con conocimientos bastos en la materia para poder asignar el nivel de peligro. La irregularidad en la cara del corte se evalúa de la siguiente manera:

1. Ninguna. Indica una superficie relativamente plana o alisada, con pequeñas o ningunas variaciones topográficas en toda su longitud.
2. Menor. Indica un perfil del corte con pocas variaciones en los materiales y en la topografía, que podrían causar desprendimientos así como formaciones de pequeños cúmulos de roca menores a 60 cm de longitud o algunas rocas dispersas en la cara del talud.
3. Moderada. Indica un perfil del corte con severas variaciones en los materiales y en la topografía que podrían causar desprendimientos así como la presencia de deformaciones en forma de cúmulos de roca que van de 0.60 m a 2 m de longitud sobre la cara del talud.

-
4. Mayor. Indica una irregularidad alta en el perfil del corte con grandes afloramientos de roca o grandes deformaciones en forma de escalones que se extienden a más de 2 m de longitud de la superficie del talud.

4.3.1.5 Tipo de sección transversal

Es de mucha importancia tomar en cuenta el tipo de sección transversal que se presenta en la vía carretera, puesto que en muchas ocasiones la forma del corte tendrá gran influencia en su estabilidad. De acuerdo con las observaciones de campo, se ha notado que las vías con una sección tipo balcón son más susceptibles a deslizamientos de los cortes y a mostrar diversas fallas en la superficie de rodamiento (Figura 4.3). Bastará con observar el entorno de la vía para decidir qué tipo de sección se presenta, así como localizar fallas en la superficie de rodadura para poder emitir una puntuación para este factor de riesgo en base a lo siguiente:

- a) Sección tipo cajón sin fallas en la superficie de rodadura = 3 puntos
- b) Sección tipo cajón con fallas en la superficie de rodadura = 9 puntos
- c) Sección tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura = 27 puntos
- d) Sección tipo cajón con fallas en la superficie de rodadura = 81 puntos



Figura 4.3. Deslizamiento. Sección tipo balcón

4.3.1.6 Área de Captación

El área de captación será definida como el espacio que permite reducir el riesgo de que los materiales fallados del corte lleguen a la carretera y es medida entre el pie del talud y el hombro de la carretera. En 1963, realizando experimentos de rodamiento de rocas (figura 4.4), Ritchie junto con el Departamento de Transporte del estado de Washington (WSDOT) propuso un criterio de diseño para el área de captación basado en la altura y ángulo del talud. Debido a que los rangos de Ritchie resultaron ser muy conservadores, en 1986 fueron modificados por Whiteside (Figura 4.5).

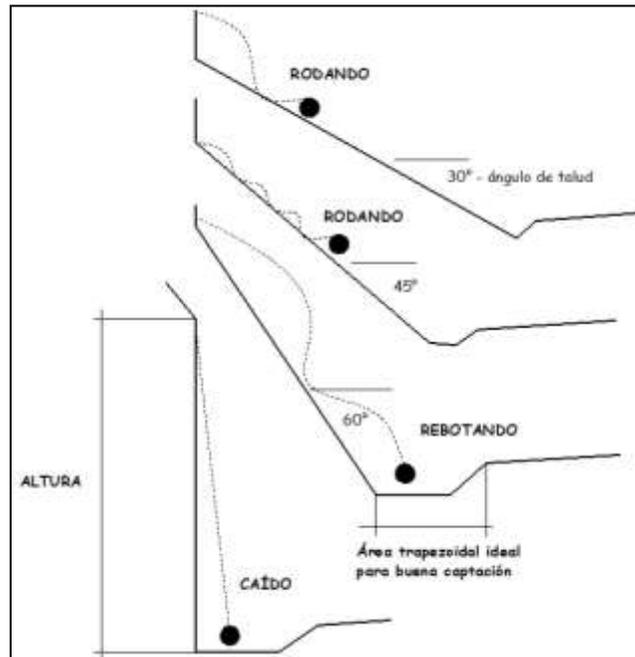


Figura 4.4 Forma de caer de las Rocas. “Rock Engineering course notes by Evert Hoek”

En México es muy raro que las carreteras se diseñen con un área de captación suficiente para retener el material caído, la mayoría de las vías apenas tienen el espacio para construir una simple cuneta. En la evaluación de este factor se le da prioridad al caído de rocas, pues es el evento que ocurre con más frecuencia. Si se presenta un corte conformado en su mayoría por suelo, se tomarán los mismos criterios. Para poder evaluar los cortes, el espacio de captación que se tiene actualmente se compara con el área ideal propuesta Whiteside. Las dimensiones en campo pueden ser medidas utilizando cinta métrica.

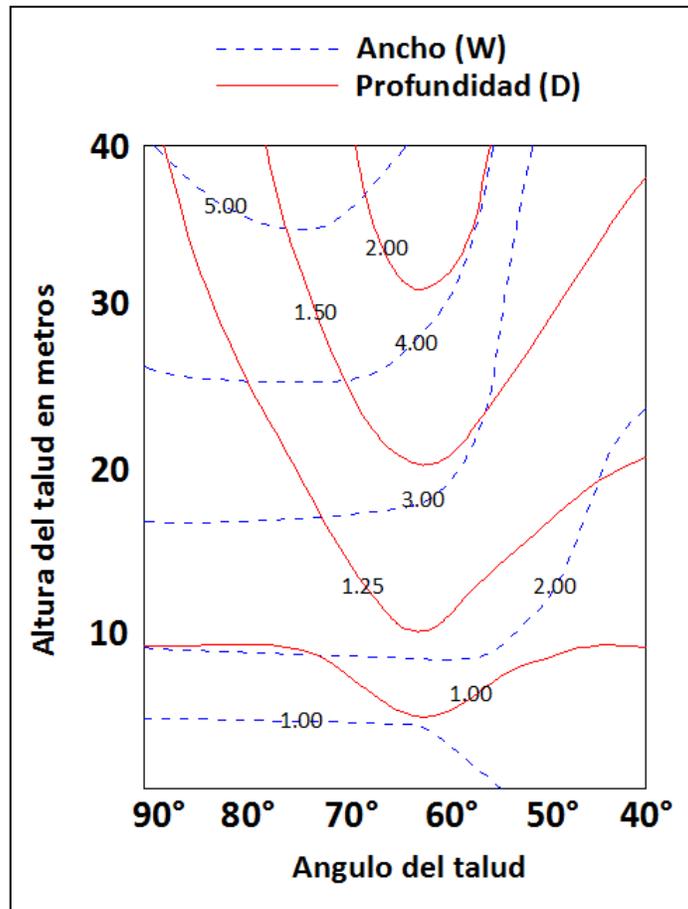


Figura 4.5 Criterio de Whiteside (1986) para el diseño del área de captación de caídos de roca. “Rock Slopes: Design, Excavation, Stabilization” (FHWA 1989).

Para poder comparar las dimensiones del área de captación medida en campo con los valores propuestos por Whiteside, se recomienda utilizar un porcentaje de efectividad calculado con la siguiente ecuación:

$$Efectividad = \frac{Da + Wa}{Dr + Wr} \times 100\%$$

Donde:

La efectividad es el valor de satisfacción de las actuales dimensiones comparadas con las dimensiones ideales propuestas por Whiteside. Expresada en porcentaje. De acuerdo al porcentaje de efectividad, será la puntuación otorgada al concepto de área de captación.

D_a = Profundidad medida en campo

W_a = Ancho medido en campo

D_r = Profundidad propuesta por Ritchie-Whiteside (Figura 4.6)

W_r = Ancho propuesto por Ritchie-Whiteside (Figura 4.6)

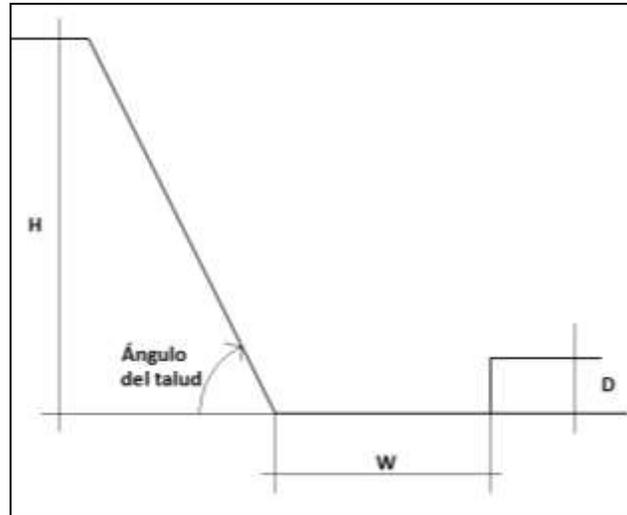
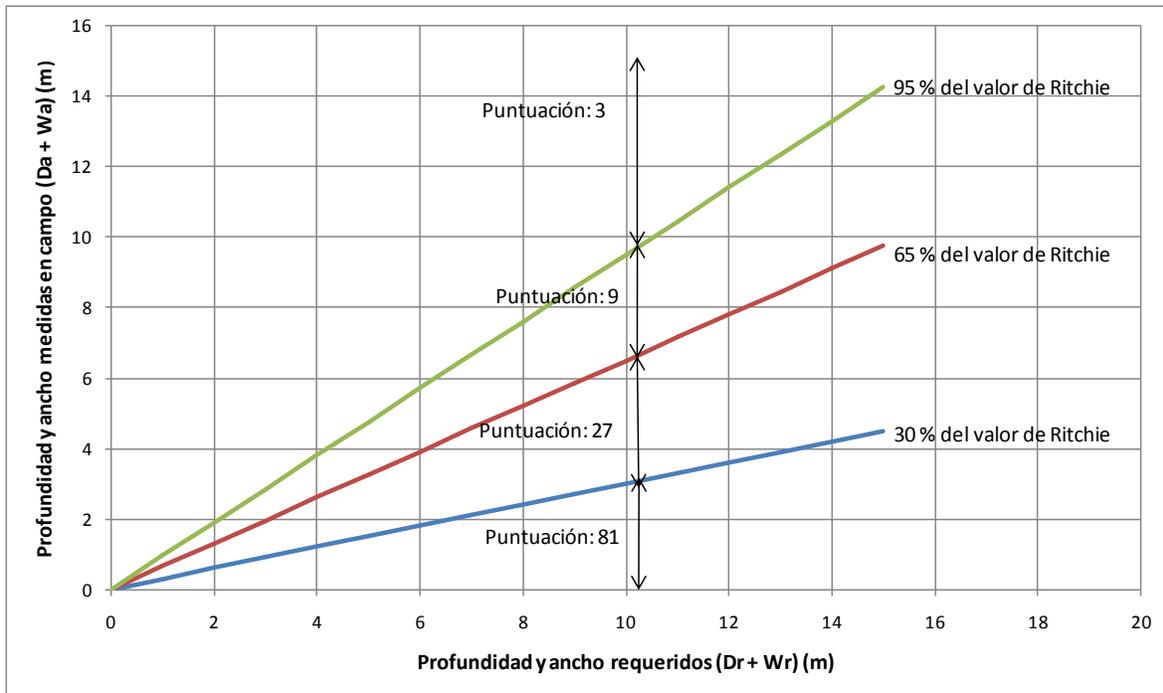


Figura 4.6 Nomenclatura para el dimensionamiento del área de captación (cunetones)

Para poder evaluar la efectividad encontrada utilizamos los rangos de evaluación propuestos en base a la experiencia del Departamento de Transporte de Colorado, por lo tanto, para las efectividades de menor a 30 %, de 30 % a 64 %, de 64 % a 94 % y de 95 % a 100 %; las puntuaciones son de 81, 27, 9 y 3 respectivamente. Las puntuaciones se pueden evaluar gráficamente mediante la gráfica 4.1.



Gráfica 4.1 Dimensiones medidas en campo vs dimensiones ideales, con sus respectivas puntuaciones. “Modification and Statistical Analysis of the Colorado Rockfall Hazard Rating System” Septiembre del 2008.

4.3.1.7 Vegetación

El follaje de la vegetación intercepta la lluvia impidiendo el impacto directo sobre el suelo y amortiguando la energía de las gotas. La retención de agua en el follaje demora o modifica el ciclo hidrológico en el momento de una lluvia. Este fenómeno disminuye la cantidad de agua de escorrentía, disminuyendo su poder erosivo. Los árboles de mayor volumen o densidad de follaje, retrasan más el ciclo hidrológico en razón a que retienen por mayor tiempo las gotas de lluvia (Figura 4.7).

Las raíces absorben humedad del suelo, la cual es transmitida a la atmósfera por evapotranspiración. Su efecto es una disminución de la humedad en el suelo. Cada tipo de vegetación en un determinado tipo de suelo, tiene un determinado potencial de evapotranspiración y se obtiene generalmente, una humedad de equilibrio dependiendo de la disponibilidad de agua lluvia y nivel freático.

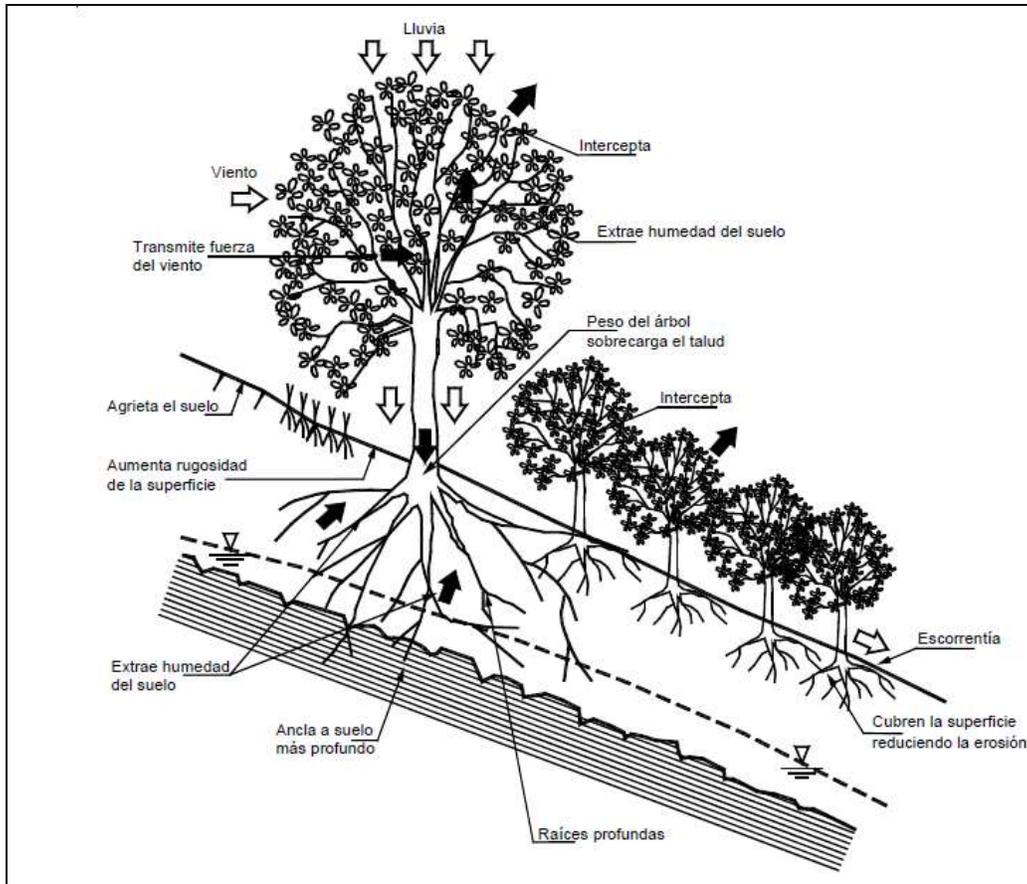


Figura 4.7 Efectos de la vegetación en la estabilidad de un talud. “Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez”

Debido a que la vegetación es un sistema de protección para el suelo, se le considera importante para poder evaluar la peligrosidad de un corte al ser erosionado. Las principales cualidades de la vegetación para ser considerada dentro del cálculo del Índice General de Estabilidad para Cortes Carreteros (IGE_{CC}) son las siguientes:

- Las raíces y el follaje aíslan el suelo de las fuerzas de tracción directa ocasionadas por el flujo del agua de escorrentía.
- Las raíces refuerzan el suelo aumentando la resistencia al corte (Fricción y Cohesión) y la resistencia a las fuerzas de erosión.
- Las raíces (de árboles) anclan el suelo o estratos más profundos, creando fuerzas resistentes al deslizamiento.

-
- d) Entre el sistema de raíces de cada árbol y los contiguos se forman efectos de arco que ayudan en la estabilidad de la masa de suelo.
 - e) Las raíces forman una red densa entrelazada en los primeros 30 a 50 centímetros de suelo, y esta red forma una membrana lateral que tiende a reforzar la masa de suelo más superficial y sostenerla en el sitio.

Por lo tanto queda claro que los rangos de evaluación para este factor se dan considerando un corte más susceptible a la erosión y al deslizamiento cuanto más desnudo sea este.

Al realizar un corte en una ladera natural, la vegetación será diferente entre el cuerpo del talud y la corona del mismo. Una vegetación de dimensiones mayores estará presente en la parte superior, mientras que la cara estará cubierta de vegetación más fina e incluso hasta totalmente descubierta. Esta es la razón de evaluar en dos partes a la vegetación del corte:

1. Vegetación en el cuerpo del talud

- Peligrosidad baja (3 pts.). Poblado/arbustivo
- Peligrosidad media (9 pts.). Poblado/herbáceo
- Peligrosidad alta (27 pts.). Semidesnudo/herbáceo
- Peligrosidad muy alta (81 pts.). Desnudo.

2. Vegetación en la corona del talud.

- Peligrosidad baja (3 pts.). Poblado/arbóreo
- Peligrosidad media (9 pts.). Poblado/arbustivo, semidesnudo/arbóreo
- Peligrosidad alta (27 pts.). Poblado/herbáceo, semidesnudo/arbustivo
- Peligrosidad muy alta (81 pts.). Desnudo, semidesnudo/herbáceo

4.3.2 Clima

Esta categoría tiene una estrecha relación con los problemas que puede representar la presencia de agua en el talud. De acuerdo al ciclo hidrológico el agua se mantiene en continuo movimiento y se puede presentar en una serie de eventos que incluye las nubes o vapor de agua, la precipitación en forma de lluvia, granizo o nieve, la infiltración, la evapotranspiración y la escorrentía entre otras.

4.3.2.1 Precipitación media anual o precipitación normal

La cantidad de lluvia que cae sobre los suelos es de una importancia muy grande, ya que cuando a un suelo le caen fuertes lluvias por periodos largos, puede llegar a saturarse y disminuir su resistencia al esfuerzo cortante. Por lo tanto entre más grande sea la precipitación, mayor será el riesgo de generarse una falla en el corte.

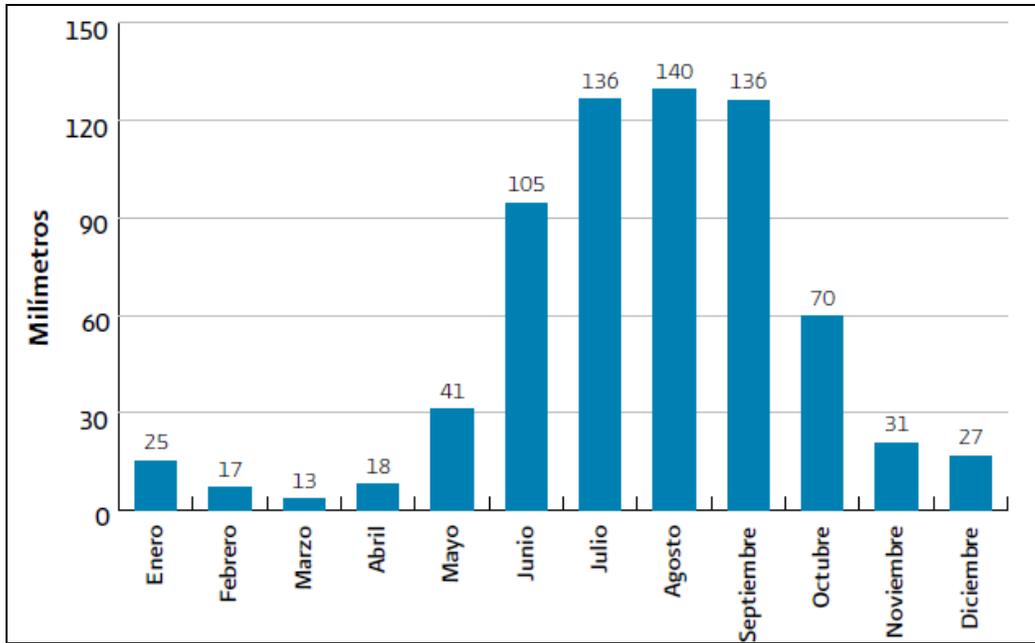
Los rangos de precipitaciones anuales para poder evaluar a este factor están basados en las estadísticas de las lluvias ocurridas en México. La precipitación normal del país en el periodo de 1971-2000 fue de 760 milímetros. Los valores “normales”, de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM) corresponden a los promedios calculados para un periodo uniforme y relativamente largo, el cual debe tener como mínimo 30 años de recabar información, lo cual se considera como un periodo climatológico mínimo representativo, además deberá iniciar el 1° de enero de un año que termine en uno y finalice el 31 de diciembre de un año que termine en cero. Es importante señalar que la distribución mensual de la precipitación acentúa los problemas relacionados con la disponibilidad del recurso, debido a que el 68% de la precipitación normal mensual ocurre entre los meses de junio y septiembre (Gráfica 4.2).

En la mayor parte de las entidades federativas, la precipitación ocurre predominantemente entre junio y septiembre, con excepción de Baja California y Baja California Sur, donde se presenta principalmente en el invierno (Tabla 4.3).

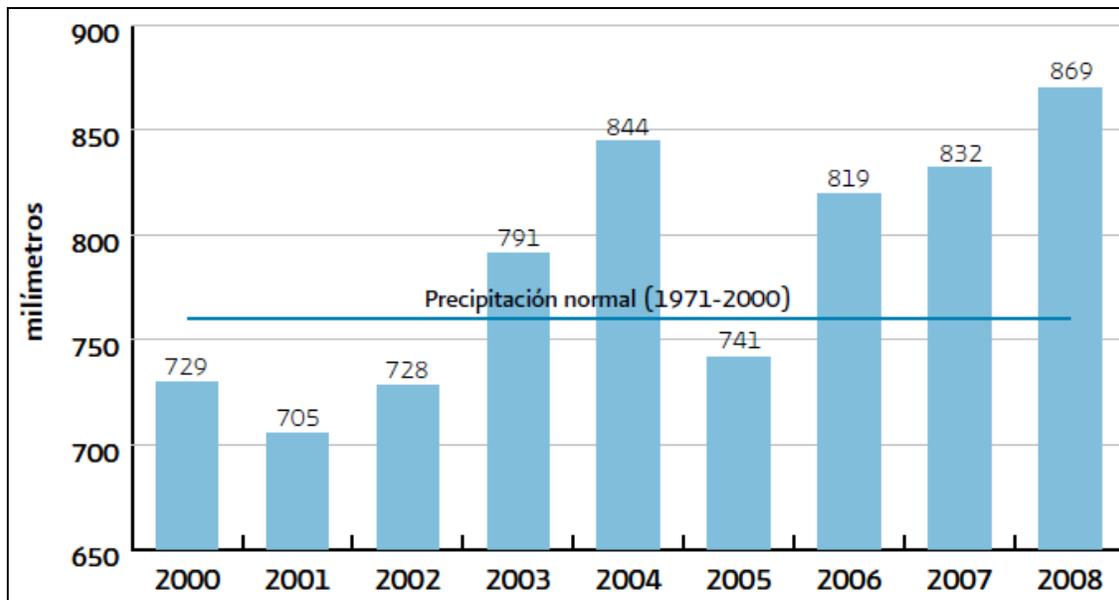
La precipitación acumulada ocurrida en la República Mexicana del 1° de enero al 31 de diciembre del año 2008 alcanzó una lámina de 869 mm, lo cual fue 14% superior a la normal del periodo de 1971 a 2000 (760 mm). Ver Gráfica 4.3.

De la Tabla 4.3 se observa que los estados que reciben mayor cantidad de lluvia son Chiapas y Tabasco, con una precipitación de casi 13 veces mayor a la de Baja California Sur, la entidad más seca.

Datos históricos nos han mostrado que los estados con muchos problemas de estabilidad de taludes a causa de las fuertes lluvias han presenciado derrumbes catastróficos en los años donde las precipitaciones superan los 900 mm.



Gráfica 4.2 Precipitación pluvial normal mensual en México, en el periodo 1971-2000 (milímetros). “Estadísticas del agua en México, edición 2010. SEMARNAT”



Gráfica 4.3 Precipitación pluvial anual, periodo 2000-2008 (milímetros)

Entidad Federativa	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
Aguascalientes	18	6	2	7	21	75	129	113	77	36	11	11	508
Baja California	31	34	30	8	2	1	3	8	9	11	14	25	177
Baja California Sur	16	9	4	1	1	1	15	38	38	12	9	18	160
Campeche	49	31	26	33	78	191	175	205	243	167	87	53	1337
Chiapas	41	37	31	52	146	291	230	276	333	191	86	53	1768
Chihuahua	17	13	7	7	12	39	112	108	75	31	16	21	459
Coahuila de Zaragoza	15	11	8	17	34	51	55	62	71	34	14	15	386
Colima	29	3	1	1	14	129	202	213	216	88	28	11	935
Distrito Federal	9	7	12	28	65	156	178	175	146	68	12	7	863
Durango	20	7	4	6	13	68	139	139	102	39	18	19	574
Guanajuato	13	6	6	14	36	101	142	121	97	41	10	9	595
Guerrero	14	4	3	7	45	237	234	246	264	119	17	7	1196
Hidalgo	20	17	22	39	67	125	131	119	154	82	32	20	829
Jalisco	23	6	2	5	20	150	222	200	163	65	21	12	889
México	13	8	10	22	61	155	176	165	144	67	16	9	847
Michoacán de Ocampo	22	4	4	7	30	156	208	197	176	78	18	9	910
Morelos	11	4	5	14	61	209	192	199	185	74	14	6	976
Nayarit	29	9	2	2	10	139	309	317	256	77	24	20	1193
Nuevo León	24	16	18	35	66	79	57	80	118	55	20	20	589
Oaxaca	14	14	13	28	90	225	205	215	225	101	34	19	1183
Puebla	19	17	21	40	84	185	168	161	191	97	36	21	1040
Querétaro	16	10	13	28	54	123	138	120	138	63	20	13	736
Quintana Roo	58	37	33	45	94	172	148	152	203	152	84	61	1237
San Luis Potosí	21	11	13	30	60	112	130	99	127	57	20	20	699
Sinaloa	25	11	4	3	4	41	186	197	138	59	33	28	730
Sonora	24	22	13	5	4	14	104	101	52	27	19	33	419
Tabasco	116	97	58	55	106	243	190	241	331	314	196	148	2095
Tamaulipas	26	15	19	39	77	117	99	106	144	68	23	27	760
Tlaxcala	8	9	16	38	74	130	121	118	108	56	15	7	700
Veracruz de Ignacio de la Llave	54	40	34	43	84	220	254	246	295	176	99	72	1617
Yucatán	40	30	28	37	79	148	147	151	183	121	55	45	1062
Zacatecas	18	6	3	7	21	70	104	100	72	34	13	14	463
NACIONAL	25	17	13	18	41	105	136	140	136	70	31	27	760

NOTA: Las sumas pueden no coincidir por el redondeo de las cifras.
FUENTE: CONAGUA. Coordinación del Servicio Meteorológico Nacional.

Tabla 4.3 Precipitación pluvial normal mensual (mm) por entidad federativa, en el periodo 1971-2000. “Estadísticas del agua en México, edición 2010. SEMARNAT”

En base a la precipitación normal nacional del periodo de 1971 a 2000 (760 mm) y las precipitaciones normales de Chiapas y Tabasco que han sido catastróficas (900 mm) así como también la precipitación del estado de Baja California sur (160 mm); se proponen los siguientes rangos de evaluación:

- a) Precipitación normal anual ≤ 200 mm = 3 puntos
- b) 200 mm < Precipitación normal anual ≤ 500 mm = 9 puntos
- c) 500 mm < Precipitación normal anual ≤ 850 mm = 27 puntos
- d) Precipitación normal anual > 850 mm = 81 puntos

Congelamiento-deshielo. Si bien esta parte de la evaluación del IGECC no es puntuación directa de campo sino más bien es consultar los datos estadísticos que se tengan sobre las precipitaciones, es importante destacar que al tener físicamente al talud, se debe de verificar la presencia o el conocimiento de que pueda existir nieve, es decir un fenómeno de congelamiento-deshielo. Esto para que el ingeniero evaluador pueda registrarlo en el levantamiento de campo y así utilizar sus conocimientos para determinar si el corte se merece una calificación más alta. Cuando se decida modificar la puntuación que se había establecido por causa de la precipitación, se debe especificar el por qué de esta acción. Pudiese haber en esta metodología una categoría para el congelamiento-deshielo, pero es sabido que en la mayoría de los lugares de México este fenómeno natural no ocurre tan visible y frecuentemente, son pocos los lugares en que se presenta una nevada.

4.3.2.2 Infiltración/Agua presente

El agua de la lluvia al caer sobre el suelo trata de infiltrarse, desplazando el agua existente hacia abajo por macro poros, formando una especie de onda de presión de agua dentro del suelo, la cual produce un frente húmedo de infiltración. Al inicio de la lluvia la totalidad de la precipitación se infiltra humedeciendo el suelo. El agua en exceso que no puede infiltrarse se queda en la superficie. De acuerdo con la intensidad de lluvia, la infiltración y las características físicas del terreno se produce una corriente superficial (escorrentía), una serie de corrientes subterráneas semi-paralelas a la pendiente del terreno y una corriente semi-vertical de infiltración hacia el nivel freático. Estas situaciones pueden provocar fuerte inestabilidad en los taludes.

La revisión de un corte por medio de un factor que incluye al agua se hace muy difícil debido a la diferencia entre las temporadas estacionales. De forma visual es muy difícil estimar la cantidad de agua que está presente en el suelo, o el nivel de aguas freáticas, así que para la evaluación de este factor se ha establecido la apariencia de la superficie del talud. La apariencia no será la misma en los meses de lluvia que en los meses soleados. Sin embargo con los conocimientos y experiencia del ingeniero evaluador se determinará subjetivamente evidencias de

infiltración estacional como marcas de agua, vetas y zonas de descoloramiento, así como también el tipo, tamaño y color de la vegetación.

4.3.3 Geología

La parte más importante en cualquier estudio sobre el comportamiento de las masas de suelo es la base de datos geológicos en la cual se basan las definiciones del tipo de roca/suelo, discontinuidades estructurales y propiedades de los materiales. Por ejemplo la orientación de una falla llena de arcilla, puede marcar la diferencia entre la estabilidad e inestabilidad en un corte carretero. Por consiguiente tres tipos de condiciones geológicas son consideradas:

1. Roca sedimentaria. En donde la erosión diferencial tiende al control de la falla.
2. Roca cristalina. En donde la falta de homogeneidad y fracturas de la masa de rocas son condicionantes para producir la falla.
3. Rocas envueltas en suelo (Rocas en Matrices). Se refiere a coluviones, flujos de escombros, eólicos, glaciales, volcánicos, orgánicos, etc., en donde la erosión del material matricial y por consiguiente el desprendimiento del material granular controlan las fallas.

4.3.3.1 Roca sedimentaria

La formación de un cuerpo de sedimentario involucra ya sea el transporte de partículas al sitio de depósito por la gravedad, agua, aire, hielo o flujos masivos. La acumulación de sedimentos en su sitio es influenciada mayormente por la química, la temperatura y el carácter biológico del escenario. Los procesos de transporte y el depósito pueden ser determinados observando los estratos individuales de sedimento. El tamaño, forma y distribución de partículas proveen las pistas respecto a la forma en la cual el material fue llevado y depositado. Las rocas sedimentarias se encuentran en la mayor parte de la superficie terrestre. Generalmente se presentan en forma visiblemente estratificada. Al presentarse un perfil con estratificaciones de materiales débiles, el corte puede ser propenso a fallar.

4.3.3.1.1 Grado de erosión bajo los estratos del corte (descalce)

Las fallas en los suelos sedimentarios son generalmente dominadas por la erosión diferencial y el desgaste de varias litologías. La cantidad de material erosionado depositado en el pie del talud refleja el grado de variación litológica dentro del corte y se ha encontrado que es lo que mayormente contribuye en afloramientos sedimentarios. Para la evaluación de este factor se medirá la longitud de desgaste presentado en el estrato más deteriorado y se juzgará la cantidad de material que se encuentra en el pie del talud.

4.3.3.1.2 Grado de Interestratificación

Durante las visitas al tramo de estudio se identificó que la severidad y tipo de las fallas ocurridas, son mayormente causas por el grado de variación litológica y del espesor del estrato dentro del corte. De acuerdo a estas observaciones y al RHRS modificado, el grado de Interestratificación debe de incluirse por ser un factor condicionante de las fallas. Las características principales que se consideran son el número de interestratificaciones débiles y sus espesores correspondientes.

4.3.3.1.3 Presencia de surcos

La erosión en surcos ocurre cuando el flujo superficial empieza a concentrarse sobre la superficie del terreno, debido a la irregularidad natural de la superficie. Al concentrarse el flujo en pequeñas corrientes sobre una pendiente, se genera una concentración del flujo de la corriente el cual produce erosión debido a la fuerza tractiva, formándose pequeños surcos o canales, los cuales inicialmente son prácticamente imperceptibles pero poco a poco se van volviendo más profundos. En estos surcos la energía del agua en movimiento adquiere cada vez, una fuerza mayor capaz de desprender y transportar partículas de suelo. Inicialmente, los pequeños canales presentan una forma en V la cual puede pasar a forma en U. Cuando los surcos se hacen más profundos y más anchos se dice que los surcos se convirtieron en cárcavas. Si los canales de erosión tienen profundidades de menos de 30 centímetros se les clasifica como surcos y si la profundidad es mayor, como cárcavas. Los surcos pueden eliminarse con rastrillado y siembra de vegetación. Las cárcavas requieren de obras más complejas de ingeniería.

La evaluación de este factor se hará entonces de acuerdo a las dimensiones de los surcos, entre mas grandes sean estos mayor será el peligro de falla. También se toma en cuenta el espaciamiento entre cada surco, pues una superficie con mayor continuidad de surcos es más propensa a la formación de cárcavas y por la tanto a desatar una falla.

4.3.3.2 Roca Cristalina

Este término es aplicado para diferenciar a las rocas ígneas y metamórficas (cristalinas) de las sedimentarias. Se trata de rocas fuertes masivas con una resistencia mayor a los procesos de deterioro. Estas se pueden encontrar en tamaños grandes que de acuerdo a su tipo y su grado de erosión pueden llegar a ser grandes peligros. De acuerdo con Hoek, existen tres criterios fundamentales para poder realizar una evaluación práctica visual acerca del estado de las rocas cristalinas: tipo de roca, grado de salientes, grado de erosión y discontinuidades. Por lo tanto la evaluación de este factor se plantea siguiendo esos criterios. Las puntuaciones para estas características del factor se tendrán que dividir entre 3 para poder ser equivalentes con los demás factores. (En el parámetro geología, todos los tipos de materiales tienen tres características excepto las rocas que contienen 9)

4.3.3.2.1 Tipo de roca

Los caídos de roca son mayormente controlados por la homogeneidad del macizo rocoso. El tipo de roca se ocupa de características específicas de las rocas ígneas-metamórficas. Anteriormente se vio que en los suelos sedimentarios la variación litológica es un gran problema que conduce a un derrumbe, en el caso de las rocas cristalinas se espera un comportamiento similar. La mejor forma de valorar este factor es la que se presenta a continuación:

1. 3 puntos, Homogéneo/macizo. Implica pequeñas variaciones mineralógicas y litológicas dentro del macizo rocoso.
2. 9 puntos, Pequeñas fallas/venas fuertes. Es válido el pensar que la presencia de venas en esta categoría insinúa poca pérdida de resistencia de la masa de la roca.
3. 27 puntos, Esquistos/zonas de cizallamiento < 15 cm. Indica zonas de esquistosidad dentro del macizo rocoso que pueden contribuir a la inestabilidad. Estas zonas obviamente debilitarán el macizo rocoso y crearán avenidas para aumentar la erosión física y química.
4. 81 puntos, Pegmatitas débiles/micas/zonas de cizallamiento > 15 cm. se trata de materiales pobres que debilitan la unión entre las rocas.

4.3.3.2 Grado de salientes (bloques en cantiliver)

Generalmente, cada que existen caídos de roca la superficie se deforma dejando rocas salientes, que en cualquier momento pueden llegar a fallar y ocasionar daños a las vías pero principalmente a los usuarios. El proceso de erosión también puede causar este tipo de problemas.

Las puntuaciones a este factor se otorgarán en base a las dimensiones de los salientes:

- 3 puntos: de 0 a 30 cm
- 9 puntos: de 30 cm a 60 cm
- 27 puntos: de 60 cm a 120 cm
- 81 puntos: Mayores a 120 cm

4.3.3.2.3 Grado de erosión de la roca

El problema de la erosión no es de corte profundo, sino que tiene efecto en la superficie del suelo; la influencia de la geometría y la localización de las partículas tienen gran relevancia. La erosión reduce la resistencia al esfuerzo cortante debido a la fuerza disminuida de la roca intacta. La erosión de las rocas sanas generalmente se da por descomposición, lo cual se refiere a los cambios producidos por agentes químicos como la oxidación (por ejemplo, el descoloramiento amarillo en roca que contiene hierro), la humidificación y la carbonatación (por ejemplo, la solución de caliza). Debe de quedar claro que este factor se refiere al grado de erosión a largo de las rocas intactas y no de las discontinuidades. Una vez más el ingeniero evaluador deberá de aplicar sus conocimientos para poder determinar el nivel de degradación que presentan los macizos rocosos, en base a características como el color, rugosidad, partículas desprendidas, etc. Los criterios con que se evaluará son los siguientes:

1. Reciente (3 puntos). Ningún signo visible de la roca deteriorándose con el tiempo. Descoloramiento leve.
2. Superficie desgastada/decolorada (9 puntos). El descoloramiento indica el deterioro de la superficie de la roca. Todo el material de la roca puede estar descolorido por la erosión y está más débil externamente que una condición de erosión reciente.
3. Ligeramente alterado/atenuado (27 puntos). Un poco menos de la mitad de la roca esta desintegrada como un suelo.

- Alterada (81 puntos). La mitad o más de la mitad de la roca esta desintegrada, la roca que permanece intacta presentan características de descoloramiento y pequeños desprendimientos.

4.3.3.2.4 Discontinuidades

Las investigaciones geológicas usualmente categorizan las discontinuidades de acuerdo a la manera en la cual fueron formadas. Las discontinuidades están presentes en la roca y afectan la resistencia, permeabilidad y durabilidad de la masa. Es importante evaluar la geometría, naturaleza, estado y condición de las discontinuidades, porque ellas definen la fábrica estructural del macizo rocoso. Además de su génesis, la influencia en el comportamiento del macizo, exige evaluar la génesis de los rellenos, la cantidad de agua, las cicatrices y revestimientos en las paredes por materiales solubles, la abertura, rugosidad y persistencia de las discontinuidades, y el número de familias. Ver Figura 4.8.

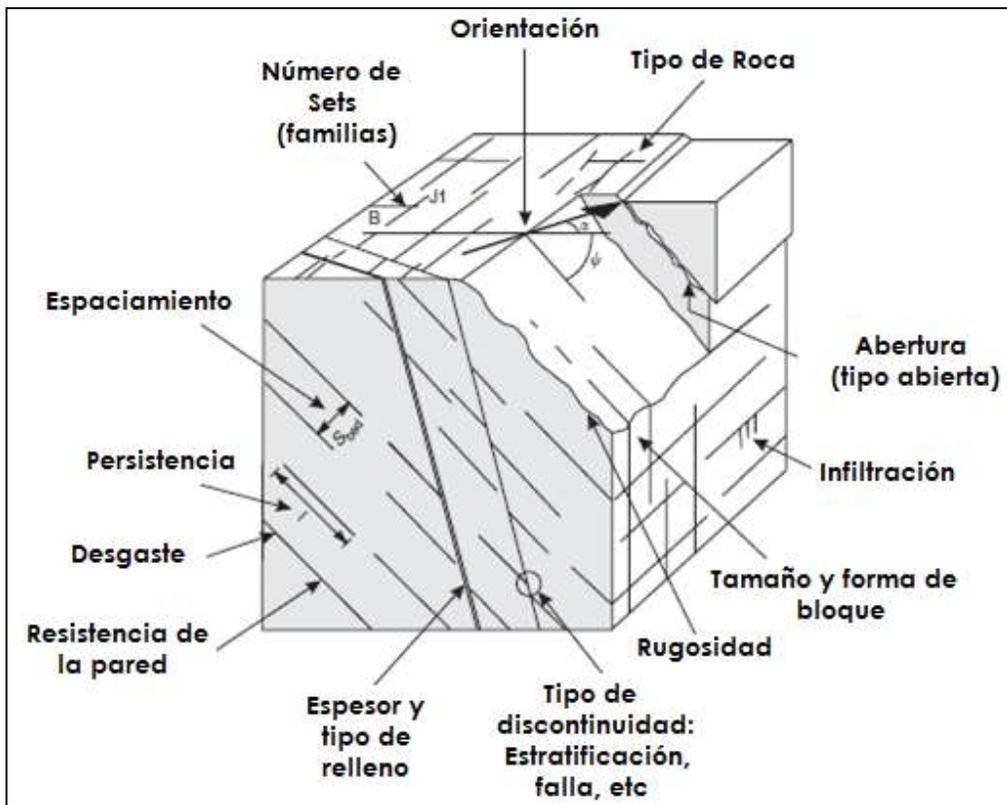


Figura 4.8 Características geológicas de un macizo rocoso. Presentación de discontinuidades. "Rock slope Engineering, by E. Hoek"

4.3.3.2.4.1 Tamaño de bloques/volumen

El tamaño de los bloques nos otorga información del espaciamiento de las discontinuidades. Los acontecimientos de falla pueden darse por la caída de un solo bloque o por un volumen de material de varios tamaños, incluso suelo. Deben de identificarse los puntos críticos que presentan mayor probabilidad de derrumbarse. Los mayores bloques también causaran más daño durante una colisión con un vehículo. Además entre mayor sea el volumen de material que se ha desprendido existe mayor probabilidad de desalojar otros bloques y resulte en un evento más grande.

4.3.3.2.4.2 Número de familias de discontinuidades

Es indicativo del grado de fracturamiento y depende de la dirección y tipo de esfuerzos. Las familias presentan características distintivas, no solamente en dirección y espaciamiento sino también en condiciones de relleno, caudal e incluso edad y tipo de esfuerzos que la origina. El número de familias que se intersecan una con otra influenciará la extensión para la cual la masa de roca puede deformarse sin el fracaso de la roca intacta. Conforme el número de familias de discontinuidades aumente y el tamaño de los bloques disminuye, la probabilidad de que los bloques se aplasten bajo cargas aplicadas.

4.3.3.2.4.3 Longitud de las discontinuidades (Persistencia) y orientación

La persistencia de discontinuidades es uno de los parámetros más importantes porque define, conjuntamente con el espaciamiento, el tamaño de bloques que podrían deslizarse de la cara. Además, un área chica de roca intacta entre las persistencias bajas puede tener una influencia positiva sobre la estabilidad porque la fuerza de la roca a menudo será muy superior al esfuerzo cortante actuante en el talud. Desafortunadamente, la persistencia es uno de los parámetros más difíciles para medir porque a menudo sólo una parte pequeña de la discontinuidad es visible en la cara. Para esta metodología la persistencia solo se evaluará en la cara del talud de corte.

En la orientación, más allá de calcular la posición espacial de la superficie de discontinuidad, se trata de evaluar mediante la observación la actitud de los bloques y fracturas para efectos de estabilidad. El enfoque es en el sentido de la inclinación de los estratos (buzamiento). Se establece como adverso cuando se vislumbra fuera de la cara del talud y como favorable cuando buza hacia adentro de la cara del talud.

En la evaluación del corte se podrá tener discontinuidades con persistencia pequeña y en primera instancia el factor tomará una puntuación baja, pero si esas discontinuidades vislumbran en orientación desfavorable para la carretera, tendrán

una puntuación más alta; o viceversa pudieran tener alta persistencia pero orientación favorable, lo que marcaría una puntuación más baja.

4.3.3.2.4.4 Abertura

Es la distancia perpendicular entre las paredes de las discontinuidades cuando estas no tienen relleno (sólo agua o aire). Hay diaclasas cerradas. Para los rangos de puntuación se toman las propuestas por el ISRM, que se extienden de 0.1 mm hasta mayores de 5 mm. La abertura debe distinguirse de la "anchura" de una discontinuidad llena. Es importante predecir el comportamiento probable de la masa de la roca, como la deformación y conductividad hidráulica bajo los cambios de tensión, así como entender la razón por la que esas discontinuidades se desarrollan. Entre mayor sea la abertura, mayor peligro existe. Para la puntuación de este factor, se tomarán las aberturas de condiciones más adversas.

4.3.3.2.4.5 Condiciones de erosión

La erosión en las discontinuidades es una condición sobre la cual varios autores coinciden que es un factor primario físico y químico causante de peligro. La energía de las superficies de discontinuidades tiene una mayor influencia sobre el potencial de falla de las masas de roca y el desgaste químico reduce las propiedades mecánicas a lo largo de las superficies de discontinuidad reduciendo la cohesión y la fricción. La descomposición química y alteración hidrotermal degradan la fuerza de la masa entera de la roca. Las condiciones para otorgar puntuaciones a este factor son las siguientes:

1. Reciente (3 puntos). Ningún signo visible de deterioro. Descoloramiento leve.
2. Superficie desgastada/decolorada (9 puntos). El descoloramiento indica el deterioro de la superficie de la roca.
3. Aberturas llenas de material granular (27 puntos). Cuando las aberturas están llenas de un material son más propensas a la inestabilidad. El material granular podría ir desapareciendo poco a poco, ocasionando asentamientos y falla de las rocas.
4. Aberturas llenas de material arcilloso (81 puntos). La presencia de arcilla indica una superficie con alto potencial de deslizamiento.

4.3.3.2.4.6 Fricción (Rugosidad entre discontinuidades)

Rangos del parámetro basado en estudios de Barton (ISRM, 1981). La aspereza de una superficie de discontinuidad es a menudo un componente importante de la resistencia al corte, especialmente donde la discontinuidad no es degradada e interestratificada. La aspereza se pone menos importante donde la discontinuidad está rellena de algún material. La aspereza debe ser observada principalmente en superficies que anticipan un deslizamiento debido a su dirección. Si existe una superficie rugosa, la puntuación será baja, en caso contrario será tan alta como tan plana sea.

La puntuación de este factor se dará mediante las observaciones de la cara del talud de corte basadas en la figura 4.9

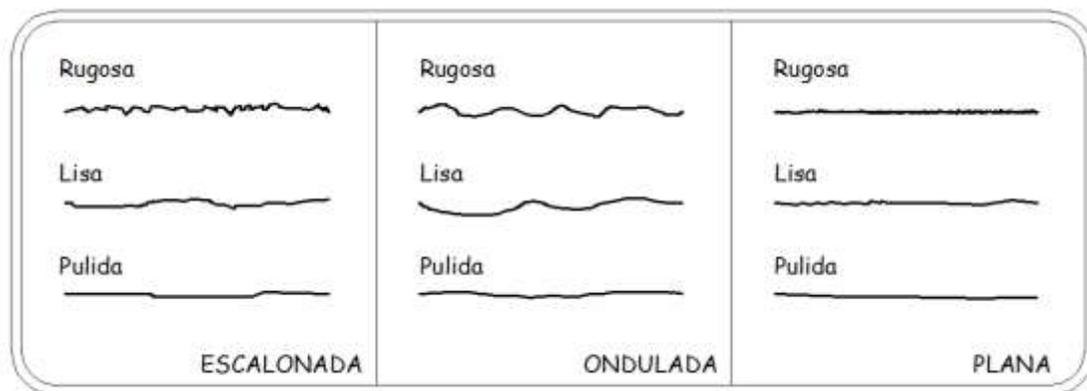


Figura 4.9 Perfiles de rugosidad. La longitud de los perfiles está en el rango entre 1 y 10 metros (ISRM, 1981).

4.3.3.3 Bloques en una matriz/rocas envueltas en suelo

Son masas incoherentes de materiales sueltos y heterogéneos de suelo y fragmentos de roca depositados por lavado de la lluvia, reptación o deslizamiento. Son llamados matriz-soportados, ya que existen desde rocas pequeñas, rocas de varios tamaños hasta rocas grandes que permanecen unidas mediante una masa de suelo. Es común que se encuentren en un estado de equilibrio límite, es decir que si te tocan se mueven. Pueden ser: coluviones, suelos residuales cubiertos por coluviones, suelos volcánicos (aglomerados volcánicos, cenizas volcánicas), flujos de escombros, eólicos, glaciales, etc.

4.3.3.3.1 Tamaño del bloque

El tamaño del bloque será evaluado para estos materiales en base a que los mayores bloques poseen más energía cinética para bajar rodando por el talud, y por consiguiente tienen una oportunidad más probable de alcanzar la autopista. Aunque los mayores bloques presentan más de un peligro, es probable que los bloques más pequeños pueden caer más frecuentemente de estos taludes. Se requeriría mucha más erosión de material matricial para desalojar una roca de diámetro 1.5 m que una roca de diámetro de 0.30 m. Los rangos para el tamaño del bloque fueron realizados recordando esto. Las puntuaciones no fueron asignadas simplemente basándose en el aumento de tamaños de los bloques en el talud, más bien las puntuaciones fueron asignadas a los bloques más grandes que tienen la mayor probabilidad de ser inestables.

4.3.3.3.2 Forma del bloque

De acuerdo a la forma del bloque, será la forma en que este se desprenda de la matriz de suelo así como la forma de llegar a la carretera, velocidad y arrastre de materiales más pequeños durante su desplazamiento, por ejemplo un coluvión o bloques tabulares no representarían un riesgo tan grande como un depósito glacial con rocas grandes redondeadas, cuya forma se desarrolló dentro de la matriz. Los criterios que se utilizan son los siguientes:

- a) 3 puntos: bloques tabulares
- b) 9 puntos: bloques cúbicos, seis caras relativamente planas
- c) 27 puntos: cúbicos a angulares
- d) 81 puntos: redondas/lisas y rocas planas con inclinación hacia la vía.

4.3.3.3.3 Deslizamientos/Desplazamientos

Este factor trata de advertir sobre los movimientos lentos del terreno. Para su evaluación se requiere un amplio recorrido del talud de corte, se deben de visualizar aumento de presiones en el pie del talud, inclinación de la vegetación y de los señalamientos. Fracturas en el pavimento, son indicadores de que se está ejerciendo presiones horizontales sobre el terraplén a causa del desplazamiento lento del corte de talud. Lo más importante es notar la presencia de escalonamientos en el cuerpo del corte, pues esto indicaría la presencia de deslizamientos superficiales (creep), movimientos del cuerpo del talud y flujos. Por tal motivo los rangos para las puntuaciones son los siguientes:

- 1. 3 puntos: Agrietamientos en la corona del talud.
- 2. 9 puntos: Agrietamientos y hundimientos notables en el cuerpo del talud

3. 27 puntos: Material suelto, vegetación notablemente inclinada, acumulación de material en el pie del corte.
4. 81 puntos: Presencia de gradadas

4.3.3.4 Suelos residuales

Los suelos residuales son los que resultan de la meteorización y descomposición de la roca in situ, sin sufrir ningún transporte. A los suelos residuales se les encuentra principalmente en zonas tropicales, donde aparecen en grandes espesores debido al proceso de meteorización intenso, heterogéneo y desigual.

Para la evaluación de la estabilidad de taludes en suelos residuales, existen tres conceptos que desempeñan un papel muy importante: el perfil de meteorización, las estructuras heredadas y el efecto del agua subterránea. Aunque es de importancia mencionar que para la metodología presentada, estas características resultan ser parámetros difíciles de evaluar, debido a que el análisis puramente visual es solo de la cara del talud de corte lo que limita a poder analizar las características de riesgo debajo del suelo residual (Figura 4.10). Es por eso que la evaluación en un suelo residual constituye uno de los retos más grandes del ingeniero evaluador.

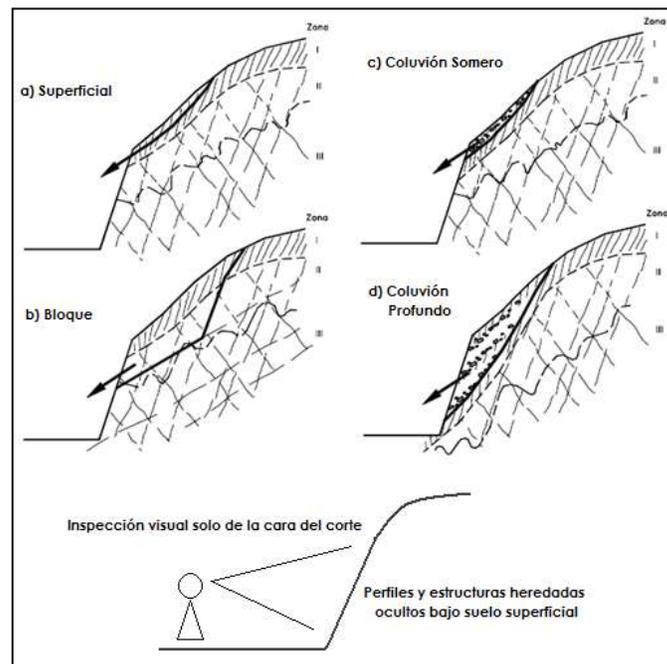


Figura 4.10 Perfiles de meteorización y tipos de deslizamientos en suelos residuales.

“Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales, Jaime Suárez,”

La experiencia y la bibliografía revisada indican que el estar frente a un suelo residual genera problemas de decisión en cuanto al grado de inestabilidad que

puedan presentar debido a que pueden cambiar de apariencia drásticamente, y aun más en presencia del agua. Por lo tanto para poder evaluar de una forma práctica y sin ninguna necesidad de adentrarnos a más detalles complicados nuestra evaluación dependerá del un análisis cualitativo del suelo, el escurrimiento superficial y el contacto de suelo con roca.

4.3.3.4.1 Conceptos de horizonte y capa

La anisotropía vertical del perfil de un suelo está determinada por los horizontes y/o capas que lo constituyen, los cuales son aproximadamente paralelos a la superficie (Figura 4.11). Se entiende como perfil de suelo a la sección vertical de éste, y como horizonte a un estrato originado por el intemperismo. El concepto capa de suelo debe ser entendido como un estrato en el cual el grado de alteración del material es débil, por lo que se consideran varias de las propiedades inherentes al material parental.

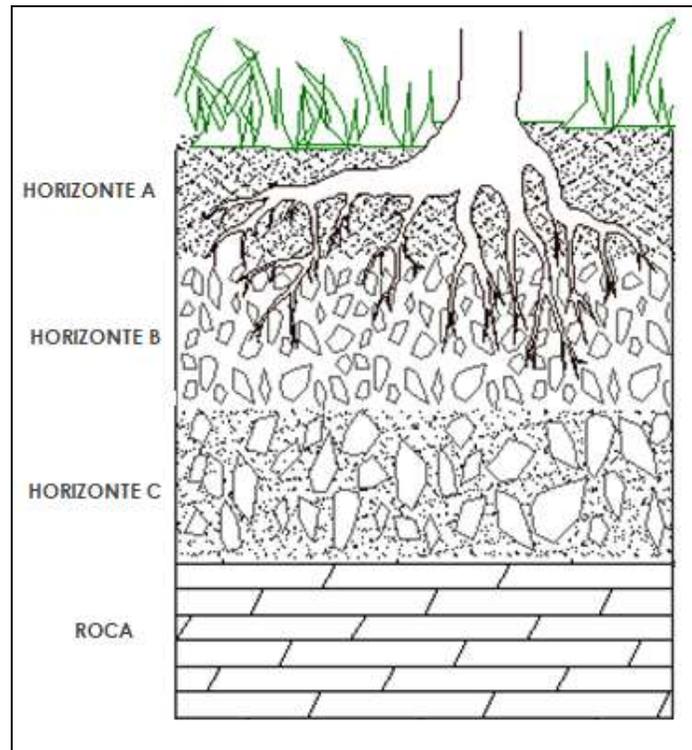


Figura 4.11 Perfil teórico del suelo

4.3.3.4.2 Análisis cualitativo del suelo

Este tipo de análisis, denominado ABC, se aplica para definir y establecer la nomenclatura correspondiente a cada horizonte y/o capa, en términos cualitativos. Los sistemas para la nomenclatura de los horizontes, a través de las observaciones de campo, permiten hacer notar tanto su morfología como el grado evolutivo de los horizontes y del perfil en su conjunto.

Se acepta que un suelo puede clasificarse según el tipo y número de horizontes presentes en su perfil. Sin embargo, para ello se presentan innumerables dificultades, por lo que es necesario señalar que, hasta el presente, la identificación de los horizontes ha sido más un arte basado en la experiencia de campo, que una técnica fundada en algún grupo de principios definidos.

Para poder contribuir a la evaluación del riesgo, se otorgan calificaciones al talud de corte en base al horizonte que visualmente presente el tipo de material del cual está constituido. Dejando en claro que el horizonte A es el más débil debido a que es producto de una intemperización mayor. De acuerdo con esto, las puntuaciones son las siguientes:

1. 3 puntos: Horizonte B-C
2. 9 puntos: Horizonte B
3. 27 puntos: Horizonte A-B
4. 81 puntos: Horizonte A

4.3.3.4.3 Esguerrimiento Superficial

Es sabido que los suelos más susceptibles a la erosión son los residuales y que el mecanismo principal causante de esa erosión es el agua. La susceptibilidad de un perfil de suelo residual a ser erosionado varía de un material a otro. Una buena forma de evaluar el riesgo que presenta un talud al deslizamiento, dependerá de las marcas de agua que presente en su superficie.

La acción de golpeo de la lluvia y el flujo de agua generado en la dirección principal de la pendiente sobre la cara del talud, forma inicialmente torrentes pequeños de agua y a medida que la cantidad de flujo es mayor, esos torrentes se forman en surcos, los cuales se hacen más profundos y de menor densidad por una unidad de área. Los surcos paralelos forman una red de drenaje en la cual los surcos más profundos rompen la divisoria de los surcos más pequeños, formando cárcavas en la corona del talud, lo que provoca deslizamientos considerables de material.

De acuerdo al grado de erosión provocada por los esguerrimientos superficiales que presente la pared del talud, será la puntuación que se le otorgue:

- a) 3 puntos: El cuerpo del talud solo presenta pequeñas venas y pequeños torrentes
- b) 9 puntos: Se pueden observar inicios de formaciones de surcos
- c) 27 puntos: Mas de la mitad del cuerpo del talud presenta torrentes y surcos
- d) 81 puntos: Ya existen formaciones de cárcavas

4.3.3.4.4 Contacto suelo sobre roca

De acuerdo a los diferentes estudios de campo que se han realizado alrededor del mundo, se ha observado que los suelos tienden a fallar cuando existe cercanía con una roca y cuando hay presencia de agua. El suelo puede llegar a saturarse y deslizarse por medio de la roca. Por lo tanto, al detectar, rocas incrustadas en el suelo, rocas sosteniendo al suelo, entre otras, se deberá evaluar el riesgo de acuerdo a rugosidad de la superficie de las rocas.

4.4 Análisis estadístico del riesgo

En este capítulo se presenta el desarrollo del sistema estadístico de riesgo mediante la técnica de análisis multivariante de datos. El motivo del análisis es poder establecer tres grupos de inestabilidad que sean representativos para los cortes carreteros de acuerdo a determinados rangos de puntuación. Para ello, se evaluaron 3 factores clasificados como se muestra en la Figura 4.12.

Los factores de la figura 4.12 están basados en las prácticas y experiencias de los estados de Ohio y Colorado pertenecientes al país de EU, así como también de las experiencias de otros países como Hong-Kong.

El peligro potencial de cada corte es presentado utilizando una composición de puntuaciones numéricas propuesta para los diferentes factores. El sistema de puntuación es validado utilizando la técnica de análisis de conglomerados y una serie de inferencias estadísticas aplicadas al tramo piloto.

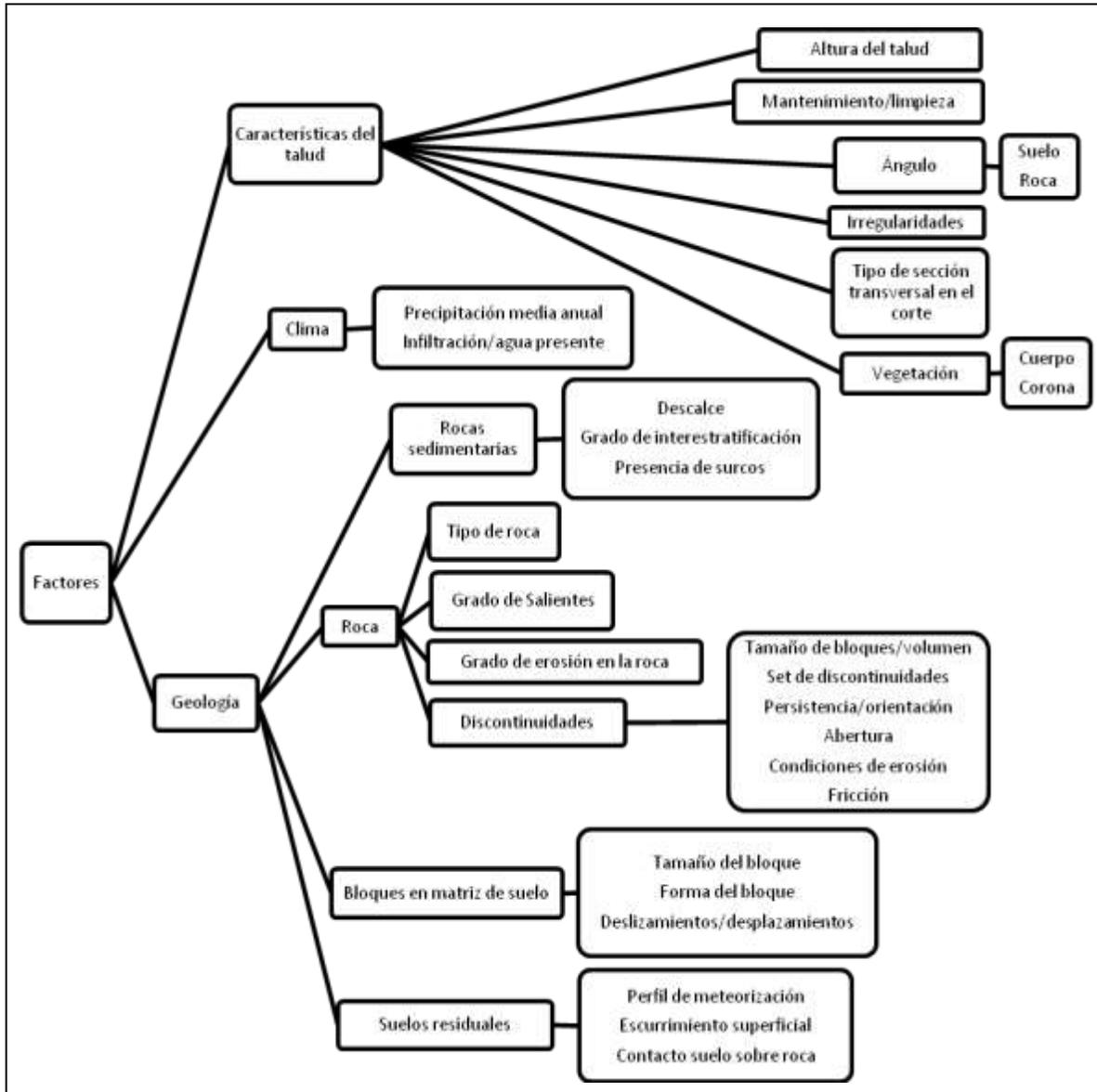


Figura 4.12 Factores de riesgo para el cálculo del IGE_{cc}

4.4.1 Análisis de datos Multivariantes

El análisis multivariante permite la observación, análisis e interpretación del comportamiento de múltiples variables de interés, asociadas a un mismo individuo. El análisis de datos multivariantes tiene por objeto el estudio estadístico de diversas variables medidas en elementos de una población y pretende los siguientes objetivos:

1. Resumir el conjunto de variables en unas pocas nuevas variables, construidas como transformaciones de las originales, con la mínima pérdida de información.
2. Encontrar grupos en los datos si existen.
3. Clasificar nuevas observaciones en grupos definidos.

4.4.1.1 Análisis de conglomerados (análisis cluster)

La heterogeneidad de una población constituye la materia prima del análisis cuantitativo, sin embargo, en ocasiones, el individuo u objeto particular aislado, resulta un "recipiente" de heterogeneidad demasiado pequeño, la unidad de observación es demasiado reducida con relación al objetivo del análisis. En estos casos, se trata entonces de agrupar a los sujetos originales en grupos, centrando el análisis en esos grupos, y no en cada uno de los individuos. Si existe una "taxonomía" ya diseñada que resulte útil, ajustada al objetivo de análisis, se recurre a ella, pero si no es así, se deberá generar una nueva "agrupación" que responda bien a las dimensiones de nuestro análisis.

El análisis de conglomerados (análisis cluster, taxonomía numérica o procedimientos de clasificación) es una técnica de la estadística descriptiva utilizado para una amplia variedad de procedimientos con un objetivo común: la formación de clases de sujetos o de variables similares, es decir que permite investigar la presencia de subestructuras o grupos (clusters) que ayuden a un mejor conocimiento de los datos. Es una técnica exploratoria puesto que la mayor parte de las veces no utiliza ningún tipo de modelo estadístico para llevar a cabo el proceso de clasificación. Conviene estar siempre alerta ante el peligro de obtener como resultado del análisis, no una clasificación de los datos sino una disección de los mismos en distintos grupos que sólo existen en la memoria del computador. El conocimiento que el analista tenga acerca del problema decidirá cuáles de los grupos obtenidos son significativos y cuáles no.

El análisis de conglomerados será aplicado a nuestra metodología para clasificar y simplificar las características de los cortes carreteros evaluados en el tramo piloto, así como para obtener grupos de inestabilidad de forma que, por un lado, las puntuaciones de los cortes pertenecientes a un mismo grupo sean muy semejantes entre sí y, por el otro, los cortes pertenecientes a grupos diferentes tengan un comportamiento distinto con respecto a las variables analizadas.

4.4.1.1.1 Análisis jerárquico de conglomerados

El método de clasificación utilizado en el sistema de evaluación de peligro es de tipo jerárquico. Los métodos jerárquicos parten del cálculo una matriz de distancias o similitudes entre los elementos de la muestra (puntuaciones dicotómicas de los factores de riesgo de los cortes) y construyen una jerarquía

basada en una distancia. Esa matriz contiene las distancias existentes entre cada elemento y todos los restantes de la muestra. A continuación se buscan los dos elementos más similares en términos de distancia y se agrupan en un conglomerado. El conglomerado resultante es indivisible a partir de ese momento, de ahí el nombre de jerárquico asignado al procedimiento. De esta manera se van agrupando los elementos en conglomerados cada vez más grandes, hasta llegar al último paso, en el que todos los elementos muestrales quedan agrupados en un único conglomerado global. El análisis jerárquico puede ser de la siguiente manera:

1. Aglomerativo. Comienza con n conglomerados de un objeto cada uno. En cada paso del algoritmo se recalculan las distancias entre los grupos existentes y se unen los 2 grupos más similares o menos disimilares. El algoritmo acaba con 1 conglomerado conteniendo todos los elementos (Figura 4.13).
2. Divisivo. Comienza con 1 conglomerado que engloba a todos los elementos. En cada paso del algoritmo se divide el grupo más heterogéneo. El algoritmo acaba con n conglomerados (grupos o clusters) de un elemento cada uno (Figura 4.13)

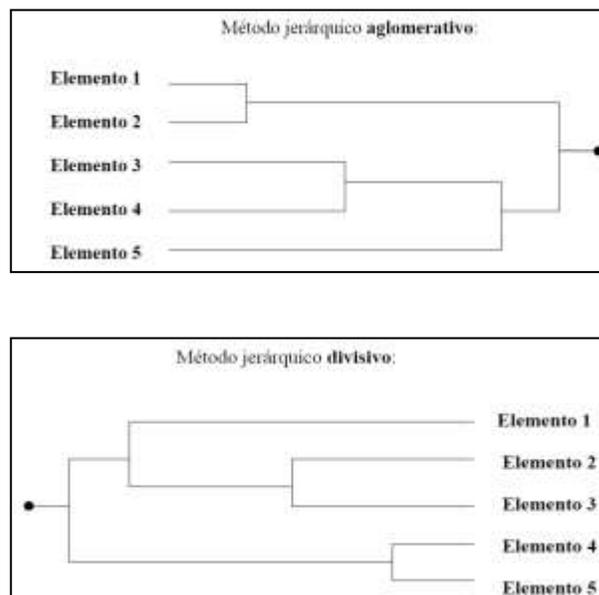


Figura 4.13 Métodos jerárquicos. Arriba aglomerativo, abajo divisivo

4.4.1.1.1 Construcción de la matriz binaria

Debido a que los factores involucrados en la evaluación de los cortes carreteros contienen una gran variedad de escalas y unidades es necesario utilizar una matriz binaria en la metodología del análisis de conglomerados. Para poder hacer uso de una matriz binaria, se deben de convertir a las puntuaciones registradas en situaciones dicotómicas, es decir conferirles características especiales para una mejor y más fácil evaluación (Figura 4.14).

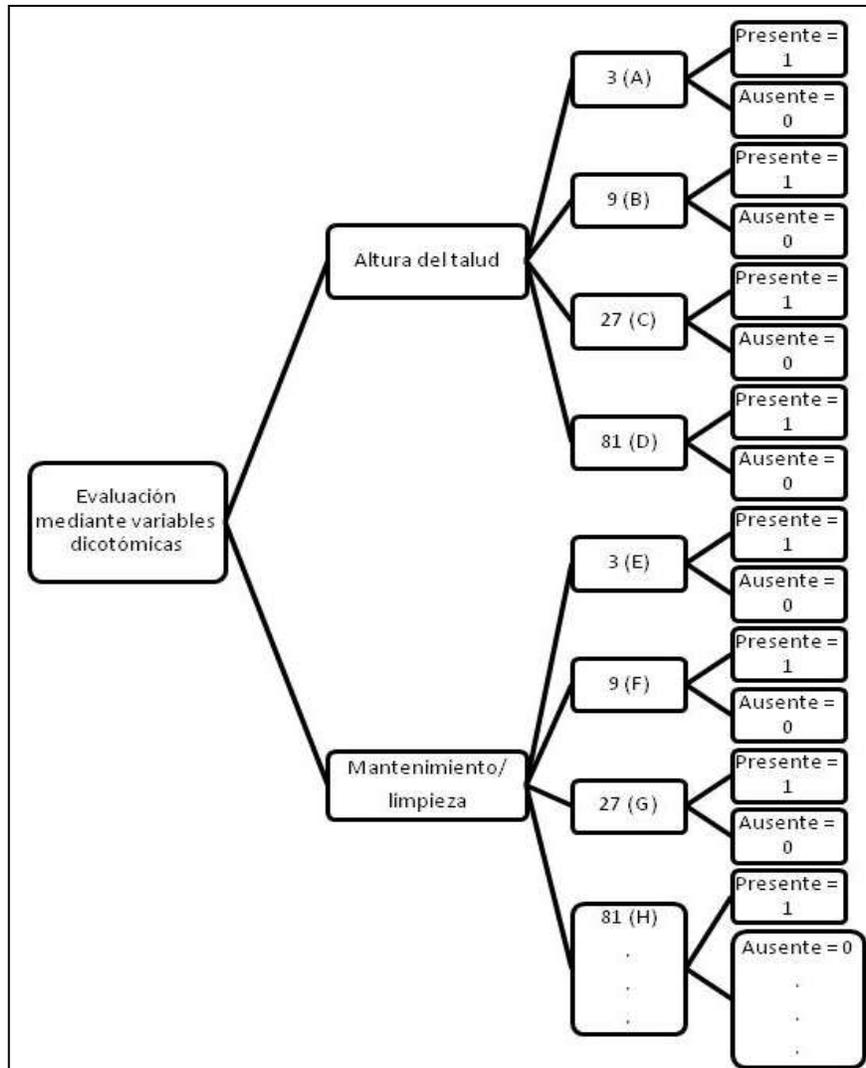


Figura 4.14 Diagrama de árbol que muestra la forma obtener las variables dicotómicas. Ejemplo: altura y mantenimiento.

Las situaciones dicotómicas solo tienen dos modalidades posibles, en las que ni siquiera tiene sentido plantearse si son o no ordinales; en general cualquier situación que sólo admita una respuesta “sí o no”. Si un parámetro cae dentro de un criterio especificado, una puntuación numérica de uno es otorgada, en caso

contrario se le adjudicaría un cero. Para el sistema de evaluación planteado en esta investigación será entonces el número 1 la afirmación de que un cierto puntaje (3, 9, 27 y 81) es dado los factores de riesgo (Tabla 4.4).

Kilometraje	Corte No	CARACTERÍSTICAS DEL TALUD...																				HASTA COMPLETAR TODOS LOS FACTORES												
		Altura				Mant/limp				Angulo				Irregularidad				Tipo de corte					Captación				Vegetación...							
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T		U	V	W	X	Cuerpo				Corona...			
172+000 B	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
172+450 A	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
172+450 B	3	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
173+400 A	4	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
173+400 B	5	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
174+600 A	6	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	
176+200 A	7	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
176+300 A	8	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
176+300 B	9	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
177+700 A	10	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	
189+800 A	11	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	
.	.	HASTA COMPLETAR LOS 40 CORTES																																
40	Cortes																																	

Presencia-Presencia	Yellow
Presencia-Ausencia	Red
Ausencia-Presencia	Green
Ausencia-Ausencia	Blue

Tabla 4.4 Matriz binaria

4.4.1.1.2 Distancias y similitudes

Para determinar la similitud entre los diferentes cortes, se utiliza el método de distancia Euclídea usando una tabla de contingencia de 2 x 2 elaborada para cada par de sujetos (Tabla 4.5). La distancia Euclídea es un índice que representaremos por d_{ij} :

$$d_{ij} = \sqrt{b + c} = \sqrt{\text{desacuerdos}}$$

Donde:

- “a”: Es la frecuencia de acuerdos en el valor 1 para el conjunto de variables (1-1).
- “d”: Es la frecuencia de acuerdos en el valor 0 para el conjunto de variables (0-0).
- “b”: es la frecuencia de desacuerdos en las variables en las que el sujeto i tiene un 1 y el sujeto j tiene un 0 (1-0).
- “c”: es la frecuencia de desacuerdos en las variables en las que el sujeto i tiene un 0 y el sujeto j tiene un 1 (0-1).

i/j	1	0
1	a	b
0	c	d

Tabla 4.5 Tabla de contingencia

Una de las cuestiones importantes en el proceso de obtención de los tres grupos de inestabilidad, es definir la matriz de frecuencias (Tabla 4.6) para el cálculo de la matriz de distancias (Tabla 4.7), mediante la manipulación de la matriz binaria y uso adecuado de la tabla de contingencia.

i/j	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	
	1 0	1 0	1 0	1 0	
Corte 1	1 0	a b c d			
Corte 2	1 0	6 5 5 28	0		
Corte 3	1 0	5 6 6 27	9 2 2 31	0	
Corte 4	1 0	6 5 5 28	7 4 4 29	7 4 4 29	0
Corte 5	1 0	6 5 5 28	7 4 4 29	7 4 4 29	11 0 0 33

Tabla 4.6 Ejemplo. Matriz de frecuencias para los primeros 5 cortes evaluados.

	C1	C2	C3	C4
C1	0	3.162	3.464	3.162
C2	$(5+5)^{1/2} = 3.162$	0	2	2.828
C3	$(6+6)^{1/2} = 3.464$	$(2+2)^{1/2} = 2$	0	2.828
C4	$(5+5)^{1/2} = 3.162$	$(4+4)^{1/2} = 2.828$	$(4+4)^{1/2} = 2.828$	0
C5	$(5+5)^{1/2} = 3.162$	$(4+4)^{1/2} = 2.828$	$(4+4)^{1/2} = 2.828$	$(0+0)^{1/2} = 0$

Tabla 4.7 Ejemplo. Cálculo de la matriz de distancias (distancia Euclídea) para los primeros 5 cortes evaluados.

4.4.1.1.1.3 Método de conglomeración

El análisis de conglomerados jerárquico siempre evoluciona paso a paso, uniendo en cada paso los dos elementos de la matriz de distancias que se encuentran más próximos entre sí. En cada paso se unen dos elementos o grupos de elementos. Una vez calculada la matriz de distancias (tabla 4.8) los dos elementos más próximos (los más similares o menos distantes) son fusionados en un mismo conglomerado. Estos dos casos que constituyen el primer conglomerado (en este momento son solo dos casos por tratarse del primer paso del procedimiento) constituyen una que, como tal, posee su propia distancia respecto al resto de los elementos de la matriz de distancias. La matriz inicial de los $n \times n$ sujetos cambia (pues dos de sus filas y dos de sus columnas, han sido unidas en una) transformándose en una matriz $(n-1) \times (n-1)$. Tras recalcular las distancias, en la siguiente etapa del análisis se vuelven a seleccionar los dos elementos de la matriz más próximos entre sí y son fusionados en nuevo conglomerado. Los dos elementos unidos en esta segunda etapa pueden ser dos casos individuales o un caso individual y el conglomerado ya formado en la primera etapa. En este momento, la matriz de distancias de dimensiones $(n-1) \times (n-1)$ se transforma en una matriz de distancias de dimensiones $(n-2) \times (n-2)$, lo que exige volver a calcular las distancias del nuevo conglomerado respecto al resto de elementos de la matriz, el proceso continua paso a paso hasta que, finalmente, se consigue unir en un único conglomerado a todos los elementos de la matriz de distancias. En este punto termina el análisis. Para esto, los métodos de conglomeración son los procedimientos mediante los cuales es posible volver a calcular las distancias entre los nuevos elementos en cada etapa del proceso de conglomeración.

Como es de esperarse, en todo este proceso de agrupación, no existe una solución única, sino tantas como pasos existan. La decisión sobre qué solución se considera más satisfactoria puede tomarse en cualquier etapa del proceso, pero lo más lógico y habitual es postergar esta decisión hasta el momento en que el análisis ha concluido.

Conviene señalar que el método de conglomeración utilizado para recalcular las distancias en cada etapa del proceso de conglomeración puede determinar de manera sustantiva la calidad de la solución alcanzada. La idoneidad y eficacia del método de conglomeración seleccionado dependerá en gran medida de la estructura de los datos y de la forma multivariante de los datos. Existen varios métodos de conglomeración entre grupos, de los cuales, los más usuales son los siguientes: método de vinculación por el vecino más próximo, método de vinculación por el vecino más lejano, método de vinculación inter-grupo o de vinculación promedio, método de Ward, método de agrupación de centroides y método de agrupación de medianas. Para esta investigación, se realizó una serie de ejercicios mediante el programa SPSS Statistics 17.0 para determinar cuál de ellas es la que conviene mejor para la clasificación de los grupos de inestabilidad; resultando ser el método más acorde el de la vinculación inter-grupos, pues presenta la ventaja sobre los otros métodos de aprovechar la información de todos los miembros de los conglomerados que se comparan. La distancia entre dos

conglomerados se calcula como la distancia promedio existente entre todos los pares de elementos de ambos conglomerados:

$$d_{AB} = \frac{1}{n_A n_B} \sum_{i \in A} \sum_{j \in B} d_{ij}$$

El proceso de conglomeración queda representado paso a paso, mediante un historial de conglomeración (Tabla 4.9), el cual es obtenido mediante SPSS Statistics 17.0.

Como la muestra analizada tiene 40 casos, en la tabla del historial de conglomeración solo se realizan 39 etapas de unión. La columna *conglomerado que se combina* informa sobre los casos unidos en cada etapa. En la primera etapa se han fundido los cortes 4 y 5. Como el análisis se inicia con todos los casos separados en conglomerados individuales, la primera etapa se refiere a casos (los cortes carreteros) individuales. A partir de ese momento, estos dos casos constituyen el conglomerado “4” y son indivisibles en las etapas posteriores.

Como la muestra analizada tiene 40 casos, en la tabla del historial de conglomeración solo se realizan 39 etapas de unión. La columna *conglomerado que se combina* informa sobre los casos unidos en cada etapa. En la primera etapa se han fundido los cortes 4 y 5. Como el análisis se inicia con todos los casos separados en conglomerados individuales, la primera etapa se refiere a casos (los cortes carreteros) individuales. A partir de ese momento, estos dos casos constituyen el conglomerado “4” y son indivisibles en las etapas posteriores.

La columna *coeficientes* ofrece el valor de la distancia a la que se encuentran los casos antes de la unión. En la primera etapa, la distancia de unión entre los casos 4 y 5 vale cero, lo que significa que se trata de casos con idénticas puntuaciones. Es en esta columna en donde se encuentra aplicado el método elegido para calcular la distancia existente entre todos los pares de elementos de ambos conglomerados. Por ejemplo en la etapa 5 de la tabla 4.9 la distancia que se pretende calcular es entre el conglomerado 4-5 y el caso individual 34, por lo que se procede a realizar el promedio siguiente:

$$d_{(4-5) (34)} = 1/2 [d_{4,34} + d_{5,34}]$$

De la matriz de distancias (Tabla 4.8) obtenemos los valores para la distancia de “4,34” y la distancia de “5,34”; resultando el siguiente coeficiente:

$$d_{(4-5) (34)} = 1/2 [d_{4,34} + d_{5,34}] = 1/2[2.00 + 2.00] = 2.00$$

Caso	Distancia Euclídea																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.000	3.162	3.464	3.162	3.162	2.828	3.162	3.464	2.828	2.449	3.464	3.742	4.000	3.464	3.162	4.000	4.000	3.162	3.162	3.742
2	3.162	0.000	2.000	2.828	2.828	2.828	2.449	3.464	3.464	2.828	3.162	3.742	4.000	3.742	3.162	4.000	4.000	3.162	3.162	3.742
3	3.464	2.000	0.000	2.828	2.828	3.464	3.162	3.464	3.742	3.464	3.162	3.742	4.000	4.000	3.742	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
4	3.162	2.828	2.828	0.000	0.000	3.162	2.828	2.449	3.162	3.742	3.162	4.000	4.000	3.742	3.162	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
5	3.162	2.828	3.464	0.000	0.000	3.162	2.449	2.828	3.464	2.000	2.449	2.449	3.464	3.162	4.000	4.000	4.000	3.162	3.162	3.742
6	2.828	2.828	3.464	3.162	2.828	0.000	2.449	3.464	2.828	4.000	2.449	3.742	4.000	3.162	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
7	3.162	2.449	3.162	2.828	2.828	2.449	0.000	2.828	2.828	3.162	2.449	3.464	3.464	3.162	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
8	3.464	3.464	3.464	2.449	2.449	3.464	2.828	0.000	2.000	4.000	3.464	3.464	3.162	3.162	4.000	4.000	4.000	3.162	3.162	3.742
9	2.828	3.464	3.742	3.162	3.162	3.464	2.828	4.000	0.000	3.464	3.162	2.828	3.162	3.162	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
10	2.449	2.828	3.464	3.742	3.742	2.000	3.162	3.464	3.464	0.000	3.162	3.162	3.162	3.162	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
11	3.464	3.162	3.162	3.162	3.162	2.449	3.162	3.464	3.464	3.162	3.162	3.162	3.162	3.162	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
12	3.464	2.449	3.162	2.828	2.828	2.449	3.162	3.162	3.162	3.162	2.449	3.162	3.162	3.162	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
13	3.742	3.742	3.742	4.000	4.000	3.742	3.464	2.828	2.828	3.464	3.162	3.162	3.162	2.828	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
14	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	3.742	3.742	3.742	3.742	2.828	2.828	2.828	2.828	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
15	3.464	3.742	3.742	3.742	3.742	3.162	4.000	4.000	3.742	3.162	3.162	3.162	3.162	3.162	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
16	3.464	3.162	3.162	3.464	3.464	4.000	4.000	3.742	3.742	3.742	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
17	4.000	4.000	4.000	3.742	3.742	4.000	4.000	3.742	3.162	3.742	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
18	4.000	3.162	3.464	3.464	3.464	3.162	2.828	2.828	3.464	3.162	3.162	3.162	3.162	3.162	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
19	3.162	3.162	3.162	2.828	2.828	3.464	2.449	3.162	3.162	3.464	3.742	3.742	3.742	3.742	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
20	3.742	3.742	3.742	3.742	3.742	3.742	3.464	3.464	3.162	3.464	3.464	3.464	3.464	3.162	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
21	3.464	4.000	4.000	3.742	3.742	4.000	3.742	2.828	2.828	3.742	3.742	3.742	3.742	3.742	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
22	3.162	3.464	3.464	3.464	3.464	3.162	4.000	3.742	3.464	3.742	3.742	3.742	3.742	3.742	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
23	3.464	3.464	4.000	4.000	4.000	4.000	3.742	3.742	3.742	3.742	3.742	3.742	3.742	3.742	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
24	3.464	4.000	3.742	3.742	3.742	3.464	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
25	3.464	3.742	3.464	3.464	3.464	3.464	3.742	4.000	4.243	4.243	3.742	4.243	4.243	4.243	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
26	4.000	3.464	3.464	3.464	3.464	3.162	2.828	2.449	2.828	3.742	2.000	2.828	2.449	2.828	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
27	4.000	3.162	3.464	2.828	2.828	3.162	2.449	3.162	3.742	2.449	2.449	2.449	3.162	2.828	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
28	4.243	3.464	3.464	3.464	3.464	3.742	3.162	3.464	3.742	4.000	3.162	2.828	2.449	3.464	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
29	4.000	3.464	3.464	4.000	4.000	3.742	3.742	3.742	3.742	3.742	3.162	3.162	3.162	3.742	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
30	3.464	3.162	2.449	3.742	3.742	3.742	4.000	3.742	3.742	3.464	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
31	3.162	3.162	3.162	2.828	2.828	2.828	3.464	2.828	2.828	3.464	3.464	3.742	3.742	3.742	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
32	3.464	2.449	3.162	3.742	3.742	3.742	3.464	4.000	4.000	2.449	3.162	3.162	3.162	3.162	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
33	3.464	3.162	2.449	3.162	3.162	3.162	3.742	3.742	3.742	4.000	2.828	3.162	3.162	3.162	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
34	2.828	3.162	3.162	2.000	2.000	2.000	2.828	2.828	2.828	3.162	3.162	3.162	3.162	3.162	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
35	3.464	2.828	2.449	2.828	2.828	3.464	3.464	3.162	3.162	3.464	3.162	3.162	3.162	3.162	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
36	3.162	3.464	3.742	3.162	3.162	2.828	2.449	2.449	2.449	3.464	3.162	3.162	3.162	3.162	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
37	4.000	3.742	3.464	3.742	3.742	3.742	3.464	3.742	4.000	3.464	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
38	3.464	3.464	3.464	3.742	3.742	2.828	2.828	3.162	3.464	3.162	3.162	2.828	2.828	2.828	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
39	3.162	2.000	2.828	3.162	3.162	2.828	2.828	2.828	2.828	2.828	2.828	2.449	2.828	2.828	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742
40	3.464	2.449	3.162	3.464	3.464	3.162	2.449	2.449	2.449	3.162	3.162	2.828	3.464	3.464	4.000	4.000	4.000	3.464	3.464	3.742

Tabla 4.8. Matriz de distancias (Distancia Euclídea). Resultado de SPSS Statistics 17.0

Etapa	Conglomerado que se combina		Coeficientes	Etapa en la que el conglomerado aparece por primera vez		Próxima etapa
	Conglomerado 1	Conglomerado 2		Conglomerado 1	Conglomerado 2	
1	4	5	.000	0	0	5
2	39	40	1.414	0	0	10
3	24	25	1.414	0	0	11
4	13	20	1.414	0	0	18
5	4	34	2.000	1	0	32
6	26	27	2.000	0	0	12
7	6	10	2.000	0	0	14
8	8	9	2.000	0	0	22
9	2	3	2.000	0	0	20
10	35	39	2.225	0	2	20
11	24	37	2.225	3	0	24
12	11	26	2.225	0	6	19
13	7	36	2.449	0	0	22
14	6	32	2.449	7	0	29
15	19	31	2.449	0	0	21
16	23	29	2.449	0	0	26
17	14	21	2.449	0	0	23
18	13	15	2.449	4	0	23
19	11	12	2.576	12	0	28
20	2	35	2.620	9	10	31
21	18	19	2.639	0	15	30
22	7	8	2.639	13	8	28
23	13	14	2.758	18	17	36
24	17	24	2.813	0	11	39
25	30	33	2.828	0	0	35
26	23	28	2.828	16	0	36
27	16	22	2.828	0	0	35
28	7	11	2.896	22	19	31
29	1	6	2.914	0	14	34
30	18	38	2.940	21	0	33
31	2	7	3.050	20	28	32
32	2	4	3.082	31	5	33
33	2	18	3.137	32	30	34
34	1	2	3.306	29	33	37
35	16	30	3.307	27	25	37
36	13	23	3.341	23	26	38
37	1	16	3.491	34	35	38
38	1	13	3.561	37	36	39
39	1	17	3.700	38	24	0

Tabla 4.9. Historial de conglomeración para los cortes analizados del tramo piloto.

La columna *etapa en la que el conglomerado aparece por primera vez* muestra la etapa en la que se han formado los conglomerados que se están fundiendo en cada momento. El valor cero indica que el conglomerado correspondiente es un caso individual. Un valor mayor que cero indica el número de etapa en la que se formó el conglomerado. En la etapa 2 se unen el elemento 39 y el 40. Inspeccionando las columnas correspondientes a la primera aparición de estos elementos encontramos un 0 y 0, lo que significa que ninguno de los dos elementos había aparecido con anterioridad. Pero en cambio, si observamos la columna 5 se puede encontrar un 1 y un 0, lo que significa que el elemento 4 ya apareció en la etapa 1 y es un conglomerado (el 4-5), y que el elemento 34 es un caso individual.

La columna *próxima etapa* indica la etapa en la que el conglomerado que se acaba de formar volverá a unirse con otros elementos. En el caso del conglomerado 4-5-34 que se ha formado en la etapa 5, vuelve a unirse con otros en la etapa 32.

4.4.1.1.4 Dendrograma

Un dendrograma es un tipo de [representación gráfica](#) o [diagrama](#) de datos en forma de ramas de un árbol que se van dividiendo en otras sucesivamente (Dendro=árbol). Este tipo de representación permite apreciar claramente las relaciones de agrupación entre los datos e incluso entre grupos de ellos aunque no las relaciones de similitud entre categorías. Observando las sucesivas subdivisiones se puede decidir sobre los criterios de agrupación de los mismos, la distancia entre los datos según las relaciones establecidas, etc. La separación entre las etapas de unión es proporcional a la distancia a la que se están uniendo los elementos en esa etapa (en una escala estandarizada de 25 puntos), por lo que uniones de elementos muy próximos pueden no ser apreciables y confundirse bajo un único trazo. Este gráfico es de vital importancia en esta metodología, pues es quien ayuda a elegir los tres grupos de inestabilidad (figura 4.15).

De acuerdo con la 4.8 sabemos que la mayor distancia entre conglomerados vale 3.70 (entre el conglomerado 1 y 17) y la menor 0.00 (entre el corte 4 y 5); pues bien, puesto que las distancias representadas en el dendrograma están reescaladas, a la distancia mayor (3.70) le corresponde un valor de 25 y la menor (0.00) un valor de 1. No obstante el dendrograma suele asignar también una distancia de 1 a las uniones de las primeras etapas (pues en ellas las distancias suelen ser demasiado pequeñas, en comparación con las distancias de las etapas finales), lo cual impide averiguar el orden en el que se han producido las primeras uniones (para ello hay que recurrir al historial de conglomeración).

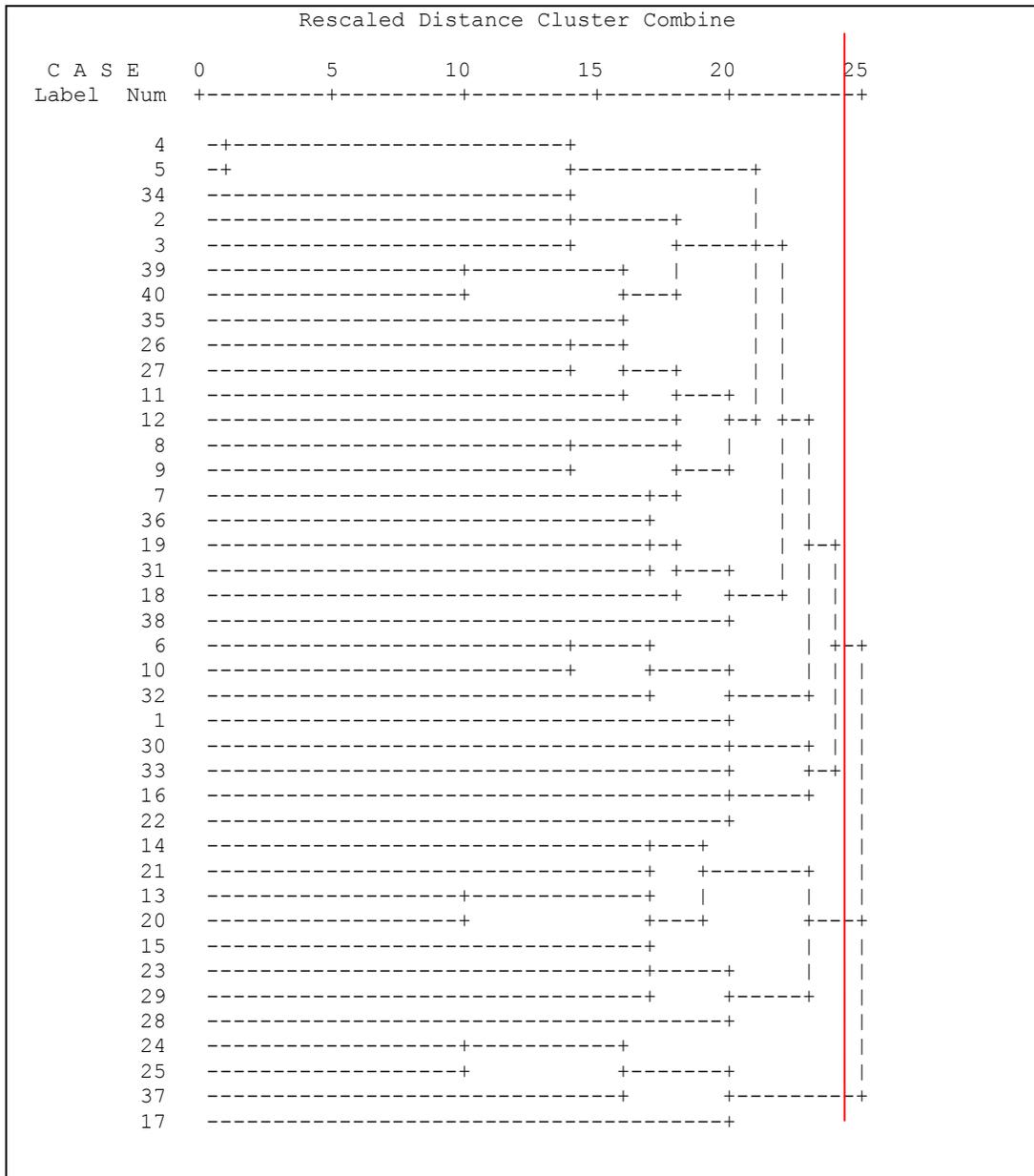


Figura 4.15 Dendrograma perteneciente a los 40 cortes analizados del tramo piloto. Obtenido mediante SPSS Statistics 17.0

De acuerdo al dendrograma de la figura 4.15 se establecen los tres conglomerados que representaran a nuestros grupos de inestabilidad. Cortando el dendrograma a una distancia reescalada de aproximadamente 24 unidades parece razonable adoptar una solución de tres conglomerados (tabla 4.10).

Kilometraje	Corte No	Altura	Mant./Imp	Angulo	Irreg.	Tipo de corte	Captación	Vegetación		Clima		Geología	IGF _{cc}	Inestab.
								Cuerpo	Corona	Precip.	Infit.			
203+1100 A	17	27	9	9	27	3	27	27	27	27	81	291	BAJA	
257+700 B	24	27	3	9	9	3	27	27	27	27	73	241		
257+700 A	25	9	3	9	9	3	27	27	27	27	75	225		
426+500 B	37	9	9	9	9	3	27	27	27	27	61	235		
172+000 B	1	3	3	81	27	3	9	81	81	81	33	429		
172+450 A	2	9	9	27	81	3	9	81	81	81	15	423		
172+450 B	3	9	9	27	9	3	9	81	81	81	15	279		
173+400 A	4	9	27	27	27	3	9	81	81	27	9	327		
173+400 B	5	9	27	27	27	3	9	81	81	27	9	327		
174+600 A	6	3	27	27	81	3	9	81	27	27	45	411		
176+200 A	7	9	27	27	81	3	27	81	81	81	39	483		
176+300 A	8	27	27	27	27	3	27	81	81	27	111	465		
176+300 B	9	27	27	81	27	3	27	81	81	81	93	555		
177+700 A	10	3	9	81	81	3	9	81	27	27	63	465		
189+800 A	11	3	27	27	81	3	9	81	27	27	165	441		
190+200 A	12	9	27	27	81	3	9	81	27	27	165	513		
203+1100 B	16	81	9	9	27	3	9	81	3	81	19	295		
232+800 A	18	81	9	27	81	3	27	81	27	27	103	493		
232+800 B	19	81	9	27	27	3	27	81	81	27	81	471		
249+000 A	22	3	9	9	27	3	9	81	27	27	89	287		
261+000 B	26	27	27	27	81	3	27	81	9	27	199	517		
280+500 B	30	9	27	27	81	3	27	81	9	27	127	445		
282+800 A	31	27	9	27	9	3	9	81	27	27	15	309		
295+600 A	32	3	9	27	81	3	9	27	27	27	9	189		
295+600 B	33	3	9	27	9	3	9	81	27	27	43	343		
303+800 A	34	9	27	9	27	3	9	81	81	27	95	395		
303+800 B	35	27	27	27	9	3	9	81	81	27	31	367		
375+020 A	36	27	27	27	27	3	27	81	9	27	47	359		
446+900 A	38	27	3	27	81	3	27	81	27	27	91	517		
448+500 A	39	27	9	27	81	3	9	81	81	81	97	541		
448+500 B	40	27	9	27	81	3	27	81	81	27	135	555		
194+200 A-B	13	27	81	81	81	3	27	81	3	27	171	525		
196+280 A	14	81	27	81	81	3	27	81	9	27	63	483		
197+200 A	15	81	27	81	81	3	27	81	9	27	9	429		
241+000 B	20	27	81	81	81	3	27	81	9	27	121	547		
249+000 B	21	81	81	81	27	3	27	81	9	27	111	513		
254+000 B	23	3	81	9	81	27	9	81	81	27	117	489		
262+000 B	28	9	81	27	81	27	27	81	9	27	117	399		
273+100 A	29	27	9	9	81	27	9	81	9	27	117	399		

Tabla 4.10. Grupos de inestabilidad formados a partir del análisis de conglomerados y revisión del dendrograma obtenido.

Para poder proponer los rangos de puntuaciones para cada uno de los grupos formados, se obtuvo la media de cada uno de ellos (tabla 4.11), resultando:

- Grupo 1, Baja inestabilidad: Media = 248 puntos
- Grupo 2, Media Inestabilidad: Media = 399.9 puntos
- Grupo 3, Alta inestabilidad: Media = 492.5 puntos

Variable	Inestabilidad	Total						
		Count	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Maximum	
Puntuación	Alta	8	492.5	19.5	55.1	399.0	555.0	
	Baja	4	248.0	14.7	29.4	225.0	291.0	
	Media	28	399.9	18.5	97.8	189.0	555.0	
Totales		40	403.3	16.8	106.5	189.0	555.0	

Tabla 4.11. Valores de la media de cada grupo obtenidas mediante el software MINITAB

Por lo tanto, podemos deducir que los cortes que posteriormente se evalúen tendrán la clasificación de baja inestabilidad, media inestabilidad y alta inestabilidad, de acuerdo a los siguientes criterios de puntuaciones (IGE_{CC}):

- Baja inestabilidad: $IGE_{CC} < 250$
- Media Inestabilidad: $250 \leq IGE_{CC} < 400$
- Alta inestabilidad: $IGE_{CC} \geq 400$

4.4.2 Validación estadística

Es de importancia poder garantizar el uso de un buen sistema de gestión de riesgo en los cortes carreteros. Los rangos de puntuación que se le ha otorgado al IGE_{CC} deben de ser representativos de cada grupo de inestabilidad, por lo tanto, cada uno de los tres conglomerados que se obtuvieron, así como en conjunto, deben de mostrar una distribución normal pero también diferencias entre uno y otro. Esto se verifica mediante las técnicas deductivas de la estadística.

4.4.2.1 Exploración de datos gráficamente

Como primera prueba de normalidad se crean diferentes gráficas e histogramas mediante el software MINITAB, que ayudan a comprobar la validez del sistema de evaluación exhibiendo la existencia de una distribución normal de todos los cortes evaluados en cada conglomerado, así como también, para todos los cortes unidos en un solo conglomerado.

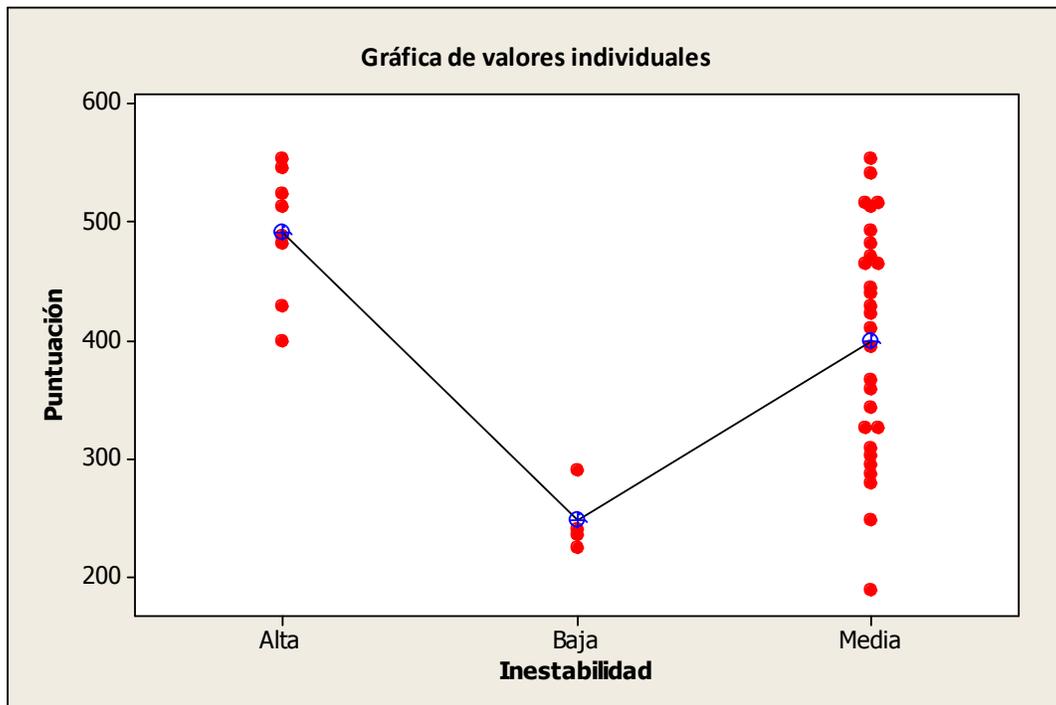
Grafica de valores individuales. Mediante esta gráfica se comprueba que la puntuación promedio entre cada grupo que se ha formado, difiere una de otra, por

lo que se deduce que en efecto, los grupos formados tienden a ser diferentes (gráfica 4.4)

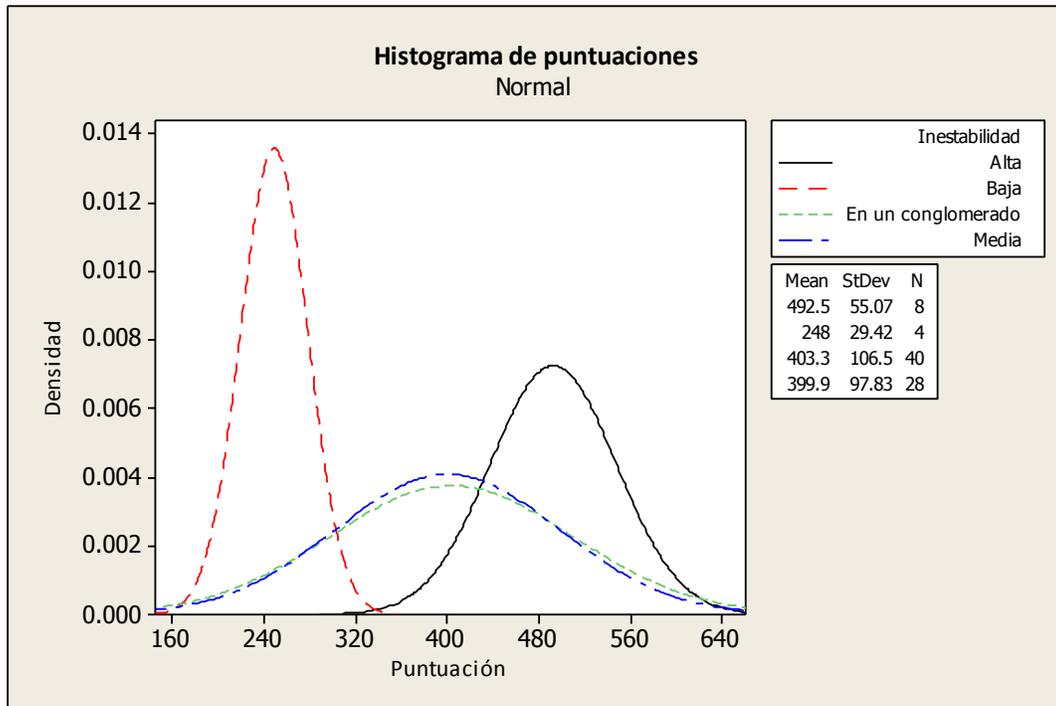
Histograma agrupado. Se utiliza para mostrar la cantidad de superposición entre las puntuaciones de cada corte evaluado, como lo muestra la gráfica 4.5 Se puede observar que las superposiciones están delimitando los rangos para definir el IGE_{CC} , y que se encuentran dentro de lo que ya habíamos establecido.

Histograma en paneles. Utilizado para poder observar gráficamente la normalidad de los tres grupos de cortes obtenidos y compararla con la normalidad de todos los cortes unidos en un solo conglomerado. En la gráfica 4.6 se puede visualizar que las puntuaciones de cada grupo en la evaluación del tramo piloto, se distribuyen casi normalmente, exhibiendo curvas de distribución con el mismo patrón de normalidad.

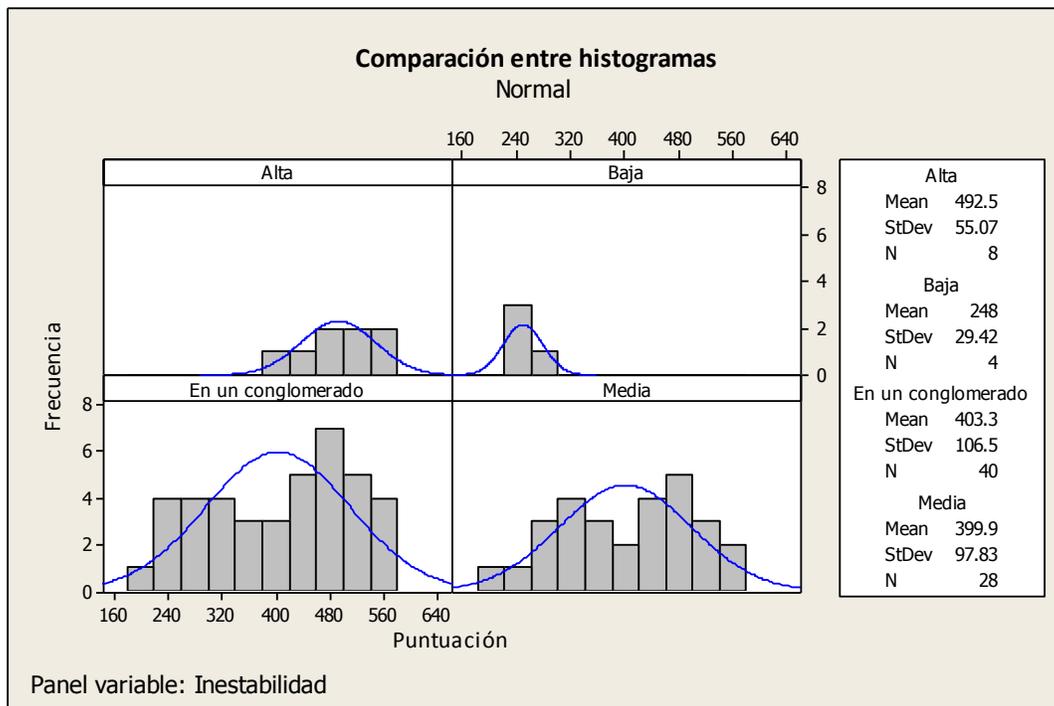
Gráfica de probabilidad normal. Debido a la cantidad de datos que se tienen se opta por obtener una grafica de probabilidad normal (gráfica 4.7) y así contar con otra herramienta más, que nos muestre la posible distribución normal de los datos. Para los 40 cortes evaluados, los puntos de cada grupo (alta inestabilidad, media inestabilidad, baja inestabilidad y totales) se observan dentro del intervalo de confianza, lo que indica una distribución normal.



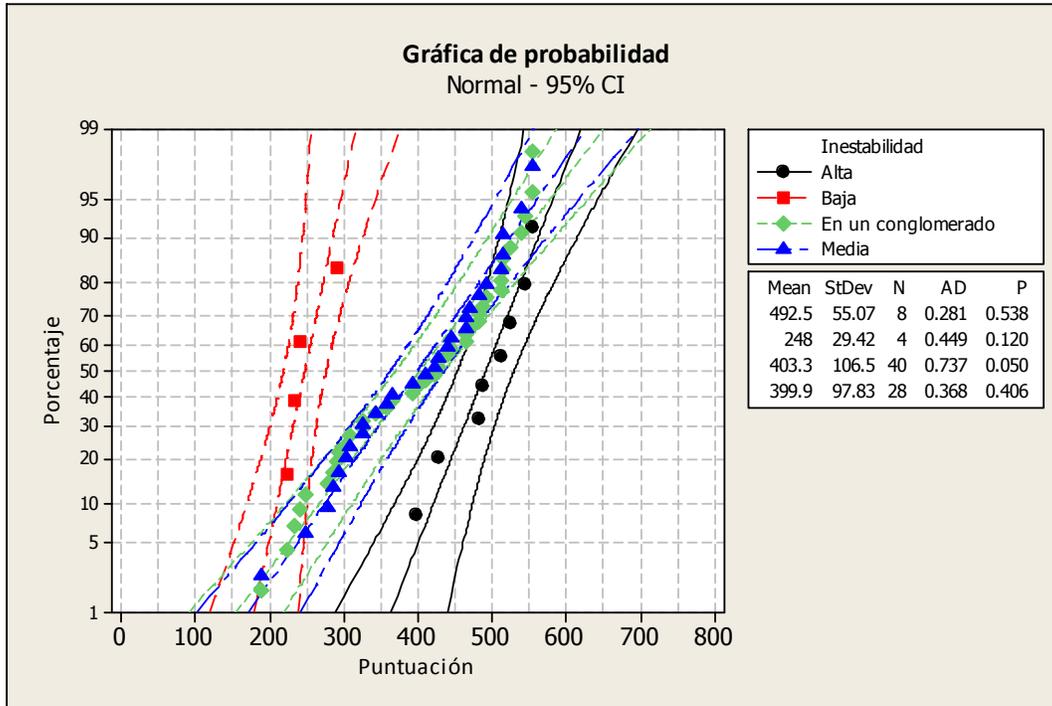
Gráfica 4.4. Valores individuales de cada grupo obtenidos mediante el software MINITAB



Gráfica 4.5. Histograma agrupado obtenido mediante el software MINITAB



Gráfica 4.6. Gráfica de probabilidad normal obtenido mediante el software MINITAB



Gráfica 4.7. Histograma en paneles obtenido mediante el software MINITAB

4.4.2.2 Prueba de normalidad mediante el método de Kolmogorov-Smirnov

Para comprobar lo que gráficamente ya se había observado, es necesario realizar pruebas de normalidad a los tres grupos obtenidos, así como en conjunto; la más utilizada es la llamada de Kolmogorov-Smirnov. Dicha prueba se basa en la idea de comparar la función de la distribución acumulada de los datos observados con la de una distribución normal, midiendo la máxima distancia entre ambas curvas.

Como en cualquier prueba de hipótesis, Kolmogorov-Smirnov también trabaja con una hipótesis nula y una hipótesis alternativa. La hipótesis nula se rechaza cuando el valor del estadístico supera un cierto valor crítico que se obtiene de una tabla de probabilidad. En el paquete estadístico MINITAB aparece programado dicho procedimiento, y proporciona tanto el valor “Kolmogorov-Smirnov” como el p-valor correspondiente.

En este estudio, se utiliza un nivel de confianza del 95 % y nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Donde:

Hipotesis nula (Ho): es que el conjunto de datos siguen una distribución normal

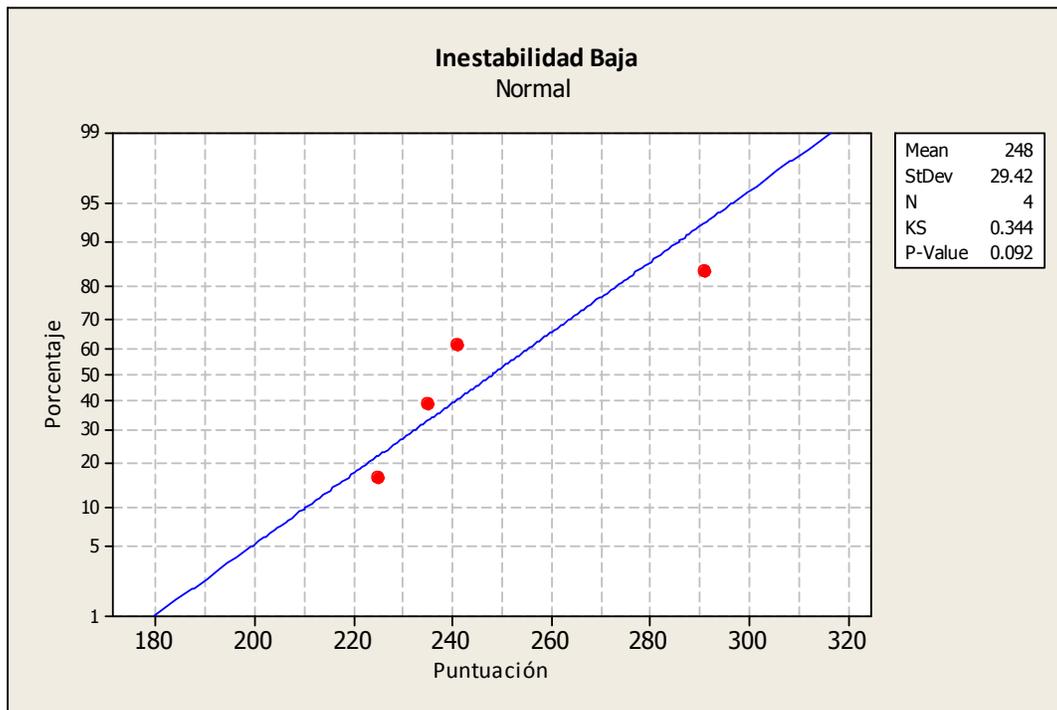
Hipótesis alternativa (H1): es que el conjunto de datos no sigue una distribución normal

De acuerdo a MINITAB se utiliza el criterio de “nivel de significancia observado”: p-value; si p-value es menor que el nivel de significancia se rechaza la hipótesis nula y si p-value es mayor que el nivel de significancia entonces no hay elementos suficientes en la muestra para rechazar la hipótesis nula.

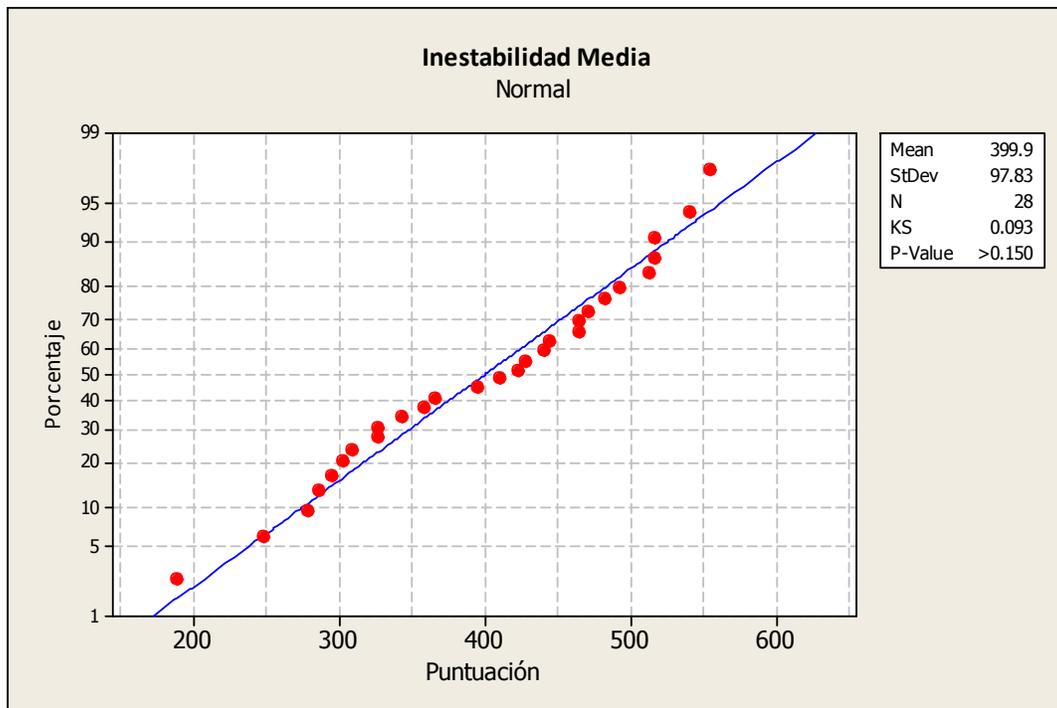
En las gráficas 4.8, 4.9 y 4.10 se puede observar que p-value es mayor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$), por lo que de acuerdo a Kolmogorov-Smirnov resulta ser que los tres grupos de inestabilidad siguen una distribución normal.

4.4.2.3 Comparación de las puntuaciones medias entre los tres grupos de inestabilidad

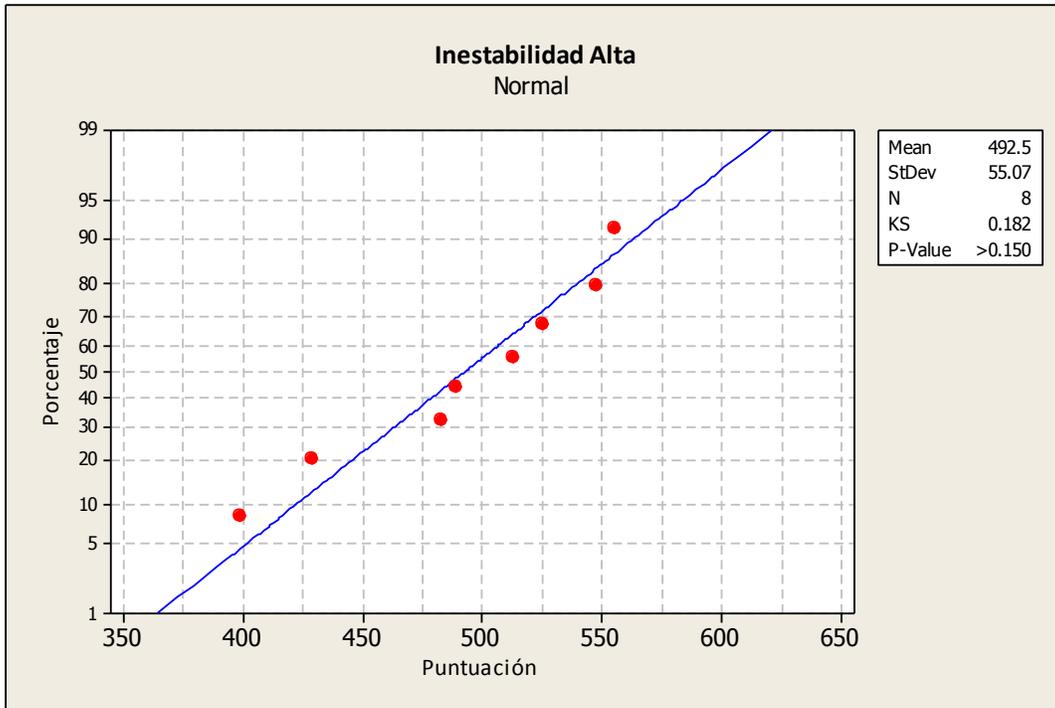
Idealmente los grupos encontrados (baja inestabilidad, media inestabilidad y alta inestabilidad) deberían ser estadísticamente diferentes para que puedan designarse como rangos de evaluación en el sistema IGE_{CC}. Para comprobar esto, se utilizó una tabla ANOVA que prueba la desigualdad entre las medias de los grupos de inestabilidad. La hipótesis nula se establece definiendo que la puntuación media de cada corte, en cada grupo, es igual a la de los otros grupos ($\mu_{\text{grupo1}} = \mu_{\text{grupo2}} = \mu_{\text{grupo3}}$). Un p-valor < 0.05 indica que las medias son estadísticamente distintas y la hipótesis nula es rechazada, comprobando así, que los tres grupos forman tres rangos de puntuación diferentes. Utilizando Minitab 15 con el método de Tuckey se obtiene la tabla 4.12 en la cual el valor p (0.000) proporciona suficiente evidencia de que las puntuaciones promedio de cada grupo de inestabilidad difieren cuando $\alpha = 0.05$. En la parte de intervalos de confianza individual del 95%, (individual 95% CIs for mean base don pooled StDEv) observe que ninguno de los intervalos se superpone, lo que da crédito a la teoría de que las medias son estadísticamente distintas.



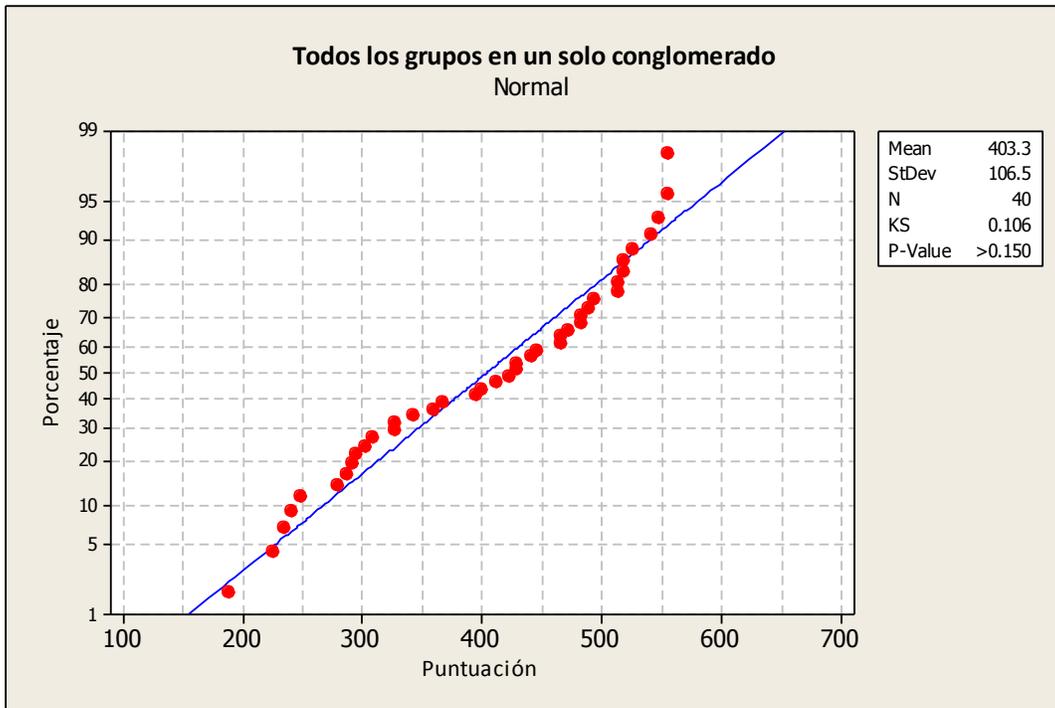
Gráfica 4.8. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov mediante el software MINITAB



Gráfica 4.9. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov



Gráfica 4.10. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov



Gráfica 4.11. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov

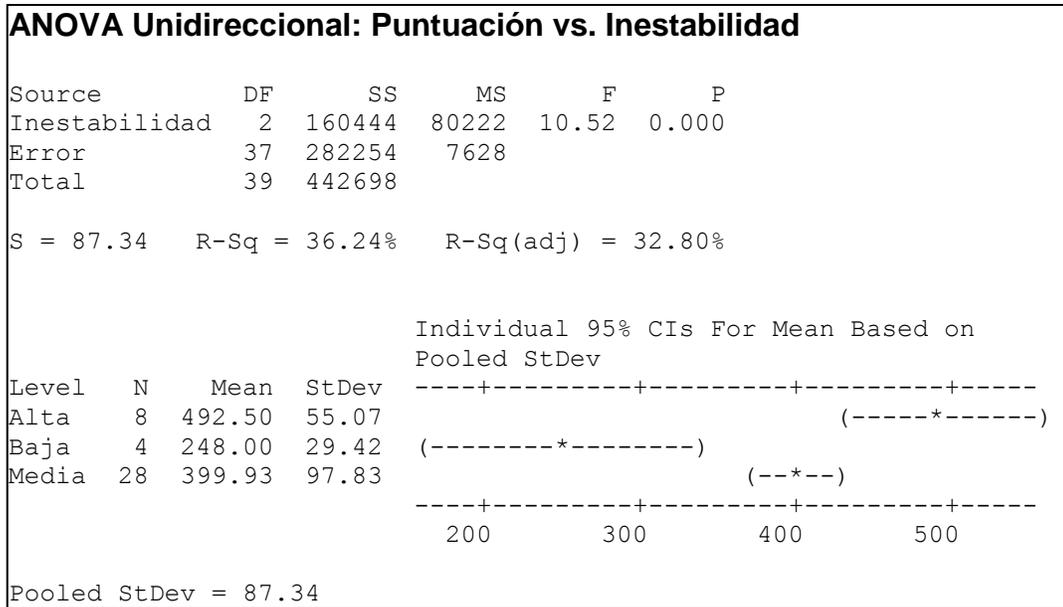


Tabla 4.12. ANOVA mediante MINITAB 15

4.4.2.4 Validez del criterio utilizado

Para verificar la validez del criterio de los rangos de puntuación adoptados para cada grupo de inestabilidad, utilizaremos una prueba t-test con la cual se probarán los límites superiores e inferiores ($IGE_{CC} < 250$, $200 \leq IGE_{CC} < 400$, $IGE_{CC} > 400$). Los criterios de rechazo que conforman la hipótesis nula se muestran a continuación en la tabla 4.13. La aceptación de los criterios propuestos es resumida en la Tabla 4.14.

	Inestabilidad Baja	Inestabilidad Media		Inestabilidad Alta
Hipótesis	$H_0: \mu \leq \mu_0$ $H_1: \mu > \mu_0$ $H_0 = 250$	$H_0: \mu \geq \mu_0$ $H_1: \mu < \mu_0$ $H_0 = 250$	$H_0: \mu \leq \mu_0$ $H_1: \mu > \mu_0$ $H_0 = 400$	$H_0: \mu \geq \mu_0$ $H_1: \mu < \mu_0$ $H_0 = 400$
Región de rechazo para el nivel de prueba de $\alpha=0.05$	$[\text{sig.}(2 \text{ colas})/2] < \alpha$ $y t > 0$	$[\text{sig.}(2 \text{ colas})/2] < \alpha$ $y t < 0$	$[\text{sig.}(2 \text{ colas})/2] < \alpha$ $y t > 0$	$[\text{sig.}(2 \text{ colas})/2] < \alpha$ $y t < 0$

Tabla 4.13. Hipótesis y región de rechazo para los rangos de puntuación.

	Inestabilidad Baja	Inestabilidad Media		Inestabilidad Alta
Hipótesis	$H_0: \mu \leq \mu_0$ $H_1: \mu > \mu_0$ $H_0 = 250$	$H_0: \mu \geq \mu_0$ $H_1: \mu < \mu_0$ $H_0 = 250$	$H_0: \mu \leq \mu_0$ $H_1: \mu > \mu_0$ $H_0 = 400$	$H_0: \mu \geq \mu_0$ $H_1: \mu < \mu_0$ $H_0 = 400$
Media	248	399.93	399.93	492.5
Desviación estandar	29.417	97.834	97.834	55.071
t	-0.136	8.109	-0.004	4.751
sig.(2 colas)/2	0.45	0	0.4985	0.001
Región de rechazo para el nivel de prueba de $\alpha=0.05$	[sig.(2 colas)/2]< α y t > 0	[sig.(2 colas)/2]< α y t < 0	[sig.(2 colas)/2]< α y t > 0	[sig.(2 colas)/2]< α y t < 0
Resultado	Rango Aceptado	Rango Aceptado	Rango Aceptado	Rango Aceptado

Tabla 4.14. Resultados prueba T, obtenidos mediante el software SPSS Statistics 17.0

Con estos resultados obtenidos, en combinación con las anteriores pruebas y gráficas realizadas, queda estadísticamente comprobado que los rangos de puntuaciones del IGE_{CC} son adecuados para evaluar a los cortes carreteros en las categorías de baja inestabilidad, media inestabilidad y alta inestabilidad.

5 Evaluación de un tramo piloto

5.1 Aspectos generales

La autopista seleccionada como tramo piloto es representativa de la red carretera concesionada en la región central de México, en donde se requiere implementar un sistema de gestión de activos que requiere del seguimiento en el tiempo de un gran número de indicadores, entre ellos los relativos a los cortes. Actualmente la repetición de sucesos de fallas en los taludes de corte y los consecuentes gastos en la reparación de estos han obligado a la administración encargada de su buen funcionamiento, a realizar un estudio sobre la mejor forma y tiempo adecuado para aplicar las debidas correcciones.

En términos generales, es una autopista constituida por dos cuerpos (A y B), ambos con 2 carriles de 3.50 m (7.00 m de calzada), 1.5 m de acotamiento lado externo, 0.50 lado interno, con una faja separadora central (cuneta central) de 5 m. Presenta 167 cortes en el cuerpo A y 189 cortes en el cuerpo B. Su Tráfico Diario Promedio Anual (TDPA) oscila entre los 5000 a 6000 vehículos según datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

En los meses de más presencia de lluvias (mayo a septiembre), el estado físico de la vía suele deteriorarse más rápidamente. La apariencia física de los cortes en cuanto a humedad, presentan diversas variaciones durante las temporadas que se tienen como lluviosas, debido a las características climáticas de los estados vinculados en su trayecto. La apariencia puede ser desde relativamente seca hasta húmeda. Debido a las mismas variaciones climáticas de las regiones involucradas, las formaciones de suelo se presentan de diferente forma a lo largo de toda la autopista, siendo los más relevantes, suelos residuales con estratificación definida y visible así como rocas empacadas en un matriz de suelo. El estado de la carpeta asfáltica presenta fisuras y desprendimientos superficiales durante la mayoría de la longitud de la vía (Imagen 5.1).



Imagen 5.1 Agrietamientos en la vía, km 431+000

5.2 Evaluación de los cortes mediante el IGE_{CC}

Esta parte del capítulo estará basada en la forma de aplicar el sistema de evaluación mediante el IGE_{CC} de acuerdo a los 40 cortes que sirvieron para el análisis multivariante. El análisis del tramo piloto no comprende más de los 40 cortes evaluados, pues el objetivo de la investigación es tan solo mostrar la metodología a seguir para poder clasificar a un talud de corte por medio de puntuaciones a factores de riesgo.

El tramo piloto fue determinado considerando principalmente el clima tropical que presenta la región. Se sabe que las regiones tropicales son más susceptibles a fallar debido a las grandes cantidades de lluvia. La autopista cuenta principalmente con perfiles geológicos de suelos residuales y rocas envueltas en matrices de suelo arcilloso, que son indicadores de grandes problemas.

Según datos de la empresa encargada del mantenimiento la autopista, de 309.7 km en longitud, presenta aproximadamente 356 taludes de corte. De acuerdo a la metodología planteada, se deben de registrar todos los cortes en la base de datos,

asignándoles una clave para su fácil identificación. Para los cortes que se utilizan en esta investigación omitimos una clave secuencial ligada a los cortes restantes, pues tan solo asignamos números que van del 1 al 40.

Los cortes analizados fueron elegidos mediante un reconocimiento del tramo y una evaluación preliminar (ver capítulo 3), además de los datos proporcionados por parte de la empresa encargada del mantenimiento. El criterio a seguir fue buscar los cortes representativos de cada tipo de material involucrado en los factores de riesgo (ver capítulo 4), así como de cada posible inestabilidad (inestabilidad preliminar).

5.2.1 Caso de cortes con inestabilidad baja ($IGE_{CC} < 250$ puntos)

5.2.1.1 Ejemplo: Corte 295 + 600 cuerpo B (Imagen 5.2)



Imagen 5.2 Corte 295 + 600 cuerpo B. Suelo Sedimentario: $IGE_{CC} = 189$

El desglose de la evaluación es el siguiente:

1. Altura. 4.80 m, puntuación: 3 puntos
2. Mantenimiento / Limpieza. Según datos proporcionados el mantenimiento se realiza de forma estacional (1 vez por año) y en la limpieza se realizan algunas cargas y acarrees. De acuerdo a la tabla 2.2 del capítulo 4 se tiene que la calificación para este factor es de 9 puntos.
3. Ángulo. De acuerdo a la clasificación de suelo, presentando un ángulo de 50°, la puntuación para este factor es de 27.
4. Irregularidades. Presenta poca acumulación de material en el pie del talud, lo que ha generado que muchas rocas pequeñas del estrato medio presenten desprendimientos. La puntuación para este factor resulta ser de 9.
5. Tipo de sección transversal. De acuerdo al capítulo 4, se otorga una calificación de 3, pues es una sección tipo cajón sin fallas en el pavimento.
6. Área de captación de material desprendido. De acuerdo a la figura 4.5 del capítulo 4, se tiene que para un ángulo de 50° y una altura de 4.80 m, las dimensiones aproximadas para un área de captación adecuada (cunetones) debería de ser de 1.00 de profundidad (D_r) y 1.00 m de ancho (W_r). Las medidas reales resultan ser tan solo el ancho y profundidad de las cunetas: 1.00 m de ancho (W_a) X 0.40 m de profundidad (D_a). Por lo tanto, de acuerdo a la grafica 4.1 del capítulo 4 se tiene que la calificación para el factor de captación es de 9 puntos. Visto de otra forma:

$$Efectividad = \frac{D_a + W_a}{D_r + W_r} = \frac{0.40 + 1.00}{1.00 + 1.00} \times 100\% = 70\%$$

7. Vegetación. En el cuerpo no existe, por lo tanto su puntuación es de 81. En la corona existe gran cantidad de arbustos y árboles de pequeña altura, entonces, los puntos otorgados para este factor es de 3.
8. Clima
 - Precipitación, la región pertenece a lluvias intensas, por lo que su puntuación se encuentra dentro del rango de 500 a 850 mm, recibiendo un puntaje de 27.
 - Infiltración. Existen signos de humedad, pero no de escurrimiento superficial. Calificación: 9 puntos
9. Geología-Rocas sedimentarias o suelos sedimentarios:

- Descalce. No existe alta erosión entre los pies de cada estrato: 3 puntos.
- Interestratificación. Presenta dos interestratos del mismo material, menores a 15 cm de espesor y sin ninguna presencia de problemas mayores como erosión a causa de infiltración. Calificación: 3 puntos.
- Presencia de Surcos. No existen, tan solo pequeños torrentes o fisuras. Puntuación: 3.

RESUMEN.

FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	3
	Mantenimiento/limpieza	9
	Ángulo. Suelo	27
	Irregularidades	9
	Tipo de Sección	3
	Área de Captación	9
	Vegetación. Cuerpo	81
	Vegetación. Corona	3
Clima	Precipitación Media Anual (mm)	27
	Infiltración/agua presente	9
Geología	Descalce	3
	Grado de interestratificación	3
	Presencia de surcos	3
IGE_{CC}		189

5.2.1.2 Ejemplo: Corte 257 + 000 cuerpo A (Imagen 5.2).

El desglose de la evaluación es el siguiente:

1. Altura. 5.90 m, puntuación: 9 puntos
2. Mantenimiento / Limpieza. Según datos proporcionados el mantenimiento no es tan frecuente (casi no se realiza), en cuanto a la limpieza, solo se trata de la limpieza de cuentas. De acuerdo a la tabla 2.2 del capítulo 4 la calificación para este factor es de 3 puntos.
3. Ángulo. El ángulo medido es de 75°. De acuerdo a la figura 4.2 del capítulo 4 se obtiene una categoría de 2, por lo que la calificación es de 9 puntos.



Imagen 5.3 Corte 257 + 000 cuerpo A. Roca: $IG_{ECC} = 225$

4. Irregularidades. Existen pocas alteraciones en la cara del talud, se presentan algunas áreas con daños (“estallamientos”) menores. Calificación: 9 puntos.
5. Tipo de sección transversal. Sección tipo cajón sin fallas en la superficie de rodamiento. Calificación: 3 puntos.
6. Área de captación de material desprendido. De acuerdo a la figura 4.5 del capítulo 4, se tiene que para un ángulo de 75° y una altura de 5.90 m, las dimensiones aproximadas para un área de captación adecuada (cunetones) debe de ser de 1.00 de profundidad (D_r) y 1.00 m de ancho (W_r). Las medidas reales resultan ser tan solo el ancho y profundidad de las cunetas: 1.00 m de ancho (W_a) X 0.40 m de profundidad (D_a). Por lo tanto, de acuerdo a la grafica 4.1 del capítulo 4 se tiene que la calificación para el factor de captación es de 9 puntos. Visto de otra forma:

$$Efectividad = \frac{D_a + W_a}{D_r + W_r} = \frac{0.40 + 1.00}{1.00 + 1.00} \times 100\% = 70\%$$

7. Vegetación. En el cuerpo existe una clasificación de semidesnudo-herbáceo, por lo tanto su puntuación es de 27. En la corona existe gran cantidad de arbustos sin presencia de árboles, entonces, la puntuación es de 27.
8. Clima
- Precipitación, la región pertenece a lluvias intensas, por lo que su puntuación se encuentra dentro del rango de 500 a 850 mm, recibiendo un puntaje de 27.
 - Infiltración. Existen signos de humedad, existe señales de escurrimiento en la corona del talud. Calificación: 27 puntos
9. Geología-Rocas:
- Tipo de roca. aparentemente por la regularidad de la superficie parece ser una roca de tipo homogéneo. Calificación: 3 puntos
 - Grado de salientes. No existen rocas que se encuentren en una situación de voladizo. Calificación: 3 puntos
 - Grado de erosión en la roca. presenta decoloración y despostillamineto. Calificación: 27 puntos
 - Tamaño de bloques o volumen de material. No existe desprendimientos mayores de material, ni situación de debilidad. Calificación: 3 puntos
 - Set de discontinuidades. En detalle visual se observa que puede existir mas de 1 discontinuidad debajo de la cara aparentemente estable. Calificación 9 puntos
 - Persistencia/orientación. Existen zonas de cizallamiento en donde parece ser que el material buza hacia la carretera. Calificación: 9 puntos
 - Abertura. Se presentan líneas que delimitan un cizallamiento con una abertura mayor a 5 mm. Calificación: 81 puntos
 - Condiciones de erosión en las discontinuidades o en las líneas de cizalla. Existen aberturas llenas de material arcilloso color negro. Calificación: 81 puntos.
 - Fricción. Las juntas entre las posibles discontinuidades presentan una superficie ondulada. Calificación: 9 puntos.

RESUMEN

FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	9
	Mantenimiento/limpieza	3
	Ángulo. Suelo	9
	Irregularidades	9
	Tipo de Sección	3
	Área de Captación	9
	Vegetación. Cuerpo	27
	Vegetación. Corona	27
Clima	Precipitación Media Anual	27
	Infiltración/agua presente	27
Geología	Tipo de roca	3
	Grado de salientes	3
	Grado de erosión en la roca	27
	Tamaño de bloques	3
	Set de discontinuidades	9
	Persistencia/orientación	9
	Abertura	81
	Condiciones de erosión	81
	Fricción	9
	IGE_{cc}	

225/3 = 75

5.2.1.3 Ejemplo: Corte 343 + 550 cuerpo A (Imagen 5.9)

El desglose de la evaluación es el siguiente:

1. Altura. 2.80 m, puntuación: 3 puntos
2. Mantenimiento / Limpieza. Según datos proporcionados el mantenimiento se realiza de forma estacional (3 veces por año) y en la limpieza se realizan tareas de barrido de acotamientos y limpieza de cunetas. De acuerdo a la tabla 2.2 del capítulo 4 se tiene que la calificación para este factor es de 3 puntos.
3. Ángulo. De acuerdo a la clasificación de suelo, presentando un ángulo de 60°, la puntuación para este factor es de 27.



Imagen 5.9 Corte 343 + 550 cuerpo A. Bloques en matriz de suelo: $IGE_{CC} = 243$

4. Irregularidades. La erosión por motivo de la lluvia y el viento es muy pronunciada, pues el talud se mantiene arrojando granos pequeños, sin embargo las irregularidades que presenta no son tan grandes, no existen ondulaciones o formaciones de oquedades. Calificación: 9 puntos
5. Tipo de sección transversal. De acuerdo al capítulo 4, se otorga una calificación de 3, pues es una sección tipo cajón sin fallas en el pavimento.
6. Área de captación de material desprendido. De acuerdo a la figura 4.5 del capítulo 4, se tiene que para un ángulo de 60° y una altura de 2.80 m, las dimensiones aproximadas para un área de captación adecuada (cunetones) debería de ser de 0.50 de profundidad (D_r) y 0.50 m de ancho (W_r). Las medidas reales resultan ser tan solo el ancho y profundidad de las cunetas: 1.00 m de ancho (W_a) X 0.40 m de profundidad (D_a). Por lo tanto, de acuerdo a la grafica 4.1 del capítulo 4 se tiene que la calificación para el factor de captación es de 3 puntos. Visto de otra forma:

$$Efectividad = \frac{D_a + W_a}{D_r + W_r} = \frac{0.40 + 1.00}{0.50 + 1} \times 100\% = 93\%$$

7. Vegetación. En el cuerpo existen pequeñas hierbas, por lo tanto su puntuación es de 27. En la corona se presenta una población herbácea grande, por lo que la puntuación es de 27.
8. Clima
- Precipitación, la región pertenece a lluvias intensas, por lo que su puntuación se encuentra dentro del rango de 500 a 850 mm, recibiendo un puntaje de 27.
 - Infiltración. Existen signos de humedad, el material parece estar saturado y presenta goteos. Calificación: 27 puntos.
9. Geología-Rocas en una matriz de suelo:
- Tamaño del bloque. Se observan granos pequeños con tamaños de aproximadamente menores a 10 cm. Calificación: 3
 - Forma del bloque. Los granos tienen una forma redonda, lo que ocasiona que lleguen rebotando a la superficie de rodamiento. Calificación: 81 puntos
 - Deslizamientos desplazamientos. No hay desplazamientos visibles. Calificación: 3 puntos.
 -

RESUMEN

FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	3
	Mantenimiento/limpieza	3
	Ángulo. Suelo	27
	Irregularidades	9
	Tipo de Sección	3
	Área de Captación	3
	Vegetación. Cuerpo	27
	Vegetación. Corona	27
Clima	Precipitación Media Anual	27
	Infiltración/agua presente	27
Geología	Tamaño del bloque	3
	Forma del bloque	81
	Deslizamientos/desplazamientos	3
IGE_{CC}		243

5.2.1.4 Ejemplo: Corte 178 + 080 cuerpo A (imagen 5.14)



Imagen 5.14 Corte 178 + 080 cuerpo A. Suelo residual: $IG_{ECC} = 225$

El desglose de la evaluación es el siguiente:

1. Altura. 5 m, puntuación: 3 puntos
2. Mantenimiento / Limpieza. Según datos proporcionados el mantenimiento no es tan frecuente (quizá una vez por año) y en la limpieza se realizan tareas de barrido de acotamientos y limpieza de cunetas sin ningún acarreo considerable. De acuerdo a la tabla 2.2 del capítulo 4 se tiene que la calificación para este factor es de 3 puntos.
3. Ángulo. De acuerdo a la clasificación de suelo, presentando un ángulo de 60° , la puntuación para este factor es de 27.
4. Irregularidades. No presenta irregularidades considerables. Calificación: 3 puntos

5. Tipo de sección transversal. Corte en cajón sin ningún tipo de falla en el pavimento. Calificación: 3 puntos.
6. Área de captación de material desprendido. De acuerdo al apartado 4.3.1.6 “área de captación” del capítulo 4, la puntuación para este factor es de 9.
7. Vegetación. El cuerpo una cobertura vegetal un tanto despoblada (semidesnudo-herbáceo), por lo que la calificación es de 27 puntos. En la corona existe una población arbustiva que indica una puntuación de 9 puntos.
8. Clima:
 - Precipitación, la región pertenece a lluvias intensas, por lo que su puntuación se encuentra dentro del rango de 500 a 850 mm, recibiendo un puntaje de 27.
 - Infiltración. Existe agua escurriendo por la cara y el pie del talud. Calificación: 81 puntos.
9. Geología-Rocas en una matriz de suelo:
 - Perfil de meteorización. Es muy difícil observar el perfil de meteorización, sin embargo nos basaremos en los cambios graduales de color. El corte presenta un color rojo claro a rojo oscuro, lo que indica quizá un horizonte que va de “A” a 2 “B”. Calificación: 27 puntos.
 - Escurrimiento superficial. No existen formaciones de surcos o pequeñas cárcavas (lo que reafirma la consideración anterior, puede ser un horizonte B, puesto que a pesar de que existe agua en la cara del talud, no se presenta tanto desgaste). Calificación: 3 puntos
 - Contacto suelo sobre roca. No es visible ningún contacto con roca. Puntuación: 3.

RESUMEN

FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	3
	Mantenimiento/limpieza	3
	Ángulo. Suelo	27
	Irregularidades	3
	Tipo de Sección	3
	Área de Captación	9
	Vegetación. Cuerpo	27
	Vegetación. Corona	9
Clima	Precipitación Media Anual	27
	Infiltración/agua presente	81
Geología	Perfil de meteorización	27
	Escurrimiento superficial	3
	Contacto suelo sobre roca	3
IGE_{cc}		225

5.2.2 Caso de cortes con inestabilidad media ($250 \leq IGE_{cc} < 400$ puntos)

5.2.2.1 Ejemplo: Corte 295 + 600 cuerpo A (imagen 5.4)



Imagen 5.4 Corte 295 + 600 cuerpo A. Suelo Sedimentario: $IGE_{cc} = 309$

El desglose de la evaluación es el siguiente:

1. Altura. 3.80 m, puntuación: 3 puntos
2. Mantenimiento / Limpieza. Según datos proporcionados el mantenimiento se realiza de forma estacional (1 vez por año) y en la limpieza se realizan algunas cargas y acarrees. De acuerdo a la tabla 2.2 del capítulo 4 se tiene que la calificación para este factor es de 9 puntos.
3. Ángulo. De acuerdo a la clasificación de suelo, presentando un ángulo de 50° , la puntuación para este factor es de 27.

4. Irregularidades. Presenta desprendimientos actuales sobre toda la superficie, empiezan a quedar rocas en cantiliver. Calificación: 81 puntos
5. Tipo de sección transversal. Tipo cajón sin fallas en el pavimento. Puntuación: 3
6. Área de captación de material desprendido. Como captación de material desprendido, el área del corte solo presenta a la cuneta. De la misma forma que el corte anterior, la calificación es de 9 puntos.
7. Vegetación. En el cuerpo se encuentra semidesnudo con pocas hierbas, por lo tanto su puntuación es de 27. En la corona existe pocos arbustos por lo que su puntuación es de 27.
8. Clima
 - La puntuación se encuentra dentro del rango de 500 a 850 mm: 27 puntos
 - Infiltración. Existen signos en las cunetas y en la cara del talud que indican la existencia de agua superficial. Calificación: 81 puntos
9. Geología-Rocas sedimentarias o suelos sedimentarios:
 - Descalce. Existe una leve erosión entre los pies de cada estrato: 9 puntos.
 - Interestratificación. Las interestratificaciones parecen resistentes a la erosión por escurrimiento interno de agua, pues no muestran indicios de desgaste. Calificación: 3 puntos.
 - Presencia de Surcos. A pesar de que existen pruebas de alta concentración de agua, el material parece un poco resistente a la erosión por escorrentía, pues no existe formación de surcos de importancia. Puntuación: 3.

RESUMEN

FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	3
	Mantenimiento/limpieza	9
	Ángulo. Suelo	27
	Irregularidades	81
	Tipo de Sección	3
	Área de Captación	9
	Vegetación. Cuerpo	27
	Vegetación. Corona	27
Clima	Precipitación Media Anual (mm)	27
	Infiltración/agua presente	81
Geología	Descalce	9
	Grado de interestratificación	3
	Presencia de surcos	3
IGE_{cc}		309

5.2.2.2 Ejemplo: Corte 303 + 800 cuerpo A (imagen 5.7)



Imagen 5.7 Corte 303 + 800 cuerpo A. Roca: $IG_{ECC} = 343$

El desglose de la evaluación es el siguiente:

1. Altura. 8.00 m, puntuación: 9 puntos
2. Mantenimiento / Limpieza. Según datos proporcionados el mantenimiento se realiza de forma estacional (3 veces por año) y en la limpieza se realizan algunas cargas y acarreos importantes, caídos de aproximadamente 15 cm. De acuerdo a la tabla 2.2 del capítulo 4 se tiene que la calificación para este factor es de 27 puntos.
3. Ángulo. El ángulo medido es de 75° . De acuerdo a la figura 4.2 del capítulo 4 se obtiene una categoría de 2, por lo que la calificación es de 9 puntos.
4. Irregularidades. Existen varias irregularidades en la cara del talud debido al desgranamiento del material tipo esquistos. Calificación 27 puntos.

-
5. Tipo de sección transversal. Sección tipo cajón sin fallas en la superficie de rodamiento. Calificación: 3 puntos.
 6. Área de captación de material desprendido. Presenta las mismas características que el corte anterior, por lo que la calificación es de 9 puntos.
 7. Vegetación. La calificación del el cuerpo y la corona es de 81 puntos, debido a que el corte no presenta ningún tipo de vegetación que pueda ayudar a la estabilidad.
 8. Clima:
 - Precipitación, la región pertenece a lluvias intensas, por lo que su puntuación se encuentra dentro del rango de 500 a 850 mm, recibiendo un puntaje de 27.
 - Infiltración. Existen signos goteo en la cara del talud. se presentan algunas manchas de escurrimiento. Calificación: 27 puntos
 9. Geología-Rocas:
 - Tipo de roca. Esquistos. Calificación: 27 puntos
 - Grado de salientes. A pesar de la irregularidad presente, no existen rocas que se encuentren en una situación de voladizo o que puedan considerarse de peligro por su tamaño. Calificación: 3 puntos
 - Grado de erosión en la roca. más allá de una erosión de la roca, lo que ocasiona desprendimientos es la debilidad de los esquistos. Calificación: 3 puntos
 - Tamaño de bloques o volumen de material. No existe desprendimientos mayores de 0.30 cm, los desprendimientos son solo grandes cantidades de laminas: 3 puntos
 - Set de discontinuidades. Una solo discontinuidad está presente. Calificación 3 puntos
 - Persistencia/orientación. No se presenta persistencia significativa. Calificación: 3 puntos
 - Abertura. Tipo cerrada, calificación: 3 puntos
 - Condiciones de erosión en las discontinuidades o en las líneas de cizalla. Ninguna visible, calificación: 3 puntos
 - Fricción. Existe un material rocoso debajo de los esquistos que presenta una superficie plana lisa, que puede ocasionar deslizamiento. Calificación: 81 puntos

RESUMEN

FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	9
	Mantenimiento/limpieza	27
	Ángulo. Suelo	9
	Irregularidades	27
	Tipo de Sección	3
	Área de Captación	9
	Vegetación. Cuerpo	81
	Vegetación. Corona	81
Clima	Precipitación Media Anual	27
	Infiltración/agua presente	27
Geología	Tipo de roca	27
	Grado de salientes	3
	Grado de erosión en la roca	3
	Tamaño de bloques	3
	Set de discontinuidades	3
	Persistencia/orientación	3
	Abertura	3
	Condiciones de erosión	3
	Fricción	81
IGE_{CC}		343

129/3 = 43

5.2.2.3 Ejemplo: Corte 273 + 100 cuerpo A (imagen 5.10)

El desglose de la evaluación es el siguiente:

1. Altura. 15.20 m, puntuación: 27 puntos
2. Mantenimiento / Limpieza. Según datos proporcionados el mantenimiento se realiza de forma estacional (1 vez por año) y en la limpieza se realizan tareas de barrido de acotamientos y limpieza de cunetas con algunas cargas y acarreos. De acuerdo a la tabla 2.2 del capítulo 4 se tiene que la calificación para este factor es de 9 puntos.
3. Ángulo. De acuerdo a la clasificación de suelo, presentando un ángulo de 29°, la puntuación para este factor es de 3.



Imagen 5.10 Corte 273 + 100 cuerpo A. Bloques en matriz de suelo: $IG_{CC} = 399$

4. Irregularidades. Actualmente el corte se encuentra resguardado con gaviones, lo que lo ha mantenido en un buen estado y sin signos de movimiento, sin embargo se puede notar que los movimientos que tuvo en el pasado lo dejaron con muchas rocas mayores a 1.00 m de diámetro, lo que genera una apariencia peligrosa. Calificación: 81.
5. Tipo de sección transversal. De acuerdo al capítulo 4, se otorga una calificación de 27, pues es una sección tipo balcón con pequeñas fallas en el pavimento que no tienen mucha relevancia. Calificación: 27 puntos.
6. Área de captación de material desprendido. El área de captación es nula, pues el corte se ha deslizado hasta topar con el inicio de las cunetas, sin embargo, el sistema de gaviones que actualmente se encuentra ha funcionado de forma eficaz por lo que el área tan pequeña de captación no es relevante. Calificación: 9 puntos
7. Vegetación. El cuerpo presenta arbustos, sin embargo son más notables las rocas que se encuentran libres sobre la cara del talud, por lo que se decide

otorgar una calificación de 81 puntos. La corona recibe una puntuación de 3.

8. Clima:

- Precipitación, la región pertenece a lluvias intensas, por lo que su puntuación se encuentra dentro del rango de 500 a 850 mm, recibiendo un puntaje de 27.
- Infiltración. El material tiene una apariencia de húmedo, no hay escurrimientos ni goteo. Calificación: 9 puntos.

9. Geología-Rocas en una matriz de suelo:

- Tamaño del bloque. Se observan rocas con tamaños mayores a 1.50m. Calificación: 81 puntos
- Forma del bloque. Los granos tienen una forma cúbica. Calificación: 9 puntos
- Deslizamientos desplazamientos. Existe una gran acumulación de material en el pie del talud. Calificación: 27 puntos

RESUMEN

FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	27
	Mantenimiento/limpieza	9
	Ángulo. Suelo	9
	Irregularidades	81
	Tipo de Sección	27
	Área de Captación	9
	Vegetación. Cuerpo	81
	Vegetación. Corona	3
Clima	Precipitación Media Anual	27
	Infiltración/agua presente	9
Geología	Tamaño del bloque	81
	Forma del bloque	9
	Deslizamientos/desplazamientos	27
IGE_{cc}		399

5.2.2.4 Ejemplo: Corte 173 + 400 cuerpo A (imagen 5.15)



Imagen 5.15 Corte 173 + 400 cuerpo A. Suelo residual: $IG_{ECC} = 327$

El desglose de la evaluación es el siguiente:

1. Altura. 7 m, puntuación: 9 puntos
2. Mantenimiento / Limpieza. Según datos proporcionados el mantenimiento se realiza aproximadamente 3 veces por año y en la limpieza se realizan tareas de barrido de acotamientos y limpieza de cunetas con algunos acarreo. De acuerdo a la tabla 2.2 del capítulo 4 la puntuación es de 27.
3. Ángulo. De acuerdo a la clasificación de suelo, presentando un ángulo de 60° , la puntuación para este factor es de 27.
4. Irregularidades. Se tienen irregularidades del tipo moderadas a causa de la erosión. Calificación: 27 puntos

5. Tipo de sección transversal. Corte en cajón sin ningún tipo de falla en el pavimento. Calificación: 3 puntos.
6. Área de captación de material desprendido. De acuerdo al apartado 4.3.1.6 “área de captación” del capítulo 4, la puntuación para este factor es de 9.
7. Vegetación. Tanto la corona como el cuerpo del talud no están protegidos mediante ningún tipo de vegetación. Calificación: 81 puntos para ambos factores
8. Clima:
 - Precipitación, la región pertenece a lluvias intensas, por lo que su puntuación se encuentra dentro del rango de 500 a 850 mm, recibiendo un puntaje de 27.
 - Infiltración. Existe agua en un área concentrada de la cara del talud. Calificación: 27 puntos.
9. Geología-Rocas en una matriz de suelo:
 - Perfil de meteorización. presenta un color rojo claro indica quizá un horizonte que va de “B” a “C”. Calificación: 3 puntos.
 - Escurrimiento superficial. Existe erosión pero no hay presencia de surcos ni cárcavas considerables. Calificación: 3 puntos
 - Contacto suelo sobre roca. No es visible ningún contacto con roca. Puntuación: 3.

RESUMEN

FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	9
	Mantenimiento/limpieza	27
	Ángulo. Suelo	27
	Irregularidades	27
	Tipo de Sección	3
	Área de Captación	9
	Vegetación. Cuerpo	81
	Vegetación. Corona	81
Clima	Precipitación Media Anual	27
	Infiltración/agua presente	27
Geología	Perfil de meteorización	3
	Escurrimiento superficial	3
	Contacto suelo sobre roca	3
IGE_{CC}		327

5.2.3 Caso de cortes con inestabilidad alta ($IGE_{CC} \geq 400$ puntos)

5.2.3.1 Ejemplo: 248 + 220 cuerpo A (imagen 5.5)



Imagen 5.5 Corte 248 + 220 cuerpo A. Suelo Sedimentario: $IGE_{CC} = 555$

El desglose de la evaluación es el siguiente:

1. Tipo de sección transversal. Tipo cajón sin fallas en el pavimento.
Puntuación: 3
2. Altura. 11 m, puntuación: 27 puntos
3. Mantenimiento / Limpieza. Según datos proporcionados el mantenimiento se realiza más de tres veces por año y en la limpieza se realizan cargas y acarreos mayores, para desalojar el material que alcanza a llenar las cunetas. De acuerdo a la tabla 2.2 del capítulo 4 se tiene que la calificación para este factor es de 81 puntos.

4. Ángulo. De acuerdo a la clasificación de suelo, presentando un ángulo de 75°, la puntuación para este factor es de 81.
5. Irregularidades. Presenta desprendimientos actuales sobre toda la superficie, existen rocas en cantiliver y material suelto al pie del talud. Calificación: 81 puntos
6. Área de captación de material desprendido. De acuerdo a la figura 4.5 del capítulo 4, se tiene que para un ángulo de 75° y una altura de 4.80 m, las dimensiones aproximadas para un área de captación adecuada (cunetones) debería de ser de 1.10 de profundidad (Dr) y 2.10 m de ancho (Wr). Las medidas reales resultan ser tan solo el ancho y profundidad de las cunetas: 1.00 m de ancho (Wa) X 0.40 m de profundidad (Da). Por lo tanto, de acuerdo a la grafica 4.1 del capítulo 4 se tiene que la calificación para el factor de captación es de 27 puntos. Visto de otra forma:

$$Efectividad = \frac{Da + Wa}{Dr + Wr} = \frac{0.40 + 1.00}{1.10 + 2.10} \times 100\% = 43\%$$

7. Vegetación. En el cuerpo se encuentra totalmente desnudo, por lo tanto su puntuación es de 81. En la corona existe una vegetación densa con árboles y arbustos lo que indica una calificación de 3 puntos.
8. Clima
 - La puntuación se encuentra dentro del rango de 500 a 850 mm: 27 puntos
 - Infiltración. Presenta una apariencia mojada, sin rasgos de goteo o escurrimiento. Calificación: 9 puntos
9. Geología-Rocas sedimentarias o suelos sedimentarios:
 - Descalce. Existe erosión continua a lo largo de todo el corte entre los pies de cada estrato, con anchos menores a 60 cm, pero demasiado continuos, por lo que la calificación es de 27 puntos.
 - Interestratificación. Se pueden observar más de dos interestratos débiles constituidos de un material pobre que se desmorona con la presión de los dedos y con un ancho menor a 15 cm. Calificación: 27 puntos.
 - Presencia de Surcos. No existen surcos, pero la cantidad de erosión en los estratos que se presentan es visualmente grande por lo que la puntuación es de 81.

RESUMEN

FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	27
	Mantenimiento/limpieza	81
	Ángulo. Suelo	81
	Irregularidades	81
	Tipo de Sección	3
	Área de Captación	27
	Vegetación. Cuerpo	81
	Vegetación. Corona	3
Clima	Precipitación Media Anual (mm)	27
	Infiltración/agua presente	9
Geología	Descalce	27
	Grado de interestratificación	27
	Presencia de surcos	81
IGE_{cc}		555

5.2.3.2 Ejemplo: Corte 261 + 000 cuerpo B (imagen 5.8).

El desglose de la evaluación es el siguiente:

1. Altura. 16 m, puntuación: 27 puntos
2. Mantenimiento / Limpieza. Según datos proporcionados el mantenimiento se realiza 1 vez por año, en cuanto a la limpieza, requiere de trabajos extensos. De acuerdo a la tabla 2.2 del capítulo 4 la calificación para este factor es de 27 puntos.
3. Ángulo. El ángulo medido es de 80°. De acuerdo a la figura 4.2 del capítulo 4 se obtiene una categoría de 4, por lo que la calificación es de 27 puntos.
4. Irregularidades. Existen muchas alteraciones en la cara del talud, se presentan desprendimientos mayores a 60 m, dejando oquedades y rocas en cantiliver. Calificación: 81 puntos.
5. Tipo de sección transversal. Sección tipo cajón sin fallas considerables en la superficie de rodamiento. Calificación: 3 puntos.



Imagen 5.8 Corte 261 + 000 cuerpo B. Roca: $IGE_{CC} = 517$

6. Área de captación de material desprendido. De acuerdo a la figura 4.5 del capítulo 4, se tiene que para una ángulo de 80° y una altura de 16m, las dimensiones aproximadas para un área de captación adecuada (cunetones) debe de ser de 1.125 de profundidad (Dr) y 2.50 m de ancho (Wr). Las medidas reales resultan ser tan solo el ancho y profundidad de las cunetas: 1.00 m de ancho (Wa) X 0.40 m de profundidad (Da). Por lo tanto, de acuerdo a la grafica 4.1 del capítulo 4 se tiene que la calificación para el factor de captación es de 27 puntos. Visto de otra forma:

$$Efectividad = \frac{Da + Wa}{Dr + Wr} = \frac{0.40 + 1.00}{1.125 + 2.50} \times 100\% = 38\%$$

7. Vegetación. En el cuerpo no existe vegetación, así que su puntuación es de 81. En la corona existe gran cantidad de arbustos con poca presencia de árboles, entonces, la puntuación es de 9.

8. Clima

- Precipitación, la región pertenece a lluvias intensas, por lo que su puntuación se encuentra dentro del rango de 500 a 850 mm, recibiendo un puntaje de 27.
- Infiltración. Existen signos de humedad, pero en el corte no se presentan escurrimientos ni goteo, simplemente el material se ve húmedo. Calificación: 9 puntos

9. Geología-Rocas:

- Tipo de roca. El tipo de roca no presenta rasgos de pegmatita o esquistos, pero se encuentra demasiado fracturada, lo que nos orienta a otorgarle una puntuación de 81
- Grado de salientes. No existen rocas que se encuentren en una situación de voladizo. Calificación: 3 puntos
- Grado de erosión en la roca. sumamente alterada, por lo que la puntuación es de 81
- Tamaño de bloques o volumen de material. Existen bloques con tamaños mayores a 1.50m. Calificación: 81 puntos
- Set de discontinuidades. Existen más de 2 discontinuidades. Calificación 81 puntos
- Persistencia/orientación. El buzamiento se presenta hacia la carretera con una inclinación fuerte. Calificación: 81 puntos
- Abertura. Se encuentran llenas de arcilla y con separaciones mayores a 5mm. Calificación: 81 puntos
- Condiciones de erosión en las discontinuidades o en las líneas de cizalla. Existen aberturas llenas de material arcilloso. Calificación: 81 puntos.
- Fricción. Las juntas entre las posibles discontinuidades presentan una superficie planar. Calificación: 27 puntos.

RESUMEN

FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	27
	Mantenimiento/limpieza	27
	Ángulo. Suelo	27
	Irregularidades	81
	Tipo de Sección	3
	Área de Captación	27
	Vegetación. Cuerpo	81
	Vegetación. Corona	9
Clima	Precipitación Media Anual	27
	Infiltración/agua presente	9
Geología	Tipo de roca	81
	Grado de salientes	3
	Grado de erosión en la roca	81
	Tamaño de bloques	81
	Set de discontinuidades	81
	Persistencia/orientación	81
	Abertura	81
	Condiciones de erosión	81
Fricción	27	
IGE_{CC}		517

597/3 = 199

5.2.3.3 Ejemplo: Corte 262 + 000 cuerpo B (imagen 5.11)



Imagen 5.11 Corte 262 + 200 cuerpo B. Bloques en matriz de suelo: $IG_{E_{CC}} = 615$

El desglose de la evaluación es el siguiente:

1. Altura. 6.00 m, puntuación: 9 puntos
2. Mantenimiento / Limpieza. Según datos proporcionados el mantenimiento se realiza más de tres veces por año y en la limpieza se realizan tareas de barrido de acotamientos y limpieza de cunetas con cargas y acarreos significantes. De acuerdo a la tabla 2.2 del capítulo 4 se tiene que la calificación para este factor es de 81 puntos.
3. Ángulo. De acuerdo a la clasificación de suelo, presentando un ángulo de 60° , la puntuación para este factor es de 27.
4. Irregularidades. Sumamente irregular. Calificación: 81 puntos.

5. Tipo de sección transversal. De acuerdo al capítulo 4, se otorga una calificación de 81, pues es una sección tipo balcón con presencia de una grieta mayor a 5mm en la superficie de rodamiento del cuerpo A (imagen 5.12).
6. Área de captación de material desprendido. De acuerdo a la figura 4.5 del capítulo 4, se tiene que para un ángulo de 60° y una altura de 6.00m, las dimensiones aproximadas para un área de captación adecuada (cunetones) debería de ser de 1.00 m de profundidad (D_r) y 1.20 m de ancho (W_r). Las medidas reales resultan ser tan solo el ancho y profundidad de las cunetas: 1.00 m de ancho (W_a) X 0.40 m de profundidad (D_a). Por lo tanto, de acuerdo a la grafica 4.1 del capítulo 4 se tiene que la calificación para el factor de captación es de 27 puntos. Visto de otra forma:

$$\text{Efectividad} = \frac{D_a + W_a}{D_r + W_r} = \frac{0.40 + 1.00}{1.00 + 1.20} \times 100\% = 63\%$$



Imagen 5.12 km 262 + 200 cuerpo A. Grieta longitudinal mayor a 5mm de ancho, generada por el deslizamiento lento del corte Roca

7. Vegetación. El cuerpo no presenta vegetación, por lo que la calificación para este factor es de 81 puntos. La corona recibe una puntuación de 3.
8. Clima:

- Precipitación, la región pertenece a lluvias intensas, por lo que su puntuación se encuentra dentro del rango de 500 a 850 mm, recibiendo un puntaje de 27.
- Infiltración. El material se encuentra con apariencia de saturado, presenta agua escurriendo por las banquetas (en el mes de octubre, puesto que en enero presentaba desmoronamientos y signos leves de humedad). Calificación: 81 puntos.

9. Geología-Rocas en una matriz de suelo:

- Tamaño del bloque. Se observan rocas con tamaños entre 0.30 a 0.60 metros. Calificación: 9 puntos
- Forma del bloque. Los granos tienen una forma cúbica-angular. Calificación: 27 puntos
- Deslizamientos desplazamientos. Existen hundimientos en la corona del talud así como claros desniveles (imagen 5.13). Calificación 81 puntos.



Imagen 5.13 km 262 + 200 cuerpo B. Desplazamientos
RESUMEN

FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	9
	Mantenimiento/limpieza	81
	Ángulo. Suelo	27
	Irregularidades	81
	Tipo de Sección	81
	Área de Captación	27
	Vegetación. Cuerpo	81
	Vegetación. Corona	3
Clima	Precipitación Media Anual	27
	Infiltración/agua presente	81
Geología	Tamaño del bloque	9
	Forma del bloque	27
	Deslizamientos/desplazamientos	81
IG_{cc}		615

5.2.3.4 Ejemplo: Corte 176 + 300 cuerpo A (imagen 5.16).



Imagen 5.16 Corte 176 + 300 cuerpo A. Suelo residual: $IG_{ECC} = 465$

El desglose de la evaluación es el siguiente:

1. Altura. 18 m, puntuación: 27 puntos
2. Mantenimiento / Limpieza. Según datos proporcionados el mantenimiento se realiza aproximadamente 3 veces por año y en la limpieza se realizan tareas de barrido de acotamientos y limpieza de cunetas con algunos acarreos. De acuerdo a la tabla 2.2 del capítulo 4 la puntuación es de 27.
3. Ángulo. De acuerdo a la clasificación de suelo, presentando un ángulo de 60° , la puntuación para este factor es de 27.
4. Irregularidades. Se tienen irregularidades del tipo moderadas a causa de la erosión. Calificación: 27 puntos
5. Tipo de sección transversal. Corte en cajón sin ningún tipo de falla en el pavimento. Calificación: 3 puntos.
6. Área de captación de material desprendido. De acuerdo al apartado 4.3.1.6 “área de captación” del capítulo 4, la puntuación para este factor es de 27.

7. Vegetación. Tanto la corona como el cuerpo del talud no están protegidos mediante ningún tipo de vegetación. Calificación: 81 puntos para ambos factores
8. Clima:
- Precipitación, la región pertenece a lluvias intensas, por lo que su puntuación se encuentra dentro del rango de 500 a 850 mm, recibiendo un puntaje de 27.
 - Infiltración. Existe agua goteando en el pie del talud. Calificación: 27 puntos.
9. Geología-Rocas en una matriz de suelo:
- Perfil de meteorización. presenta un color rojo claro a rojo oscuro sin llegar a un color negro de cobertura vegetal, esto indica quizá un horizonte que va de "A" a "B". Calificación: 27 puntos.
 - Escurrimiento superficial. Existe presencia de surcos y pequeñas cárcavas. La erosión se presenta de manera fuerte. Calificación: 81 puntos
 - Contacto suelo sobre roca. No es visible ningún contacto con roca. Puntuación: 3

RESUMEN

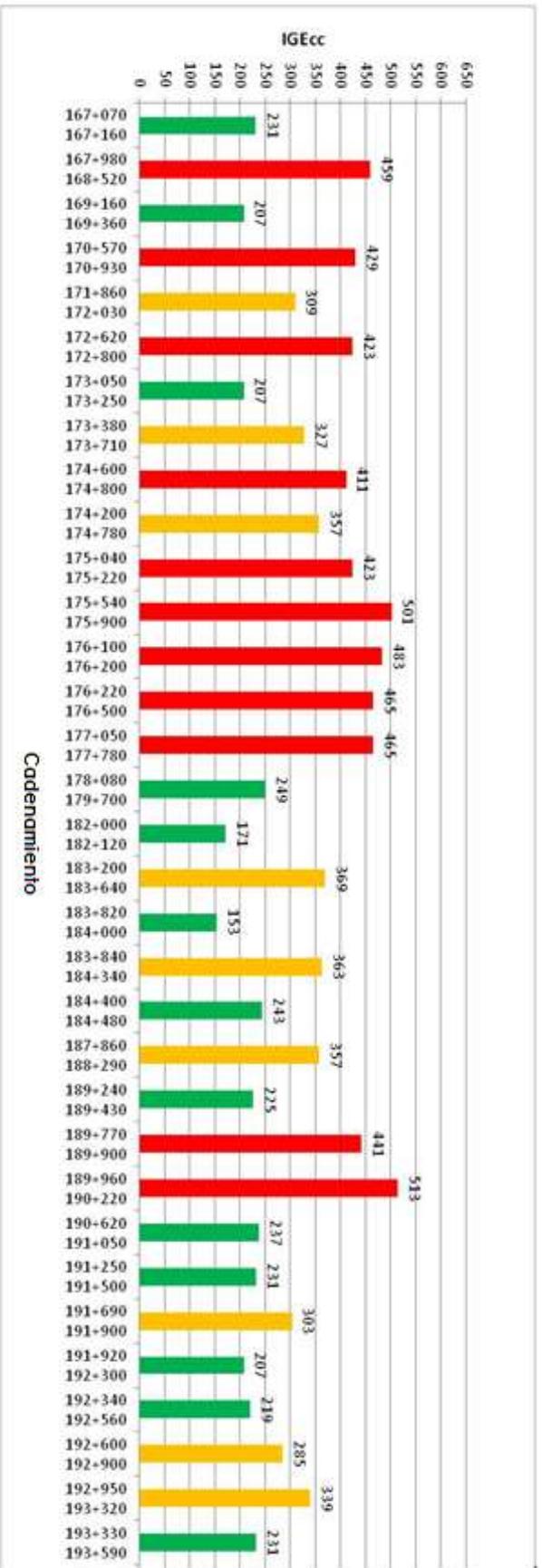
FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	27
	Mantenimiento/limpieza	27
	Ángulo. Suelo	27
	Irregularidades	27
	Tipo de Sección	3
	Área de Captación	27
	Vegetación. Cuerpo	81
	Vegetación. Corona	81
Clima	Precipitación Media Anual	27
	Infiltración/agua presente	27
Geología	Perfil de meteorización	27
	Escurrimiento superficial	81
	Contacto suelo sobre roca	3
IGE_{cc}		465

5.3 Presentación de resultados

Los datos recopilados durante la evaluación del tramo carretero se vaciarán en una gráfica denominada larguillo (figura 5.14 y 5.15), la cual contendrá en el eje de las ordenadas los IGEcc que le fueron otorgados a cada corte evaluado y en el eje de las abscisas el cadenamiento. El larguillo revelará los cortes que representan el mayor riesgo de falla, por lo que en base a su puntuación se decidirá cuáles son los que requieren la atención más inmediata.

Es necesario poder contar con esta herramienta de fácil interpretación, ya que en muchas ocasiones los resultados tendrán que ser revisados por personas que no tienen ningún conocimiento acerca de los aspectos ingenieriles y simplemente les bastará con observar indicadores que demuestren parámetros sencillos como: alto, medio y bajo.

Figura 5.14 Larguillo “Índice General de Estabilidad para Cortes Carreteros”. Tramo piloto, cuerpo A



Inestabilidad	Rangos	Color
Alta	IGEcc < 250	Rojo
Media	250 ≤ IGEcc < 400	Amarillo
Baja	IGEcc ≥ 400	Verde

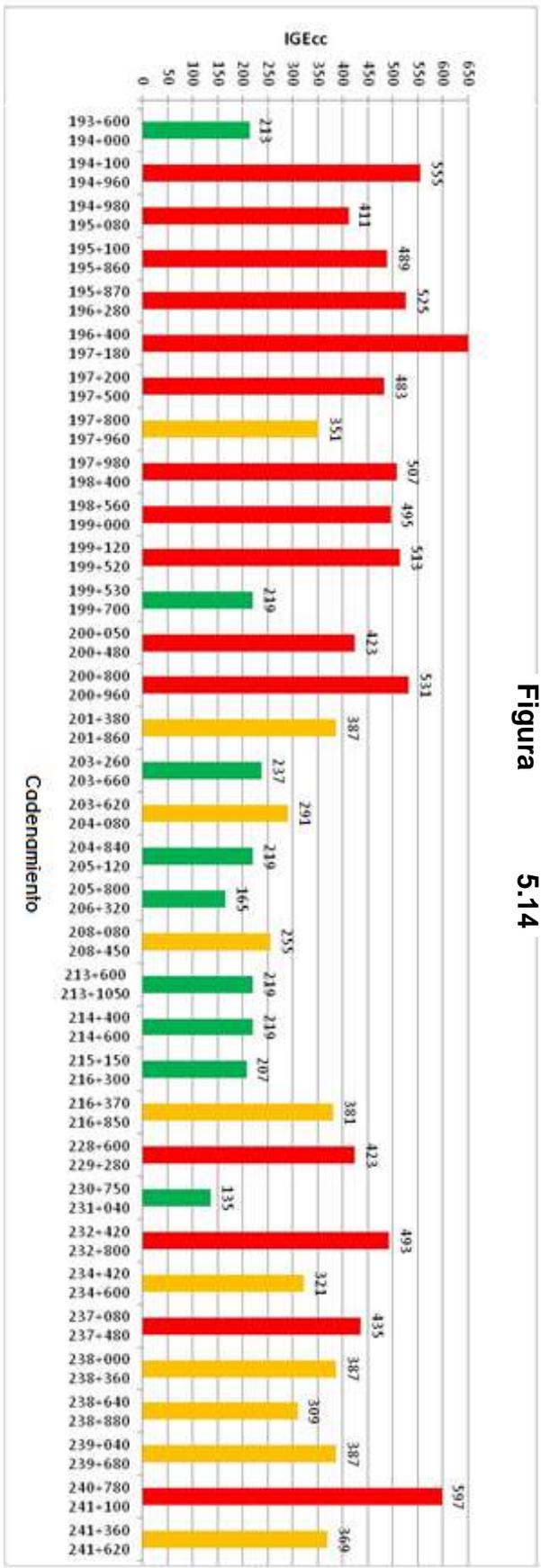
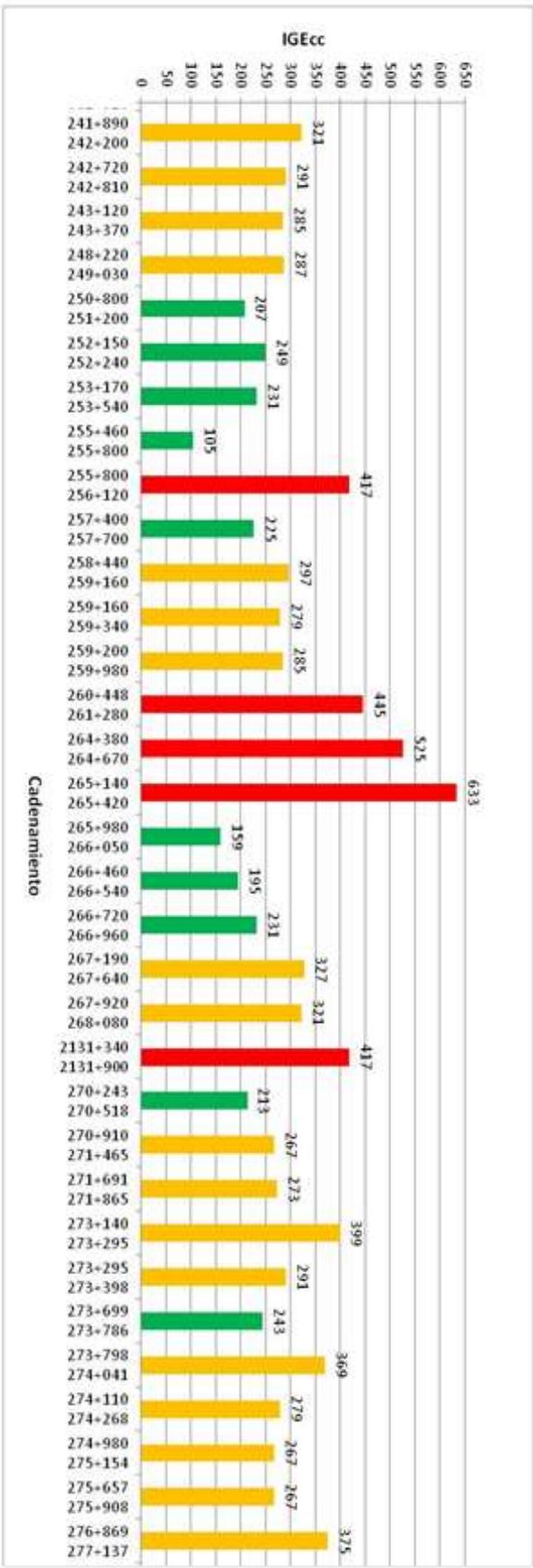


Figura 5.14

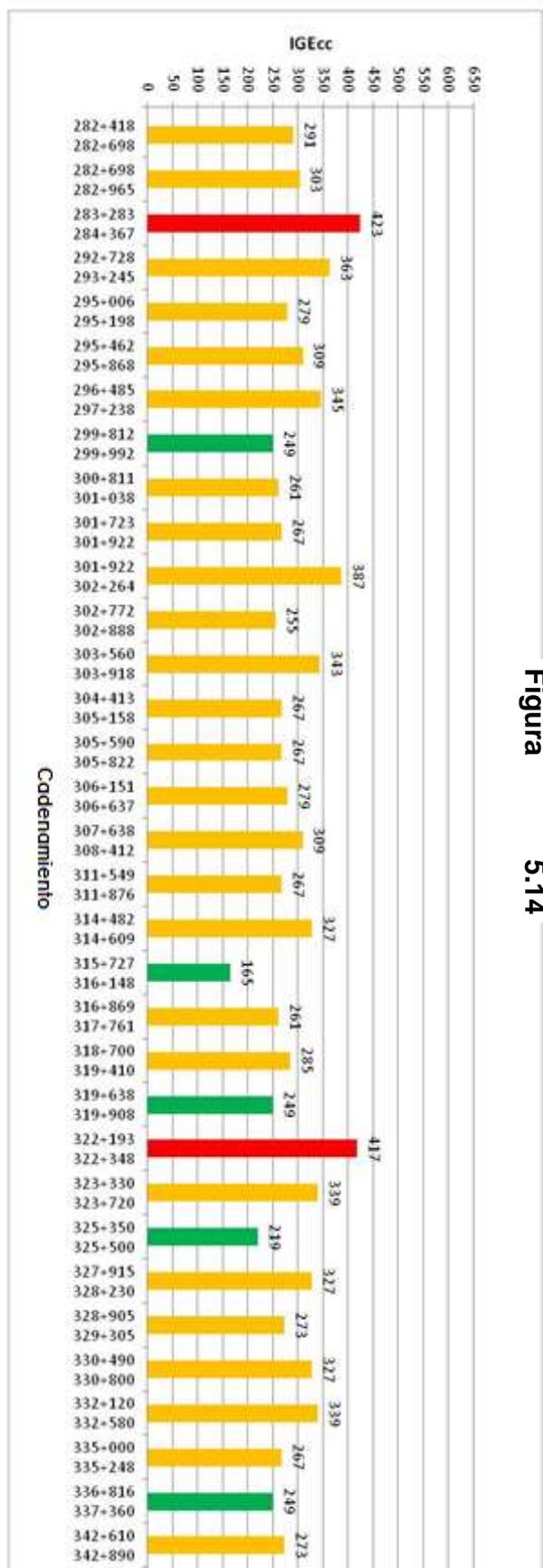
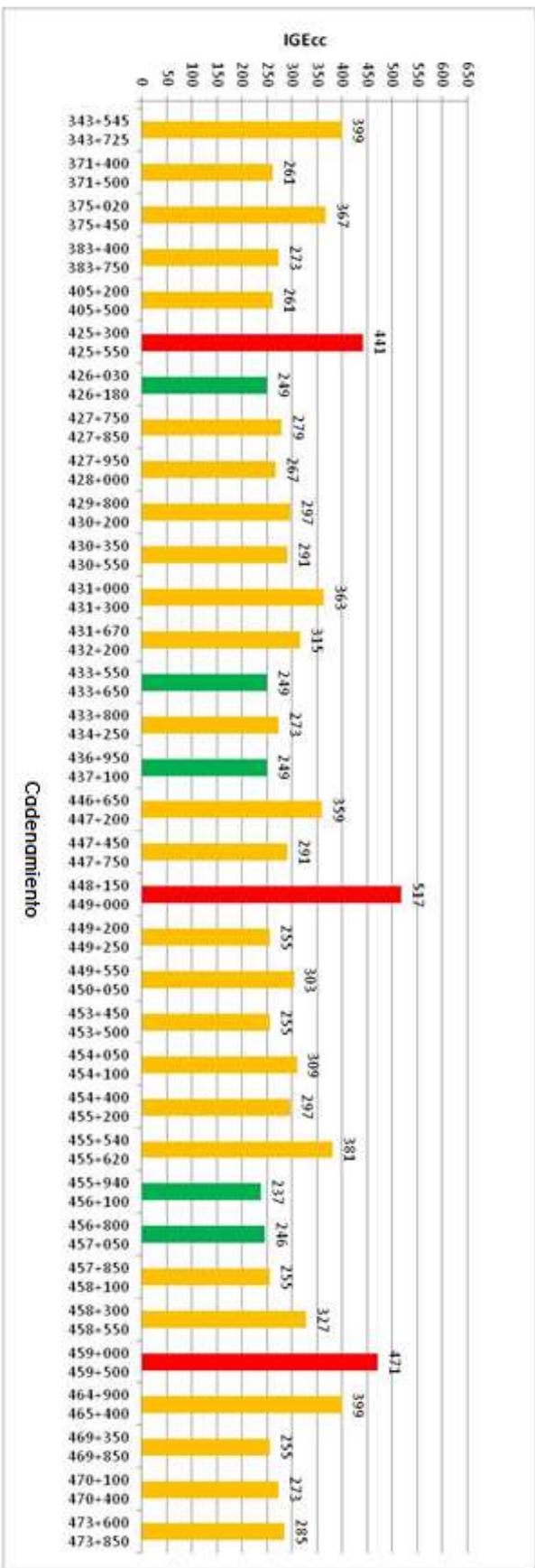


Figura 5.14

En la figura 5.14 podemos darnos cuenta que la puntuación más alta (IGE_{cc}=651) la tiene el corte ubicado en el tramo con kilometraje: 196+400 al 197+180, lo cual indica que su riesgo es de una categoría alta, por lo que debería de recibir atención inmediata. Revisando dicho corte se tiene el siguiente resumen:

FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	81
	Mantenimiento/limpieza	27
	Ángulo. Suelo	81
	Irregularidades	27
	Tipo de Sección	3
	Área de Captación	27
	Vegetación. Cuerpo	81
	Vegetación. Corona	27
Clima	Precipitación Media Anual	27
	Infiltración/agua presente	81
Geología	Tamaño del bloque	81
	Forma del bloque	81
	Deslizamientos/desplazamientos	27
IGE_{cc}		651

En la tabla anterior puede notarse que la mayoría de las puntuaciones son altas, excepto por el tipo de sección (tipo de corte), que recibe una puntuación de 3. La infiltración de agua es fuerte, lo que genera problemas puesto que no existe vegetación en el cuerpo del corte. Aunado a esto, tenemos una altura de más de 20 m, que exhibe un riesgo enorme ante algún desprendimiento de material granular con forma angular redondeada.

En la imagen 5.17 se puede notar acumulaciones de material en el pie del talud. El exceso de agua (que puede observarse escurriendo en la cuneta) satura la matriz de suelo hasta provocar la disminución del esfuerzo cortante. Las rocas contenidas por la matriz de suelo quedan sin ningún tipo de soporte, lo que ocasiona su desprendimiento. El corte se hace aun más riesgoso debido a que no existe ningún espacio destinado a captar el material desprendido, tan solo se tiene una cuneta con dimensiones que fácilmente pueden ser sobrepasadas por grandes desprendimientos de material.



Imagen 5.17 Corte km 196+400 – 197+180. Cuerpo A

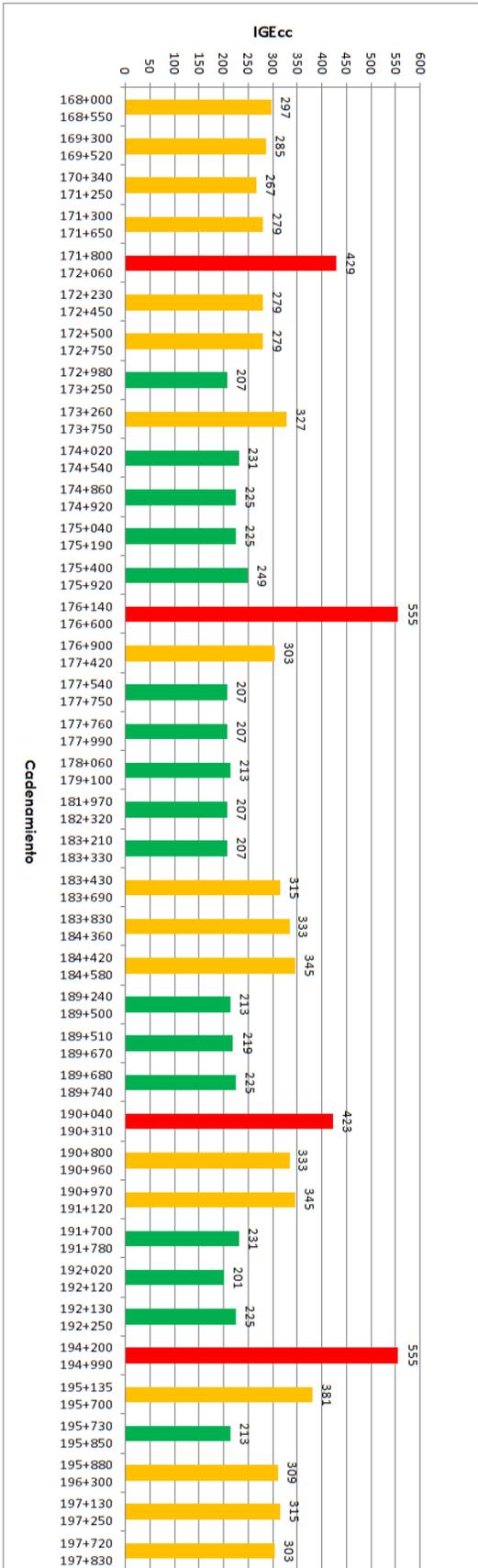
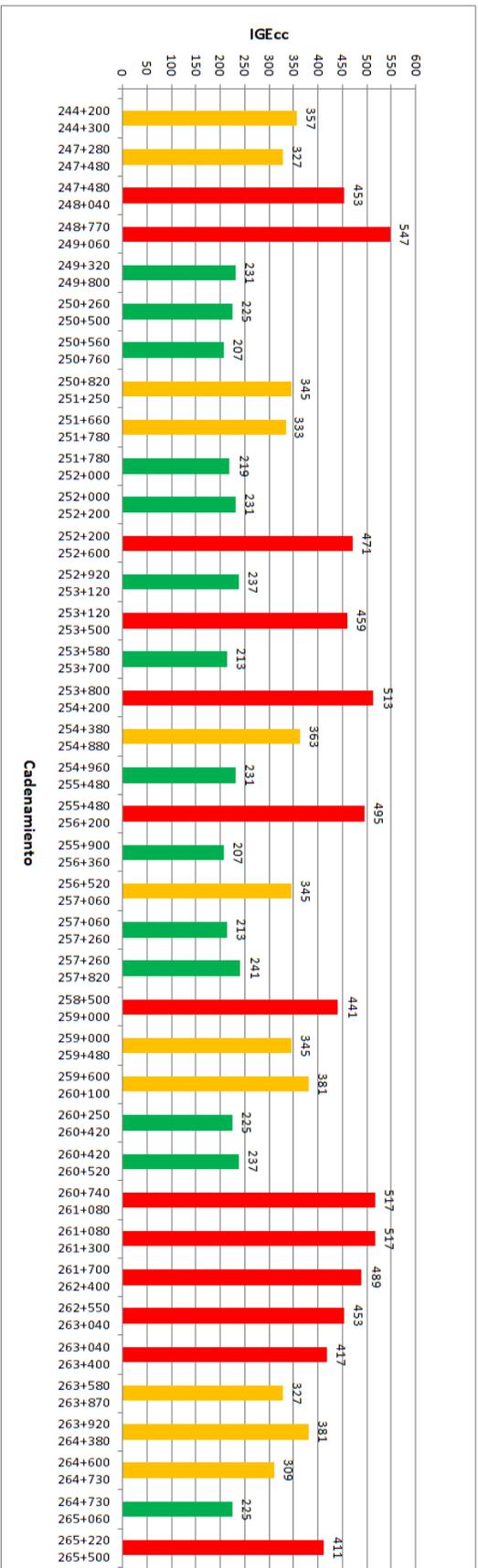
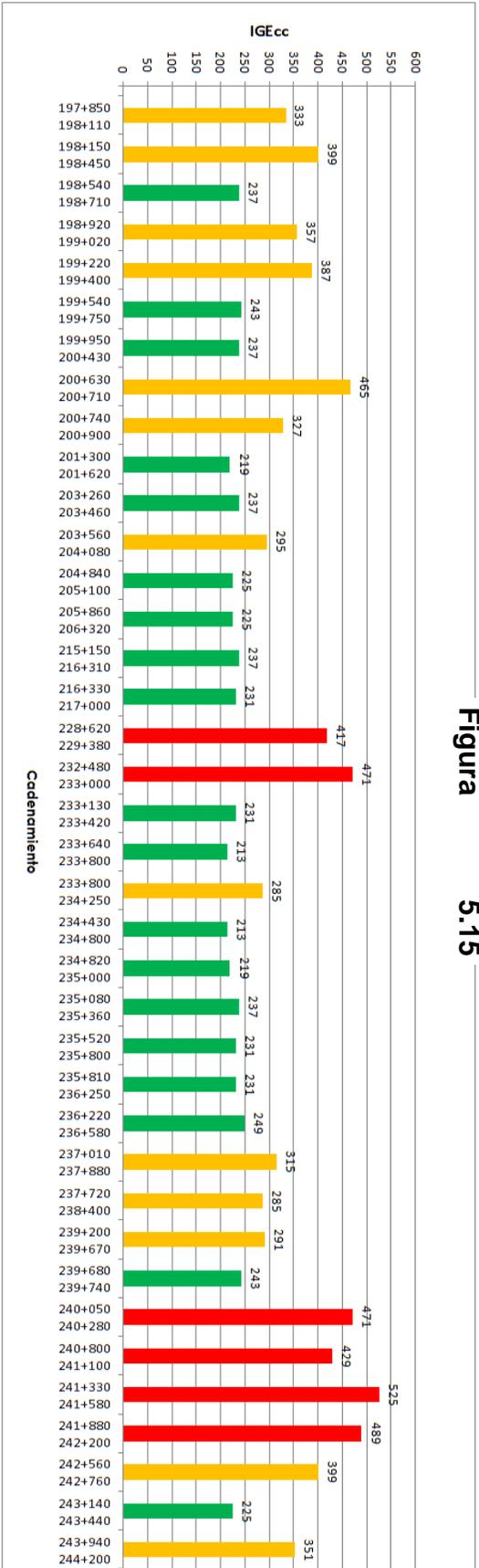


Figura 5.15 Languillo “Índice General de Estabilidad para Cortes Carreteros”. Tramo piloto, cuerpo B

Inestabilidad	Rangos	Color
Alta	IGEcc < 250	Red
Media	250 ≤ IGEcc < 400	Yellow
Baja	IGEcc ≥ 400	Green

Figura 5.15



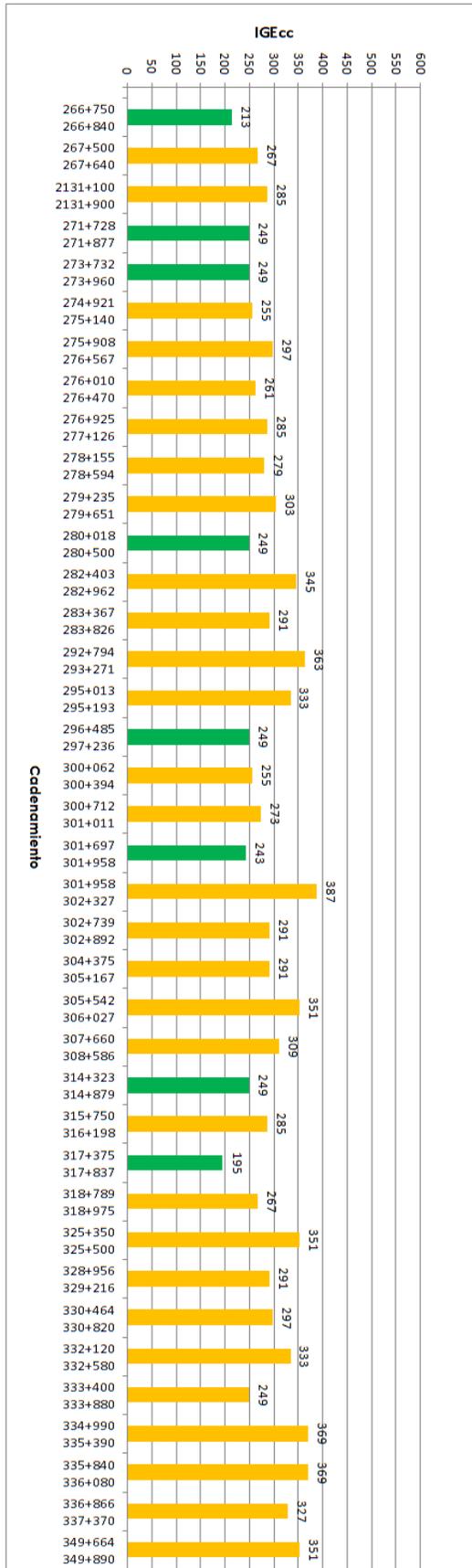
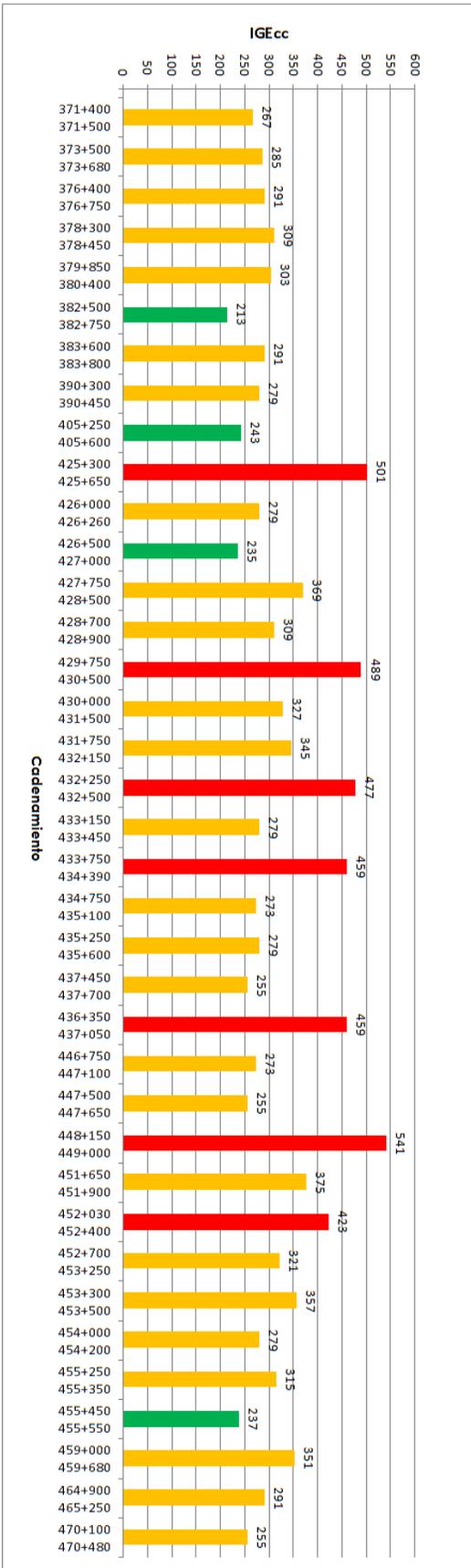


Figura 5.15

Es muy notable en la figura 4.14 (larguillo cuerpo A) un IGE_{cc} de 105 perteneciente al corte ubicado en el tramo con kilometraje 255+460 al 255+800, pues es la puntuación más baja que se presenta a lo largo del tramo evaluado (incluyendo cuerpo A y B). La razón principal radica en la altura tan pequeña. Como se puede observar en la imagen 5.18 la poca altura ayuda a tener una vegetación más poblada en la cara del corte, lo que ocasiona que las puntuaciones sean bajas. Para las puntuaciones para el corte con IGE_{cc} de 105 se tiene la siguiente tabla de resumen:

FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	3
	Mantenimiento/limpieza	3
	Ángulo. Suelo	27
	Irregularidades	3
	Tipo de Sección	3
	Área de Captación	3
	Vegetación. Cuerpo	9
	Vegetación. Corona	9
Clima	Precipitación Media Anual	27
	Infiltración/agua presente	3
Geología	Tamaño del bloque	3
	Forma del bloque	3
	Deslizamientos/desplazamientos	9
IGE_{cc}		105

Cabe señalar que pueden existir cortes que aun siendo de poca altura tengan grandes problemas de inestabilidad debido a que se encuentran justo en el pie de la ladera natural, lo que ocasiona perdida de estabilidad a un cierto volumen de material, sobre todo en suelos residuales o suelos rocosos soportados por una matriz de suelo arcilloso (imagen 5.19).



Imagen 5.18 Corte km 255+460 – 255+800. Cuerpo A



Imagen 5.19 Rocas en matriz de suelo. km 253+800 – 254+200. Cuerpo B. IGEcc: 513

Así entonces, de acuerdo a los larguillos presentados (figura 5.14 y figura 5.15) para cada uno de los cuerpos del tramo en estudio, podemos sintetizar como sigue:

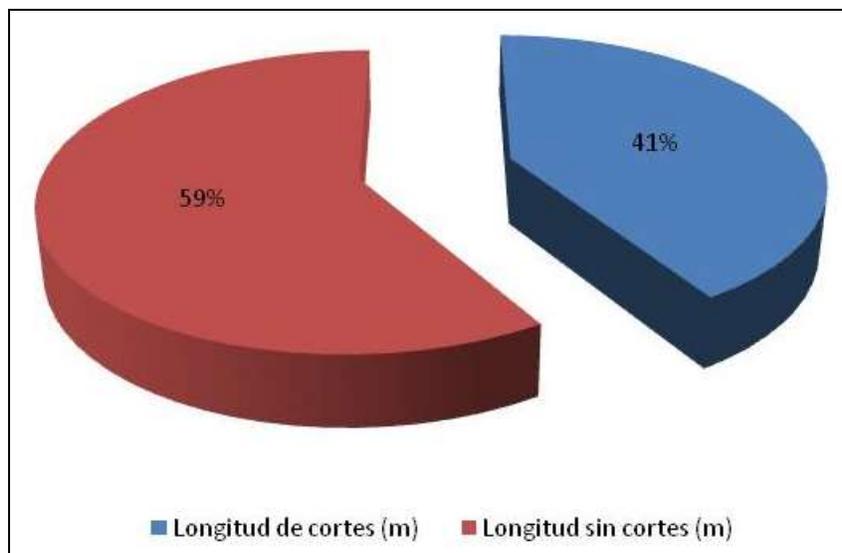
Se tiene una longitud total de la autopista de 309.7 km, de los cuales 127.451 km se encuentran entre cortes (gráfica 5.1) y representan el 41.15 % de la longitud total de la autovía.

De la longitud total de todos los cortes (127.451 km, tabla 5.2), 30.592 km corresponden a un nivel con $IGecc < 250$, es decir mantienen una inestabilidad baja; 67.628 km presentan un $IGecc$ entre 250 y 400, lo que indica una inestabilidad media; 29.231 km mantienen rangos $IGecc > 400$ pertenecientes a inestabilidades altas. Esto nos indica que de todos los cortes que se tienen registrados en ambos cuerpos de la autopista, el 24% no necesita acciones diferentes a un mantenimiento rutinario, el 53% presenta inestabilidades que necesitan de acciones correctivas un poco más costosas antes de que puedan ocasionar eventos desastrosos, el 22.94 % corresponde a cortes que necesitan atención inmediata y estudios más detallados correspondientes a la mecánica de suelos. Así pues, es de importancia hacer notar que el 76% de todos los cortes se encuentra en un estado inestable que se debe de tomar en consideración para los

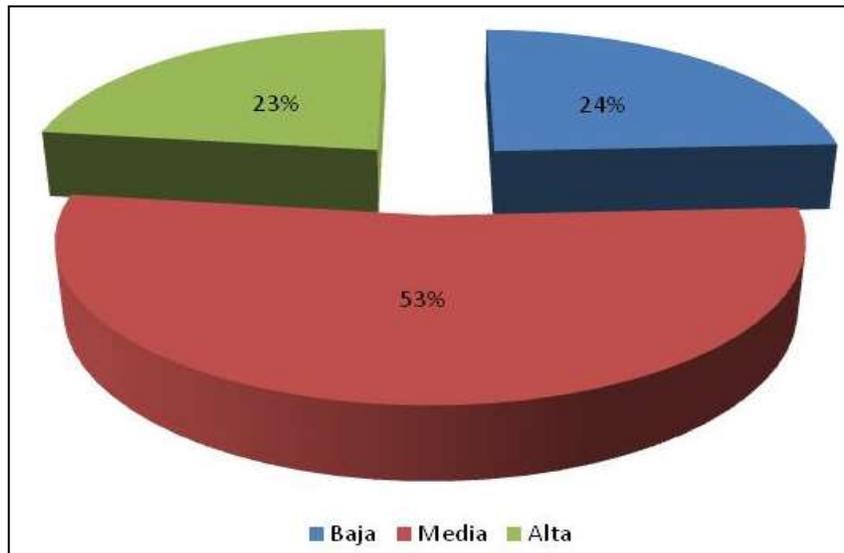
siguientes trabajos en la carretera. Ver gráfica 5.2. El porcentaje de inestabilidad de los cortes respecto a la longitud total de la carretera queda expresado en la gráfica 5.3. De esta gráfica podemos obtener la siguiente conclusión: El tramo piloto se encuentra con 31% de condiciones de inestabilidad considerables (inestabilidad media + inestabilidad alta), es decir, se tienen que empezar a considerar acciones que van más allá de un simple mantenimiento rutinario.

Inestabilidad	Long. Cuerpo A (m)	Long. Cuerpo B (m)	Long. Total (m)
Baja	11463	19129	30592
Media	32048	35580	67628
Alta	15441	13790	29231
Sumatoria			127451

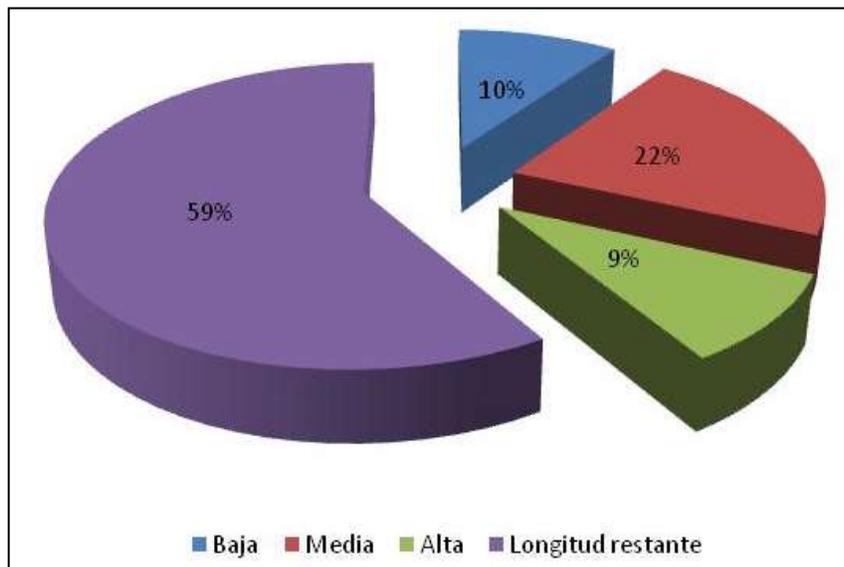
Tabla 5.2 Longitud de los cortes correspondientes a cada inestabilidad



Gráfica 5.1 Porcentaje de longitud de todos los cortes respecto a la longitud total de la autopista



Gráfica 5.2 Porcentaje de longitud de cada inestabilidad respecto a la longitud total de cortes



Gráfica 5.3 Porcentaje de longitud de cada inestabilidad respecto a la longitud total de la autopista

6 Conclusiones y recomendaciones

La metodología definida en esta investigación técnica se basa en el cálculo del Índice General de Estabilidad para Cortes Carreteros (IG_{CC}). Con la obtención del IG_{CC} se pretende incursionar en una metodología de gestión práctica para el personal que desarrollará la evaluación en un carácter primario o preliminar. La metodología permitirá que el IG_{CC} ayude de cierta forma a optimizar los recursos disponibles y a justificar plenamente los que se requieren para atender las prioridades de conservación de los cortes carreteros en la red.

Con la ayuda de un análisis multivariante de datos se determinaron tres grupos que delimitan los rangos de inestabilidad para los cortes carreteros de acuerdo al IG_{CC} (baja inestabilidad, media inestabilidad y alta inestabilidad). El responsable de la administración de la red carretera buscará mantener los valores del IG_{CC} en el rango de inestabilidad baja pues son los más convenientes para poder evitar gastos innecesarios.

El IG_{CC} resulta ser un indicador fácil de interpretar y de manejar, pues una simple puntuación nos dice con fundamentos teóricos y técnicos que nivel de riesgo tiene el corte y en base al presupuesto que se tenga, asignar recursos al corte que presente mayor riesgo.

El modelo ha mostrado sus bondades desde un primer punto de vista, es decir, desde una primera evaluación en un tramo piloto, sin embargo la importancia radica en la voluntad por parte de las administraciones encargadas del mantenimiento, de llevar un seguimiento de cada corte mediante el registro de su IG_{CC} durante diferentes tiempos, para que se vaya creando una historia de cada uno de los cortes que se tienen en las diferentes redes carreteras y poco a poco ir afinando los factores y rangos de puntuación.

De acuerdo a la evaluación mediante el IG_{CC} del tramo piloto, se pudo observar la importancia del factor altura, puesto que en muchas ocasiones en donde no se presentan riesgos altos, dicho factor puede ocasionar puntuaciones altas. En cortes con alturas elevadas el IG_{CC} tendrá su variación en el tipo de geología y la forma en que se haya realizado el corte (por ejemplo: el mal uso de explosivos genera una superficie demasiado fracturada e irregular). En cortes pequeños la relación va directamente al material que se presente, es decir, en materiales débiles, un corte al pie de la ladera natural puede ocasionar deslizamientos a causa de la pérdida de apoyo. Así pues, la altura se convierte en el factor de más relevancia y difícil de interpretar, puesto que en muchas ocasiones un corte pequeño supuestamente estable puede ser el que mayores problemas tiene, y un corte que por su gran altura puede causar “temor” y generar puntuaciones altas, en realidad sea un corte debidamente estable. La altura de los cortes carreteros se

incluye en la metodología por los riesgos que desencadena: alturas muy grandes generalmente llevan consigo problemas de drenaje, falta de cobertura vegetal en la cara del corte para evitar la erosión, mayor riesgo de materiales caídos (lo que ocasiona mayor frecuencia en la limpieza y mantenimiento de la carretera), irregularidades en la superficie por técnicas pobres de excavación, así como necesidad de tener superficies de captación de materiales sueltos.

Es muy importante mencionar que un corte supuestamente estable o de reciente creación con una altura mayor a 20m debe de oscilar entre un IG_{CC} de 195 a 243; partiendo de lo siguiente:

1. Altura > 20 m: Calificación = 81 puntos,
2. Se supone que el corte no ha tenido mantenimiento: calificación = 3 puntos,
3. El ángulo en los cortes generalmente se hace a 75°: calificación = 81 puntos,
4. Si el procedimiento de corte fue adecuado, no existe razón para que existan irregularidades en la cara del talud: calificación = 3 puntos,
5. Siendo un poco conservadores, se supone una sección tipo cajón, sin fallas en el pavimento: calificación = 3 puntos,
6. Para una altura demasiado grande es necesario que exista una debida área de captación para posibles desprendimientos de materiales: calificación = 3 puntos,
7. Todo corte realizado necesita ser protegido contra la erosión, por lo que la cobertura vegetal debería de tener una puntuación de 3 (en el cuerpo y la corona),
8. La precipitación se supone menor a 200 mm: calificación = 3 puntos,
9. Un buen sistema de drenaje no debería de permitir infiltraciones fuertes: calificación = 3,
10. En un corte bien cuidado, la geología no debería de presentar ningún tipo de problema: puntuación = 3 X 3 factores = 9,
11. La suma de todos los factores anteriores presentan un Índice General de Estabilidad para Cortes Carreteros de 195.

Si por algún motivo la precipitación y la cobertura vegetal se encontraran dentro una puntuación de 27, el IG_{CC} sería aproximadamente de 243.

A pesar de los avances en los sistemas de prevención de desastres y estabilidad en taludes, siguen existiendo varios eventos desastrosos en las redes carreteras, producto de deslizamientos o derrumbes de cortes carreteros. En muchas ocasiones el principal problema de un deslizamiento, radica en el proceso constructivo, pues varios cortes se construyen sin ningún tipo de cuidado, aplicando sistemas de excavación en una forma desmesurada y sin ninguna proporción. Para el caso de cortes mediante explosivos, es recomendable adentrarse en las técnicas de precorte, pues en base a experiencias actuales por parte de muchas empresas, se han podido observar grandes mejoras en la estabilidad que ayudan posteriormente a reducir los costos de mantenimiento.

Un talud al que se le ha aplicado un mal corte, tiende a ser mayormente inestable, lo que puede generar desprendimientos de materiales. En varios casos, los desprendimientos llegan a ser tan seguidos, que de un momento a otro, el talud llega a perder gran parte de su volumen, incluso ocurren pérdidas más allá del derecho de vía, situación que hace muy difícil su reparación, puesto que se tiene que lidiar con las personas para poder entrar a su territorio; en casos de expropiación las personas suelen tomar una actitud demasiado negativa. Por ello, para evitar este tipo de problemas, es de mucha importancia evaluar los cortes de una forma práctica, rápida y sustentada; pues con esas cualidades (ofrecidas por el IGE_{CC}) las evaluaciones podrían hacerse más de dos veces por año.

El IGE_{CC} resulta ser una herramienta muy importante en gestión de cortes carreteros, por lo tanto, se debe de tomar en cuenta lo siguiente:

- Aplicar una y otra vez el sistema de evaluación de cortes mediante el IGE_{CC}, dará como resultado una mayor experiencia, con la cual podemos tener el juicio para poder modificar los factores y rangos de evaluación que en algún momento se tornen innecesarios o incompletos.
- Debe de existir capacitación para el personal involucrado en el uso del IGE_{CC}, para uniformizar la forma en que los factores deben de ser levantados y evaluados.
- Se debe de crear la cultura de registrar las precipitaciones en todos los puntos en donde se haya detectado cortes con valores de IGE_{CC} altos, pues con ello se contribuirá (en caso de que exista un derrumbe) a una nueva etapa de información que servirá para determinar a qué cantidad de milímetros de precipitación puede fracasar cierto material en cada corte.
- Los cortes que presenten un rango alto de IGE_{CC} deberán de ser estudiados a fondo mediante la teoría de análisis de estabilidad de taludes para determinar la solución más óptima.

- En situaciones donde el presupuesto sea limitado, se deberá dar prioridad dentro de los cortes evaluados con IGE_{CC} alto, a aquellos que se encuentren en el tramo con TDPA mayor, para ello es necesario realizar una grafica de IGE_{CC} vs TDPA.

Bibliografía y Referencias

1. Suárez Díaz Jaime. "Control de Erosión en Zonas Tropicales". Universidad Industrial de Santander 2001.
2. Rico y del Castillo. "La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres". Volumen 1.
3. González de Vallejo. "SRC Rock Mass Classification of Tunnels Under High Tectonic Stress Excavated in Weak Rocks". Science Direct.
4. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). "Estadísticas del agua en México". Marzo del 2010.
5. Gama Castro J.E., Carreón Freyre D., Palacios Mayorga S. y Solleiro Rebolledo E. "Génesis, Identificación y uso de los Suelos de México". Documento técnico No 19, Sanfandila, Querétaro 1998.
6. Gorskov G. y Yakushova A. "Geología General". Editorial MIR, Moscú 1970.
7. R.K.S. Chan Head. "Guide to Slope Maintenance". Geotechnical Engineering Office Civil Engineering Department, December 2003.
8. Kyoji Sassa, Hiroshi Fukuoka, Fawu Wang, Gonghui Wang. "Landslides, Risk Analysis and Sustainable Disaster Management". Springer- Verlag Berlin Heidelberg 2005, printed in Germany.
9. Russell Christopher P., Santi Paul, Humphrey John D. "Modification and Statistical Analysis of the Colorado Rockfall Hazard Rating System". Colorado School of Mines, Report No. CDOT-2008-7-Final Report. September 2008.
10. Hoek Evert. "Rock Engineering". Course Notes.
11. Wyllie Duncan C. & Mah Christopher W. "Rock Slope Engineering, Civil and Mining". 4th edition.
12. Peña Daniel. "Análisis de Datos Multivariantes". 23 de enero del 2002. Editorial McGraw-Hill.

13. Pérez López César. "Técnicas de Análisis Multivariante de Datos". Editorial Pearson Alhambra.
14. Tucker Maurice E. "Sedimentary Rocks in the Field". Department of Geological Sciences, University of Durham, UK. WILEY editorial. Third edition.
15. Nichols Gary. "Sedimentology and Stratigraphy". WILEY-BLACKWELL Editorial, 2009. Second edition.
16. Ho Carlton L. and Norton Sonja S. "Development of an Unstable Slope Management System". Washington State Department of Transportation. Final Report 1991.
17. American Journal of Environmental Sciences. "Evaluation of Slope Assessment System in Predicting Landslides along Roads Underlain by Granitic Formation". Science Publications, 2005.
18. Mendenhall William. "Introducción a la Probabilidad y Estadística". Grupo editorial Iberoamérica. México, D.F. 1989.
19. South Carolina Department of Transportation (2001). "Maintenance Assessment Program".

20. www.inegi.org.mx 14 septiembre/2010
21. www.coremisgm.gob.mx 14 septiembre/2010
22. www.ine.gob.mx 14 septiembre/2010
23. smn.cna.gob.mx 02 diciembre/2010
24. www.semarnat.gob.mx 10 enero/2011
25. www.sct.gob.mx 08 Agosto/2010

CIUDAD DE MÉXICO

Av. Nuevo León 210
Col. Hipódromo Condesa
CP 06100, México, D F
Tel +52 (55) 52 653600
Fax +52 (55) 52 653600

SANFANDILA

Carretera Querétaro-Galindo km 12+000
CP 76700, Sanfandila
Pedro Escobedo, Querétaro, México
Tel +52 (442) 216 9777
Fax +52 (442) 216 9671



**INSTITUTO
MEXICANO DEL
TRANSPORTE**



www.imt.mx
publicaciones@imt.mx