

ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LA PROFUNDIDAD DE FALLA DE UN TALUD VIAL Y LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA

Maria Consuelo Nova Avendaño

¹Estudiante Ingeniería Civil, Universidad la Gran Colombia, Colombia, mariacnovaa@gmail.com

Resumen– En la evaluación de estabilidad de los taludes en los corredores viales a media ladera, se presentan varios métodos técnicos donde se implementan herramientas que permiten determinar datos y establecer así una posible superficie de falla, en este trabajo se presenta un análisis de estabilidad de un talud en condiciones saturada, estática o pseudoestática, a partir de una evaluación con ecuaciones de resistencia normalizadas, obtenidas después de realizar un análisis retrospectivo de datos teóricos, sobre parámetros geotécnicos. A partir de estos datos recopilados de estudios ya previos, se establece unos rangos de las geometrías típicas para taludes de suelos coluviales. Posteriormente se realizó una serie de evolución del comportamiento de los taludes bajos las condiciones geotécnicas ya establecidas, usando el programa de análisis Slide con los resultados recopilados en la matriz de parámetros geotécnicos. Los parámetros geotécnicos obtenidos se relacionan en ecuaciones de resistencia normalizada, para graficarlas vs la profundidad de falla, determinando si los valores de las correlaciones son óptimos para concluir que estas ecuaciones pueden establecer el comportamiento de un talud a media ladera cuando es sometido a condiciones de saturación o fuerzas sísmicas.

Palabras clave– Análisis pseudoestático, Análisis retrospectivo, Superficie de falla, Parámetros geotécnicos, Geometría.

Abstract– In the evaluation of stability of the banks in the road corridors to lateral average, they present several technical methods where there are implemented tools that allow to determine information and to establish this way a possible surface of fault, in this work one presents an analysis of stability of a bank in conditions saturated, statics or pseudoestática, from an evaluation with equations of resistance normalized, obtained after one realizes analysis retrospectivo of theoretical information, on geotechnical parameters. From this information compiled of already previous studies, there are established a few ranges of the typical geometries for banks of soils coluviales. Later there realized a series of evaluation of the behavior of the low banks the geotechnical already established conditions, using a program of analysis of stability as Slide, from the results compiled in the counterfoil of geotechnical parameters. The geotechnical obtained parameters relate in equations of normalized resistance, for graficarlas vs the depth of fault, determining if the values of the correlations are ideal to conclude that these equations can establish the behavior of a bank to lateral average when it is submitted to saturation conditions or seismic forces.

Keywords-- Pseudo-static analysis, Retrospective analysis, Fault surface, Geotechnical parameters, Geometry.

I. INTRODUCCIÓN

El creciente desarrollo económico del país se ha convertido en la causa principal para mejorar los corredores viales nacionales, sin embargo, la geografía colombiana es todo un desafío para los diseñadores viales y constructores. Por esto se hace necesario realizar una serie de estudios que permitan establecer las condiciones geológicas de las laderas sobre los cuales se trazan las vías y a su vez establecer el comportamiento de los taludes cuando son sometidos a fuerzas externas, las realizaciones de estos estudios representan un gran costo que en muchos casos no es recuperable, dado a que, a pesar de la viabilidad

geográfica, el parámetro mecánico del suelo no representa una estabilidad a largo plazo. En este trabajo se propone un método de análisis para taludes viales a media ladera a partir de ecuaciones de resistencia normalizadas y profundidades de fallas.

El comportamiento mecánico de los materiales que conforman una ladera o un talud depende principalmente de su resistencia y de las fuerzas que dan lugar a un estado de esfuerzos. Los cuales provocan unas deformaciones en las estructuras que contienen dichas formaciones de tierra, estas deformaciones no se pueden predecir, sin embargo, relacionar el comportamiento del material en ciertos

casos de esfuerzos o en condiciones mecánicas específicas. Esta investigación se lleva a cabo con el fin de establecer posibles diagnósticos de estabilidad de taludes a partir de las configuraciones geométricas y parámetros geotécnicos esenciales, sin necesidad de realizar un análisis detallado con un margen muy pequeño de error.

La metodología empleada en el desarrollo de este trabajo se basa en un análisis retrospectivo de los parámetros geotécnicos de suelos coluviales, a partir de los datos recolectados de las investigaciones, artículos, trabajos de grado que se han desarrollado sobre el tema a trabajar, posteriormente se plantean realizar las modelaciones en slide, variando las geometrías y la profundidad de falla de los taludes cumpliendo el $FS=1$.

Los parámetros geotécnicos obtenidos se relacionan en ecuaciones de resistencia normalizada, para graficarlas vs la profundidad de falla, determinando si los valores de las correlaciones son óptimos para concluir que estas ecuaciones pueden establecer el comportamiento de un talud a media ladera cuando es sometido a condiciones de saturación o fuerzas sísmicas, de acuerdo a la geometría.

II. METODOLOGÍA

ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

En la investigación se desarrolló un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), puesto que se realizó un análisis retrospectivo de los parámetros geotécnicos donde se encuentra el enfoque cuantitativo. A partir de la modelación y de los análisis de los datos se plantea una serie de graficas que permiten establecer un análisis cualitativo de la investigación, donde se desarrollen las correlaciones y el análisis matemáticos que establezcan la relación entre la profundidad de falla $FS=1$ y los parámetros de resistencia.

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es una investigación de tipo documental elaborada en base a investigaciones previa sobre el tema en mención, donde la variación se denota en el tipo de análisis que se ejecute frente a los datos y parámetros obtenidos, es decir las correlaciones obtenidas serán elaboradas en base a parámetros físicos y caracterización de suelos, no solo teniendo en cuenta este último como por lo general se ha hecho hasta la fecha.

MUESTRA

No se puede establecer una zona específica para la aplicación de este trabajo, dado a que en gran parte del desarrollo de las vías en el país presenta una relación directa con el análisis que se plantea desarrollar, dado a que gran parte del territorio nacional cuenta con una zona montañosa generando una gran presencia de suelos coluviales.

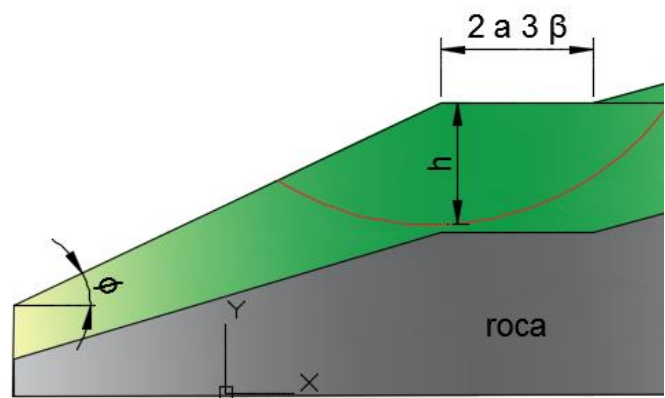
Por tal razón se plantea una matriz que establece una serie de parámetros para el análisis geo mecánico del suelo de acuerdo a las características físicas del talud.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE PARÁMETROS

El análisis de sensibilidad de los parámetros se utiliza para determinar la modificación del coeficiente de seguridad entre los parámetros asociados al modelo que definen el comportamiento del talud, ya sea los parámetros resistentes o la geometría.

Para el desarrollo de esta investigación se tomaron valores máximos y mínimos para los parámetros geo mecánicos de suelos coluviales y residuales determinados a partir de la recopilación bibliográfica, Basado en esta información se varían los valores de cohesión y ángulo de fricción con el objetivo de determinar el comportamiento del talud cuando es sometido a una saturación y cuando se encuentra en estado pseudoestática.

Figura 1 Variables Geométricas



Fuente: propia

θ : Ángulo interno del terreno natural. Típicamente $15^{\circ} \leq \theta \leq 40^{\circ}$
 β : Ángulo externo del talud. Típicamente $\beta \geq 15^{\circ}$ $\beta \leq 40^{\circ}$ (Relaciones V:H de 1:2 y 1:1)
 h : altura del relleno (3 a 15 metros)
 a : ancho total de la carretera o vía. Típicamente 10 a 15 m (2 ó 3 carriles).
Los parámetros geotécnicos usados fueron los siguientes:
 γ_1 : peso unitario del Suelo 1
 β_i : ángulo de fricción del material del Suelo 1
 C_1 : resistencia en condición no drenada (cohesión) del material de Suelo 1.

En desarrollo de la investigación se determinó la necesidad de realizar una matriz que permita recolectar la información de manera organizada, en la Figura 2 se presenta la matriz a trabajar.

Figura 2 Formato de recolección de datos

COLUVIAL																	
PROFUNDIDAD (h) 3:00m a 15:00m																	
			SIN SISMO					CON SISMO									
RU			0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	VARIA 0.1 A 0.5									
SISMO								0.1	0.15	0.20	0.25	0.30					
PENDIENTE	β	γ	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C
VARIABLE 15° A 40°	15	18															
	20																
	25																
	30																
	35																
	40																

Fuente: propia

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las selecciones de los parámetros geotécnicos utilizados en el desarrollo de este trabajo se basan en las investigaciones realizada por Bowles, por el ingeniero Manuel García López entre otros. Sin embargo, para el desarrollo de las modelaciones en la Tabla se presentan los rangos de valores para suelos coluviales con los que se desarrollaran las modelaciones.

Los parámetros geográficos, se basan en las geometrías desarrolladas en las investigaciones consultadas, así como en las geoformas que caracterizan las laderas nacionales y en los aportes de experiencia del director del trabajo de grado. En la Tabla 1 se definen los parámetros que se utilizaran para las modelaciones.

Tabla 1 Parámetros definidos para las modelaciones

PARÁMETROS INICIALES PARA LAS MODELACIONES						
Profundidades de falla (m)	3	6	9	12	15	
Ángulos internos del talud (°)	15	20	25	30	35	40
Ángulos externos del talud (°)	15	20	25	30	35	40
Relaciones de presiones de poros	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
Fuerzas sísmicas	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	

Fuente: propia

Los desarrollos de las modelaciones se realizaron bajo condición estática y condición pseudoestatica, para las todas las posibles combinaciones geométricas analizadas. Se establece la necesidad de analizar el comportamiento de los parámetros geotécnicos para las diferentes profundidades de falla, cumpliendo el FS=1.

Primero se definieron los rangos para los ángulos internos y externos de un talud de suelo coluviales de acuerdo a el análisis retrospectivo realizado sobre los diferentes datos recolectados. De lo cual se puede determinar un rango de valores máximos y mínimos como aparecen en la tabla 2.

Tabla 2 Resumen de rangos máximos y mínimos de los parámetros geo mecánicos.

Cohesion		Angulo		Peso Unitario (γ_{sat})	
KN/m ² (C)		(°) (ϕ)		KN/m ³	
Minimo	Maximo	Minimo	Maximo	Minimo	Maximo
0	150	9	48	17	23

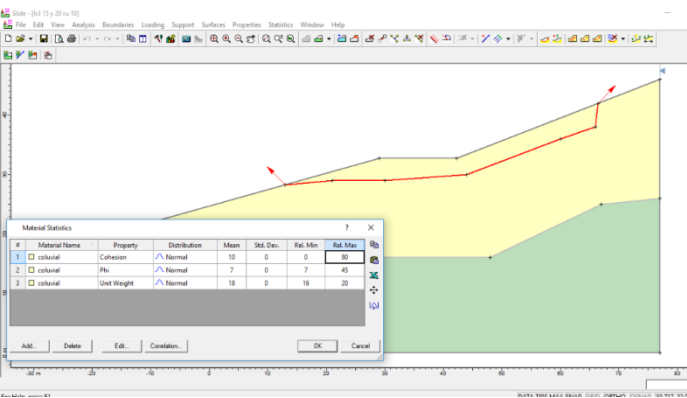
Fuente: propia

Los datos del análisis retrospectivo realizado, está basado en los ensayos de compresión encofinada, ensayo de penetración estándar, los cuales indicaron que los parámetros geo mecánicos del suelo, cuentan con un rango de variación muy pequeño. Se identificó que para taludes de ángulos ϕ 40 y β 40 y profundidades de falla de 15 metros, no cuenta con una relación de parámetros geotécnicos dentro de los rangos determinados en Tabla .

ELABORACIÓN DE GRAFICAS Y ANÁLISIS DE ECUACIONES RESISTENCIA NORMALIZADA

Para el desarrollo de las modelaciones se trabajó mediante un análisis de sensibilidad, el cual permitió definir los rangos mínimos y máximos de los parámetros geotécnicos del terreno dentro del programa, como se muestra en la figura 3.

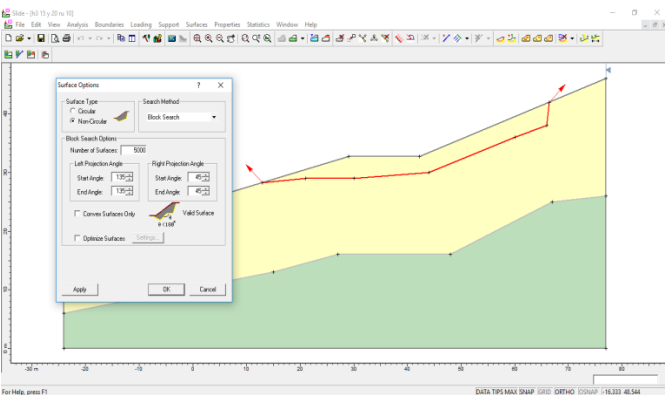
Figura 3 Rangos de análisis de sensibilidad



Fuente: propia

Para el desarrollo de las modelaciones se trabajó con el método de equilibrio límite de Bishop, y superficies de fallas circulares, sin embargo, al realizar las primeras modelaciones se identifica que no es posible obtener un resultado para cada configuración geométrica, a las profundidades de falla planteadas, por tanto, se plantean un análisis de superficies de falla no circulares, para cada profundidad de falla en la figura 4, presentan las opciones trabajadas dentro de las modelaciones.

Figura 4 Superficies de falla



Fuente: propia

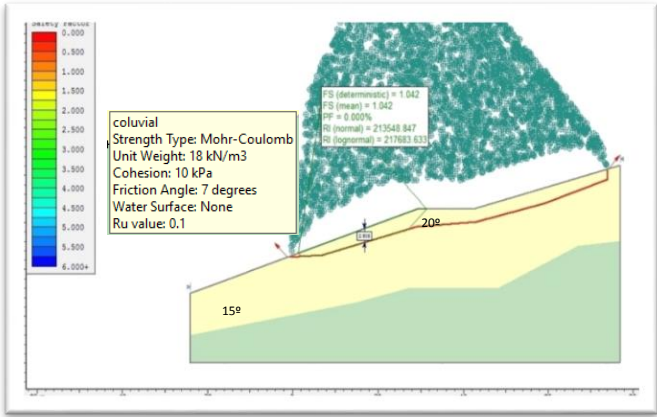
Para la elaboración de las gráficas se plantean las ecuaciones de resistencia normalizada, que relacionen los parámetros geotécnicos del suelo y los parámetros físicos de los taludes a media ladera con la profundidad de falla.

Se plantea el análisis de datos para todas las configuraciones posibles dentro de los parámetros geométricos y geotécnicos, estas combinaciones dejan como resultados los parámetros geotécnicos necesarios para cumplir el factor de seguridad FS=1.

Segundo se determinaron geometrías de taludes con ángulos internos y externos sobre el corredor vial desde los 15° hasta los 40°. A partir de los cuales se puede estable una relación directa entre los mismos, cuando los dos ángulos aumentan, la falla es más

profunda si se analiza como falla circular, pero si se analiza estableciendo la profundidad de falla como una constante, genera que los paramentos geo mecánicos del suelo aumenten para cumplir el factor de seguridad FS=1. Realizando una comparación en la figura 5 se observa un talud con ángulos $\phi 15$ y $\beta 20$ en condición estática, la cohesión tiene un valor de 10KPa y ángulo de fricción de 7° y una profundidad de falla de 3 metros en la figura 6.

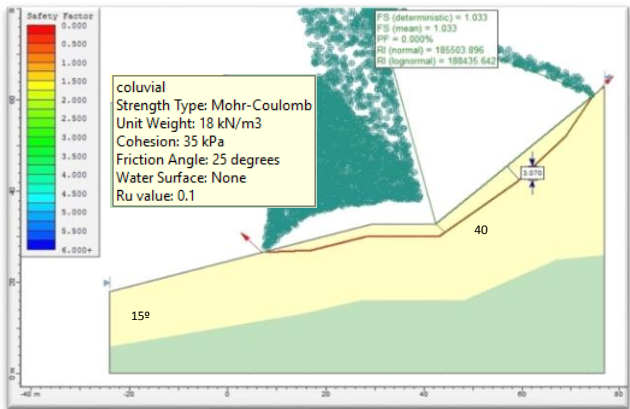
Figura 51 Talud $\phi 15$ y $\beta 20$ Ru .10 sin sismo



Fuente: propia

Se observa un talud de $\phi 15$ y $\beta 40$ con cohesión de 35 KPa y ángulo de fricción de 25° , profundidad de falla de 3 metros, se puede identificar la variación en los parámetros geo mecánicos del suelo cuando aumenta la inclinación del talud.

Figura 6 Talud $\phi 15$ y $\beta 40$ Ru .10 sin sismo



Fuente: propia.

Los mecanismos de falla de los taludes analizados se determinaron con superficies circulares y superficies no circulares. A partir del cual se identificó que la falla circular depende de los ángulos del talud y solo permite establecer a una profundidad de falla, limitando así los resultados para las gráficas y correlaciones. Por tal razón se analizan los taludes con fallas no circulares donde se establece la profundidad de falla en un rango de (3 a 15 metros) variando los parámetros geo mecánicos para llegar cumplir el factor de seguridad.

Bajo condiciones sísmicas estáticas un talud es estable, es decir que las fuerzas resistentes son mayores a las fuerzas deslizantes, en condición pseudoestática las fuerzas externas influyen de manera directa en la resistencia interna del suelo. A causa de esto el análisis sísmico y configuraciones geométricas de cada talud se analizaron de manera conjunta con el fin de establecer el comportamiento de los parámetros geotécnicos cuando el suelo es sometido a condiciones sísmicas, sin alterar la geometría del talud. Lo cual genera que las fuerzas deslizantes se aumenten y provoquen una inestabilidad del talud. Para cumplir con el factor de seguridad se variaron los parámetros geo mecánicos dentro de los rangos obtenidos en el análisis retrospectivo mencionado en la Tabla .

Las condiciones de los taludes analizados se establecieron para trabajar con el método de talud infinito, dado que es más frecuente en laderas naturales y taludes de corte, en condición estática el comportamiento de la superficie de falla de los taludes con un grado de saturación Ru, depende de los parámetros geotécnicos y geométricos del talud, por tanto, se establecieron dos ecuaciones de resistencia normalizada que permitan relacionar los parámetros físicos y mecánicos ya mencionados.

$$\frac{(C * \tan \phi)}{\gamma}$$
Ecuación 1
C: Cohesión.

Tan ϕ : Tangente del ángulo interno del talud

γ : peso específico del suelo

En la ecuación 1 se relacionan la cohesión y peso específico con el ángulo interno del talud, con la cual se propone evaluar el comportamiento del talud, si el peso específico no varía y el ángulo aumenta proporcionalmente. En la Tabla se indican los resultados de la resistencia normalizada para un talud con un ángulo θ de 15° y una profundidad de falla de 3 metros, se puede evidenciar que la resistencia normalizada aumenta a medida que aumenta la cohesión del terreno y esta a su vez aumente si se varía el ángulo β , a pesar de mantener constante el ángulo θ y la profundidad de falla. En la tabla 4 se puede identificar que la resistencia normalizada es mayor que la presentada en la tabla 3, indicando que la profundidad de falla aumenta generando que la cohesión aumente de manera proporcional de acuerdo a las condiciones geométricas y a las condiciones de saturación.

Tabla 3 Resistencia Normalizada ecuación 1. H 3 m., $\theta 15^\circ$ y β variable

θ	β	RESISTENCIA NORMALIZADA $(C*\tan\phi)/\gamma$					
		H	RU .10	RU .20	RU .30	RU .40	RU .50
15	15	3	0,09	0,10	0,10	0,10	0,12
15	20	3	0,15	0,15	0,15	0,16	0,18
15	25	3	0,22	0,19	0,19	0,21	0,28
15	30	3	0,22	0,22	0,24	0,25	0,28
15	35	3	0,30	0,28	0,31	0,33	0,37
15	40	3	0,34	0,34	0,34	0,36	0,43

Fuente: propia.

Tabla 4 Resistencia Normalizada ecuación 1. H 15 m., $\theta 15^\circ$ y β variable

θ	β	RESISTENCIA NORMALIZADA $(C*\tan\phi)/\gamma$					
		H	RU .10	RU .20	RU .30	RU .40	RU .50
15	15	15	0,28	0,27	0,25	0,27	0,33
15	20	15	0,28	0,28	0,27	0,28	0,34
15	25	16	0,30	0,30	0,27	0,31	0,36
15	30	15	0,31	0,30	0,28	0,33	0,37
15	35	15	0,33	0,31	0,30	0,36	0,39
15	40	15	0,34	0,33	0,30	0,39	0,40

Fuente: propia.

$(C*\tan\beta)/\gamma$. Ecuación 2

C: Cohesión.

Tan β : Tangente del Angulo de fricción del terreno.

γ : p eso específico del suelo

La ecuación 2, relaciona los parámetros geotécnicos del terreno, bajo condiciones geométricas que varían gradualmente pero que no se encuentran implícitas dentro de la ecuación, realizando un análisis de los resultados de resistencia normalizada para un talud con ángulo θ 25° , profundidad de falla 3 metros como se indica en la tabla 5 , se identifica que cuando el ángulo β aumenta, la cohesión y el ángulo de fricción del terreno aumenta, debido a que aumenta la pendiente del terreno.

Tabla 5 Resistencia Normalizada ecuación 1. H 3 m., $\theta 25^\circ$ y β variable

θ	β	RESISTENCIA NORMALIZADA $C*\tan\beta/\gamma$					
		H	RU .10	RU .20	RU .30	RU .40	RU .50
25	15	3	0,13	0,14	0,16	0,18	0,12
25	20	3	0,10	0,12	0,12	0,14	0,17
25	25	3	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12
25	30	3	0,15	0,15	0,13	0,14	0,16
25	35	3	0,13	0,13	0,15	0,17	0,18
25	40	3	0,19	0,17	0,18	0,19	0,19

Fuente: propia.

Se procedió a realizar las gráficas relacionando la profundidad de falla y los valores de resistencia normalizada obtenidos a partir de las ecuaciones 1 y 2. Se determinó que la altura h en la zona de falla (FS=1), presenta una variación lineal con la resistencia en condición estática y bajo un grado de saturación que aumenta gradualmente, tal como se observa en el Gráfico 1.

ANÁLISIS DE CORRELACIONES

Los resultados obtenidos a partir de las ecuaciones se grafican vs las alturas de profundidad de falla, los valores de correlación se analizan de manera individual con el objetivo de establecer el comportamiento del talud cuando es sometido a varios casos de saturación.

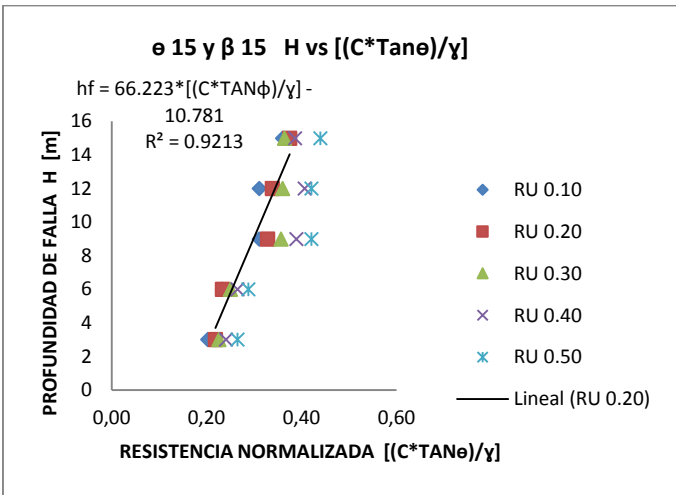
se presentan las gráficas obtenidas en condiciones estáticas, indicando según el nivel de saturación la correlación más alta para la geométrica que se analiza en cada gráfica, generalmente se analiza con un valor

de Ru: 0.50 siendo el mayor valor de saturación, pero en algunos casos la correlación más alta se presenta en un Ru: 0.20, lo cual permite indicar que solo se puede aplicar la ecuación si el nivel de saturación es igual o menor al mencionado dentro de la gráfica. Se presentan las gráficas obtenidas bajo el análisis en condición pseudoestática organizado según la intensidad de la fuerza sísmica, y el nivel de saturación como en condición estática.

Se identifica nuevamente una proporcionalidad directa entre la altura de falla y la resistencia normalizada, como se puede ver en el gráfico 1. Se observa un talud con ángulos más acentuados, comparados con el Gráfico 2, indicando que cuando la resistencia normalizada aumenta, la profundidad de falla aumenta de manera gradual, según los parámetros geométricos. Mediante un análisis de regresión, se identifica que los parámetros gráficos geométricos se comportan de manera independiente y los parámetros geotécnicos del suelo como variables dependientes, la ecuación $3hf=9,1339*((C*Tano)/\gamma)-9,5645$ Ecuación 3 permite obtener una altura de falla del talud hf, en condición estática y con un grado de saturación máx. Ru 0,5.

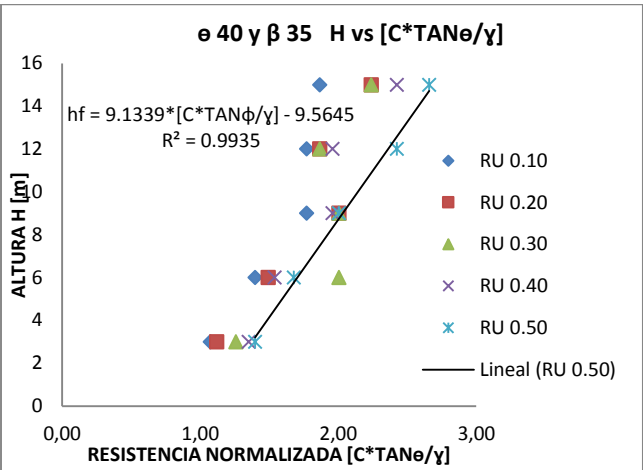
$hf=9,1339*((C*Tano)/\gamma)-9,5645$ Ecuación 3

Gráfico 1 $\theta 15$ y $\beta 15$ sin sismo (Profundidad de Falla vs Resistencia Normalizada)



Fuente: Elaboración propia.

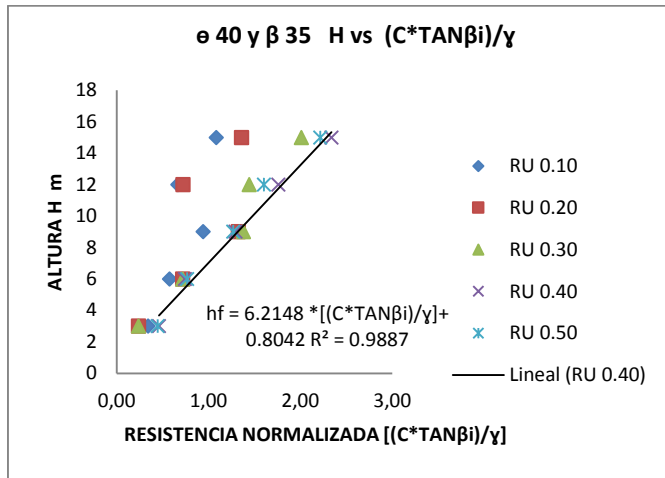
Gráfico 2 $\theta 40$ y $\beta 35$ sin sismo (Profundidad de Falla vs Resistencia Normalizada)



Fuente: Elaboración propia.

Bajo la aplicación de la ecuación 2 se obtiene una relación de parámetros mecánicos con la profundidad de falla, de las cuales se identifica que a mayor grado de saturación menos es la resistencia normalizada del terreno, sin embargo, la correlación es más alta $R^2 = 0,988$, nuevamente en el Gráfico 3, se establece una relación lineal entre el ángulo en la interno talud, la cohesión y ángulo fricción del material en condición estática.

Gráfico 3 $\theta 40$ y $\beta 35$, sin sismo (Profundidad de Falla vs Resistencia Normalizada)



Fuente: Elaboración propia.

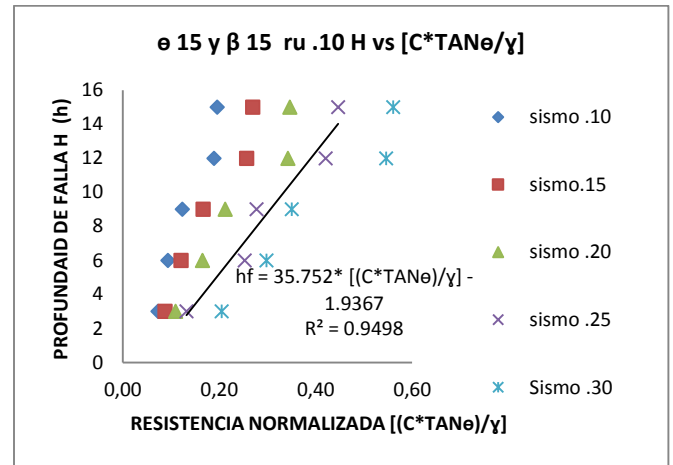
$$H_f = 6,2148x(C \cdot \tan \beta) / \gamma + 0,8042 \quad \text{Ecuación 4}$$

La ecuación anterior, simplifica el análisis y permite predecir la altura de falla de un talud de suelo coluvial, a partir de los parámetros geotécnicos más elementales, con alto grado de confianza. Se observa de nuevo, que la condición más crítica está dada por la geometría del talud, por tanto, si el ángulo interno del talud es muy pequeño los parámetros geotécnicos son de muy bajo valor, y la resistencia normalizada es mínima.

Se cuantifico el efecto de un sismo horizontal con valores entre 0.10 a 0.30, para las mismas configuraciones geométricas ya mencionadas en el capítulo 5.5., sin embargo se identifica que a medida que aumenta el ángulo interno del talud (θ) la correlación aumenta como se observa comparando el Gráfico 4 y el Gráfico 5, como resultado se determina una alta correlación $R^2 = 0.9793$ a partir del Gráfico 5, indicando que la resistencia normalizada y la altura de falla del talud tienen una tendencia lineal, y se relacionan según la ecuación 5 que se presenta a continuación.

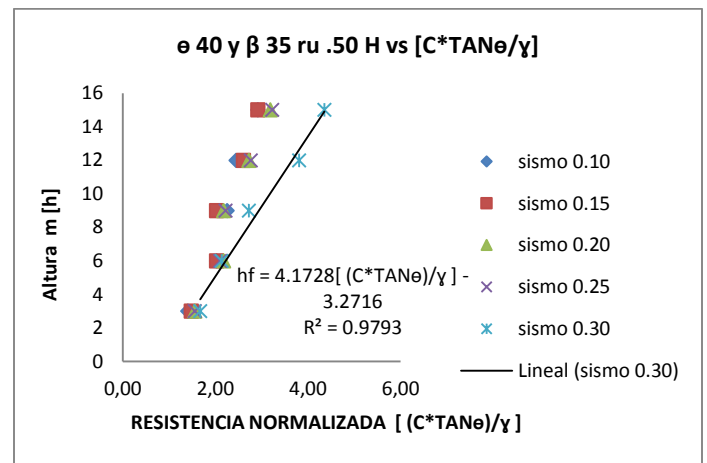
$$h_f = 4,1728 \cdot [C \cdot \tan \theta / \gamma] - 3,2716 \quad \text{Ecuación 5}$$

Gráfico 4 $\theta 15$ y $\beta 15$, ru: 0.10, con sismo (Profundidad de Falla vs Resistencia Normalizada)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5 $\theta 40$ y $\beta 35$, ru: 0.50, con sismo (Profundidad de Falla vs Resistencia Normalizada)



Fuente: propia.

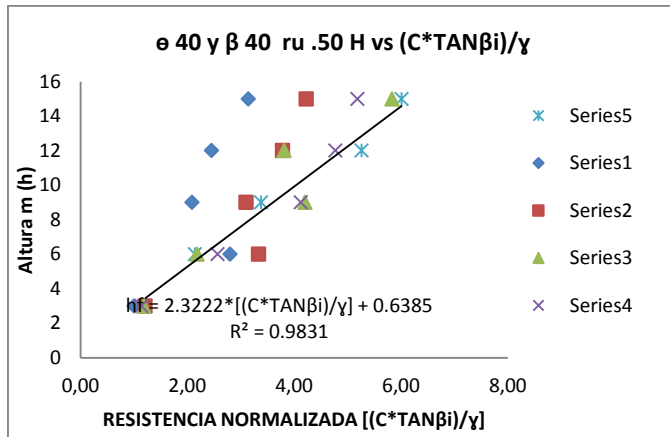
La resistencia normalizada (ecuación 2), analizada bajo condición pseudoestática, y como se muestra en el grafico 6

Gráfico 6, presenta una tendencia lineal con una correlación de $R^2 = 0,983$ indicando que la profundidad de falla y la resistencia son parámetros adecuados para representar la susceptibilidad del modelo a la falla bajo las condiciones máximas geo mecánicas y geométricas propuestas para el análisis.

Para la aplicación del modelo se plantea la ecuación 6 en la cual se relacionan los parámetros de cohesión, Angulo interno del material y el peso específico del material para determinar la profundidad de falla del talud.

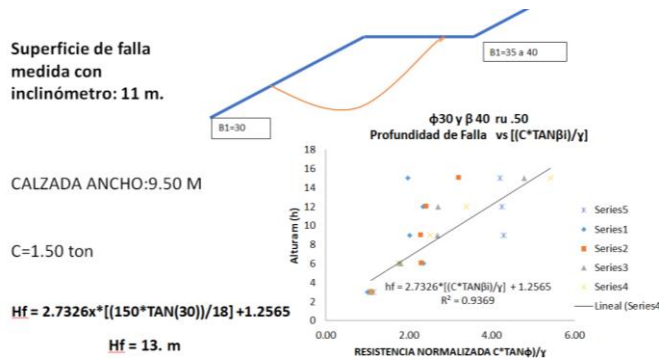
$$H_f = 2,3222 * ((C * \tan \beta) / \gamma) + 0,6385 \quad \text{Ecuación 6}$$

Gráfico 6 ϕ 40 y β 40, con sismo (Profundidad de Falla vs Resistencia Normalizada)



Fuente: Elaboración propia.

VIA: BOGOTA VILLAVICENCIO K28+900-COVIANDES



IV. CONCLUSIONES

Se desarrolló una metodología a partir de una serie de estudios de estabilización de taludes, que se realizan a lo largo de los corredores viales de montaña de la red vial nacional, la definición de los rangos de inclinaciones para los taludes (interior y exterior) de una vía a media ladera se basaron en las geo-formas que caracterizan la topografía de las laderas

nacionales, determinadas a partir de los datos recolectados dentro del trabajo retrospectivo desarrollado.

Los antecedentes e información específica para el desarrollo de la investigación cuentan con un sin número de inquietudes, dado a que, a pesar de las muchas investigaciones sobre el comportamiento de los taludes bajo condiciones especiales, y determinaciones de los parámetros geotécnicos, no se cuenta con información puntual sobre análisis de estabilidad de taludes viales bajo la resistencia normalizada.

Se presentan los antecedentes tomados para el análisis retrospectivo, del cual se tomaron los datos para el resumen presentado, estos rangos fueron utilizados de manera gradual en el análisis de las configuraciones geométricas, como resultado de estos análisis se permiten estimar los parámetros geotécnicos del suelo en una falla a partir de las configuraciones geométrica de deslizamiento, omitiendo un análisis detallado de estabilidad con una probabilidad muy baja de error.

En el desarrollo de las modelaciones se identifica el comportamiento de las correlaciones para las condiciones más críticas analizadas, observando que a medida que aumenta los ángulos de inclinación talud (externo e interno) y los parámetros geotécnicos, la correlación aumenta.

La implementación de este trabajo para un análisis de estabilidad de taludes viales está limitado a taludes de suelos coluviales con parámetros físicos como los mencionados y parámetros geotécnicos dentro del rango de valores establecidos.

A partir de las ecuaciones simplificadas presentadas, se proponen criterios de evaluación de vulnerabilidad geotécnica de los corredores de montaña a media ladera estableciéndose como una herramienta para la gestión de riesgo.

Las ecuaciones planteadas, se deben aplicar a taludes de suelos coluviales los cuales permitan determinar su susceptibilidad de falla cuando es sometido a condiciones externas como las analizadas, como resultado se podrían planificar la inversión y mejorar la infraestructura vial existente.

Se realiza la aplicabilidad de las ecuaciones sobre un corredor vial Villavicencio K28+900 COVIANDES, construido en los últimos años y sobre el cual se realizó una serie de estudios con elementos más precisos como el inclinómetro. Dejando como resultado una profundidad de falla de 11 metros, si se aplica el análisis de resistencia normalizada a partir de las ecuaciones planteadas en este trabajo se presenta una profundidad de falla de 13 metros, sin embargo no se conocía el valor exacto del peso específico del suelo por tanto se asumió como si fuera el mismo en los dos casos es decir que se puede presentar una variación entre (16 y 19) donde si está en el rango más bajo el valor es muy cercano al obtenido con el inclinómetro.

La aplicabilidad bajo condición pseudoestática, no sería real el análisis dado a que no se conoce el comportamiento de este talud específico bajo una condición extrema propuesta en el trabajo, sin embargo se tramita la solicitud de esta información para poder realizar un análisis más detallado al respecto.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de estudiar esta carrera, por darme la fortaleza para terminar mi trabajo de grado y mi carrera, a mi familia y amigos por su apoyo incondicional, sus consejos y su comprensión.

REFERENCIAS

- [1]. Edison F. Garzón M., “Propuesta Metodológica para la Evaluación de la Amenaza de Corredores viales de montaña de la red vial nacional”, Cartagena Colombia, 5 y 7 de octubre.
- [2]. Colombia. Unidad nacional para la gestión del riesgo de desastres. Ley 1523 (24, Abril, 2012) Por el cual se adopta la política nacional del gestión del riesgo de desastres y se establecen el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres y se dictan otras disposiciones.
- [3]. Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Decreto 1807 (19, Septiembre, 2014). Por el cual se reglamenta el artículo 189 del decreto Ley 019 de 2012, se establecen las condiciones y las escalas de detalles para la incorporación de la gestión de riesgo en la revisión de contenidos de medianos y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial municipal.
- [4]. Betrán M. Lisandro, Rodriguez A. Jorge, Chavez C. Mauricio, Elementos del Impacto Ambiental, Producido por los Deslizamientos de Taludes Viales Colombianos Universidad Nacional, Bogotá Colombia, 2011, p. 5
- [5]. Jaime Suarez D. Deslizamientos análisis Geométrico, Bucaramanga Santander, tomo 4,1993 p. 2-33
- [6]. Duncan J. M., Wright S. G. “Soil Strength and Slope Stability”. John Wiley and Sons.Inc. Hoboken. New Jersey, 2005, p. 297
- [7]. Conflictos Territoriales y Acuerdos de paz en Colombia,(1, 25 – 26, Febrero,2016, 25,Universidad Nacional de Colombia Bogotá).
- [8]. Autopista de la Prosperidad, Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) de Medellín.
- [9]. Jorge A. Moreno Salgado Ajuste a los parámetros de resistencia de depósitos de coluviones mediante correlaciones entre ensayos de laboratorio, exploración geotécnica y retro cálculo,2013, Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá Colombia.
- [10]. American Society of civil Engineers (1982) “Engineering and Construction in Tropical and Residual Soils”, Proceedings of the ASCE Engineering Division Specialty Conference, Honolulu Hawaii, January 11-15, 1982, Published by ASCE, New York.