

COMPORTAMIENTO DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN TALUDES COMPUESTOS POR SUELOS EXPANSIVOS

Natalia Londoño Manrique¹ & Cielo Stephany Ardila Montiel²

Asesor: IC, MIG Christian Camilo Gutiérrez Angulo,

Universidad La Gran Colombia, Colombia, christiancamilo.gutierrez@ugc.edu.co

¹ Estudiante de ingeniería civil, Universidad La Gran Colombia, Colombia, natalia.londono@ulagrancolombia.edu.co.

² Tecnóloga en topografía, estudiante de ingeniería civil, Universidad La Gran Colombia, Colombia, cielostephany.ardila@ulagrancolombia.edu.co.

Resumen—Con el fin de realizar un análisis de parámetros geomecánicos en taludes compuestos por suelos expansivos y de esta manera lograr obtener los valores del factor de seguridad que indican el comportamiento que presentan este tipo de suelos cuando se ven afectados por factores como el agua y condiciones de sismo, se investigan los parámetros de cohesión, peso específico y ángulo de fricción característicos de la arcilla de alta, de baja plasticidad y del limo de alta plasticidad, en donde se efectúan modelos de taludes con geometría correspondiente a una altura de 10 m y 20 m para ángulos de 30°, 45°, 60° y 75°. De esta manera se modifica el parámetro R_u , con valores iniciales de 0.0, 0.25 y 0.5; para lo cual se determina que dicho factor es quien varía el comportamiento mecánico del suelo; en el que se observa, que el factor de seguridad es óptimo en condiciones estáticas y dinámicas, para taludes con altura de 10 m, es así como se lleva a cabo un análisis con valores de r_u de 0.0, 0.1, 0.25, 0.4 y 0.5; y se realiza sensibilidad del parámetro cohesión, de donde se obtiene como resultado gráficas comparativas que describen el comportamiento de estos tipos de suelos, lo cual facilita al ingeniero el diseño óptimo de taludes que los contengan.

Palabras clave— comportamiento, Factor de seguridad, parámetros geomecánicos, suelos expansivos, talud.

Abstract— In order to analyze parameters geomechanical in composed of expansive soils slope and in this way to obtain values for the factor of safety that indicate the behavior that exhibit this type of soil when they are affected by factors such as water and earthquake conditions, characteristic of clay of high specific weight, cohesion and friction angle parameters investigated low plasticity and the silt of high plasticity, where made models of slopes with geometry corresponding to a height of 10 m and 20 m for angles of 30°, 45°, 60° and 75°. Thus modifies the R_u parameter, with initial values of 0.0, 0.25, and 0.5; It is determined that this factor is who varies the mechanical behaviour of the soil; in which is observed, the safety factor is optimal in static and dynamic conditions for slope with height of 10 m, is as well as an analysis with values of R_u 0.0, 0.1, 0.25, takes place 0.4 and 0.5; and there is sensitivity of the parameter cohesion, from where is obtained as a result comparative graphs that describe the behavior of these types of soils, which makes it easier to engineer the optimal design of slope that contain them.

Keywords— behavior, expansive soils, geomechanical, parameters, safety factor, slope,

I. INTRODUCCIÓN

El problema de los suelos compuestos por materiales expansivos radica principalmente en los cambios volumétricos generados por la presencia de agua en su estructura [1], lo que conlleva a condiciones de inestabilidad debido a la pérdida de la capacidad portante y de la resistencia a las fuerzas de corte [2]. Así mismo, variables como la geometría y la presencia de un sismo influyen directamente en el factor de seguridad del talud disminuyendo significativamente su grado de estabilidad [3], por lo cual, se requiere de un análisis detallado de los parámetros geomecánicos que permita identificar las condiciones de seguridad que mitigue deslizamientos, flujos o caídas de material conocidos como procesos de remoción en masa.

La estabilidad de taludes es un tema común en la ingeniería civil, se han presentado diferentes casos en donde se vuelve indispensable realizar una caracterización geomecánica [4] de taludes para el análisis de la vulnerabilidad [5], que tiene un sitio referente a un talud. Como evidencia de la preocupación por comprender los problemas que presentan este tipo de suelos [6], Amer Ali Al-Rawas & Mattheus F.A. Goosen en su libro *Expansive Soils* [7] describen avances en la caracterización y tratamiento de suelos expansivos, donde se analiza el efecto de las técnicas de remoldeo en el hinchamiento de suelos y las propiedades de las fuerzas de cizallamiento, que se presentan en los resultados de los efectos de métodos sobre la presión por oleaje en el suelo y resistencia a la compresión confinada [8].

Para lo cual se tomaron tres tipos de suelos [9] CH, CL y ML con muestras inalteradas, que fueron seleccionadas en la zona norte de Jordania, con una amplia gama de contenido de arcilla. Los especímenes remoldeados estaban preparados para

la compresión inconfiada y los ensayos de hinchazón utilizando tres técnicas de remoldeo: dinámicas, estáticas y de amasado. La evaluación de la presión debida a la hinchazón, al potencial de expansión y la resistencia a la compresión inconfiada se vio afectada por el método de remoldeo, por lo tanto, de este ensayo se concluyó que las muestras inalteradas [10] obtienen valores altos de presión de hinchamiento, mientras que en la modelación dinámica se obtienen los valores más altos de la hinchazón y la compresión inconfiada, seguido por la fuerza estática y el remoldeo por amasado respectivamente de esta manera se observa, que el contenido inicial de agua afecta tanto a la presión de la hinchazón como a la resistencia a la compresión inconfiada [11].

Otro estudio que describe el comportamiento [12] de los suelos expansivos trata de una serie completa de pruebas, referidas a la compresión no confinada (UC) no consolidado no drenado (UU) triaxiales y columna resonante (RC), realizadas sobre muestras estabilizadas químicamente de sulfato de rica arcilla expansiva, del sureste de Arlington, Texas, las cuales después de ser sometidos a ciclos (WD) repetidos de humectación-secado inducido artificialmente en el laboratorio, arrojaron resultados que se utilizaron para evaluar la influencia de wd cíclico en resistencia a largo plazo, la rigidez, el efecto de hincharse [13]; su continua contracción brindó respuesta del suelo tratado, incluyendo resistencia a la compresión no confinada, sin olvidar resistencia al corte, módulo de corte dinámico y material de amortiguación. En los ensayos se describe el comportamiento de cada material estabilizado con ceniza y cemento. De donde se concluyó que al agregar materiales estabilizantes las propiedades del suelo mejoran en porcentajes totalmente diferentes, y se encuentra que la ceniza es un material estabilizante regular [14].

Dichos estudios muestran la importancia de conocer el comportamiento de estos materiales a la hora de realizar obras o trabajar sobre ellos [15], su inesperada conducta es una muestra del cuidado que se debe tener en el análisis de los parámetros geomecánicos, los cuales influyen en el factor de seguridad [16], del cual depende que ocurran o no, procesos de remoción en masa.

El objetivo es analizar el comportamiento de parámetros geomecánicos en taludes compuestos por suelos expansivos ante variables de nivel freático, geometría y sismo [17] para lo cual se requiere una identificación de los mismos, con el fin de evaluar diferentes valores de factores de seguridad y de esta manera poder realizar una comparación de comportamientos de materiales tales como arcillas de baja plasticidad (CL), arcillas de alta plasticidad (CH) y limos de alta plasticidad (ML) [18], brindando al ingeniero información sobre la conformación geométrica y condiciones en las que se

encuentre el talud, y su cumplimiento frente a la norma sismo resistente colombiana, NSR-10.

II. METODOLOGÍA

Con el fin de analizar el comportamiento de los suelos expansivos, se identificaron los parámetros geomecánicos [19] correspondientes a la cohesión, el ángulo de fricción y el peso específico de cada material, para ello se tuvo en cuenta la información descrita en el libro de Expansive Soils y se consolidaron los datos de la siguiente manera:

TABLA I: PARÁMETROS GEOMECAÑICOS DE SUELOS EXPANSIVOS MH, CH Y CL

LIMO INORGÁNICO DE ALTA PLASTICIDAD (MH)		
COHESIÓN C	ÁNGULO DE FRICCIÓN ϕ	PESO ESPECÍFICO Y
(KN/M2)	(°)	(KN/M3)
35	15	14,6

ARCILLA INORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD (CH)		
COHESIÓN C	ÁNGULO DE FRICCIÓN ϕ	PESO ESPECÍFICO Y
(KN/M2)	(°)	(KN/M3)
46,9	0,6	14,1

ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD (CL)		
COHESIÓN C	ÁNGULO DE FRICCIÓN ϕ	PESO ESPECÍFICO Y
(KN/M2)	(°)	(KN/M3)
35	0,1	15,1

Fuente: Amer Ali Al-Rawas & Mattheus F.A. Goosen. Expansive Soils: Efectos en las técnicas de remoldeo en suelos expansivos, y propiedades de fuerza de cizallamiento. 2006. Pág. 134. 624.1'5136-dc22. ISBN10 0-415-39681-6

En cuanto a la selección de valores para sismo y el parámetro Ru, se tiene en cuenta la norma NSR-10 TITULO A [20], de donde se selecciona el valor del coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, el cual se determina en su máximo valor de amenaza sísmica igual a 0.30, descrito en la Tabla A.2.3-1 (Ver tabla II). Nivel de amenaza sísmica según valores Aa y de Av.

TABLA II. NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA SEGÚN VALORES DE Aa Y DE Av
NSR-10 TABLA A.2.3-1

Mayor valor entre Aa y Av	Asociado en mapas de las figuras A.2.3-2 Y A.2.3-3 a región Nª	Amenaza sísmica
0,5	10	Alta
0,45	9	Alta
0,4	8	Alta
0,35	7	Alta
0,3	6	Alta
0,25	5	Alta
0,2	4	Intermedia
0,15	3	Intermedia
0,1	2	Baja
0,05	1	Baja

Fuente: Norma Colombiana Sismo Resistente. Título A. Capítulo A.2. Zona de Amenaza Sísmica y movimientos sísmicos de diseño.

TABLA III. VALORES DE Kst/a máx MÍNIMOS PARA EL ANÁLISIS SEUDOESTÁTICO DE TALUDES
NSR-10 TABLA H.5.2-1

Material	KST/amax mínimo	Análisis de Amplificación Mínimo
Suelos enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD<50%)	0.80	Ninguno
Macizos rocosos (RQD>50%)	1.00	Ninguno
Todos los materiales térreos	0.67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas promediar
Todos los materiales térreos	0.50	Amplificación de onda bidimensional

Fuente: Norma Colombiana Sismo Resistente. Título H. Capítulo H.5. Excavaciones y estabilidad de taludes.

Seleccionando el valor que pertenece a suelos, enrocados y macizos muy rocosos; con un Kst de 0.80 (Ver tabla III), ya

que no se ejecutó ningún análisis de amplificación en los suelos expansivos de estudio [21].

$$Kst * \text{valor de amenaza sísmica alta} = \text{coeficiente de Aa} \quad (1)$$

$$0.80 * 0.30 = 0.24$$

El valor obtenido (Ecuación 1) se aproxima de 0,24 a 0,25; como coeficiente de aceleración de amenaza sísmica en el diseño de los taludes, el cual corresponde a un valor de amenaza alto.

De esta manera se obtiene el ejemplo de uno de los perfiles estratigráficos, de arcilla de alta plasticidad, con un ángulo de 30° y una altura de 10 m, de lo que se realizó, en cada uno de los modelos.

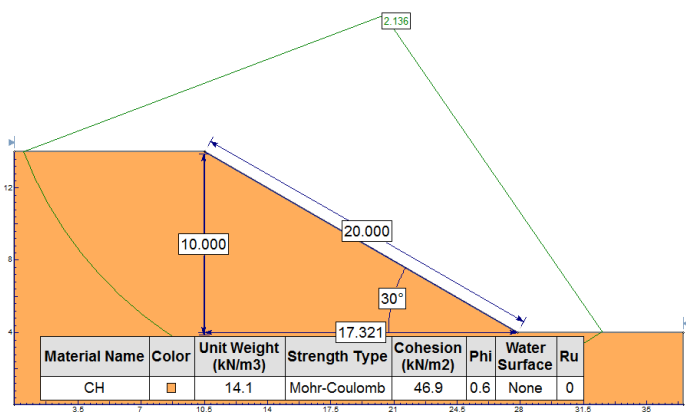
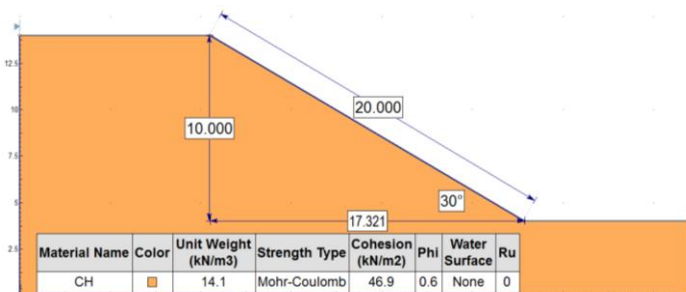


Fig. 1 Modelo en condición estática para Ru=0 en CH para alturas 10 m.

Posterior a ello, se llevan a cabo 144 modelos de taludes haciendo uso del software Slide ® con geometría determinada, inicialmente se modelan para altura de 10 m y 20 m, con ángulos de inclinación de 30°, 45°, 60° y 75° y parámetro Ru de 0.0, 0.25 y 0.5 tanto en condición estática como seudo estática, a partir de lo cual se determina que el factor encargado de modificar el comportamiento mecánico del suelo

de manera significativa es el parámetro Ru y se comprueba que los taludes con altura de 20 m en este tipo de suelos no cumplen con la especificación de la norma sismo resistente, donde se describen los factores de seguridad mínimos indirectos para taludes. Es así como se decide analizar de manera detallada la incidencia del parámetro Ru en la estabilidad de taludes con la generación de 120 modelos con valores de Ru correspondientes a 0.0; 0.1; 0.25; 0.4, 0.5 y condiciones geométricas para el talud que cumple las mínima condiciones de estabilidad, el que tiene 10 m de altura y grados de inclinación 30°, 45°, 60° y 75°.

Es importante tener en cuenta que para el análisis de taludes se utilizó el método aproximado de equilibrio límite Bishop simplificado, el cual utiliza dovelas teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las mismas, lo que satisface el equilibrio de momentos considerando resultados muy precisos en comparación con el método ordinario, además de ser uno de los métodos más utilizados actualmente para el cálculo de factores de seguridad de los taludes [22].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la metodología desarrollada se obtuvo el valor de los factores de seguridad para las diferentes condiciones asociadas, valores que se representan en la matriz de diseño, para la altura del talud de 10 m y 20 m con Ru=0.0, 0.25 y 0.5 (Ver tabla IV):

TABLA IV. MATRÍZ DE DISEÑO, PARA ALTURA DEL TALUD DE 10 M Y 20 M CON RU= 0.0, 0.25 Y 0.5

		CH					
		C (KN/M2)		φ		γ(KN/M2)	
		46,9		0,6		14,1	
		ESTÁTICO			DINÁMICO		
		0			0,25		
		Ru			Ru		
		0,00	0,25	0,50	0,00	0,25	0,50
ANGULO	ALTURA	2,127	2,116	2,105	1,460	1,454	1,447
30	10	1,033	1,018	1,003	0,684	0,677	0,670
	20	1,991	1,983	1,975	1,404	1,398	1,392
45	10	1,008	1,000	0,991	0,677	0,670	0,664
	20	1,810	1,804	1,798	1,345	1,340	1,336
60	10	0,958	0,951	0,945	0,649	0,644	0,638
	20	1,548	1,542	1,536	1,242	1,238	1,233
75	10	0,779	0,773	0,767	0,587	0,582	0,578
	20	0,779	0,773	0,767	0,587	0,582	0,578

MH						CL					
C (KN/M2)		φ		γ(KN/M2)		C (KN/M2)		φ		γ(KN/M2)	
35		15		14,6		35		0,1		15,1	
ESTÁTICO			DINÁMICO			ESTÁTICO			DINÁMICO		
0			0,25			0			0,25		
Ru			Ru			Ru			Ru		
0,00	0,25	0,50	0,00	0,25	0,50	0,00	0,25	0,50	0,00	0,25	0,50
2,416	2,184	1,937	1,471	1,307	1,139	1,468	1,466	1,465	0,909	0,907	0,906
1,575	1,365	1,146	0,993	0,851	0,705	0,733	0,731	0,729	0,492	0,490	0,489
2,007	1,817	1,624	1,380	1,246	1,111	1,377	1,376	1,374	0,882	0,881	0,880
1,246	1,073	0,902	0,887	0,756	0,626	0,689	0,687	0,686	0,466	0,464	0,463
1,654	1,479	1,319	1,248	1,131	1,015	1,251	1,250	1,248	0,868	0,867	0,866
1,011	0,858	0,705	0,763	0,646	0,527	0,623	0,622	0,621	0,460	0,459	0,458
1,306	1,141	0,981	1,107	0,988	0,858	1,069	1,068	1,067	0,831	0,830	0,830
0,797	0,640	0,485	0,648	0,534	0,406	0,536	0,535	0,534	0,403	0,402	0,402

Fuente: Autores.

La matriz de resultados brinda información clara del comportamiento de estos suelos permitiendo generar una comparación teórica con los factores de seguridad definidos en la norma (Ver tabla V), para condición estática el mínimo factor de seguridad en el diseño de taludes debe ser de 1.5 y en condición pseudo-estática debe ser de 1.05.

TABLA V. FACTORES DE SEGURIDAD INDIRECTOS MÍNIMOS SEGÚN LA NSR-10 TABLA H.6.9-1

Condición	Construcción	Estático	Sismo	Pseudo Estático
Deslizamiento	1.60	1.60	Diseño	1.05
Volcamiento: el que resulte más crítico de Momento resistente/ Momento actuante	≥3.00	≥3.00	DISEÑO	≥2.00
Excentricidad en el sentido del momento (e/B)	≤1/6	≤1/6	DISEÑO	≤1/4
Capacidad portante	Iguales a lo de la tabla H.4.1.			
Estabilidad intrínseca materiales térreos (reforzados o no)	Iguales a lo de la tabla H.2.1.			
Estabilidad intrínseca materiales manufacturados	Según material (concreto-Título C; Madera-Título G etc			
Estabilidad general para el sistema:			Diseño	
Permanente o de larga duración (>6 meses)	1.20	1.50	50% de	1.05
Temporal o de corta duración (<6 meses)	1.20	1.30	diseño	1.00
Laderas adyacentes (zona de influencia > 2.5l)	1.20	1.50	Diseño	1.05

Fuente: Norma Colombiana Sismo Resistente. Título H. Capítulo H.5. Excavaciones y estabilidad de taludes.

Sin embargo la información requiere una representación gráfica para facilitar la comprensión del comportamiento de los materiales en estudio, la relación existente entre el factor de seguridad (FS) y el ángulo de inclinación (β) del talud son determinantes. Se generan las gráficas FS Vs. β (Ver figuras de la #2 a la #7) para cada condición de Ru tanto en estado estático como pseudo-estático donde se observa un análisis comparativo de comportamiento entre CH, MH y CL.

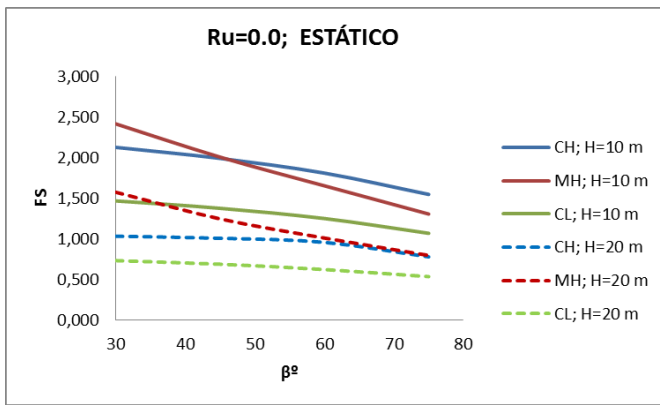


Fig. .2 Gráfica FS vs. β en condición estática para $Ru=0$ en CH, MH y CL para alturas 10 m y 20 m.

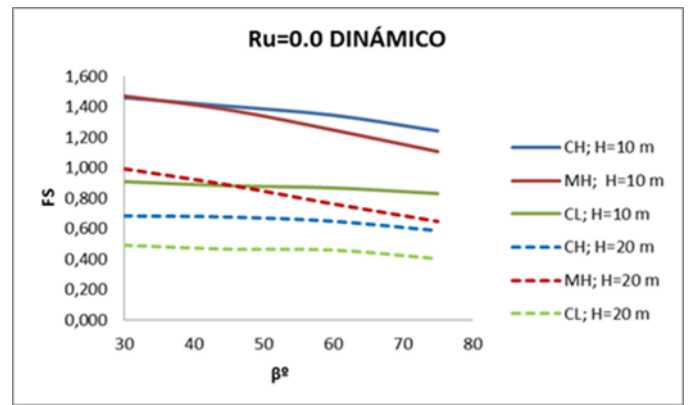


Fig. .5 Gráfica FS vs. β en condición pseudo-estática para $Ru=0$ en CH, MH y CL para alturas 10 m y 20 m.

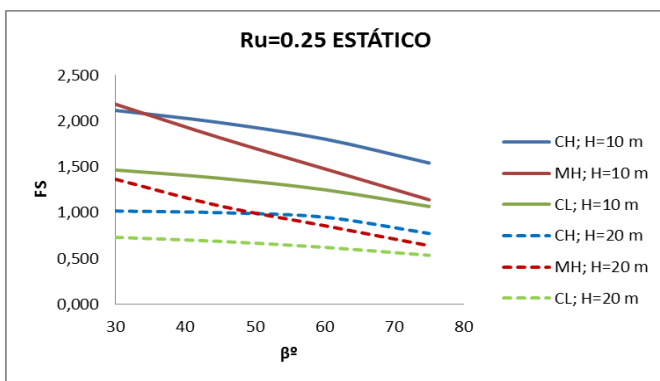


Fig. .3 Gráfica FS vs. β en condición estática para $Ru=0.25$ en CH, MH y CL para alturas 10 m y 20 m.

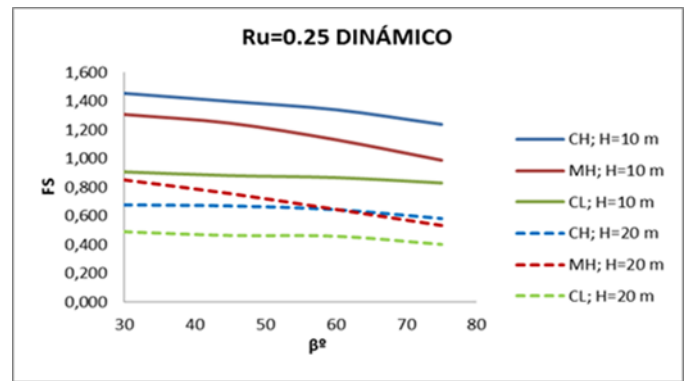


Fig. .6 Gráfica FS vs. β en condición pseudo-estática para $Ru=0.25$ en CH, MH y CL para alturas 10 m y 20 m.

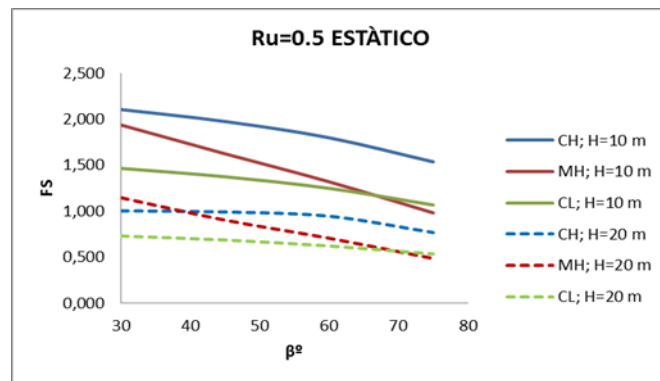


Fig. .4 Gráfica FS vs. β en condición estática para $Ru=0.5$ en CH, MH y CL para alturas 10 m y 20 m.

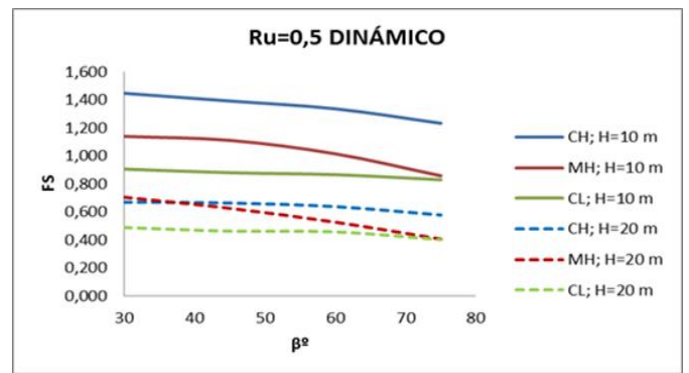


Fig. .7 Gráfica FS vs. β en condición pseudo-estática para $Ru=0.5$ en CH, MH y CL para alturas 10 m y 20 m.

Los taludes de 20 m de altura en condiciones óptimas y críticas no cumplen con el factor de seguridad que se requiere para asegurar la estabilidad del terreno a diferencia de los taludes de 10 m de altura para los cuales se evidencia una

disminución en el factor de seguridad a medida que aumenta el ángulo de inclinación y la presencia de agua en el suelo. Las arcillas de alta plasticidad muestran ser los materiales óptimos para la mayoría de los diseños propuestos, sin embargo hay que tener cuidado a la hora de seleccionar dicho diseño.

A partir del análisis generado de las gráficas, y como se mencionó anteriormente, se tomaron los taludes de 10 m de altura y se realizó un estudio de la influencia directa que tiene el parámetro Ru en el comportamiento del material para cada inclinación especificada. (Ver figuras de la 9 a la 11).

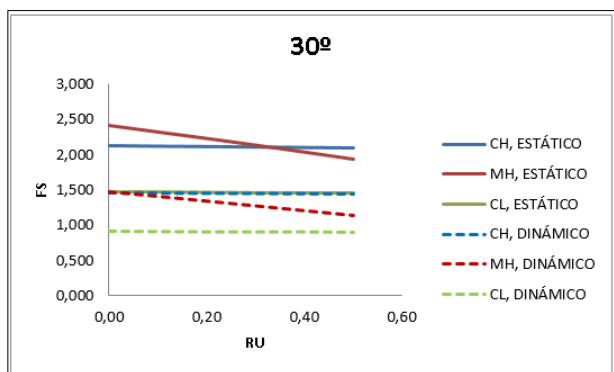


Fig. . 8 Gráfica FS vs. Ru en condición estática y dinámica para ángulo 30° y altura de 10 m en CH, MH y CL.

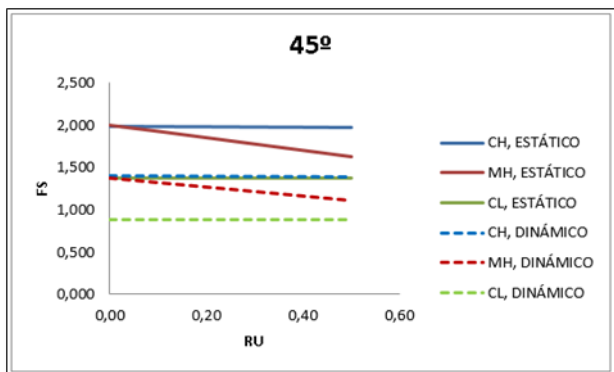


Fig. 9 Gráfica FS vs. Ru en condición estática y dinámica para ángulo 45° y altura de 10 m en CH, MH y CL.

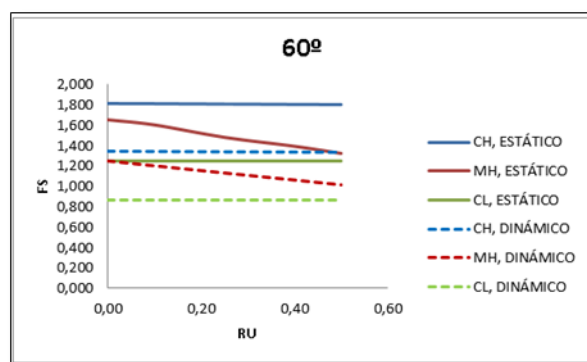


Fig. 10 Gráfica FS vs. Ru en condición estática y dinámica para ángulo 60° y altura de 10 m en CH, MH y CL.

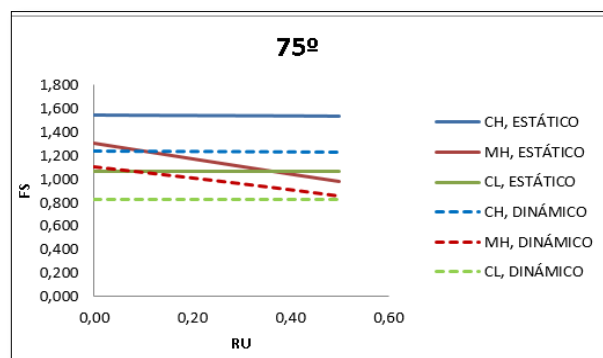


Fig. 11 Gráfica FS vs. Ru en condición estática y dinámica para ángulo 75° y altura de 10 m en CH, MH y CL.

Los taludes de 30° presentan las mejores condiciones de estabilidad en comparación a los otros ángulos de inclinación al igual que todas las condiciones en las que el parámetro Ru es igual a cero, se evidencian los mejores factores de seguridad y se muestra la afectación negativa del aumento del ángulo de condición y de contenido de agua.

Con el fin de brindarle al ingeniero un resultado más cercano, a las posibilidades óptimas de diseño, se realiza una sensibilidad del parámetro cohesión, el cual se muestra en la figura 12, un ejemplo para un perfil estratigráfico de arcilla de alta plasticidad, con un ángulo de 30° y una altura de 10 m.

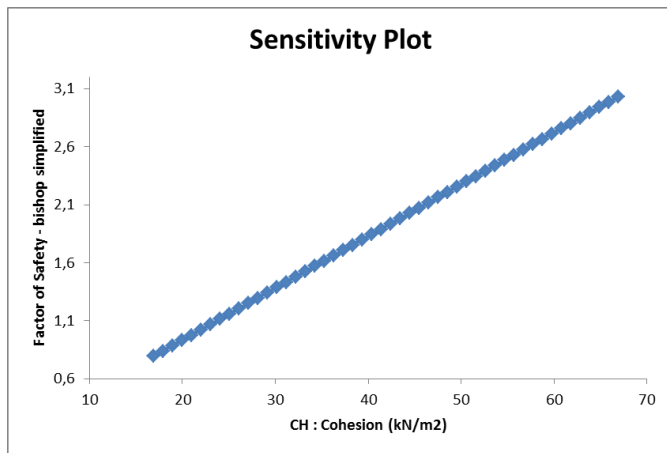


Fig. 12 Gráfica FS vs. Cohesión, en condición estática para ángulo 30° y altura de 10 m en CH. Sensitividad de parámetros.

De esta manera se obtienen los resultados para los diferentes ángulos de 30°, 45°, 60° y 75°; mostrados en la figura 13, como ejemplo de lo que se realiza con los diferentes materiales en estado estático y pseudo estático.

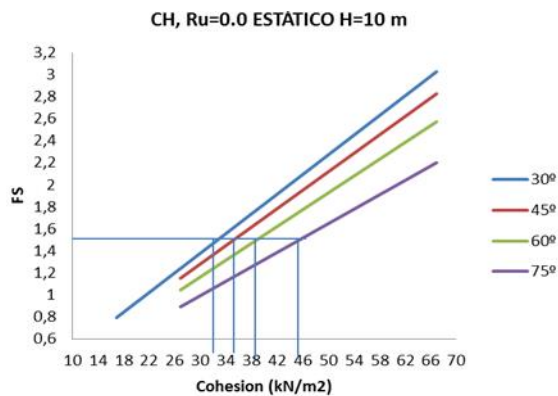


Fig. 13 Gráfica FS vs. Cohesión, en condición estática para ángulo 30°, 45°, 60° y 75°, altura de 10 m en CH. Sensitividad de parámetros, selección de cohesión.

Es así como se obtienen los resultados, para suelos expansivos que se muestran en la tabla VI (Ver tabla VI).

TABLA VI. VALORES DE COHESIÓN PARA SUELOS EXPANSIVOS

ESTÁTICA		RU				RU			
		0				0,1			
		ANGULOS (°)				ANGULOS (°)			
		30	45	60	75	30	45	60	75
CH	C(Kn/m2)	32,5	35,2	39	45	33	36	39	46
MH	C(Kn/m2)	15	23,5	31	42	23	32	39	44
CL	C(Kn/m2)	39	42	49	58	36	39	42	50

DINÁMICA		RU				RU			
		0				0,1			
		ANGULOS (°)				ANGULOS (°)			
		30	45	60	75	30	45	60	75
CH	C(Kn/m2)	34	35,3	36	39,2	34	35	36	39,1
MH	C(Kn/m2)	0	0	0	32,8	0	0	30	34,7
CL	C(Kn/m2)	40,4	42	42,4	44,3	40,4	42	42,5	44,2

ESTÁTICA		RU				RU				RU			
		0,25				0,4				0,5			
		ANGULOS (°)				ANGULOS (°)				ANGULOS (°)			
		30	45	60	75	30	45	60	75	30	45	60	75
CH	C(Kn/m2)	36	38	43	50	34	36	39,5	46,5	33,5	36	40	46,5
MH	C(Kn/m2)	20	27	36	47,5	23	30	38	51	22,3	31	40	52
CL	C(Kn/m2)	33	35	39	45	36	38,5	42,5	49,5	35,9	38,9	43	49,5

DINÁMICA		RU				RU				RU			
		0,25				0,4				0,5			
		ANGULOS (°)				ANGULOS (°)				ANGULOS (°)			
		30	45	60	75	30	45	60	75	30	45	60	75
CH	C(Kn/m2)	34	35,2	37	40	34	35,3	37	40	34	35,3	37	40
MH	C(Kn/m2)	0	0	32	37,5	0	31	34,8	40,8	30	33	36	42,5
CL	C(Kn/m2)	40	41,8	42	44,2	40,5	42	42,4	44,2	40,8	41,9	42	44,2

Fuente: Propia.

Se especifican los valores mínimos de cohesión que pueden darse en taludes compuestos por arcillas expansivas para cumplir con los factores de seguridad establecidos por el Reglamento Colombiano de norma Sismo Resistente con el fin de impedir fallas en el terreno.

IV. CONCLUSIONES

El factor de seguridad es inversamente proporcional al ángulo de inclinación, a la altura y al ru en condición dinámica y estática.

De esta manera se obtiene que para taludes con alturas de 10 m, se identifica que los suelos compuestos por arcilla inorgánica de alta plasticidad (CH) son materiales con

excelentes comportamientos en condición estática y dinámica, mientras que el limo inorgánico de alta plasticidad es óptimo en condiciones críticas con sismo y $ru=0.5$, para inclinaciones de 45° o menores y con sismo y $ru=0.25$ inclinaciones de 60° o menores.

La arcilla de alta plasticidad (CH) contiene una cohesión mayor, comparada a la de la arcilla de baja plasticidad (CL) y al limo de alta plasticidad (MH), lo que indica una mayor resistencia a la presencia de agua, lo que genera mayor estabilidad en el talud, así mismo el CH por presentar un valor de límite líquido mayor es susceptible al cambio de estado de líquido a plástico, contrario a lo que sucede con el MH ya que su límite plástico es mayor al resto de los suelos debido a esto es susceptible al cambio de estado de plástico a semi-sólido. De igual manera, para que la arcilla de alta plasticidad cambie de estado es necesario que el suelo presente un mayor valor de $ru=0.5$, que en suelos expansivos este valor es hasta 0.67.

Para un ru establecido con una altura y ángulos, seleccionados se debe tener una cohesión mayor al valor presentado en la tabla VI, pues se tiene en cuenta que a partir de un factor de seguridad en condiciones estáticas 1.5, los valores de cohesión deben estar por encima de dicho valor, mientras que en condiciones dinámicas debe ser por encima del valor de 1.05; lo que indica que entre mayor sea el valor de cohesión a los valores determinados, mayor será la atracción y unión de las partículas del suelo evitando así que se presente un proceso de remoción en un talud, aumentando respectivamente el factor de seguridad.

Con respecto al ángulo de inclinación en un talud, el mismo tiene una afectación directa del factor de seguridad; ya que a medida que la reconfiguración geométrica del talud aumenta, se genera una condición de inestabilidad directa con respecto a la geometría.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, A nuestras madres quienes nos han acompañado a lo largo de nuestra vida, como ejemplo de superación, Familia Ardila Montiel y Joya Londoño, por ser parte de este sueño, a David Santiago Borja Londoño, por ser el motor día a día del comienzo y culminación de esta primera etapa de formación.

Universidad la Gran Colombia por ser forjadores de nuestro futuro, Ingeniero Christian Gutiérrez Lic. Roy Morales.

REFERENCIAS

- [1] Asefa, «Patologías por arcillas expansivas. Naturaleza y comportamiento,» 5 Agosto 2015. [En línea]. Available: http://www.concretonline.com/index.php?option=com_content&id=3179&Itemid=27.
- [2] T. E. León Sicard, «Estado del recurso del suelo,» 9 Noviembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/agroquimicos-envenenan-suelos-en-colombia.html>.
- [3] D. Malagón Castro, «Ensayo sobre tipología de suelos colombianos-Énfasis en génesis y aspectos ambientales,» p. 371.
- [4] *Tesis Métodos de Exploración de suelos*, Junio: 23, 2015.
- [5] Y. Hernández, *Caracterización y análisis de la amenaza y vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la micro Cuenca de la quebrada Cay*, Ibagué, 2013, p. 119.
- [6] S. Acción, «Hay 22 cierres en vías nacionales y 47 regionales,» 5 AGOSTO 2015.
- [7] J. A. A.-R. & M. F. Gossen, *Expansive Soils. Efectos en las técnicas de remoldeo en suelos expansivos, y propiedades de fuerza de cizallamiento*, 2006, p. 132.
- [8] I. P. J. & P. J.E, «La acción de los suelos expansivos sobre las cimentaciones, métodos de prevención y control,» 5 AGOSTO 2015. [En línea]. Available: http://www.um.edu.uy/_upload/_descarga/web_descarga_204_Accindesuelosexpansivos.Año_2004.
- [9] «Criterio para calificar los suelos con fines urbanos,» 2015. [En línea]. Available: <http://es.slideshare.net/carlosjcamacho/presentacion-de-la-materia-3742687>.
- [10] «Exploración y muestreo de suelos,» 23 Junio 2015. [En línea]. Available: <http://expsuelos.blogspot.com>.
- [11] V. C. Crespo, «Mecánica de suelos y cimentaciones,» México, 2004.
- [12] «Comportamiento dinámico de las arcillas,» 2 Enero 2015. [En línea]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/601/4/A4.pdf>.
- [13] «Límites de Atterberg: Índice de plasticidad, fluidez, retracción,» 9 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://uningenierocivil.blogspot.com.co/2011/03>

/limites-de-atterberg-indice-de.html.

- [14] R. M. M. G. y. J. T. E. Caicedo, «Reutilización de un residuo de la industria petrolera (FCC) en la producción de elementos constructivos,» *Ingeniería y universidad*, vol. 19, nº 1, p. 19, 2015.
- [15] I. y. R. Boulanger, «SPT- and CPT based relationships for the residual shear strength of liquefied soils,» *Earthquake geotechnical engineering*, vol. 6, p. 22, 2007.
- [16] R. C. Edgar, *Evaluación del comportamiento geomecánico de arcillas en el sector de Campoalgre*, Barranquilla, 2014, p. 60.
- [17] C. Lomnitz, «Las causas probables de la catástrofe sísmica del 19 de septiembre de 1985,» *Ciencia y desarrollo*, vol. XIV, Septiembre/Octubre 1988.
- [18] «Sistema unificado de clasificación de los suelos,» 3 Noviembre 2015. [En línea]. Available: ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s11.htm#83a.
- [19] «Parámetros de diferentes tipos de suelos,» 11 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://civilgeeks.com/2011/11/30/valores-referenciales-sobre-diferentes-propiedades-de-los-suelos/>.
- [20] «Título A. Capítulo A.2 Zona de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseños,» de *Norma Colombiana sismo resistente*, 2010.
- [21] «Título H. Capítulo H.5 Excavaciones y estabilidad de taludes,» de *Norma Colombiana sismo resistente*, 2010.
- [22] S. d. Jaime, «Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales,» 1998.