



## CÁLCULO DE TALUDES DE EXPLOTACIÓN PARA PRÉSTAMOS EN EL MUNICIPIO DE PINAR DEL RÍO (CUBA)

**G.A. Chinthaka Ganepola, Rafael Martínez Silva**

Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río, Calle Martí 270 Final, C. P. 20100, Pinar del Río, Cuba. E-mail: [ganepola.ganepola@estudiantes.upr.edu.cu](mailto:ganepola.ganepola@estudiantes.upr.edu.cu)

### RESUMEN

Las explotaciones mineras, las obras de infraestructura lineal (carreteras y ferrocarriles), canales, conducciones, y en general cualquier construcción que requiera una superficie plana en una zona de pendiente, o alcanzar una profundidad determinada por debajo de la superficie, precisan la excavación de taludes. Los taludes se construyen con la pendiente más elevada que permite la resistencia del terreno, manteniendo unas condiciones aceptables de estabilidad. El diseño de taludes es uno de los aspectos más importantes de la ingeniería geológica, pues está presente en la mayoría de las actividades constructivas o extractivas.

Actualmente en el informe ingeniero geológico para los préstamos no se recomienda el talud de explotación. En este sentido, el presente trabajo investigativo se selecciona un procedimiento que permite el cálculo del talud de explotación utilizando el tabulador electrónico.

Aplicando la teoría de Mohr sobre el estado tensional se calcula el talud para: el estado límite, por encima del estado límite y tensiones horizontales igual a cero y por encima del estado límite y tensiones horizontales mayores que cero. Para pronosticar las condiciones del macizo geológico se utilizan coeficientes de mayoración de las cargas ( $\eta$ ) que responden a las condiciones de: presencia de aguas, reológico, sísmico y estructural.

A modo de conclusión:

- Se obtuvo la forma óptima del talud en ausencia de las tensiones horizontales para los tres estados límites investigados.
- Se obtuvo la forma óptima del talud en presencia de las tensiones horizontales para  $K=1$ ,  $K=1.5$  y  $K=2$ .
- Se determinó la ecuación pronóstico del ángulo límite del talud.

### INTRODUCCIÓN

Generalmente el estudio ingeniero geológico que se hace de un préstamo de materiales locales está condicionado por la utilización del mismo, lo que implica que los parámetros físicos y mecánicos determinados en el laboratorio sean diferentes.

No obstante, hay un elemento común al préstamo que es el talud de explotación para el cual no se pronostica sus parámetros y es este el objetivo de este trabajo investigativo.

### Material y Método

#### Material

Del archivo de la ENIA en Pinar del Río se tomaron los siguientes informes:

Tabla 1. Ensayo a Cortante Directo sobre muestras remoldeadas [1]

No	Informe	Nombre del Préstamo	X	Y	C (kPa)	$\phi$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	11-140	Prest. D C/H Guamá	218600	293945	56	14	20.8
2	11-52	Prest. 3 Presa Guama	220530	292900	30	18	20.0
3	11-190	Prest. C C/H Guamá	220950	293250	42	17	20.7
4	11-54	Prest. 10 Presa El Rancho	214800	291200	36	6	20.0
5	11-04	Prest. A ampliación Presa El Punto	237350	281250	64	23	20.0
6	11-49	Prest. 2 Presa Guama	218250	293650	30	18	20.0
7	11-29	Prest. 1 Presa Paso Viejo	221200	287750	24	22	20.3



8	11-231	Prest.D C/H El Jíbaro	226592	299240	18	23	19.6
9	11-232	Prest. E C/H El Jíbaro	225745	299965	25	16	19.3
10	11-224	Prest. C C/H El Punto	234700	279500	27	18	20.0
11	11-47	Prest. 1A Presa Guama	219900	293900	22	21	20.6
12	11-189	Prest. IB C/H Guamá	220800	293450	25	19	21.0
13	11-215	Prest. arcilloso derivadora Guamá	224280	286400	23	21	20.0
14	11-85	Prest. 3 Presa Río Sequito	218200	288800	33	19	20.8
15	11-62	Prest. 4 Presa Guama	216150	294800	22	19	20.0
16	11-225	Prest. C C/H El Jíbaro	224330	299610	17	17	18.6
17	11-229	Prest. D C/H El Jíbaro	225830	299425	23	22	19.4
18	11-35	Materiales de Relleno Patio de chatarra	222280	287530	47	10	20.4
19	11-230	Prest.D C/H El Jíbaro	226505	299100	23	21	19.2
20	11-90	Prest. 5 Río Sequito	216650	287100	61	29	21.3

## Método

Para el cálculo del talud fue utilizado el "Procedimiento para evaluar la Estabilidad del Macizo Geológico en Taludes de Suelos y Galerías en Minas" (Martínez Silva Rafael 2009) [2].

El problema surge por la alteración del estado tensional natural del macizo geológico como una consecuencia de la presencia de la obra minera.

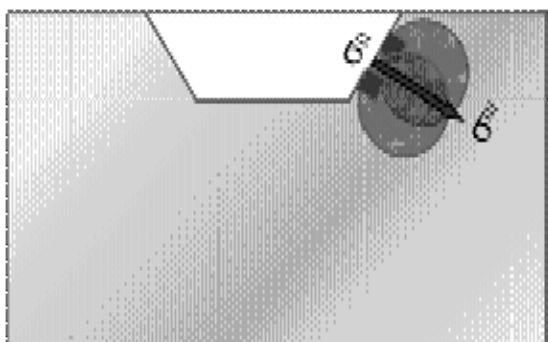


Figura 1. Zona de Grietas

El talud está sometido a un estado tensional que forma la zona de grietas y la misma avanza hasta que se obtiene las condiciones de equilibrio del macizo, este criterio es aceptado universalmente y se corresponde con las mediciones ejecutadas en el campo.

En el estado límite las grietas alcanzan determinada longitud en función de la resistencia del macizo, estas crean una zona que se ha llamado indistintamente: de deformaciones no elásticas, de destrucción, de derrumbe, etc.

La Figura 1 representa lo anteriormente expuesto, la aplicación práctica del concepto se realiza utilizando anclas (pernos). Es evidente que la longitud de las anclas debe sobrepasar la zona de grietas para alcanzar el macizo estable que se representa como  $\sigma^{\text{III}}$ .

Para obtener los estados límites se ensayó a cortante directo en el laboratorio y se obtuvo la curva límite (Figura 2).

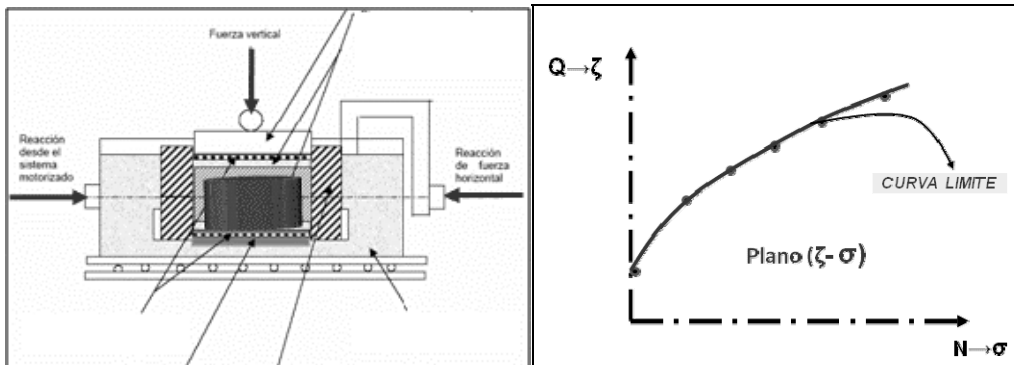


Figura 2. Derecho: ensayo a cortante directo/Izquierdo: la curva límite

La superficie de fallo se selecciona mediante el ángulo límite  $\beta^0$  el cual es función del estado tensional aplicado en el ensayo (Figura 3).

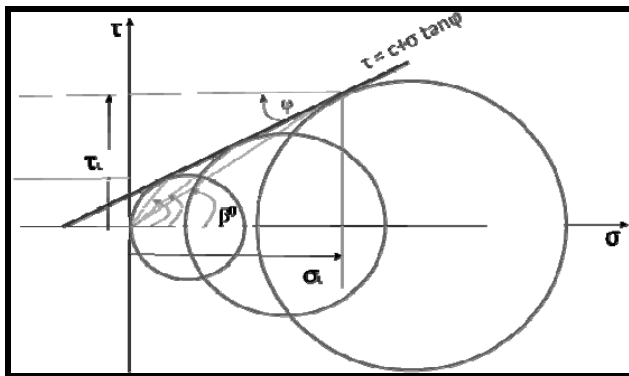


Figura 3. Valores del ángulo límite  $\beta^0$  en función del estado tensional

La muestra ensayada en el laboratorio difiere del macizo geológico, las probetas que se ensayan se obtienen de la parte más competente y se le denomina "Roca Intacta" (Figura 4).

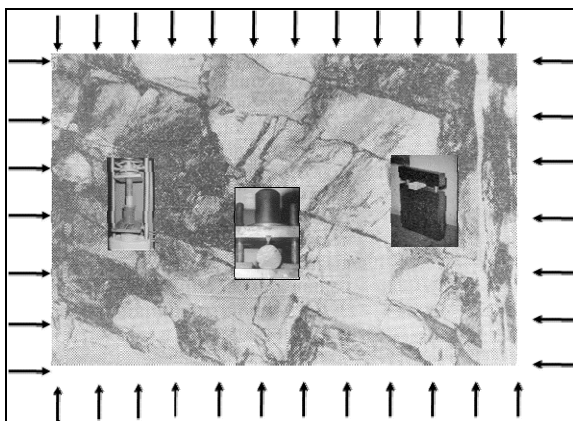


Figura 4. Concepto de macizo geológico

Para evaluar mecánicamente el macizo geológico fueron utilizados los siguientes coeficientes de mayoración de las cargas:

$$\eta_{\text{agua}} = \frac{\sigma_{\text{saturado}}}{\sigma_{\text{seco}}}$$



$$\eta_{\text{reológico}} = \frac{\sigma_{\text{para un tiempo } t \rightarrow \infty}}{\sigma_{\text{para un tiempo } t \rightarrow 0}}$$

$\eta_{\text{sléptico}} \rightarrow$  depende de las Normas de cada región

$$\eta_{\text{estructural}} = f\left(\frac{(L) \rightarrow \text{longitud máxima de la excavación}}{(c) \rightarrow \text{distancia media entre superficies de debilitamiento}}\right)$$

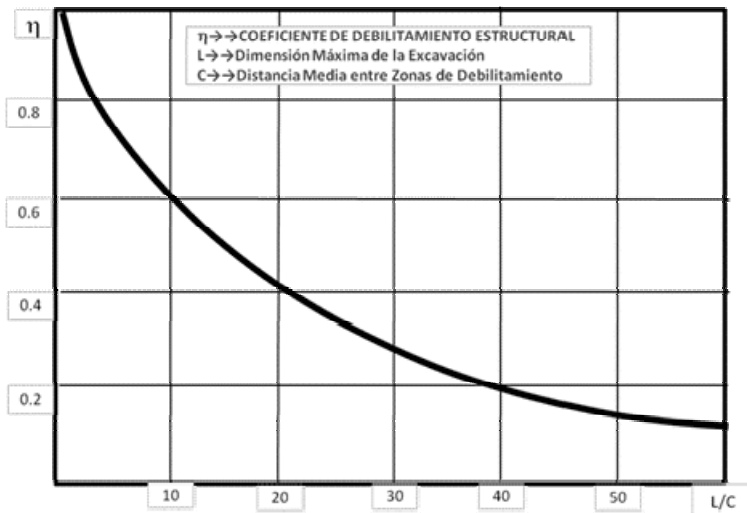


Figura 5. Determinación del coeficiente de debilitamiento estructural

Como se observa en la Figura 4 en el macizo geológico actúa el estado tensional natural.

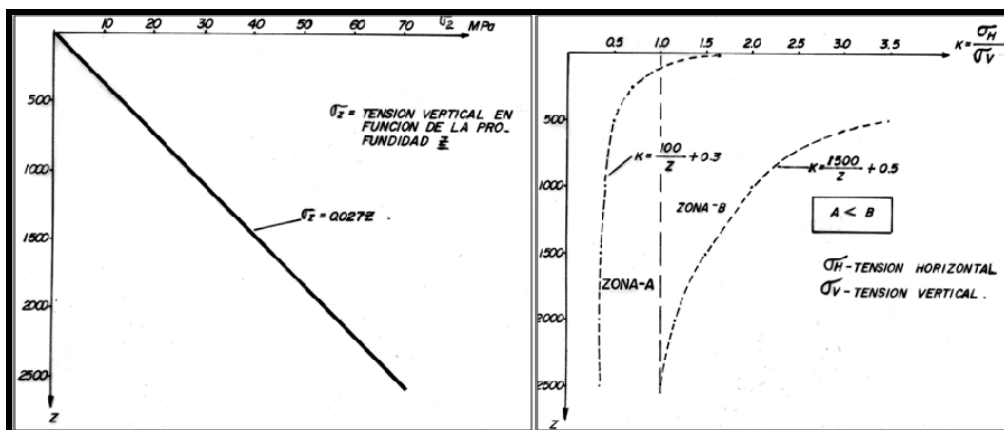


Figura 6. Comportamiento del estado tensional natural

A la izquierda en la Figura 6 el comportamiento de la tensión vertical con relación a la profundidad (Z) se expresa mediante la ecuación:

$$\sigma_v = 0.027 * Z \rightarrow \text{MPa}$$

y la relación entre las tensiones horizontales y verticales (K) a la derecha.

$$K = \frac{\sigma_H}{\sigma_V}$$

Se observa que el valor de (K) aumenta hacia la superficie y muy cerca de esta es mayor que la unidad.



Tabla 2. Comportamiento de (K) con la profundidad. (Tomado de E. Hoek & E.T. Brown---Underground Excavations in Rock The institution of Mining and Metallurgy, London 1980. Pág. 99-100) [3].

Profundidad metros	58-500		500-1000		1000-2806	
Lugar	$\sigma_v$	k	$\sigma_v$	k	$\sigma_v$	k
Australia	13.05	2.03	20.30	1.28	17.35	1.27
Canada	11.50	1.40	19.35	1.47		
Estados Unidos	8.40	0.85	19.15	1.24	53.30	0.91
Sur Africa	10.15	1.24	13.90	0.99	48.45	0.68
Escandinava	9.35	2.33	13.80	1.62		
Otras Regiones	8.65	1.62			48.60	1.00
Promedios	10.85	1.83	20.30	1.28	32.98	1.13
Prom Prof	500.00		1000.00		2000.00	

La información en los archivos es insuficiente para la selección de  $\sigma_v$  y k y se procedió de la siguiente forma:

01-El valor de (K) se tomó para los valores (1-2)

02-El valor de  $\sigma_v = \gamma * h \rightarrow kPa$ .

$\gamma \rightarrow$  Peso Específico  $kN/m^3$  y  $h \rightarrow$  altura del Talud m

Este criterio se fundamenta, el primero por el comportamiento de (K) Figura 6 y el segundo por la ecuación básica del cálculo de taludes  $\sum F = 0$  en la superficie de corte.

Para la aplicación del procedimiento se cumplimentó lo siguiente:

- 1) Utilizando  $(C, \phi, \gamma, \sigma_1)$  obtenidos en el laboratorio para cada préstamo se obtuvieron los estados límites (mínimo, medio y máximo) calculado para los cuales el  $\sigma_3 \geq 0$ .
- 2) Determinación de los parámetros del talud para los diferentes estados límites (mínimo, medio y máximo) calculados para los cuales  $FS \geq 1$ .
- 3) Determinación de los parámetros del talud para el aumento de la carga (por encima del estado límite máximo calculado) debido a la influencia del 20% de la humedad en el macizo geológico  $\eta_{agua} = 1.2$  y  $\sigma_H = 0$
- 4) Breve análisis de la influencia de la forma en presencia de  $\sigma_H$  y  $\eta_{geológico} = 1.2$
- 5) Cálculo de la ecuación pronóstico de  $\beta_{límite}^0 = f(C, \phi, \sigma_1)$
- 6) Los cálculos se realizaron con la ayuda del tabulador electrónico (Figura 7).

Recta Interceptos		ENSAYO DE CORTANTE DIRECTO	C kPa	$\phi$	$\sigma_1$ kPa	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>
$\tau'=y$	$\sigma=x$		40.00	14.00	200.00	20.50
156.26	0.00	Datos de entrada correspondientes al estado límite ensayado en el laboratorio. Para chequear $\sigma_1$ el valor de $\sigma_3$ no puede ser negativo.				
0.00	200.00	-	$\eta_{debilEstructural}$	$\eta_{reológico}$	$\eta_{aguas subt.}$	$\eta_{sismico}$
68.13	112.80		1.00	1.00	1.20	1.00
Punto límite		Coeficientes de mayoración de la tensión total límite ( $\sigma_{total}$ )				



Resultados del cálculo de las tensiones límites					<u>Pasos para utilizar la hoja de cálculo</u>				
Ecuación	c	m	$\sigma_L$	$\zeta_L$	01-Leer detenidamente las notas aclaratorias				
envolvente	40.00	0.25	112.80	68.13	02-Introducir los datos del laboratorio (Estado Tensional Límite) y los coeficientes (mayores que la unidad--Estado Tensional Calculado)				
Interceptos	156.26	-0.78			03-Para el caso 2 y 3 movemos ( $\alpha$ ) y (h) hasta obtener el equilibrio.				
Caso # 1									
Solicitud		h	b	$\beta^0_{\text{límite}}$	Fr	$Q_T$	Q	Fs	k
Límite	132	6.43	10.64	31.13	5294	3859	6130	1.37	
Calculada	158	7.71	12.77		7624	6669	12900	1.14	
Caso # 2 $\sigma_{\text{horizontal}} = 0$				$\alpha^0$	Caso # 2 $\sigma_{\text{horizontal}} = 0$				
calculada	158	8.00	17.16	25.00	12990	703	1664	18.47	
Caso # 3 $\sigma_{\text{horizontal}} > 0$									
calculada	224	4.00	20.00	20.00	5141	4807	4952	1.07	1.00

Figura 7. Hoja de Cálculo compuesta por el Procedimiento para el Cálculo de Taludes

## RESULTADOS

- Utilizando ( $C, \phi, \gamma, \sigma_1$ ) obtenidos en el laboratorio para cada Préstamo se calcularon los Estados Límites (mínimo, medio y máximo) para los cuales  $\sigma_3 \geq 0$  (Figura 8).

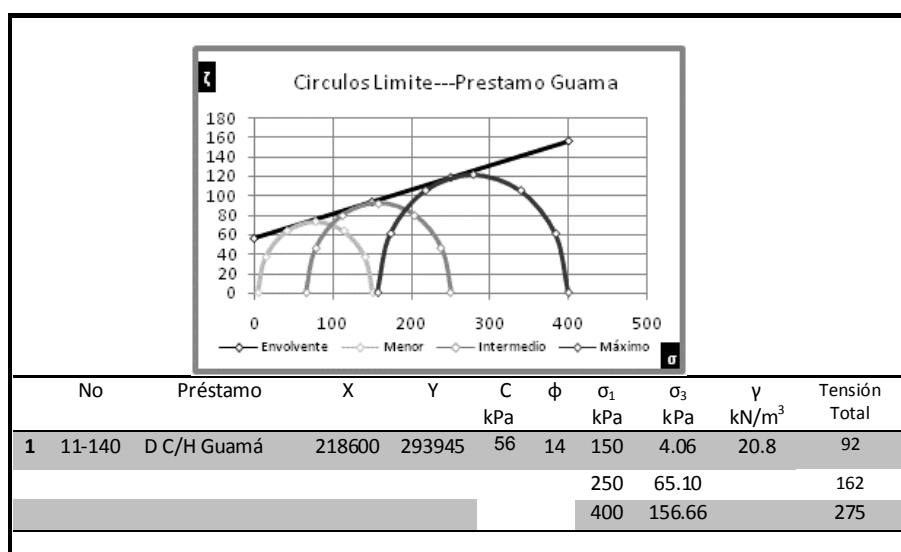


Figura 8. Estados Límites Calculados (mínimo, medio y máximo)

- Determinación de los parámetros del talud para los diferentes estados límites calculados (mínimo, medio y máximo) para los cuales  $FS \geq 1$  (Figura 9).

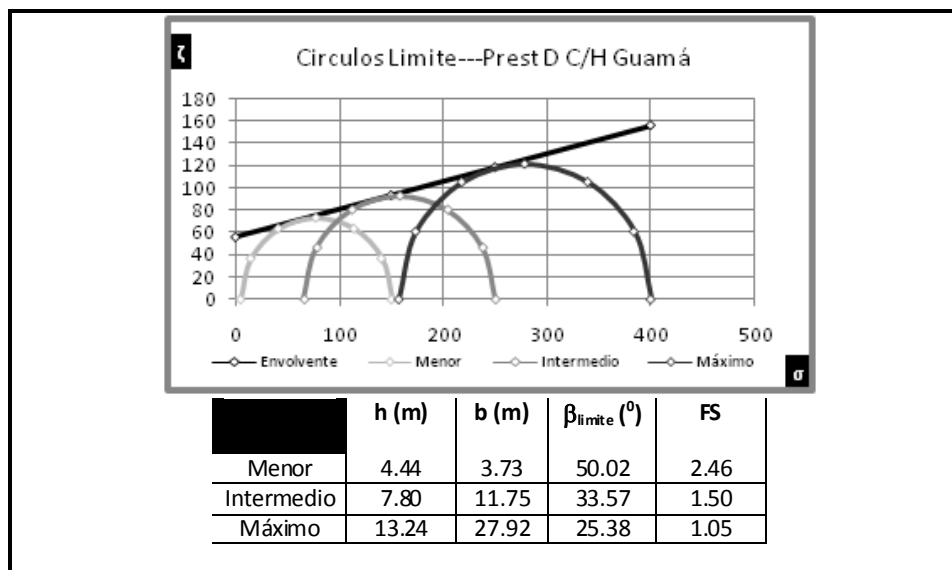


Figura 9. Parámetros del talud para los estados límites calculados (mínimo, medio y máximo)

- 3) Determinación de los parámetros del talud para el aumento de la carga (por encima del estado límite máximo calculado) debido a la influencia del 20% de la humedad en el Macizo Geológico  $\eta_{\text{agua}} = 1.2$  y  $\sigma_H = 0$  (Figura 10).

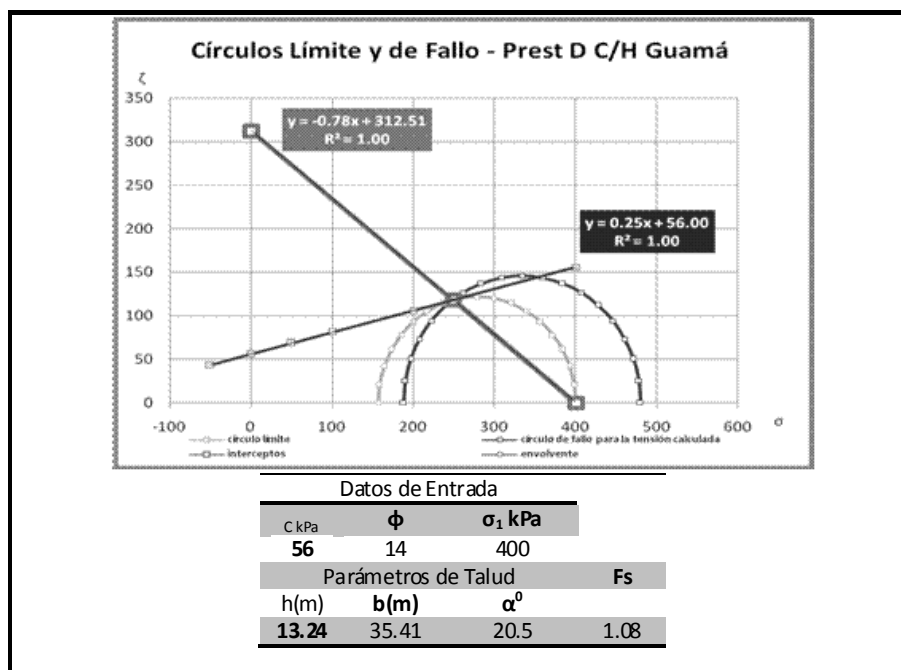


Figura 10. Parámetros del talud para una carga superior a la límite

- 4) Breve análisis de la influencia de la forma en presencia de  $\sigma_H$  y  $\eta_{\text{geológico}} = 1.2$  (Figura 11).



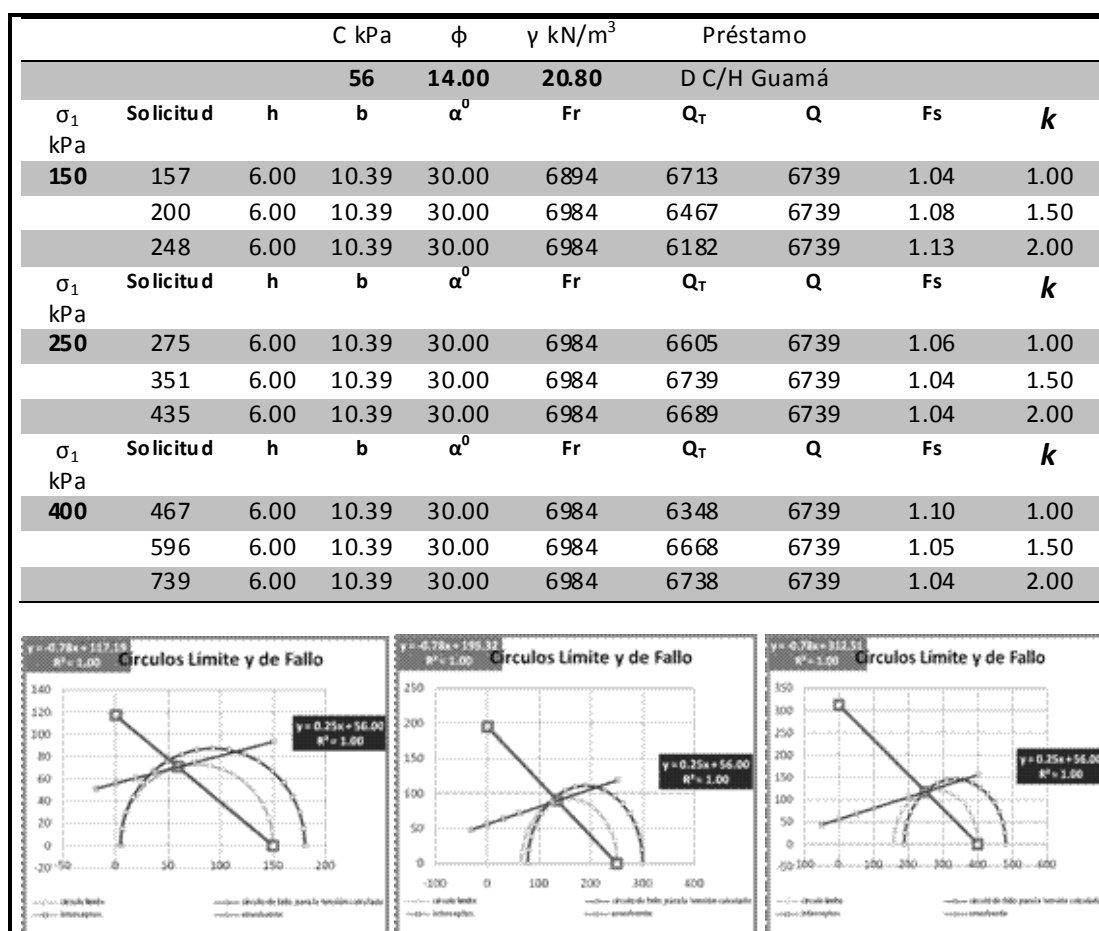


Figura 11. Estado tensional en presencia de tensiones horizontales  $k \rightarrow (1 - 2)$  y  $\eta_{transigente} = 1.2$ .

5) Cálculo de la ecuación pronóstico de  $\beta_{límite}^0 = f(C, \phi, \sigma_1)$

Para realizar los cálculos se utilizó el procedimiento del libro de (Pablov C. P. & Jlebnikov A B.)[4].

$$\beta_{límite}^0 = 21.38 + 0.5591 \cdot C + 0.9055 \cdot \phi - 0.1038 \cdot \sigma_1$$

r	$\sigma_r$	t	t <sub>q</sub>
0.89	4.42	14.72	3.55

## DISCUSIÓN

Para la aplicación del procedimiento se cumplió con lo siguiente:

- Utilizando  $(C, \phi, \gamma, \sigma_1)$  obtenidos en el laboratorio para cada préstamo se calculan los estados límites (mínimo, medio y máximo) para los cuales el  $\sigma_3 \geq 0$  (Figura 12).



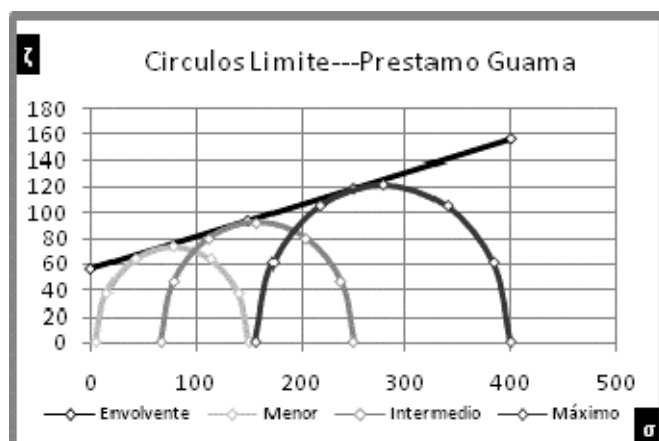


Figura 12. Estados Límites (mínimo, medio y máximo)

Por razones económicas en el laboratorio se ensayan las combinaciones mínimas para obtener la envolvente. No obstante mediante los cálculos puedo realizar las combinaciones necesarias de  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  que permitan obtener los valores mínimo y máximo a que se puede someter el material ensayado. El valor de  $C_y \varphi$  establecen la zona de equilibrio plástico.

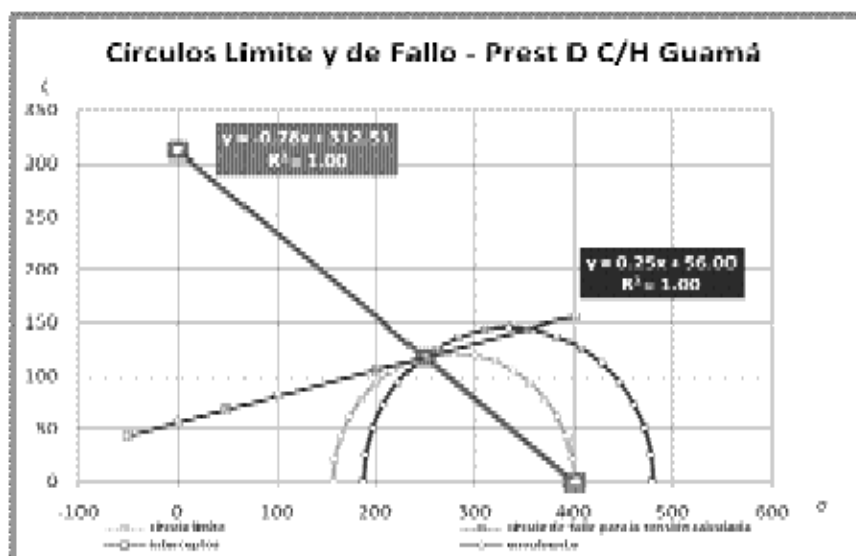
- 2) Determinación de los parámetros del talud para los diferentes estados límites calculados (mínimo, medio y máximo) para los cuales  $FS \geq 1$  (Tabla 3).

Tabla 3. Los parámetros del talud para los diferentes estados límites

	h (m)	b (m)	$\beta_{\text{límite}} (^{\circ})$	FS
<b>Menor</b>	4.44	3.73	50.02	2.46
<b>Intermedio</b>	7.80	11.75	33.57	1.50
<b>Máximo</b>	13.24	27.92	25.38	1.05

Con los estados límites obtenidos se puede pronosticar la forma del talud estable utilizando como ángulo de corte el correspondiente al estado límite  $\beta_{\text{límite}}^0$ .

- 3) Determinación de los parámetros del talud para el aumento de la carga (por encima del estado límite máximo calculado) debido a la influencia del 20% de la humedad en el macizo geológico  $\eta_{\text{agua}} = 1.2$  y  $\sigma_H = 0$  (Tabla 4).



$\sigma$	$\zeta$
284.0588	137.1995
308.6419	143.7865
333.9956	146.0047

Figura 12. Estados tensional que están por encima de la envolvente.

Este caso tiene dos variantes:

1. Posibilidad de que la lluvia aumente el contenido de humedad del talud en un 20 % (utilizamos  $\eta_{\text{agua}} = 1.2$ )

En la Figura 12 se observa que por encima de la envolvente se encuentran solo tres combinaciones para las cuales el estado tensional es superior al límite. Esto permite modificar el talud para obtener el equilibrio estático necesario.

Tabla 4. Parámetros del talud

Parámetros de Talud			Fs
h(m)	b(m)	$\alpha^0$	
13.2	35.41	20.5	1.08
4			

2. Necesidad de extraer del préstamo una mayor cantidad de material.

En la siguiente hoja de cálculo (Figura 13) se puede observar lo siguiente:

La Sollicitud Límite es de 275 kPa y la calculada de 331 kPa, los parámetros del talud (h y b), el ángulo límite  $\beta_{\text{límite}}^0$ , la fuerza que se oponen al movimiento  $F_r$ , la motora  $Q_T$ , la masa de material  $Q$  y el factor de seguridad  $F_s$ .

Caso # 1									
Sollicitud		h	b	$\beta_{\text{límite}}^0$	Fr	Q <sub>T</sub>	Q	Fs	k
límite		275	13.24	27.92	25.38	48321	46020	6130	1.05
calculada		331	15.89	33.51		69583	79522	185558	0.88
Caso # 2 $\sigma_{\text{horizontal}} = 0$				$\alpha^0$	Caso # 2 $\sigma_{\text{horizontal}} = 0$				
calculada		331	13.24	35.41	20.50	74972	69497	198445	1.08

Figura 13. Una sección de la hoja del cálculo del procedimiento



Para la Solicitud Límite (275 kPa), la masa de material  $Q = 61.30 \text{ ton}$ ,  $F_s = 1.05$  y para la calculada (331 kPa), la masa de material  $Q = 185.558 \text{ ton}$ ,  $F_s = 0.88$  utilizando en ambos casos el ángulo límite ( $\beta^0_{\text{límite}}$ ).

Utilizando el parámetro (h) límite, se modifica el ángulo de talud denominándose  $\alpha^0$  con lo cual se obtiene una masa de material  $Q = 198.445 \text{ ton}$  y un  $F_s = 1.08$

4) Breve análisis de la influencia de la forma en presencia de  $\sigma_H$  y  $\eta_{\text{geológico}} = 1.2$ .

En párrafos anteriores se ha planteado que el estado tensional natural está presente en todo momento. El problema a resolver es el de pronosticar la forma del talud para que sea estable con diferentes combinaciones de  $K = \frac{\sigma_{\text{horizontales}}}{\sigma_{\text{verticales}}} > 0 \rightarrow (1 - 2)$  durante un largo período de tiempo.

Caso # 1									
Solicitud		h	b	$\beta^0_{\text{límite}}$	Fr	$Q_T$	Q	Fs	k
límite	275	13.24	27.92	25.38	48321	46020	6130	1.05	
calculada	331	15.89	33.51		69583	79522	185558	0.88	
Caso # 2 $\sigma_{\text{horizontal}} = 0$				$\alpha^0$	Caso # 2 $\sigma_{\text{horizontal}} = 0$				
calculada	331	13.24	35.41	20.50	74972	69497	198445	1.08	
Caso # 3 $\sigma_{\text{horizontal}} > 0$									
calculada	739	6.00	10.39	30.00	6984	6738	6739	1.04	2.00

Figura 14: Una sección de la hoja del cálculo del procedimiento

Como se observa en la Hoja de Cálculo (Figura 14) se corresponde con el Caso No 3 del procedimiento.

Se ha asumido el valor de  $\eta_{\text{geológico}} = 1.2$ , siendo evidente que estamos por encima del Estado Límite.

$\sigma_1$ kPa	Solicitud	h	b	$\alpha^0$	Fr	$Q_T$	Q	Fs	k
400	467	6.00	10.39	30.00	6984	6348	6739	1.10	1.00
	596	6.00	10.39	30.00	6984	6668	6739	1.05	1.50
	739	6.00	10.39	30.00	6984	6738	6739	1.04	2.00

Figura 15: Una sección de la hoja del cálculo del procedimiento

Se observa en la hoja de cálculo (Figura 15) los valores de (h y b), ( $F_s$  y  $Q$ ) constantes para las diferentes combinaciones de (K) lo que inciden en la solicitud.

$Q_T$  y  $F_s$  cambian de valor el primero, la fuerza motora ( $Q_T$ ), aumenta con (K) y el segundo el factor de seguridad ( $F_s$ ) disminuye.

La forma del talud  $h = 6$  y  $b = 10.39$  permanece constante para este macizo geológico.

Para los restantes casos la "Forma del Talud" permanece constante y depende del macizo geológico.



5) Cálculo de la ecuación pronóstico de  $\beta_{\text{limite}}^0 = f(C, \varphi, \sigma_1)$

$$\beta_{\text{limite}}^0 = 21.38 + 0.5591 \cdot C + 0.9055 \cdot \varphi - 0.1038 \cdot \sigma_1$$

r	$\sigma_r$	t	t <sub>q</sub>
0.89	4.42	14.72	3.55

El valor alto de la correlación  $\sigma_r$ , así como el de la prueba de student (t) no significa que esta ecuación tiene un carácter general. Se conoce el carácter variable de las arcillas en su composición y la influencia de la humedad en las propiedades mecánicas de los suelos.

Su utilización es limitada y solo indica un pronóstico muy reservado, a continuación se muestra la tabla comparativa de los datos obtenidos para  $\beta_{\text{limite}}^0$  y calculados  $\beta_{\text{calculados}}^0$  mediante la ecuación (Tabla 5).

Tabla 5. Tabla comparativa de los datos obtenidos para  $\beta_{\text{limite}}^0$  y calculados  $\beta_{\text{calculados}}^0$

No.	$\beta_{\text{limite}}^0$	$\beta_{\text{calculado}}^0$	Dif
1	50.02	49.80	0.22
2	33.57	39.42	-5.85
3	25.38	23.85	1.53
4	46.79	44.08	2.71
5	35.92	38.89	-2.97
6	30.90	33.70	-2.80
7	49.61	47.28	2.33
8	33.37	36.91	-3.54
9	28.80	29.12	-0.32
10	37.77	36.56	1.21
11	16.52	21.00	-4.48
12	12.23	5.43	6.80
13	55.25	57.23	-1.98
14	40.00	41.66	-1.66
15	35.82	31.29	4.53
16	46.79	44.08	2.71
17	35.92	38.89	-2.97
18	30.90	33.70	-2.80
19	44.99	44.34	0.65
20	39.80	41.75	-1.95
21	35.47	38.12	-2.65
22	46.19	44.49	1.70
23	39.70	41.89	-2.19
24	36.00	39.30	-3.30
25	48.03	42.06	5.97
26	38.77	39.47	-0.70
27	27.93	31.69	-3.76
28	53.63	44.99	8.64
29	37.59	39.80	-2.21
30	31.32	34.61	-3.29
31	49.75	44.91	4.84
32	37.72	40.24	-2.52
33	34.00	37.13	-3.13
34	51.83	44.78	7.05
35	37.10	39.59	-2.49
36	31.35	34.40	-3.05
37	51.27	45.47	5.80
38	37.79	40.28	-2.49
39	33.71	36.65	-2.94
40	51.45	46.66	4.79
41	39.21	41.47	-2.26
42	31.72	33.68	-1.96
43	47.28	43.10	4.18
44	35.38	38.43	-3.05
45	31.72	35.32	-3.60
46	50.07	41.09	8.98
47	36.02	37.98	-1.96
48	28.96	33.83	-4.87
49	52.50	46.38	6.12
50	39.77	41.71	-1.94
51	35.80	38.59	-2.79
52	45.02	43.74	1.28
53	25.15	30.77	-5.62
54	18.86	15.20	3.66
55	51.27	45.47	5.80
56	42.70	42.88	-0.18
57	34.66	37.69	-3.03
58	56.82	58.39	-1.57
59	45.98	45.42	0.56
60	41.86	35.04	6.82



Para cada préstamo se obtuvieron tres estados límites y así para veinte se obtuvieron sesenta observaciones.

El rango de las variables

$C \rightarrow (17-64)$  kPa

$\varphi \rightarrow (6-29)$  grados

$\sigma_1 \rightarrow (50-450)$  kPa

## CONCLUSIONES

- Se obtuvo la forma óptima del talud en ausencia de las tensiones horizontales para los tres estados límites investigados.
- Se obtuvo la forma óptima del talud en presencia de las tensiones horizontales para  $K=1$ ,  $K=1.5$  y  $K=2$ .
- Se determinó la ecuación pronóstico del ángulo límite del talud.

## REFERENCIAS

- 1) Archivo Técnico de la de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas en Pinar del Rio.
- 2) Martinez Silva Rafael -"Procedimiento para evaluar la Estabilidad del Macizo Geológico en Taludes de Suelos y Galerías en Minas" 3ra. Convención Cubana de Ciencias de la Tierra 2009—ISBN: 978-959-7139-83-6.
- 3) E. Hoek & E.T. Brown---Underground Excavations in Rock The institution of Mining and Metallurgy, London 1980. Pág. 99-100
- 4) Pablov C. P. & Jlebnikov A B.-Matematicheskaja Statistika b Marcheidierson dele.- Instituto de Minas de San Petersburgo (antigua Leningrado) 1983.