

---

ANEJO Nº I  
ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE  
TALUDES

---

## **1.-INTRODUCCIÓN**

En cualquier parte de la superficie terrestre, la gravedad empuja continuamente los materiales hacia niveles inferiores.

En el movimiento de taludes se implican diferentes clases de, a través de una superficie de rotura determinada.

Con este estudio se pretende conseguir un diseño de taludes de restauración estables a largo plazo, frente a factores condicionantes y desencadenantes de distintos tipos de movimientos susceptibles de producirse en ellos.

## **2.-DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL TALUD**

### **2.1.-Naturaleza intrínseca del material**

---

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.

En el caso que nos ocupa, como ya quedó expuesto en el apartado “Geología”, los materiales que afloran son fundamentalmente arcillas y en menor medida arenas, que puede considerarse como un material homogéneo sin dirección predominante de fracturación, en el que se da la condición de que las partículas tienen un tamaño muy pequeño en comparación con las dimensiones del talud.

### **2.2.-Parámetros de diseño**

---

Los parámetros para la restauración del frente han sido definidos por bancos de 5 metros de altura, talud de 35° de inclinación y anchura de bermas intermedias de 3 metros (tanto para las zonas donde se realice extracción como para las de relleno), lo que resulta en un talud general de 25° respecto de la horizontal y una altura máxima de frente de 90 metros.

### 3.-CÁLCULO PARA ROTURA CIRCULAR

Del estudio geológico de los materiales que constituyen los taludes, consistentes en arcillas y arenas, se deduce que el tipo de deslizamiento que suele producirse es el de rotura circular (tanto en los taludes que se generen en la excavación como en los de relleno) en la que la superficie de deslizamiento es asimilable a una superficie cilíndrica cuya sección transversal se asemeja a un arco de círculo, al carecer de discontinuidades y considerarse los materiales que lo conforman como homogéneo.

Para el cálculo de estabilidad del talud propuesto se ha elegido el método de HOEK Y BRAY (1977) que proporciona un límite inferior del factor de seguridad, obtenido asumiendo que las tensiones normales en la superficie de deslizamiento se concentran en un único punto.

En la construcción de los ábacos se ha considerado el efecto de las presiones intersticiales debidas a la presencia de un nivel freático en el terreno, que divide el talud en una zona seca y una zona saturada.

Existen ábacos para casos de talud totalmente seco, totalmente saturado y para tres casos intermedios con diferentes alturas de nivel freático o línea de saturación, tal y como se muestra en el gráfico adjunto.

Además de las consideraciones ya indicadas se han asumido las siguientes simplificaciones:

- El material constitutivo del talud se considera homogéneo en toda la extensión del mismo.
- El círculo de rotura se hace pasar siempre por el pie del talud.
- Se considera la existencia de una grieta de tracción que puede estar situada por encima o por debajo de la cresta del talud.

Estas consideraciones son las que hacen mínimo el factor de seguridad para cada talud determinado.

En el presente estudio se tomará el ábaco correspondiente al caso de talud seco y al de parcialmente saturado. El resto de los casos es difícil que puedan ocurrir debido a la baja cota piezométrica existente en la zona que impide la saturación en superficie. No obstante, se tomará el caso intermedio para determinar la estabilidad de los taludes parcialmente saturados.

Se opera en presiones efectivas, por lo que los parámetros resistentes a considerar son la cohesión efectiva del terreno ( $c'$ ) y el ángulo de rozamiento interno efectivo ( $\varphi'$ ).

### 3.1.-Características portantes y geométricas del talud

---

Los parámetros de cálculo para el tipo de material considerado, *arcillas de baja plasticidad*, según tabla adjunta, son los siguientes:

- $c'$  (cohesión efectiva) = 6
- $\varphi'$  (ángulo de rozamiento interno efectivo) =  $24^\circ$
- $\psi_t$  (ángulo del talud general) =  $25^\circ$
- H (altura del talud) = 90 m
- $\gamma$  (peso específico del material) = 1,90

### 3.2.-Cálculo de los factores de seguridad

---

Operando con estos parámetros, se obtiene:

$$\frac{c'}{\gamma * H * \text{tg } \varphi'} = \frac{6}{1,90 * 90 * \text{tg } 24^\circ} = 0,08$$

Entrando con este valor y con el correspondiente a el ángulo de base del talud ( $25^\circ$ ) en los ábacos correspondientes para los dos casos considerados de grado de saturación del talud, se obtienen los siguientes valores para el cociente  $\text{tg } \square / \text{F.S.}$ :

Talud seco  $\text{tg } \square / \text{F.S.} = 0.3$

Talud parcialmente saturado  $\text{tg } \square / \text{F.S.} = 0.38$

Factor de seguridad del talud seco (caso 1):  $\text{F.S.} = \text{tg } 25^\circ / 0,3 = 1,55$

Factor de seguridad para el talud saturado (caso 3):  $\text{F.S.} = \text{tg } 25^\circ / 0,38 = 1,22$

El factor de seguridad resultante supera en todos los casos el 1,2 mínimo que figura en las I.T.C. del Reglamento general de Normas Básicas.

### 3.3.-Conclusiones

Con todo ello, queda demostrado que los taludes de restauración proyectados garantizan la adecuada estabilidad de los mismos.

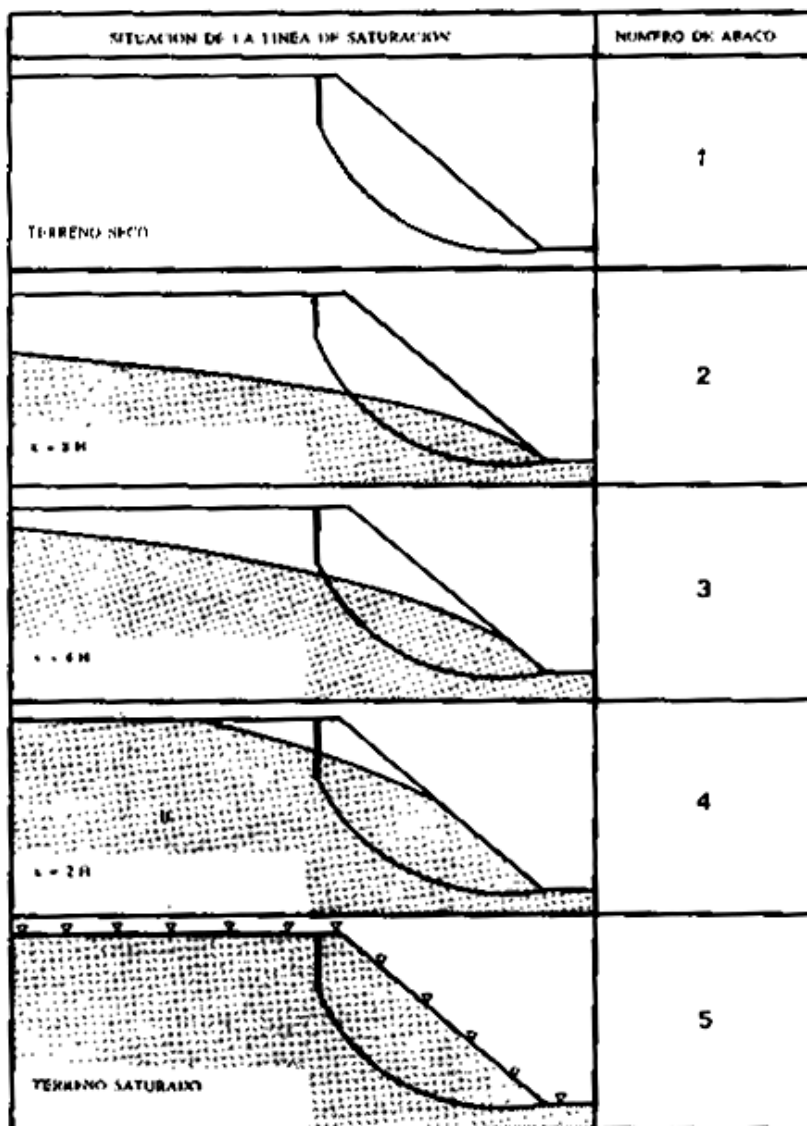
CUADRO 1.12. PARAMETROS CARACTERISTICOS DEL SUELO (1)

TIPO DE SUELO	GRANULOMETRIA		LIMITES DE ATTERBERG (Fracción <0,04 mm)			PESO ESPECIFICO		HDAD. NATURAL	PROCTOR NORMAL		DEFORMABILIDAD (2)		RESISTENCIA AL CORTE			PERM.
	<0,06	<2,0	w <sub>L</sub>	w <sub>P</sub>	I <sub>P</sub>	γ	γ <sub>sum</sub>	w	D. seca	w <sub>PN</sub>	E <sub>s</sub> = E <sub>0</sub> (σ <sub>at</sub> ) <sup>n</sup>	E <sub>s</sub> = E <sub>0</sub> (σ <sub>at</sub> ) <sup>n</sup>	φ'	c'	φ' <sub>r</sub>	K
	mm	mm	%	%	%	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	%	t/m <sup>3</sup>	%	kp/cm <sup>2</sup>	kp/cm <sup>2</sup>	(°)	t/m <sup>2</sup>		m/s
Grava	<5	<60	—	—	—	1,60 1,90	0,95 1,05	5	1,70 2	8 5	400 900	0,60 0,40	34 42	—	32 35	2.10 <sup>-1</sup> 1.10 <sup>-2</sup>
Grava arenosa con pocos finos	<5	<60	—	—	—	2,10 2,30	1,15 1,35	7	2,00 2,25	7 4	400 1100	0,70 0,50	35 45	—	32 35	1.10 <sup>-2</sup> 1.10 <sup>-4</sup>
Grava arenosa con finos limosos o arcillosos que no alteran la estructura granular	8 15	<60	20 45	16 25	4 25	2,10 2,40	1,15 1,45	9 3	2,10 2,35	7 3	400 1200	0,70 0,50	35 43	1 0	32 35	1.10 <sup>-3</sup> 1.10 <sup>-4</sup>
Mezcla de gravas y arenas envueltas por finos	20 40	<60	20 50	16 25	4 30	2,00 2,25	1,05 1,30	13 5	1,90 2,20	10 5	150 400	0,90 0,70	28 35	3 0,5	22 30	1.10 <sup>-4</sup> 1.10 <sup>-11</sup>
Arena uniforme																
a) Fina	<5	100	—	—	—	1,60 1,90	0,95 1,10	22	1,60 1,75	15 10	150 300	0,75 0,60	32 40	—	30 32	2.10 <sup>-4</sup> 1.10 <sup>-3</sup>
b) Gruesa	<5	100	—	—	—	1,60 1,90	0,95 1,10	16	1,60 1,75	13 8	250 700	0,70 0,55	34 42	—	30 34	5.10 <sup>-3</sup> 2.10 <sup>-4</sup>
Arena bien graduada y arena con grava	<5	60	—	—	—	1,80 2,10	1,00 1,20	11	1,90 2,15	10 6	200 600	0,70 0,55	33 41	—	32 34	5.10 <sup>-4</sup> 2.10 <sup>-3</sup>
Arena con finos que no alteran la estructura granular	8 15	>60	20 45	16 25	4 25	1,90 2,25	1,05 1,30	15 4	2,00 2,20	13 7	150 500	0,80 0,65	32 40	1 0	30 32	1.10 <sup>-3</sup> 1.10 <sup>-7</sup>
Arena con finos que alteran la estructura granular	20 40	>60	20 50	16 30	4 30	1,80 2,15	0,90 1,10	20	1,70 2,00	18 12	50 250	0,90 0,75	25 32	5 1	22 30	1.10 <sup>-7</sup> 1.10 <sup>-10</sup>
Limo poco plástico	>50	>80	25 35	20 28	4 11	1,75 2,10	0,95 1,10	28 15	1,60 1,80	22 15	40 110	0,80 0,60	28 35	2 0,5	25 30	1.10 <sup>-3</sup> 1.10 <sup>-4</sup>
Limo de plasticidad media a alta	>80	>100	35 50	22 25	7 20	1,70 2,00	0,85 1,05	35 20	1,55 1,75	23 16	30 70	0,90 0,70	25 33	3 1	22 29	2.10 <sup>-4</sup> 1.10 <sup>-3</sup>
Arcilla de baja plasticidad	>80	100	25 35	15 22	7 16	1,90 2,20	0,95 1,20	28 14	1,65 1,85	20 14	20 50	1,00 0,90	24 32	6 1,5	20 28	1.10 <sup>-7</sup> 2.10 <sup>-3</sup>
Arcilla de plasticidad media	>90	100	40 50	18 25	16 28	1,80 2,10	0,85 1,10	38 18	1,55 1,75	23 17	10 30	1,00 0,95	20 30	8 2	10 20	5.10 <sup>-4</sup> 1.10 <sup>-10</sup>
Arcilla de alta plasticidad	100	100	60 85	20 35	33 55	1,65 2,00	0,70 1,00	55 20	1,45 1,65	27 20	6 20	1,00 1,00	17 27	10 3	6 15	1.10 <sup>-3</sup> 1.10 <sup>-11</sup>
Limo o arcilla orgánicos	>80	100	45 70	30 45	10 30	1,55 1,90	0,55 0,90	60 30	1,45 1,70	27 18	5 20	1,00 0,85	20 26	7 2	15 22	1.10 <sup>-3</sup> 1.10 <sup>-11</sup>
Turba	—	—	—	—	—	1,04 1,30	0,04 0,30	800 100	—	—	3 8	1,00 1,00	25 30	1,5 0,5	—	1.10 <sup>-3</sup> 1.10 <sup>-4</sup>
Fango	—	—	100 250	30 80	50 170	1,25 1,60	0,25 0,60	200 50	—	—	4 15	1,00 0,90	22 28	2 0,5	—	1.10 <sup>-7</sup> 1.10 <sup>-3</sup>

(1) Según el Grundbau-Taschenbuch, 3.ª ed. 1.ª Parte, 1980.  
(2) σ<sub>at</sub> = 0,1 kp/cm<sup>2</sup>

**Tabla.** Propiedades cohesivas de los suelos (José María Rodríguez Ortiz, Dr. Ingeniero de Caminos y Catedrático de Mecánica del Suelo y Cimentaciones de la E.T.S. de Arquitectura de Madrid)

Figura 1. Distintas situaciones de la línea de saturación consideradas en los ábacos (Hoek



y Bray, 1977)

ÁBACO Nº 1: Terreno seco

ÁBACO Nº 2: Terreno parcialmente saturado

ÁBACO Nº 3: Terreno parcialmente saturado

ÁBACO Nº 4: Terreno parcialmente saturado

ÁBACO Nº 5: Terreno saturado

### ÁBACOS PARA ROTURA CIRCULAR (HOEK Y BRAY 1977)

Gráficos para el cálculo del coeficiente de seguridad de rotura circular de taludes en dos casos de grado de saturación. (Hoek y Bray, 1977), aplicado al caso particular de la restauración de la actividad extractiva denominada "Esperanza".

#### ABACO Nº 1. TALUD COMPLETAMENTE SECO

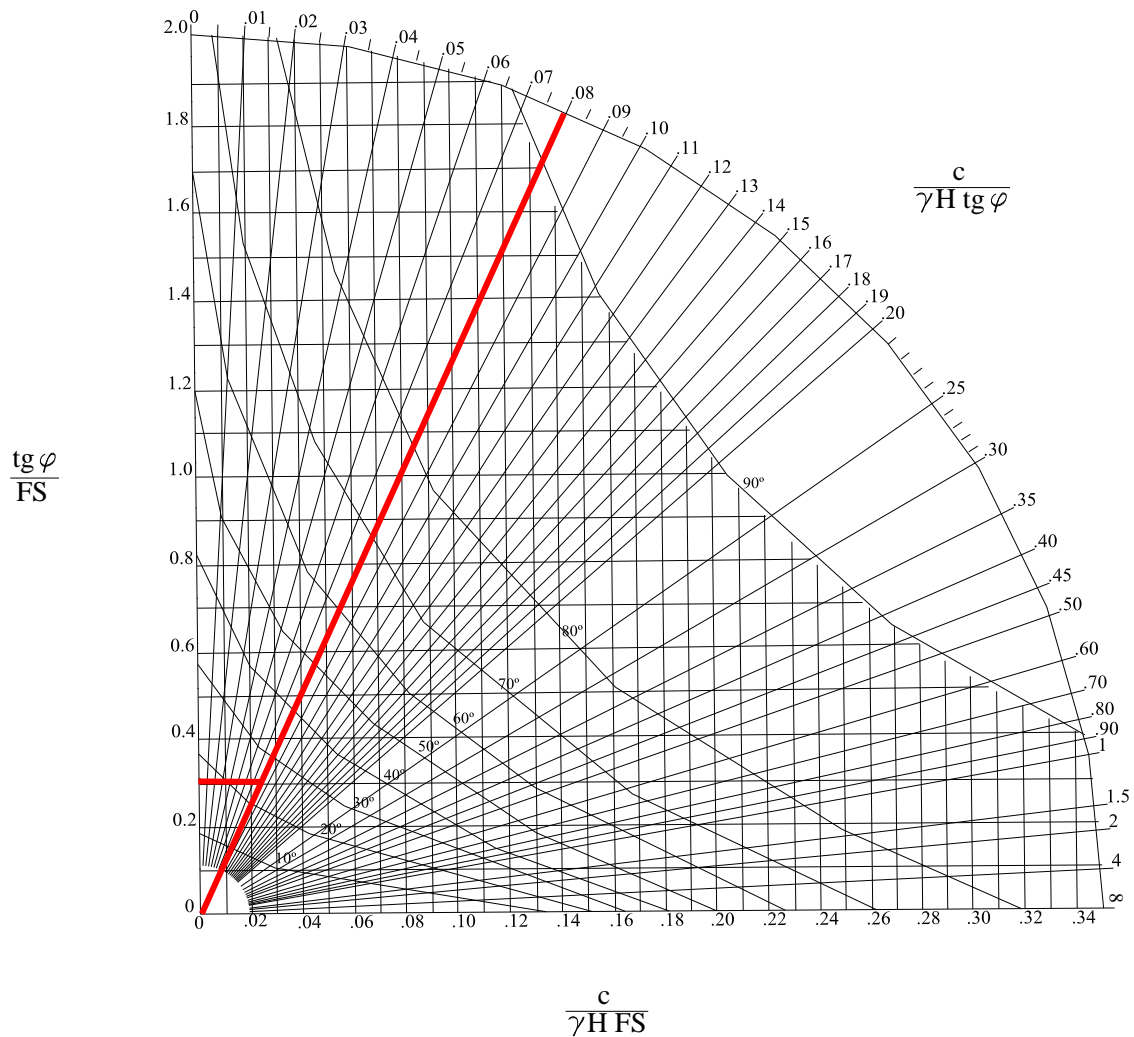


Figura. Ábaco para rotura circular. Caso Nº1, talud completamente seco (Hoek y Bray) 1977)

### ABACO Nº 3. TALUD PARCIALMENTE SATURADO

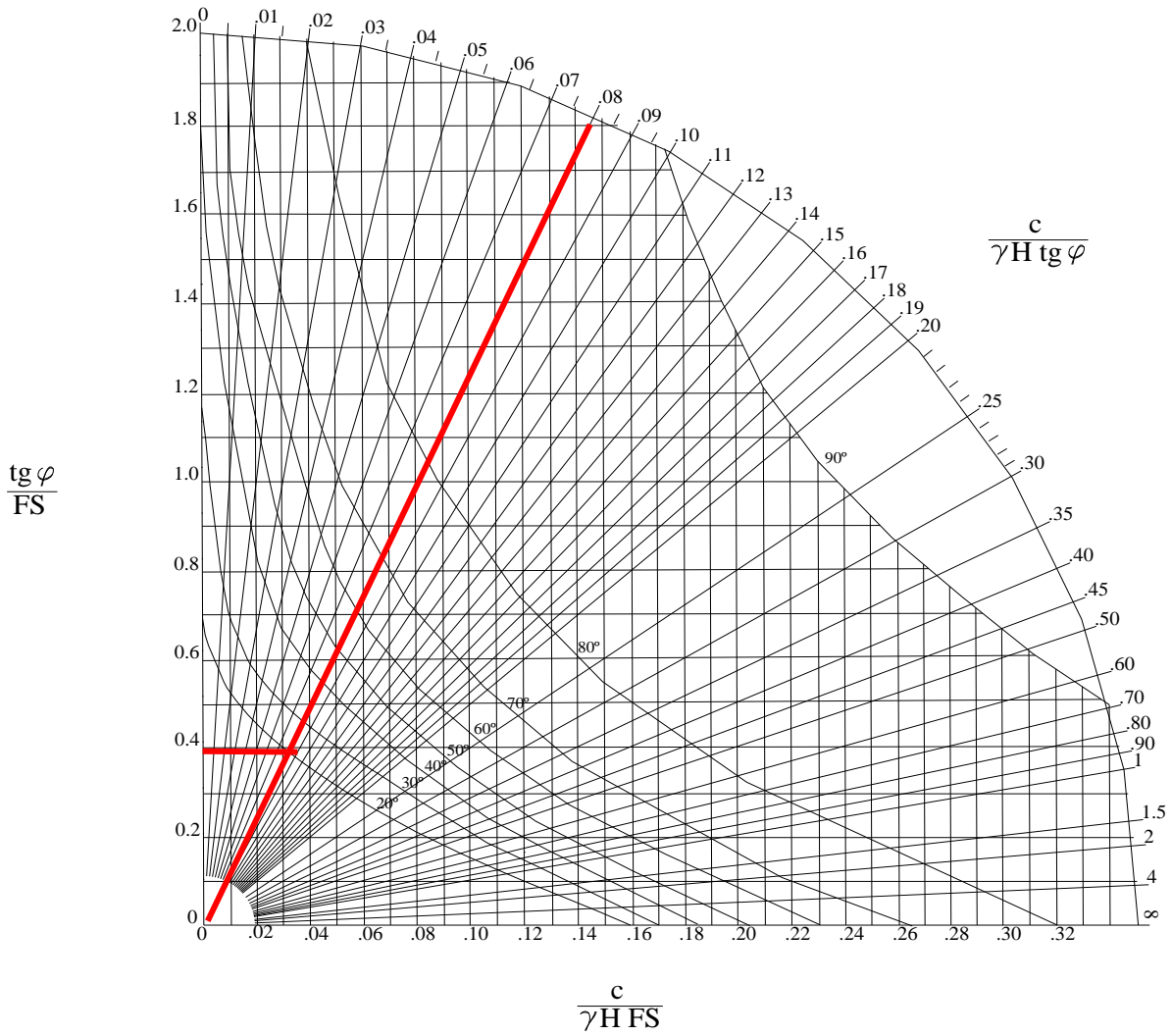


Figura. Ábaco para rotura circular. Caso Nº3, talud parcialmente saturado (Hoek y Bray, 1977)