



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estabilidad de taludes en movimientos de tierra

Apellidos, nombre	Oliver Faubel, Inmaculada (inolfau@csa.upv.es) Monfort i Signes, Jaume (jaumemonfort@csa.upv.es)
Departamento	Construcciones Arquitectónicas
Centro	ETSIE. Universitat Politècnica de València

1 Introducción

Una obra de tierra se define como el conjunto de operaciones que, modificando el perfil natural del terreno, establecen superficies libres, quitando o poniendo tierras, hasta alcanzar la forma y el nivel convenientes al fin propuesto.

Prácticamente toda obra de nueva construcción comporta la actuación sobre el terreno. El terreno natural es el primer material de construcción con el que se va a trabajar en una obra. Las características del terreno condicionarán el diseño y los cálculos de la cimentación y la estructura en el proyecto de ejecución, pero también, los procedimientos constructivos, la programación de los trabajos y, evidentemente, la incorporación de los equipos necesarios para llevar a cabo la obra de tierra.

Una de las principales preocupaciones a la hora de proyectar cualquier tipo de movimiento de tierras es asegurar la **estabilidad de sus taludes**, ya que de ella depende la seguridad de los operarios que trabajarán en su entorno durante la ejecución de los elementos constructivos para los que se ha llevado a cabo ese movimiento de tierras. Por ejemplo, los operarios que se encuentren en el interior de una zanja ejecutando una instalación de saneamiento enterrada, o entre las paredes de un batache ejecutando la cimentación de un muro de contención en un sótano.

2 Objetivos

Una vez que el alumno lea con detenimiento este artículo, será capaz de:

- Determinar los parámetros que definen la estabilidad de un terreno
- Filtrar cómo establecer esos parámetros según el tipo de movimiento de tierras programado.
- Utilizar el ábaco de Taylor.
- Determinar el ángulo de talud natural de un terreno utilizando el ábaco de Taylor.
- Interpretar y discriminar el resultado obtenido de la aplicación del ábaco.

3 Estabilidad de taludes

Como se ha dicho, es vital a la hora de proyectar cualquier tipo de movimiento de tierras el asegurar la **estabilidad de sus taludes**. De la estabilidad de los taludes no sólo depende la seguridad de los operarios que trabajan en el propio movimiento de tierra, sino de los que trabajan en el entorno y del propio entorno construido o no.

Es sencillo apreciar que la estabilidad de un talud depende tanto de su geometría, pendiente y altura, como de las características intrínsecas del propio suelo que lo forma. Estas características son la cohesión y el rozamiento interno.

La cohesión es la cualidad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas a causa de fuerzas internas que dependen, entre otras cosas, del número de puntos de contacto que cada partícula tiene las de su alrededor.

Por su parte, la fuerza de rozamiento interno es la que se opone al movimiento.

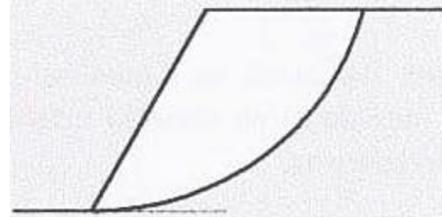
Así, un suelo sin cohesión, por ejemplo, una arena limpia y seca, será estable solo si su **ángulo de rozamiento interno (ϕ)** es superior al **ángulo que forma el talud con la horizontal (β)**. Por el contrario, en suelos cohesivos la estabilidad aumenta ya que a la fuerza de rozamiento interno se suma la producida por la cohesión entre las partículas del suelo.

4 Modelos de rotura

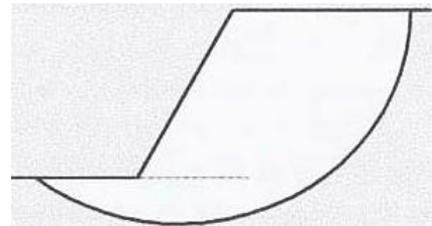
El deslizamiento de un talud se produce por la rotura y posterior desplazamiento lo que ocasiona un desmoronamiento total o parcial de dicho talud. Las causas que producen este deslizamiento pueden ser filtraciones de agua, desecamientos, vibraciones, socavaciones, etc. Ello hace complicado prever su comportamiento.

Para terrenos homogéneos, el deslizamiento de un suelo se produce a lo largo de una superficie de curvatura variable, aunque se asimila a un arco de circunferencia para simplificar el cálculo. Estas superficies de rotura circulares se denominan círculos suecos en honor de su descubridor Petterson, ingeniero sueco. En función del tipo de suelo y de la geometría del talud se distinguen los siguientes casos:

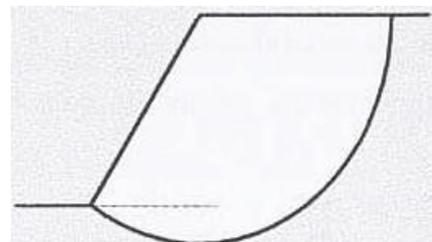
- a. Círculo superficial de pie: Se produce en suelos con alto ángulo de rozamiento interno (gravas y arenas fundamentalmente) o en taludes muy inclinados, es decir, con valores de ángulo de talud natural (β) altos.



- b. Círculo profundo: Se da en taludes con valores de β bajos o formados por suelos de bajo rozamiento interno, como arcillas y limos.

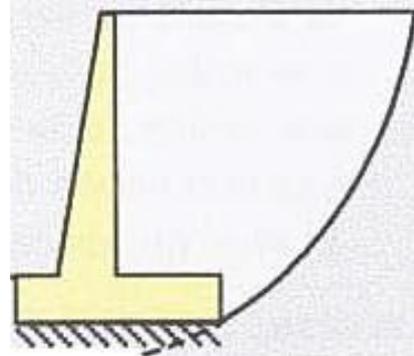


- c. Círculo profundo de pie: Es un caso intermedio entre los dos anteriores.

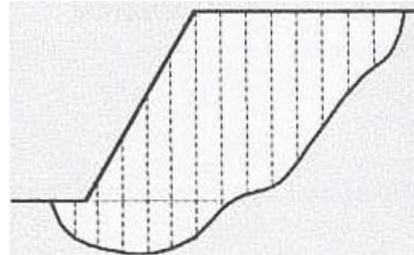




- d. Círculo condicionado: La presencia de estratos más duros o de diversos elementos resistentes, como muros, pilotes, edificaciones, rellenos, etc., en las proximidades del talud condiciona la magnitud y profundidad de la superficie de rotura.



Para terrenos con importantes heterogeneidades en su estructura habrá que recurrir a modelos más complejos que requerirán cálculos basados en elementos finitos. Se estará entonces ante un modelo de rotura irregular.



5 Métodos de cálculo

En el apartado anterior se ha hablado de los modelos de rotura de un talud. Sin embargo, para proyectar un desmonte, un terraplén o una excavación, más que determinar cómo se rompe el talud, lo que necesitamos es cuantificar ese comportamiento.

El movimiento de tierra que generalmente implica mayor volumen de tierra en obra de edificación es el vaciado de un sótano. Durante el vaciado, y mientras no se construya la obra perimetral de contención definitiva de esas tierras por debajo de la cota cero, es imprescindible conocer la forma en la que se va a comportar el terreno en su frente de excavación para garantizar la estabilidad del talud natural de las tierras.

Son varios los métodos cuyo objetivo es este análisis cuantitativo, pero nos vamos a centrar en el Método de Fellenius. Este método trata de relacionar las características del suelo con las sollicitaciones a las que está sometido. Se basa, pues, en la aplicación de los fundamentos de la mecánica racional clásica. Es un método semi-empírico, sencillo de aplicar y que ofrece unos datos muy válidos.

A partir de las bases del método de Fellenius, Taylor confeccionó un ábaco para determinar el ángulo de talud natural (β), que es suficiente para las necesidades en el vaciado de un sótano.

El ábaco de Taylor:

1. Determina el ángulo de talud natural β , en función de la altura de vaciado (H), la cohesión (c), el ángulo de rozamiento Interno (φ) y el peso específico (γ) del terreno en cuestión.

2. Para poder tabular el Método de Fellenius, Taylor plantea el concepto de Número de estabilidad (N), definido por la siguiente expresión adimensional:

$$N = c / \gamma \cdot H \cdot F_c = c_a / \gamma \cdot H$$

siendo:

- c = cohesión (T/m²)
- γ = peso específico (T/m³)
- H = altura del talud (m)
- F_c = coeficiente de seguridad para la cohesión
- c_a = cohesión minorada (T/m²) = c / F_c

3. Se aplicará el correspondiente coeficiente de seguridad (F_{ci}) tanto a la cohesión como al ángulo de rozamiento interno. Hay que resaltar que los coeficientes de seguridad utilizados en la Mecánica del Suelo son elevados (F=1,40) debido a que determinar las condiciones y características reales de un suelo no es, en absoluto, comparable a determinar las de cualquier material de construcción.

5.1 Abaco de Taylor

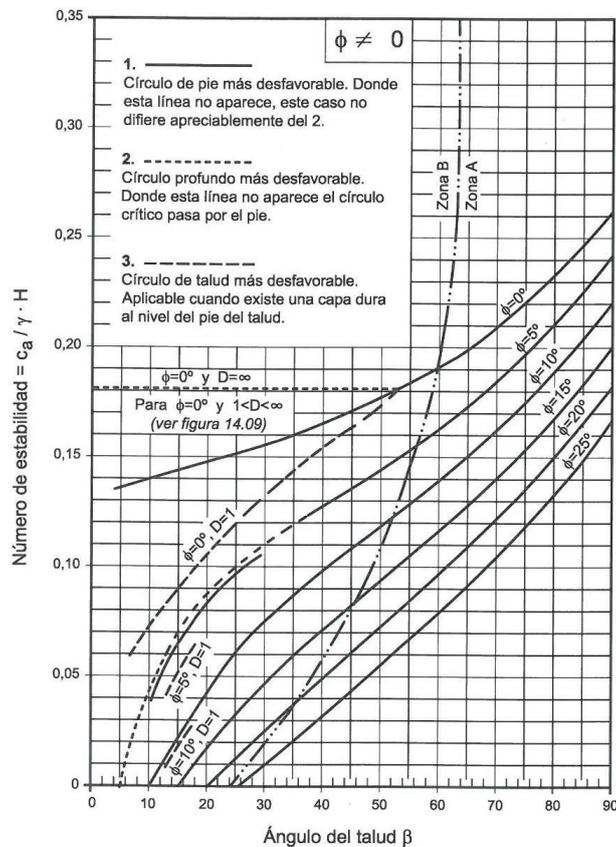


Figura 1. Ábaco de Taylor. Caso general, $\phi \neq 0$

5.2 Usos varios del ábaco de Taylor

En trabajos de terraplenado lo que se estaría buscando sería la altura crítica del talud para distintas pendientes, conociendo, claro está el peso específico, el ángulo de rozamiento interno y la cohesión del terreno a utilizar, y habiendo fijado previamente los coeficientes de seguridad a aplicar.

Sin embargo, cuando en edificación nos planteamos el vaciado de un solar para llegar al firme de cimentación, la altura de la excavación es un dato prefijado. Efectivamente, la cota del firme de cimentación, junto con el resto de las características físicas típicas del suelo con el que tratamos, nos lo habrá proporcionado el estudio geotécnico que se habrá realizado en el solar. Pero el estudio geotécnico normalmente no suele proporcionarnos el valor de β , es decir, del ángulo de talud natural con el que un terreno se va a comportar al ser excavado. Y ese es un dato necesario para conocer qué espacio van a ocupar las bermas, por ejemplo, en el vaciado de un sótano como en la imagen.



Figura 2. Talud natural en bermas en vaciado de sótano.

Si efectivamente esto ocurre, podemos utilizar el Ábaco de Taylor para determinar ese ángulo de talud natural partiendo de los otros datos proporcionados por el estudio geotécnico.

5.3 Aplicación del ábaco de Taylor: ejemplo.

DATOS	Símbolo	Valor	Valor'
Cota de firme = Profundidad de vaciado = Altura de talud	H	3,50 m	
Cohesión	c	1 T/m ²	10 kN/m ²
Peso específico	γ	1,70 T/m ³	17 kN/m ³
Ángulo de rozamiento interno	ϕ	29 grados	
Coefficiente de seguridad para la cohesión	F _c	1,40	
Coefficiente de seguridad al deslizamiento *	F _{ϕ}	1,40	

* Nota: Este coeficiente F_ϕ no minora al ángulo sino a su tangente, por tanto, ϕ_α que es el ángulo con el que entramos en el ábaco, se calcula:

$$\phi_\alpha = \arctan((\tan \phi) / F_\phi)$$

PROCEDIMIENTO

$$c_\alpha = c / F_c = 10 / 1,40 = 7,14 \text{ kN/ m}^2$$

$$\phi_\alpha = \arctan((\tan \phi) / F_\phi) = \arctan((\tan 29) / 1,40) = 21,60^\circ$$

$$N = c_\alpha / \gamma \cdot H = 7,14 / 17 \cdot 3,50 = 0,12$$

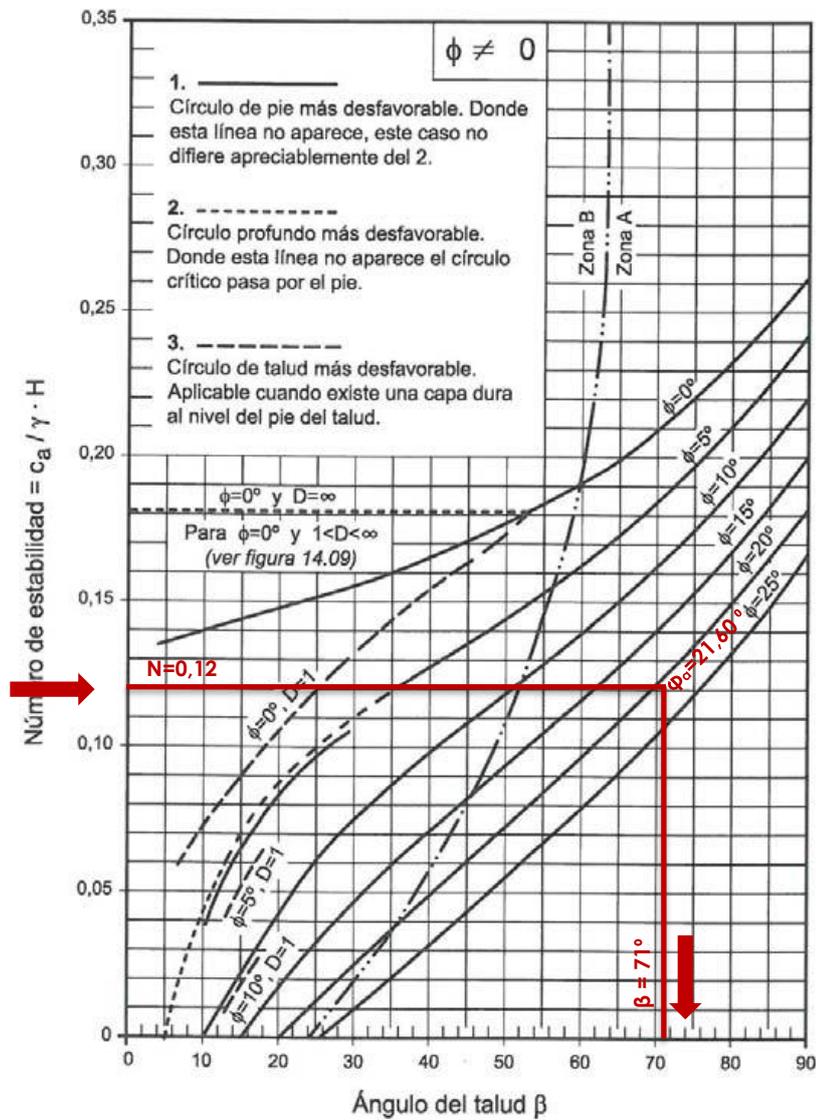


Figura 3. Aplicación del ábaco de Taylor para hallar ángulo de talud



RESULTADO

Ángulo de talud natural aprox.: $\beta = 71^\circ$

Nota: Por simplificar los cálculos y la solución gráfica, podríamos tomar como ángulo de talud natural 60° , que en cualquier caso nos pondría del lado de la seguridad (menor inclinación de talud).

A título orientativo, en la siguiente tabla se recogen las características físicas típicas de diversos suelos, aunque a efectos de peso específico y ángulo de rozamiento interno se deberá tomar siempre lo que indique el estudio geotécnico por ofrecer datos reales a partir del suelo analizado.

Tabla 1. Propiedades básicas de los suelos

TIPOS DE SUELO	γ (T/m ³)	ϕ (grados)	c (T/m ²)
Bloques y bolos sueltos	1,70	35-40	
Grava	1,70	37,5	-
Grava arenosa	1,90	35	
Arena compacta	1,90	32,5-35	
Arena semicompacta	1,80	30-32,5	-
Arena suelta	1,70	27,5-30	
Limo firme	2,00	27,5	1-5
Limo	1,90	25	1-5
Limo blando	1,80	22,5	1-2,5
Marga arenosa rígida	2,20	30	20-70
Arcilla arenosa firme	1,90	25	10-20
Arcilla media	1,80	20	5-10
Arcilla blanda	1,70	17,5	2-5
Fango blando arcilloso	1,40	15	1-2
Suelos orgánicos (turba)	1,10	10-15	-

6 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos aprendido a utilizar el ábaco de Taylor para conseguir el ángulo de talud natural de un terreno con el fin de poder programar correctamente un movimiento de tierras, como podría ser el vaciado de un sótano en edificación dejando bermas perimetrales para contención de las tierras.

Previamente se han introducido algunos conceptos específicos de mecánica del suelo como estabilidad de taludes y módulos de rotura de suelos. Ello nos ha de ayudar a entender la importancia del parámetro talud natural en el diseño y planificación de los movimientos de tierra.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

7 Bibliografía

- [1] Muzas Labad, F.: "Mecánica del suelo y cimentaciones". Fundación Escuela de la Edificación. Madrid, 2007.
- [2] Bañón Blázquez, L.: "Manual de carreteras". Universidad de Alicante. Escuela Politécnica Superior, 1999.
- [3] Jiménez Salas, J.A.: "Geotecnia y cimientos". Ed. Rueda. Madrid, 1980.