ESTABILIDAD GENERAL DE TALUDES
MÉTODO DE ANÁLISIS

1. Generalidades

Para resolver un problema se deben tomar en cuenta las ecuaciones de campo y los vínculos constitutivos. Las primeras son de equilibrio, las segundas describen el comportamiento del terreno. Tales ecuaciones son particularmente complejas en cuanto los terrenos son sistemas multifase, que se pueden convertir en sistemas monofase solo en condiciones de terreno seco, o de análisis en condiciones drenadas.

En la mayor parte de los casos se encuentra con materiales que si bien están saturados, es también por lo menos bifase, lo que hace el uso de la ecuación de equilibrio notoriamente complicado. Además es prácticamente imposible definir una ley constitutiva de validez general, en cuanto los terrenos presentan un comportamiento no-lineal aún en el caso de pequeñas deformaciones. A causa de dichas dificultades se introducen hipótesis simplificativas:

- Se usan leyes constitutivas simplificadas modelo rígido perfectamente plástico. Se asume que la resistencia del material se expresa únicamente con los parámetros cohesión (c) y ángulo de fricción interna (φ), constantes para el terreno y característicos del estado plástico, por lo tanto se supone válido el criterio de rotura de Mohr-Coulomb.

- En algunos casos se satisfacen solo en parte las ecuaciones de equilibrio.

Estas hipótesis se reflejan en el método del equilibrio límite utilizado para los análisis de estabilidad presentados.

2. Método del equilibrio límite (LEM)

El método del equilibrio límite consiste en estudiar el equilibrio de un cuerpo rígido, constituido por el talud y por una superficie de deslizamiento de cualquier forma (línea recta, arco circular, espiral logarítmica). Con tal equilibrio se calculan las tensiones de corte (τ) y se comparan con la resistencia disponible (τ_f), valorada según el criterio de rotura de *Coulomb;* de tal comparación se deriva la primera indicación sobre la estabilidad con el coeficiente de seguridad $F = \tau_f / \tau$.

Entre los métodos del equilibrio último, algunos consideran el equilibrio global del cuerpo rígido (*Culman*), otros, por motivos de la ausencia de

homogeneidad, dividen el cuerpo en rebanadas considerando el equilibrio de cada una (*Fellenius, Bishop, Janbu, etc.*).

Para efectos de los cálculos se utilizó el método propuesto por Janbú, implementado en el software PC Stable, y descrito a continuación:

2.1. Método de JANBU (1967)

Janbu extendió el método de *Bishop* a superficies de deslizamiento de cualquier forma.

Cuando se tratan superficies de deslizamiento de cualquier forma el brazo de las fuerzas cambia (en el caso de las superficies circulares queda constante e igual al radio) por tal motivo es mejor valorar la ecuación del momento respecto al ángulo de cada bloque.

$$F = \frac{\Sigma\left\{c \times b + (W - u \times b + \Delta X) \times \tan\varphi\right\} \times \frac{\sec^2\alpha}{1 + \tan\alpha \times \tan\varphi / F}}{\Sigma W \times \tan\alpha}$$

Asumiendo $\Delta X = 0$ se obtiene el método ordinario.

Janbu propuso además un método para la corrección del factor de seguridad obtenido con el método ordinario según lo siguiente:

$$F_{corregido} = f_O \, F$$

donde f_O se lleva a funciones gráficas de: geometría y parámetros geotécnicos.

2.2. Parámetros utilizados en los modelos

2.2.1. Parámetros geomecánicos

Los parámetros geomecánicos utilizados en los modelos bidimensionales de estabilidad para los diferentes materiales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros geomecánicos utilizados en los modelos

MATERIAL	PESO UNITARIO TOTAL (ton/m³)	COHESIÓN (ton/m²)	ANGULO DE FRICCION (°)
Coluvión	2,1	3,1	34,5
Roca	2,2	7,4	34,4

2.2.1.1. Sismo

Para tener en cuenta el sismo se utilizó el método pseudo estático. El método seudo-estático ofrece una aproximación simple para la evaluación de la estabilidad de taludes afectados por sismos. En este, el método del equilibrio límite es modificado incluyendo fuerzas (horizontales y verticales) sísmicas que son usadas para simular las fuerzas inerciales potenciales debido a la aceleración en un sismo. Las fuerzas sísmicas son asumidas proporcionalmente al peso de la potencial masa deslizante, por medio de los coeficientes de aceleración horizontal y vertical.

Los análisis de estabilidad pseudo-estáticos son relativamente simples paro involucran algunas aproximaciones; el error más común es el uso del valor pico de la aceleración con el coeficiente sísmico, ya que, aunque hay una pérdida de resistencia, su uso puede ser muy conservador debido a que este pico actúa momentáneamente en una dirección. Es por ello que hay diversas recomendaciones para la obtención del valor del coeficiente de aceleración; para el presente estudio, se utilizó la propuesta presentada por Pike (2001) resumida en la Figura 1, utilizando un factor de 0.5 (sismos de Mw=8) para determinar el valor de aceleración en los análisis pseudo-estáticos.

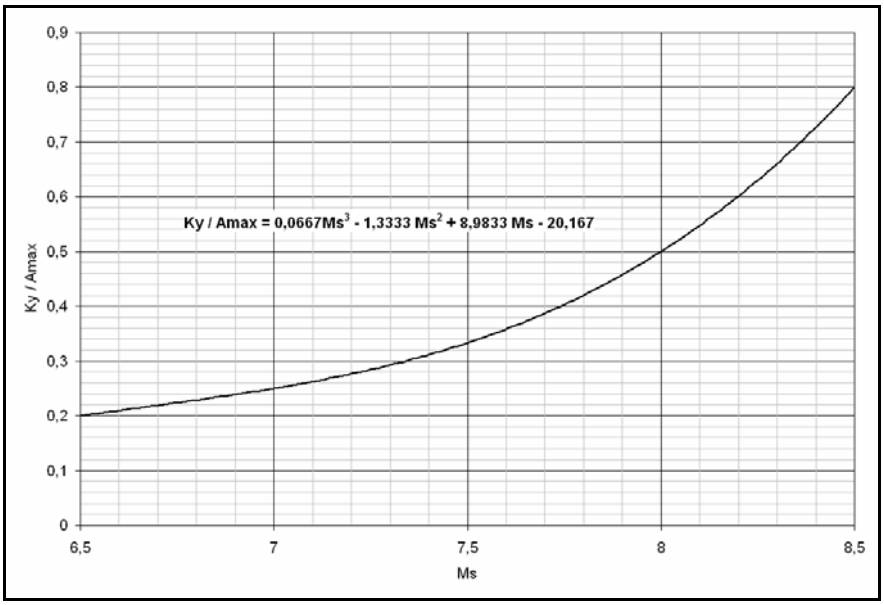


Figura 1. Coeficiente de aceleración para análisis pseudo-estático (k_y), adaptado de Pike (2001)

Para determinar la probabilidad de ocurrencia de las diferentes aceleración a nivel del terreno (Amax) se utilizaron los resultados del estudio de microzonificación sísmica de Bogotá.

2.2.1.2. Agua

Con respecto a las condiciones de presiones de poros en el suelo se analizaron dos posibles escenarios:

a) Un primer escenario de suelo totalmente saturado hasta la superficie el cual define condiciones actuales.

b) Un segundo escenario de nivel freático abatido (talud seco).

2.2.2. Resultados obtenidos

Los resultados de los modelos realizados sobre las diferentes secciones de análisis arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 2. Sección 1 Actual – Caso 1: Falla general del coluvión.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,12 g	a_h = 0,24 g
N. F. Abatido	1.48	1.12	0.88
Talud saturado	0.99	0.73	0.56

Tabla 3. Sección 1 Actual – Caso 2: Falla local del coluvión.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,12 g	a_h = 0,24 g
N. F. Abatido	1.85	1.35	1.04
Talud saturado	1.24	0.89	0.68

Tabla 4. Sección 2 Actual – Caso 1: Falla general del coluvión.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,12 g	a_h = 0,24 g
N. F. Abatido	1.25	0.95	0.75
Talud saturado	0.85	0.63	0.49

Tabla 5. Sección 2 Actual – Caso 2: Falla local del coluvión.

Condición de drenaje	Condición estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,12 g	a_h = 0,24 g
N. F. Abatido	1.02	0.80	0.64
Talud saturado	0.67	0.51	0.39

A continuación se presentan las graficas arrojadas por el programa PC Stable para el caso con sismo, y en medio digital se presentan todos los análisis reportados.