

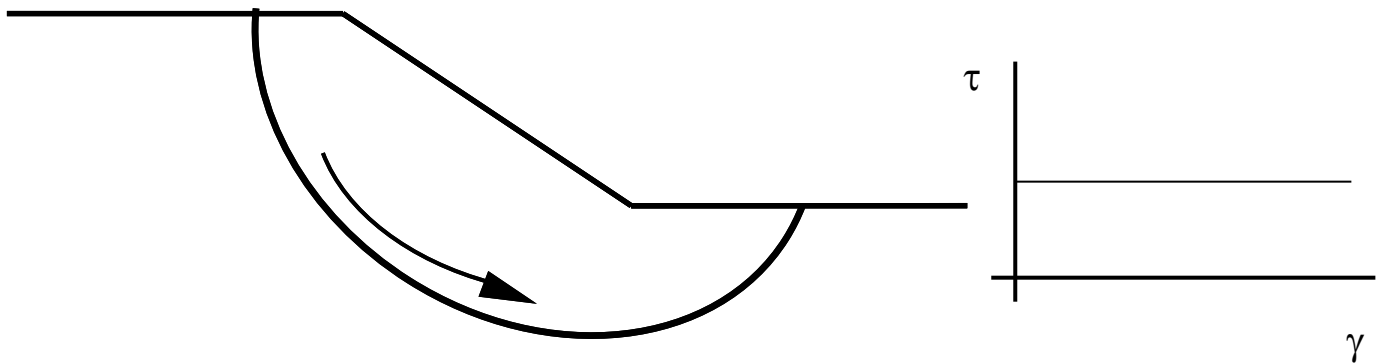
1 INTRODUCCIÓN

★ La inestabilidad de taludes ocurre cuando las tensiones de corte necesarias para mantener el equilibrio alcanzan o superan la resistencia al corte disponible.

★ La estabilidad sísmica de un talud está fuertemente influida por la estabilidad estática: Si estáticamente el talud está próximo al equilibrio indiferente → Será inestable con reducidas acciones sísmicas.

2 ANÁLISIS POR EQUILIBRIO LÍMITE

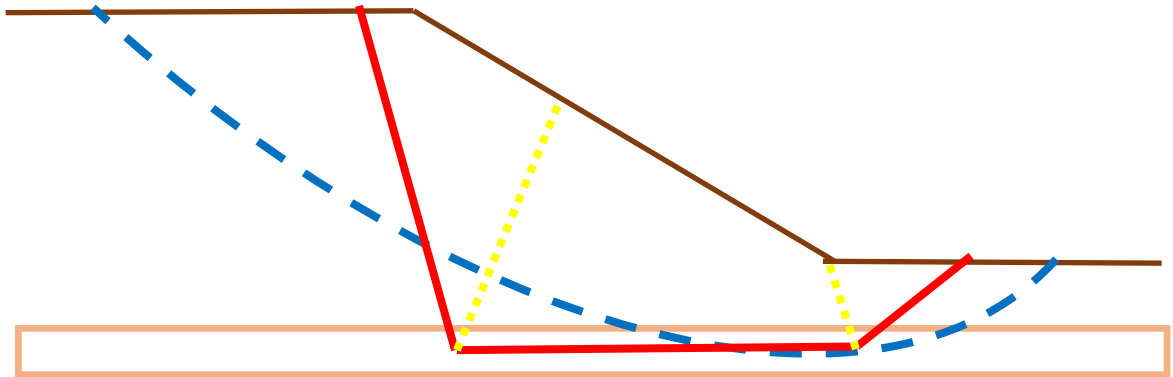
$$FS = \frac{R_{sistencia_al_corte}}{Solicitación_de_corte}$$



Principales Hipótesis y Condiciones

- ★ Superficie deslizante rígida
- ★ Resistencia al corte total y simultánea en todos los puntos de la superficie potencial de falla.
- ★ Mecanismo rígido – perfectamente plástico.
- ★ Desconocemos las deformaciones: No podemos verificar compatibilidad.
- ★ En realidad la distribución de tensiones no es uniforme a lo largo de una superficie potencial de falla.

Compatibilidad de Deformaciones



Generalmente se aplican los métodos siguientes:

- ☆ **FELLENIOUS** o **BISHOP** para fundación homogénea
- ☆ **SPENCER; JANBU; MORGENSTEN & PRICE** fund. no homogénea.

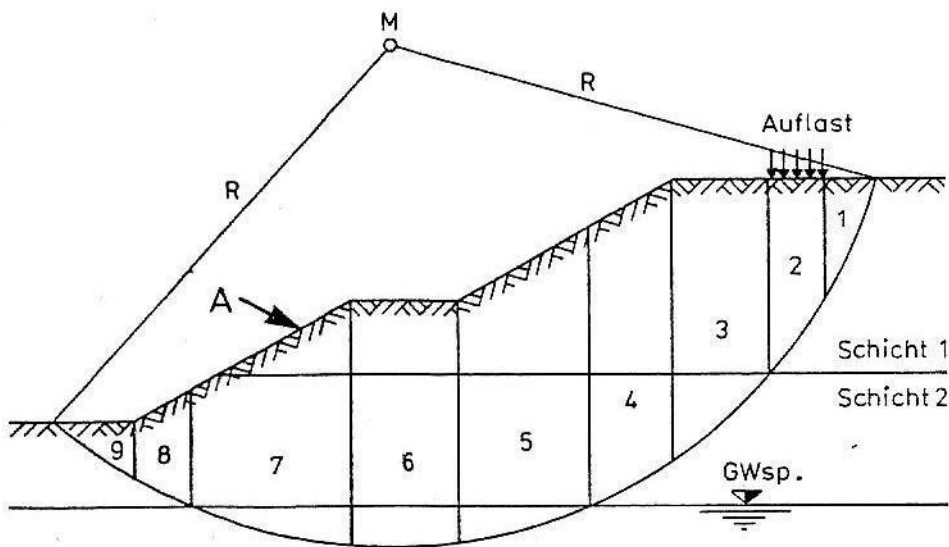


Bild 9.1.5. Sinnvolle Lamelleneinteilung.

Figura 9.5.1: Muy clara subdivisión en dovelas.

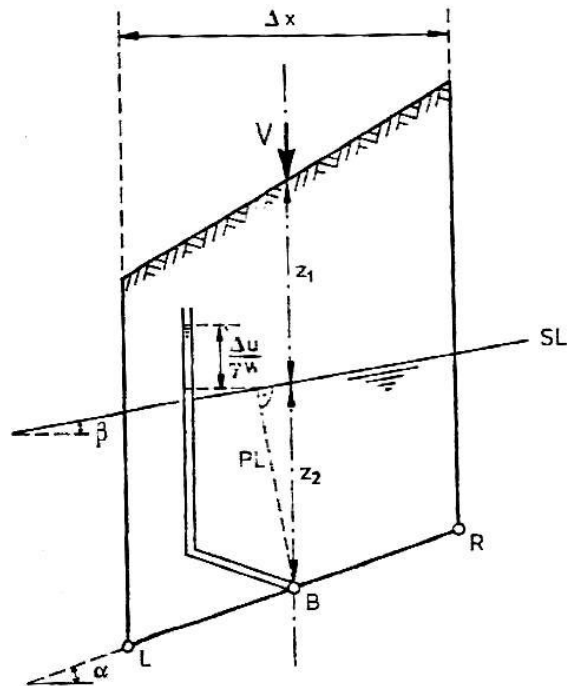


Bild 9.1.9. Schematische Darstellung der k -ten Lamelle mit strömendem Grundwasser (Gradient $i = \sin\beta$) und Porenwasserüberdruck Δu infolge Auflast V . SL Stromlinie. PL Potentiallinie.

Fig. 9.1.9: Representación esquemática de la k -ésima dovela con flujo de agua subterránea (gradiente $i = \sin\beta$) y presión de poros por sobre la hidrostática Δu siguiendo la dirección de la carga V . SL : línea de flujo; PL : línea de potencial.

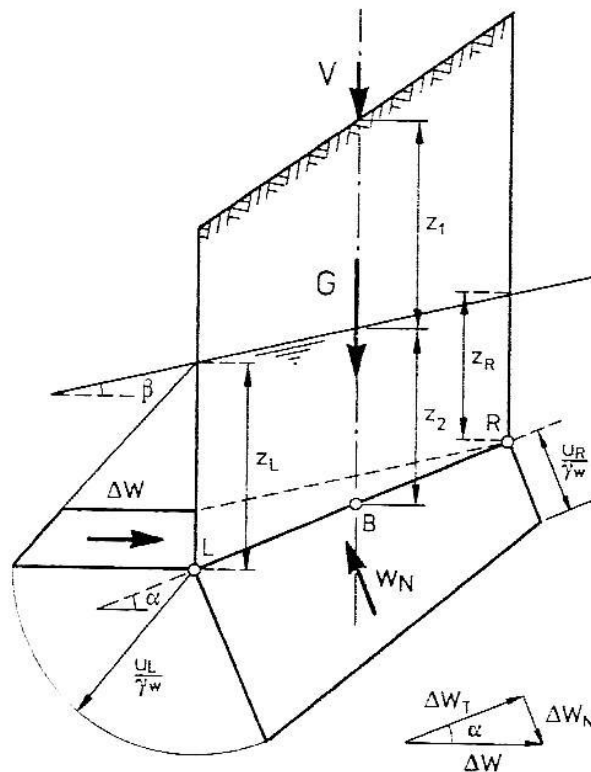


Bild 9.1.11. Schematische Darstellung der Lamelle k mit totalem Gewicht G und Wasserdrücken W'_N und ΔW .

Figura 9.1.11. Representación esquemática de la dovela k con peso total G y presión de agua W_N y ΔW .

Bishop:

$$m_{\alpha} = \cos \alpha \left[1 + \frac{\tan \varphi' \tan \alpha}{F} \right]$$
$$F = \frac{\sum \left[c' + \left(\frac{G + V + \Delta T}{\Delta x} - u \right) \tan \varphi' \right] \frac{\Delta x}{m_{\alpha}}}{\sum (G + V) \sin \alpha + H \frac{a}{R}}$$

Da $\sum \Delta T = 0$ ist, und da $\Delta T \ll G$ erhält man

$$F = \frac{\sum [c' \Delta x + (G + V - u \Delta x) \tan \varphi'] \frac{1}{m_{\alpha}}}{\sum (G + V) \sin \alpha + H \frac{a}{R}}$$

Janbu:

$$n_{\alpha} = \cos^2 \alpha \left[1 + \frac{\tan \varphi' \tan \alpha}{F} \right]$$
$$F = \frac{\sum [c' \Delta x + (G + V - u \Delta x) \tan \varphi'] \frac{1}{n_{\alpha}}}{[\sum (G + V) \tan \alpha] + H}$$

Conceptualmente: **FS = 1,0** → ESTABLE

Generalmente se requiere **FS > 1,0** para estabilidad

Las principales causas de **incertidumbre** que inciden para establecer **FS acceptable** son:

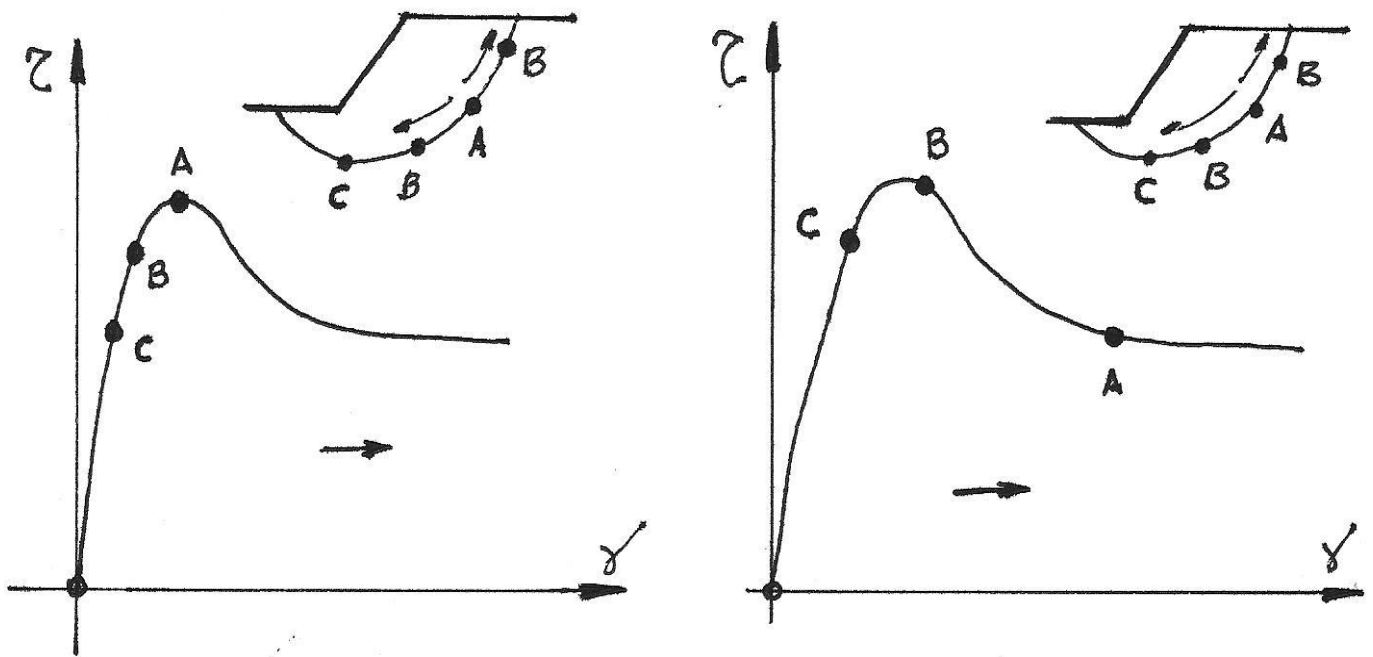
- ★ Representatividad del mecanismo de análisis.
- ★ Parámetros de resistencia al corte, napa, geometría, etc.
- ★ Magnitudes, características y tiempos de exposición para diferentes acciones.
- ★ Consecuencias potenciales de la posible falla del talud.

Típicamente se asume

FS $\geq 1,5$ para acciones normales de larga duración.

FS $\geq 1,3$ para acciones temporales o fin de período de construcción (la disipación progresiva de la presión de poros (u) mejora la estabilidad).

FS $\geq 1,0$ para falla incipiente (por ejemplo sismo).



Cuando hay una resistencia al corte de pico tiene lugar una redistribución interna de tensiones.

Mediante el **FEM** es posible evaluar deformaciones, tensiones, volúmenes, presiones de poro, evolución temporal de todas estas variables. El problema siempre será la calidad del modelo y sus parámetros.

3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SÍSMICA DE TALUDES

3.1 GENERAL

Dificultades:

☆ Muy pocos casos de referencia o comparación.

☆ Consideración de acciones y tensiones dinámicas.

☆ Consideración de los efectos $\tau - \sigma$ dinámicos

☆ Identificamos dos tipos de fallas o inestabilidades:

➤ Inerciales

➤ Por debilitamiento o "ablandamiento" (propio de licuación y fenómenos asociados).

3.2 ANÁLISIS SEUDOESTÁTICO

Es el procedimiento más común.

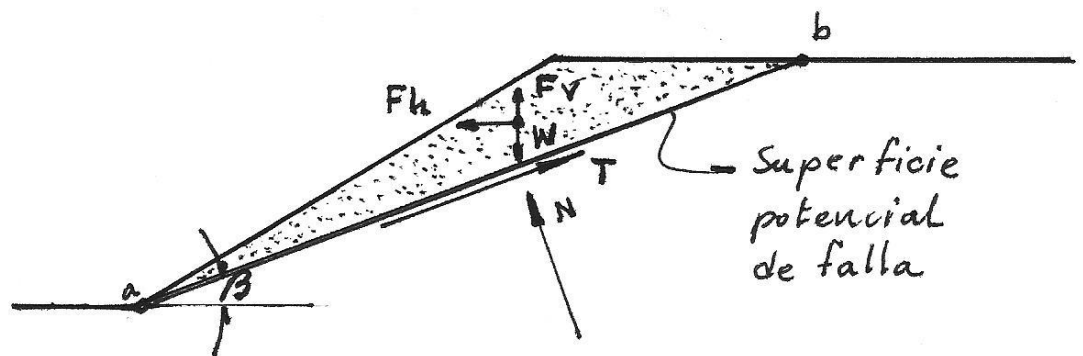
Primera aplicación directa: Terzaghi (1950)

$$F_h = \frac{a_h}{g} W = k_h W$$

$$F_v = \frac{a_v}{g} W = k_v W$$

a_h/g y a_v/g son cantidades a discutir y determinar.

CASO DE ROTURA PLANA



$$FS = \frac{\text{fuerza_resistente}}{\text{fuerza_motriz}} = \frac{cl_{ab} + [(W - F_v) \cos \beta - F_h \sin \beta] \text{tg} \phi}{(W - F_v) \sin \beta + F_h \cos \beta}$$

F_h disminuye el FS.

F_v puede tener ambos signos y efectos (por ello usualmente no se tiene en cuenta).

3.3 COEFICIENTE SÍSMICO SEUDOESTÁTICO

La selección de este valor es el punto **más crítico** del tema.

Los taludes no son rígidos y las aceleraciones máximas actúan por lapsos muy breves → Se toman aceleraciones **mucho menores que $a_{máx}$**

Terzaghi (1950):

- Sismos severos (Rossi – Forel IX) $k_h = 0,1$
- Sismos violentos - destructivos (Rossi – Forel X) $k_h = 0,2$
- Sismos catastróficos (Rossi – Forel > X) $k_h = 0,5$

Seed (1979), sobre la base de estudios de presas:

Para FS = 1,0 a 1,5 con $k_h = 0,10$ a $0,12$

Marcuson (1981), sobre la base de estudios en presas:

$k_h = (1/2 \text{ a } 1/3) * a_{máx}/g$ (incluyendo efectos de amplificación o deamplificación)

Seed y Martin (1966) y **Dakoulas y Gazetas (1986)** demuestran que los "coeficientes sísmicos" dependen de la forma de la superficie de falla: Las profundas (más importantes) tienen < coeficiente medio que las superficiales.

Seed (1979) Evaluó que en la casi totalidad de los casos, si no hay licuación o fenómenos asociados y si $a_{coronación} < 0,75g$, se tienen **FS > 1,15** si

$$k_h = 0,10 \text{ (M = 6.5) a } k_h = 0,15 \text{ (M = 8.25).}$$

Esto lleva al criterio de asumir como satisfactorio:

$$k_h = (0,13 \text{ a } 0,20) * a_{coronación}.$$

Franklin (1984) sobre la base del método de Newmark sugiere

$$k_h = 0,5a_{\text{máx}}/g$$

para asegurar que con **FS = 1,0** los desplazamientos no son "peligrosamente grandes".

3.4 DISCUSIÓN

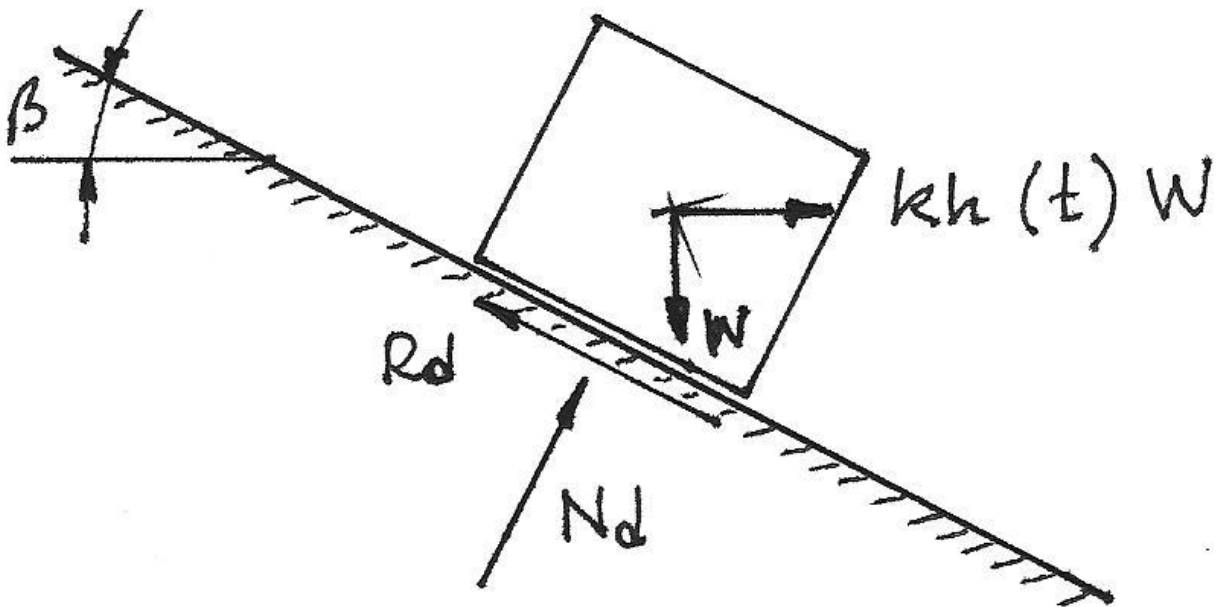
El análisis seudoestático es fácil de ejecutar y de presentar o defender porque toma como referencia una magnitud escalar (FS).

No puede representar los efectos transitorios dinámicos en cada punto de la masa de un talud.

Hace falta criterio ingenieril para aplicarlo y tomar como referencia las deformaciones admisibles (distinto en roca, suelo con anclajes y suelo).

3.5 MÉTODO DE NEWMARK DEL BLOQUE DESLIZANTE

Una superficie potencial de falla deslizante es análoga a un bloque que desliza sobre un plano inclinado.



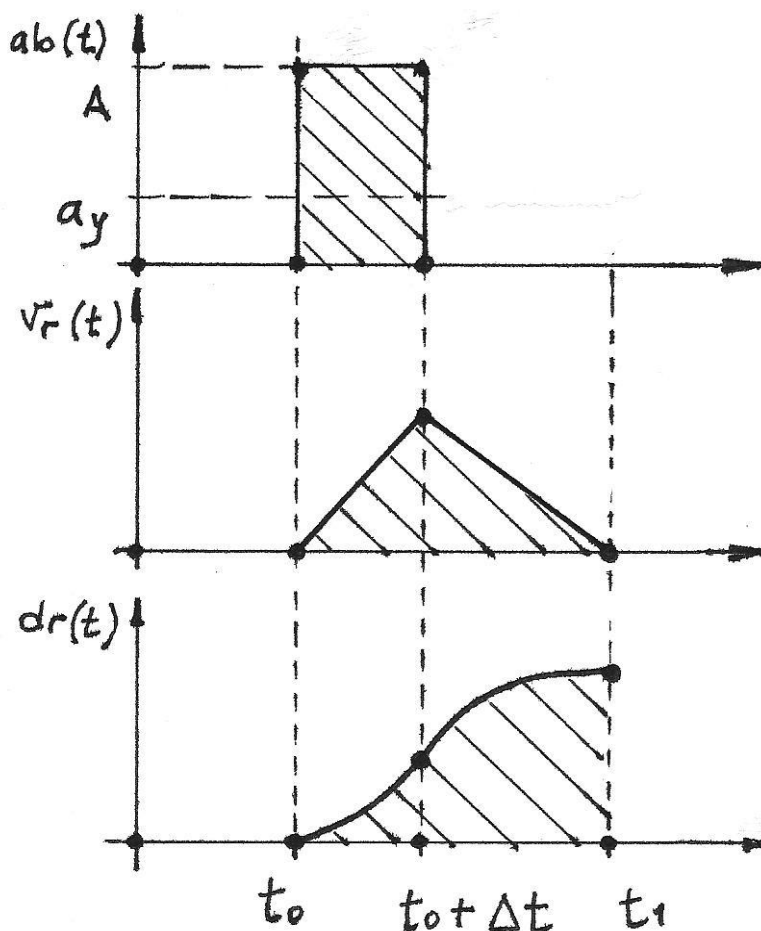
$$FS = \frac{F_{resistente}}{F_{motora}} = \frac{R_s}{D_s} = \frac{W * \cos \beta * \operatorname{tg} \phi}{W * \operatorname{sen} \beta} = \frac{\operatorname{tg} \phi}{\operatorname{tg} \beta}$$

Cuándo actúan fuerzas inerciales $k_h(t) * W$ con $a_h(t) = k_h(t) * g$ y se desprecian las componentes perpendiculares al plano, paralelamente al plano, resulta:

$$FS = \frac{F_{resistente}}{F_{motora}} = \frac{R_d}{D_d} = \frac{W * (\cos \beta - k_h(t) * \operatorname{sen} \beta) * \operatorname{tg} \phi}{W * (\operatorname{sen} \beta + k_h(t) * \cos \beta)}$$

Si $FS = 1,0 \rightarrow a_y = k_y * g$ (Aceleración "crítica" o "de fluencia": mínima aceleración necesaria para iniciar el deslizamiento del bloque).

Caso de un Pulso Rectangular de Aceleración:



$a_b(t)$ es la aceleración del plano inclinado.

$$a_{rel}(t) = a_b(t) - a_y = A - a_y \dots t_0 \leq t \leq t_0 + \Delta t$$

$$v_{rel}(t) = \int_{t_0}^t a_{rel}(t) dt = [A - a_y] * (t - t_0) \dots \dots t_0 \leq t \leq t_0 + \Delta t$$

$$d_{rel}(t) = \int_{t_0}^t v_{rel}(t) dt = \frac{1}{2} [A - a_y] * (t - t_0)^2 \dots \dots t_0 \leq t \leq t_0 + \Delta t$$

En $t = t_0 + \Delta t$ la velocidad relativa alcanza un máximo con sus correspondientes valores de v_{rel} y d_{rel} . En ese momento la aceleración cae a 0.

A partir de ese momento la velocidad disminuye linealmente hasta 0 en un tiempo t_1 y el desplazamiento aumenta más lentamente.

Se puede demostrar que:

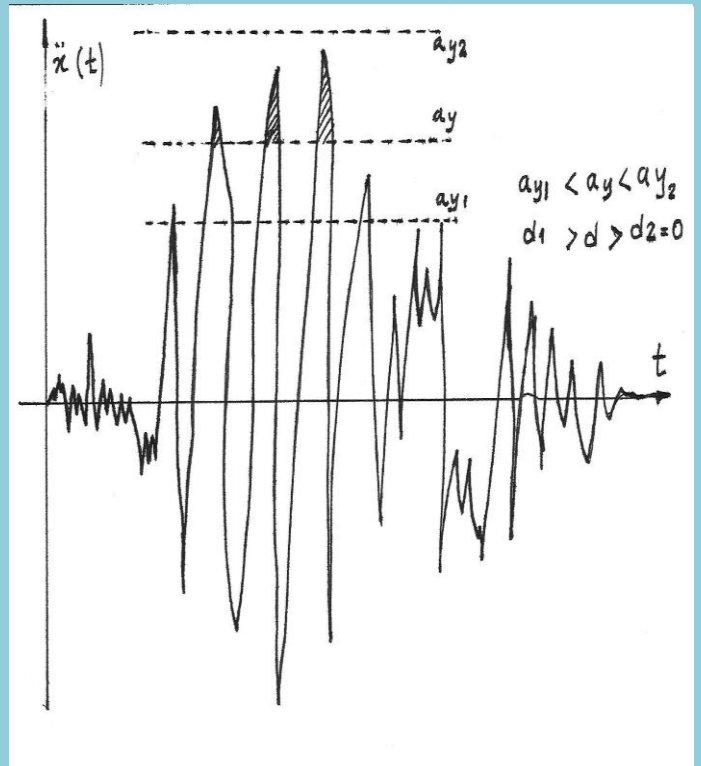
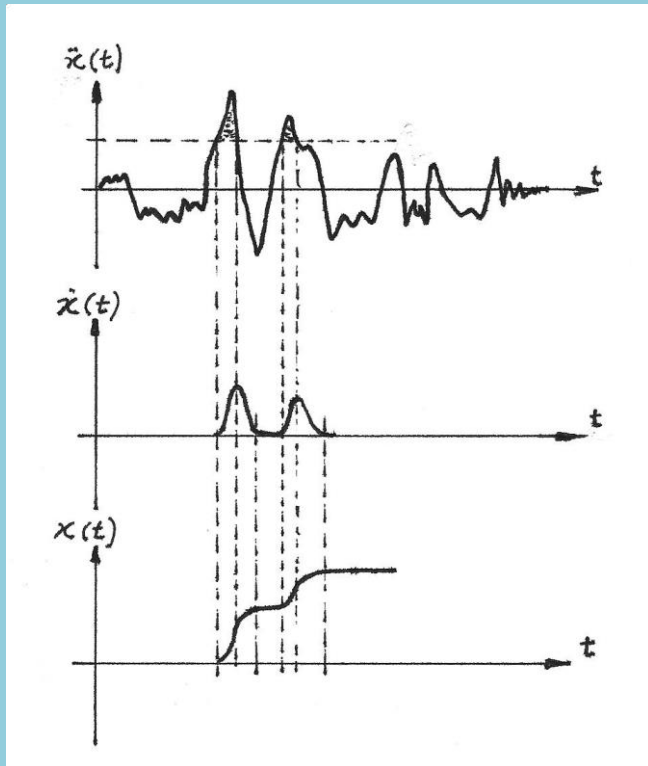
$$t_1 = t_0 + \frac{A}{a_y} * \Delta t \quad \text{y que}$$

$$d_{rel}(t_1) = \frac{1}{2} (A - a_y) \Delta t^2 \frac{A}{a_y}$$

Para un Acelerograma

Dividir en una sucesión de pulsos e **integrar para todos los pulsos.**

Observar que se cada vez se supera a_y se desarrollan velocidades (que luego pueden anularse) y que los desplazamientos van incrementándose acumulativamente.



Influencia de a_y y de la Frecuencia Asoc. a los Pulsos Dominantes

Si $a_{m\acute{a}x}$ no supera a_y el desplazamiento total es nulo.

Mientras menor sea a_y , mayor será el desplazamiento total o final.

Mientras **menor sea la frecuencia** de los pulsos dominantes **mayor es la velocidad** asociada y **mayor el desplazamiento total o final.**

++++