



# **EMPUJES DE SUELOS**

**Area de Geotecnia.**

**Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA**



# **DEFORMACIONES EN SUELOS**

## **CONSOLIDACION**

### **OBJETIVO:**

- Caracterización de concepto de empuje de suelo activo y pasivo.
- Métodos de identificación de presiones y fuerzas resultantes.

### **REFERENCIAS:**

- Fundamentos de ingeniería geotécnica. Cuarta edición. BRAJA M. DAS. Capítulo 14 Presión lateral de suelos.
- Soil Mechanics in Engineering Practice. 3° Edición. Terzaghi, K.; Peck, R. y Mesri, G. Chapter 8. Earth pressures and stability of slope.

**Area de Geotecnia.**  
**Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA**



## CASOS DE APLICACION





## CASOS DE APLICACION





## CASOS DE APLICACION





## CASOS DE APLICACION



## CASOS DE APLICACION

- **Pregunta 1. Cual es la máxima excavación que puedo realizar sin sostenimiento?.**

- Máxima sollicitación que el terreno puede soportar, sin necesidad de sostenimiento.
- Vida útil de la excavación.
- Factores de Seguridad





## CASOS DE APLICACION

- **Pregunta 2. En el caso de aplicación del sostenimiento**  
→ **Cuál es la sollicitación que genera el terreno sobre el sostenimiento?**

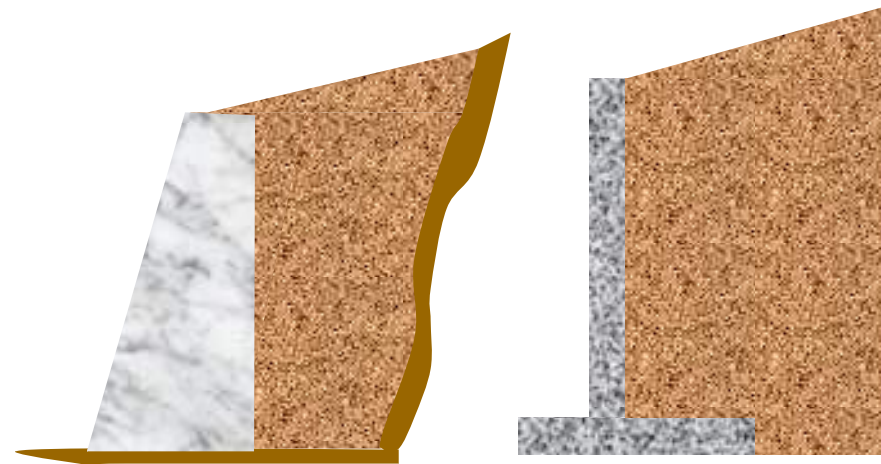




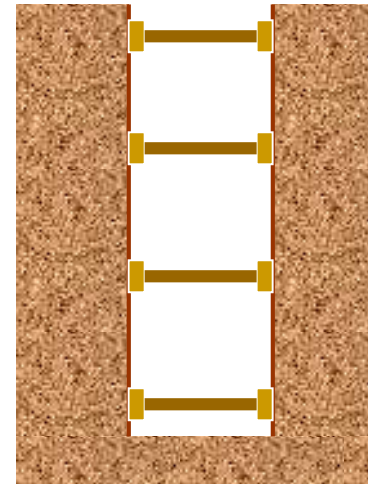
## CASOS DE APLICACION

### DEFINICIÓN DEL SOSTENIMIENTO:

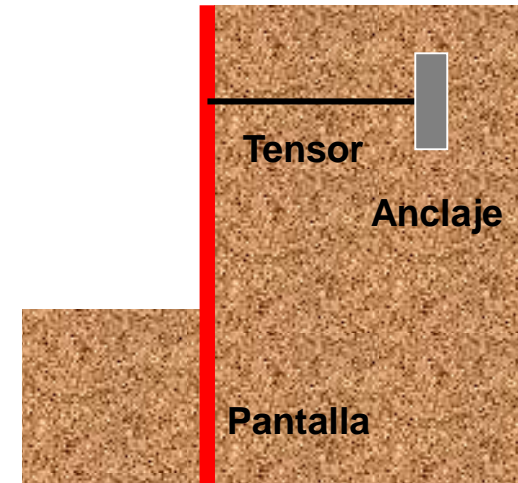
- El sostenimiento se aplica cuando el suelo no puede autoportar la excavación



**Muro de sostenimiento**



**Excavación de Zanjas**

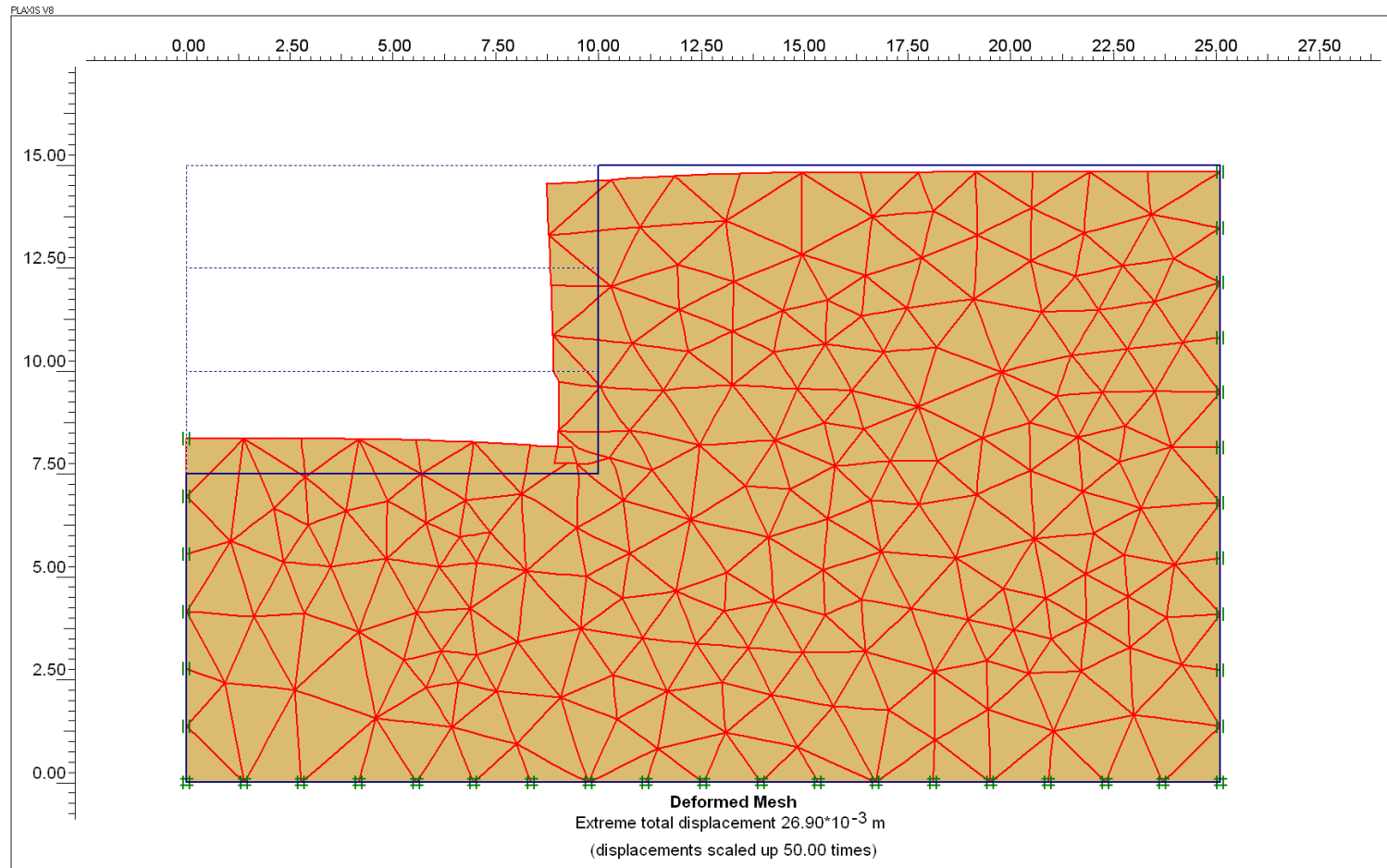


**Pantallas Ancladas**



# CASOS DE APLICACION

## EFECTOS DE LA EXCAVACIÓN... DESPLAZAMIENTOS

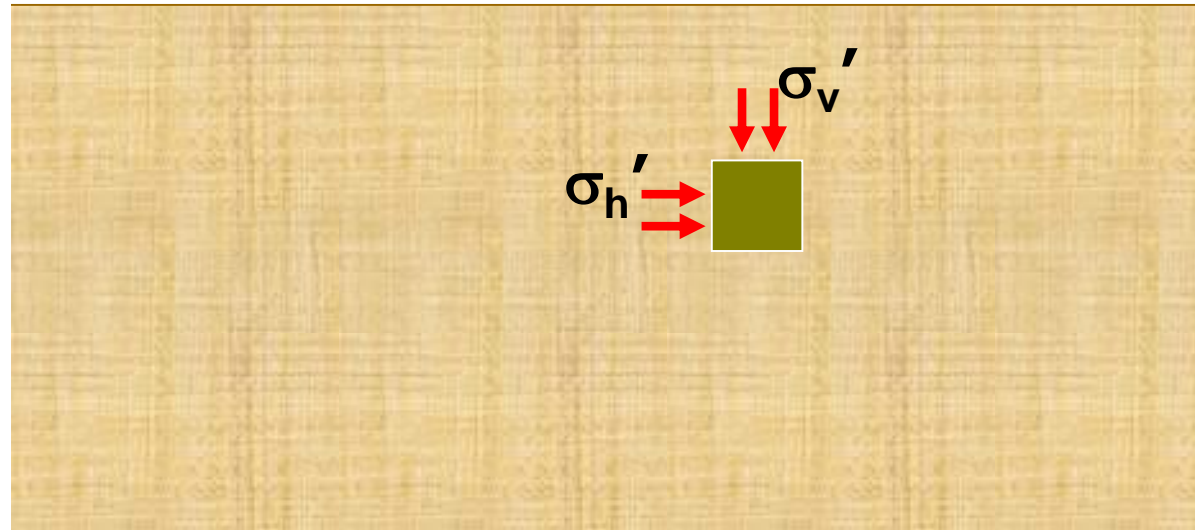




## EMPUJE ACTIVO DEFINICION

NT

Depósito Natural  
de  
Suelos  
Homogéneos



**La relación  $\sigma_h' / \sigma_v' \rightarrow$  Coeficiente de Empuje en reposo ( $k_o$ ).**

$$K_o = 1 - \sin \varphi$$

$$K_o = 0.44 + 0.42 [IP / 100]$$

$$K_{o (oc)} = K_{o (NC)} (OCR)^{1/2}$$

Arenas

Arcillas Normalmente Cons

Arcillas Sobreconsolidas

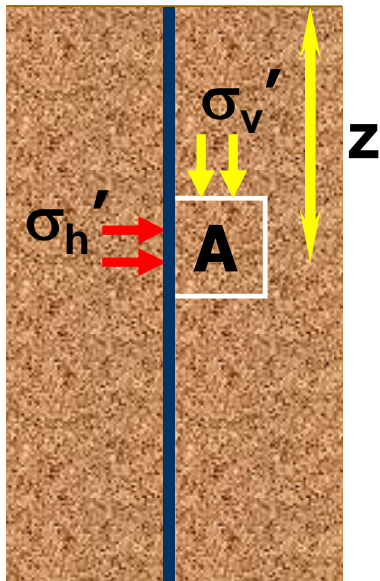


# EMPUJE ACTIVO

## DEFINICION

### Suelo Friccional

Inicialmente, no hay movimiento lateral.



$$\sigma_v' = \gamma z \quad \therefore \sigma_h' = K_0 \sigma_v' = K_0 \gamma z$$

El muro se mueve “alejándose” del suelo

$\sigma_v'$  permanece constante, y

$\sigma_h'$  decrece, hasta que ocurre la falla

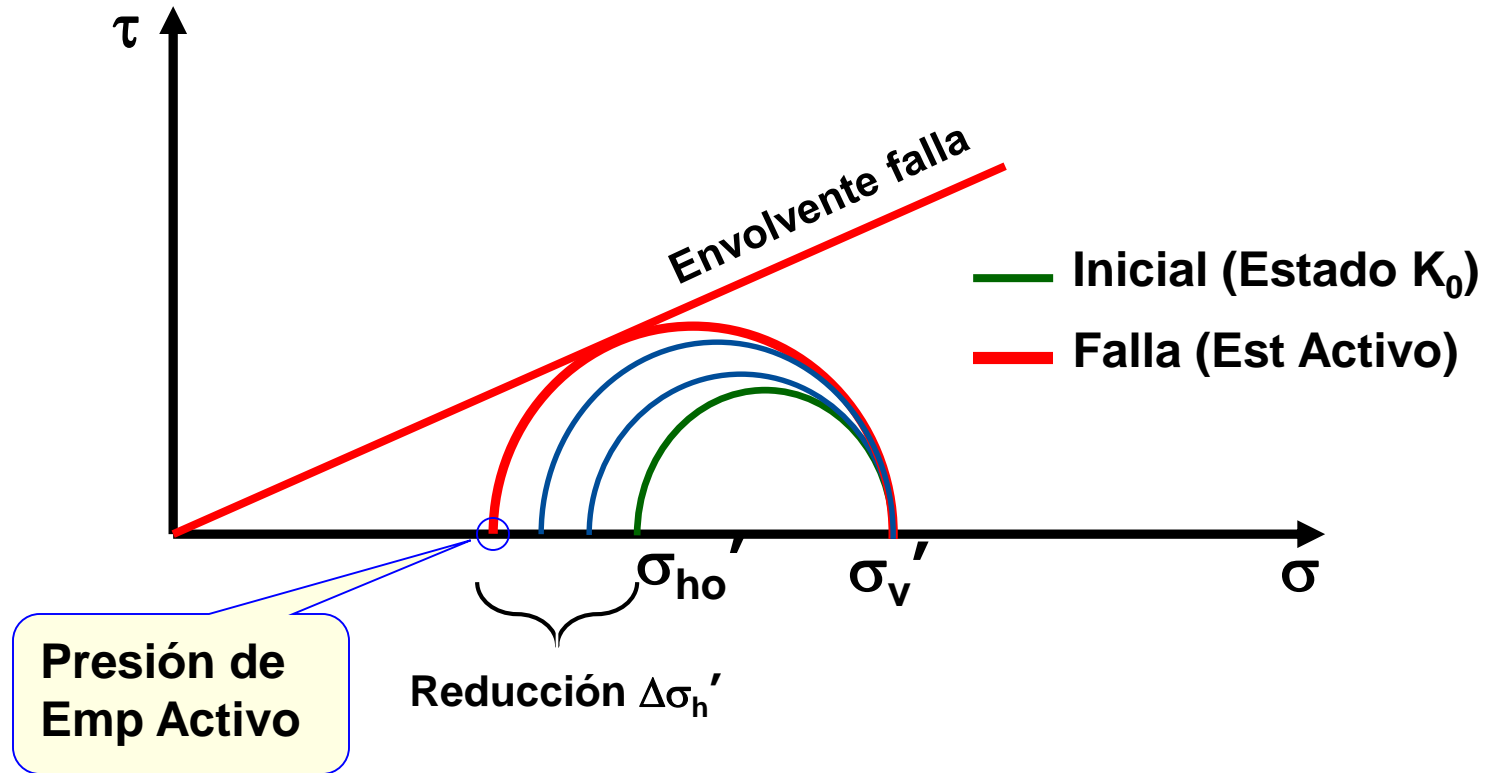
**Estado  
Activo**





# EMPUJE ACTIVO DEFINICION

## Suelo Friccional



El muro se aleja del suelo



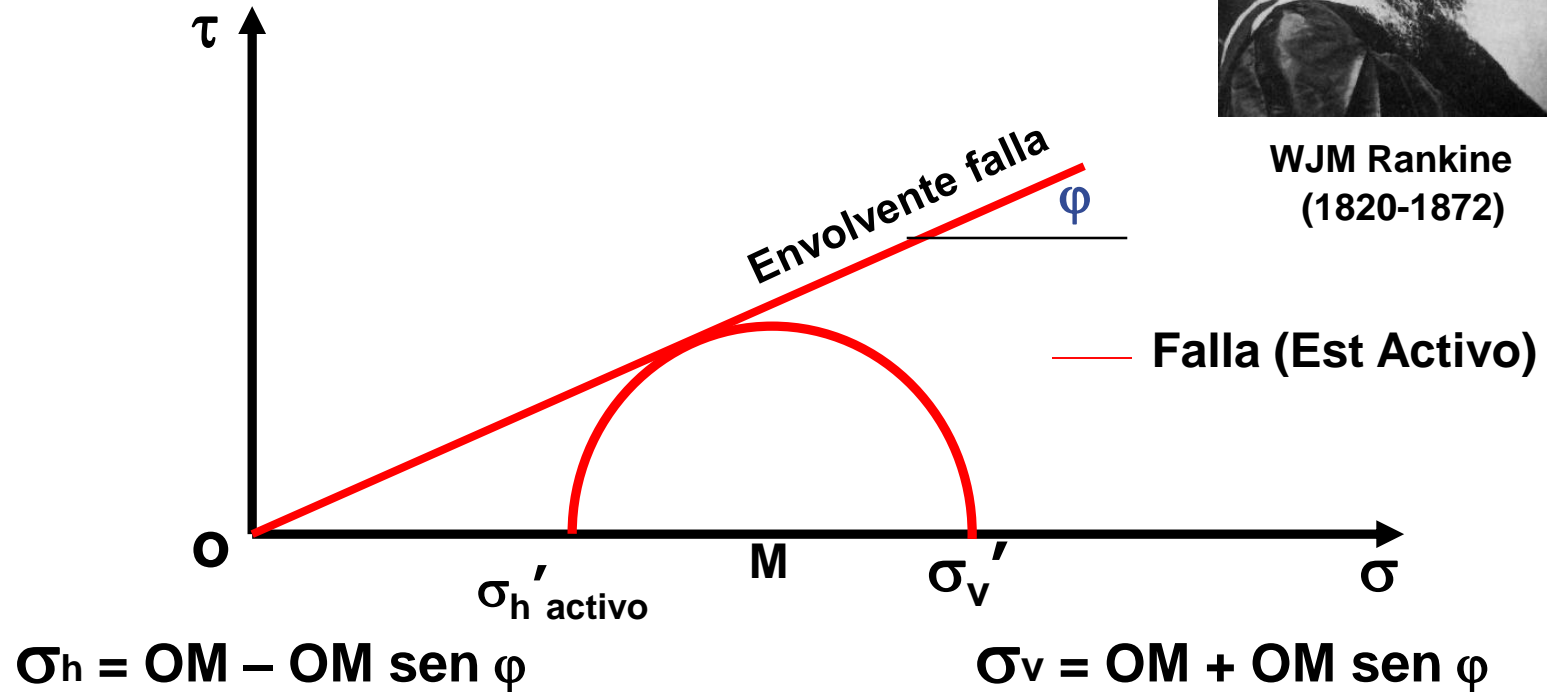
# EMPUJE ACTIVO

## DEFINICION

### Suelo Friccional



WJM Rankine  
(1820-1872)



Si  $\sigma_h = k_a \sigma_v \rightarrow k_a = \sigma_h / \sigma_v$

$$K_A = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2(45 - \phi/2)$$





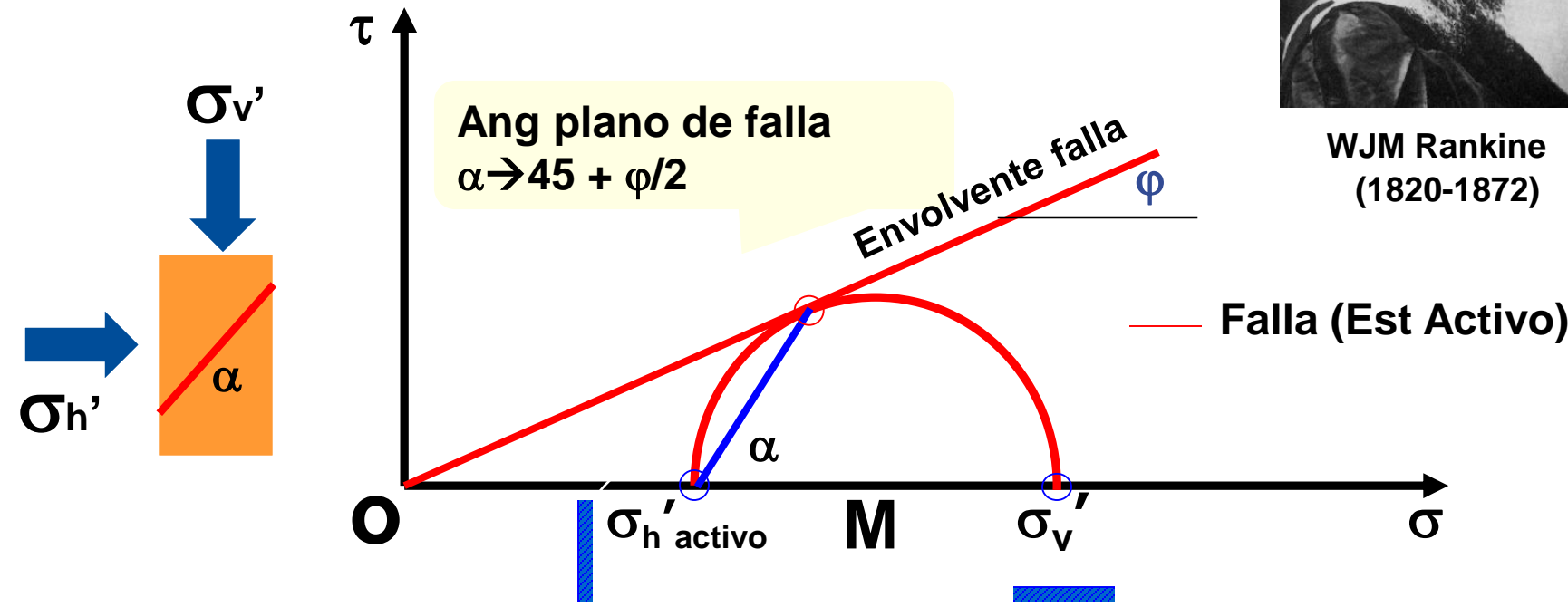
# EMPUJE ACTIVO

## DEFINICION

### Suelo Friccional

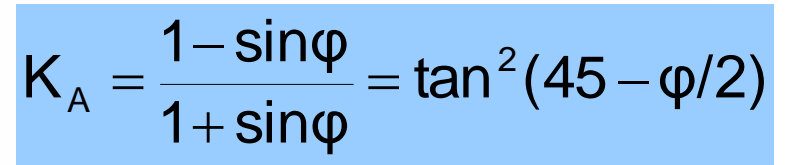


WJM Rankine  
(1820-1872)



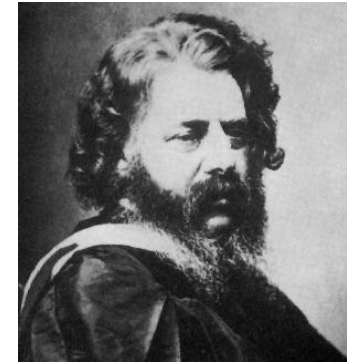
$$K_A = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2(45 - \phi/2)$$

# Suelo Friccional

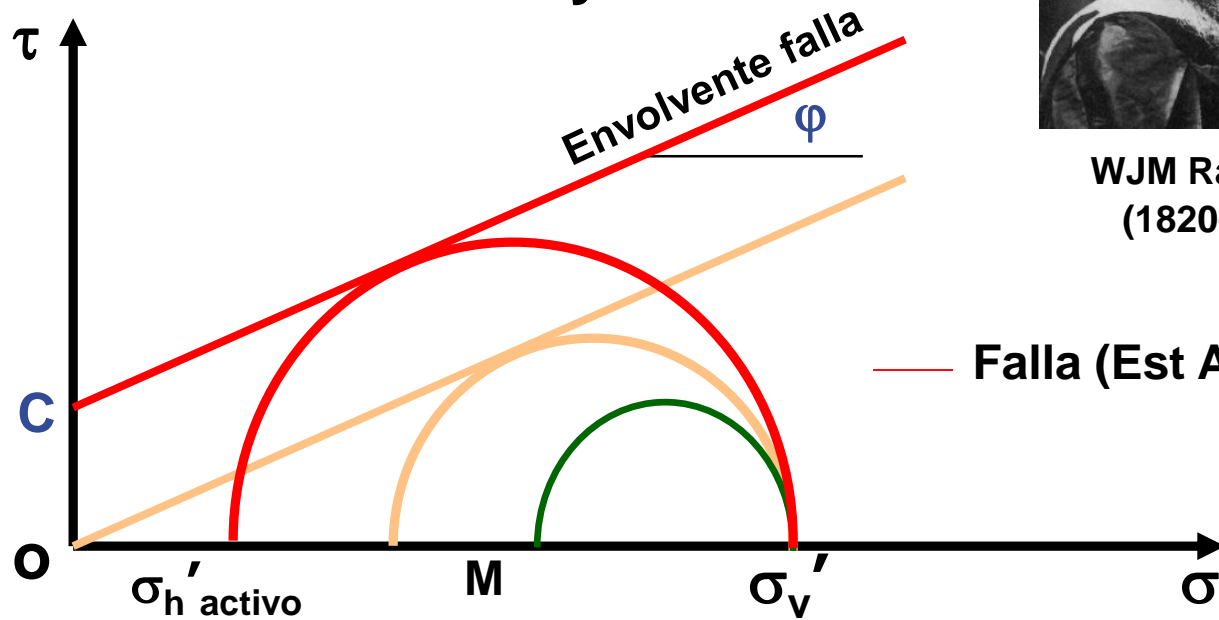


# EMPUJE ACTIVO DEFINICION

## Cohesión y Fricción



WJM Rankine  
(1820-1872)



$$\sigma_h = OM - OM \sin \varphi$$

$$\sigma_v = OM + OM \sin \varphi$$

$$\text{Si } \sigma_h = k_a \sigma_v \rightarrow k_a = \sigma_h / \sigma_v$$

$$K_A = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \tan^2(45 - \varphi/2)$$

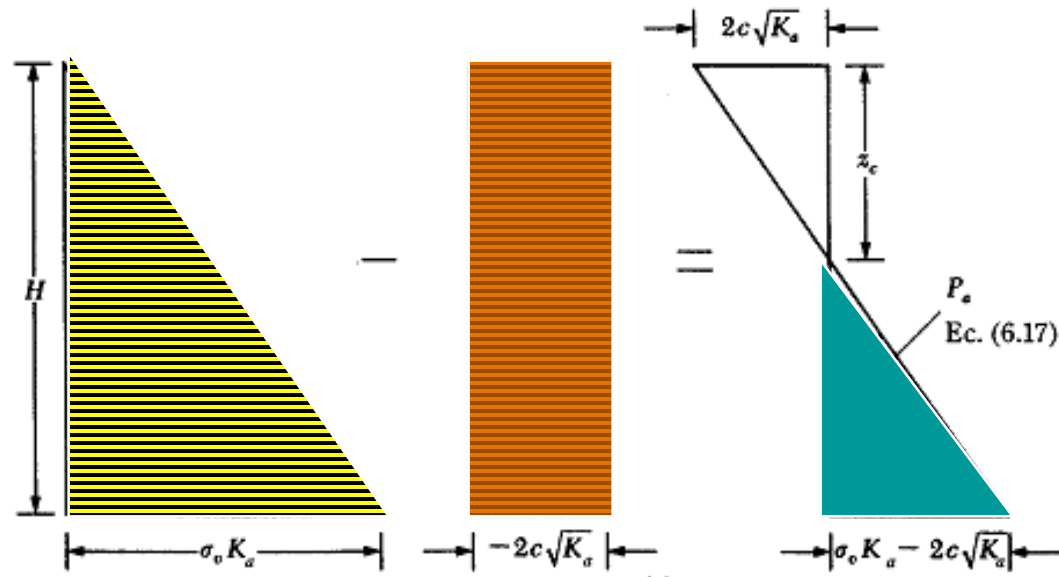


# EMPUJE ACTIVO

## DEFINICION

### Cohesión y Fricción

Se realiza el mismo análisis que para el suelo friccional. Sólo que  $c \neq 0$ .



$$\sigma_{h' \text{ active}} = K_A \sigma_v' - 2c\sqrt{K_A}$$

$$z_{crit} = \frac{2c}{\gamma \sqrt{K_a}}$$



# EMPUJE ACTIVO DEFINICION

**Suelo Friccional**

**BRITISH GEOLOGICAL SERVICE**





# EMPUJE ACTIVO APLICACIONES

**LIMOS LOESSICOS  
(Est Natural)**



# EMPUJE ACTIVO APLICACIONES

**LIMOS LOESSICOS**  
**(Est Natural)**







# EMPUJE ACTIVO APLICACIONES

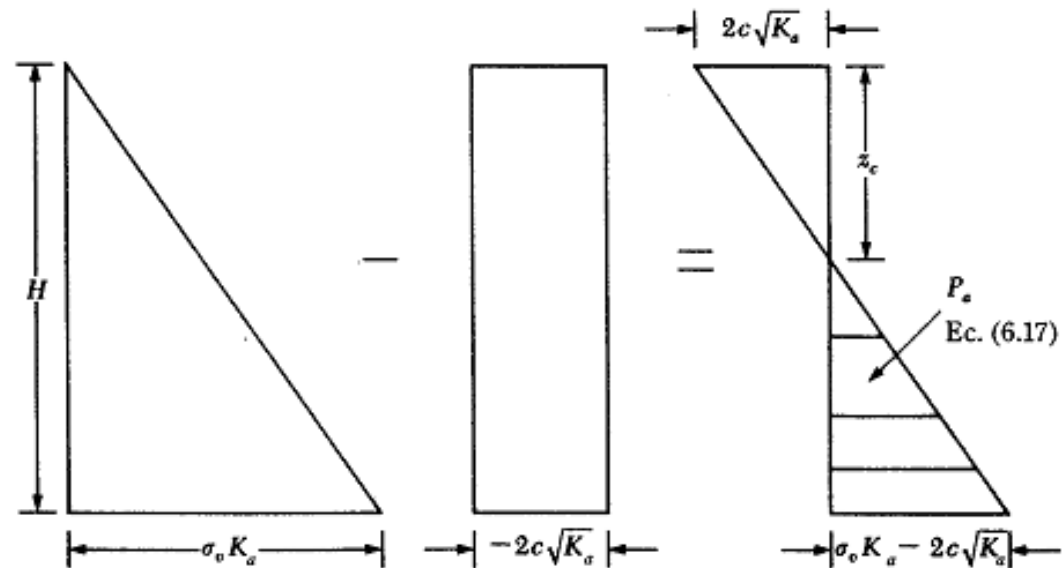
## LIMOS LOESSICOS (Est Natural)

Parámetros:

Ang. Fricción  $15^\circ$

Cohesión  $30 \text{ kPa}$

Densidad  $15 \text{ kN/m}^3$



$$z = \frac{2c}{\gamma \cdot \sqrt{K_a}} = \frac{2 \cdot 30}{15 \cdot \sqrt{\left(\tan\left(45 - \frac{15}{2}\right)\right)^2}} = \frac{2 \cdot 30}{15 \cdot 0,76} = 5,2 \text{mts}$$



# EMPUJE ACTIVO APLICACIONES

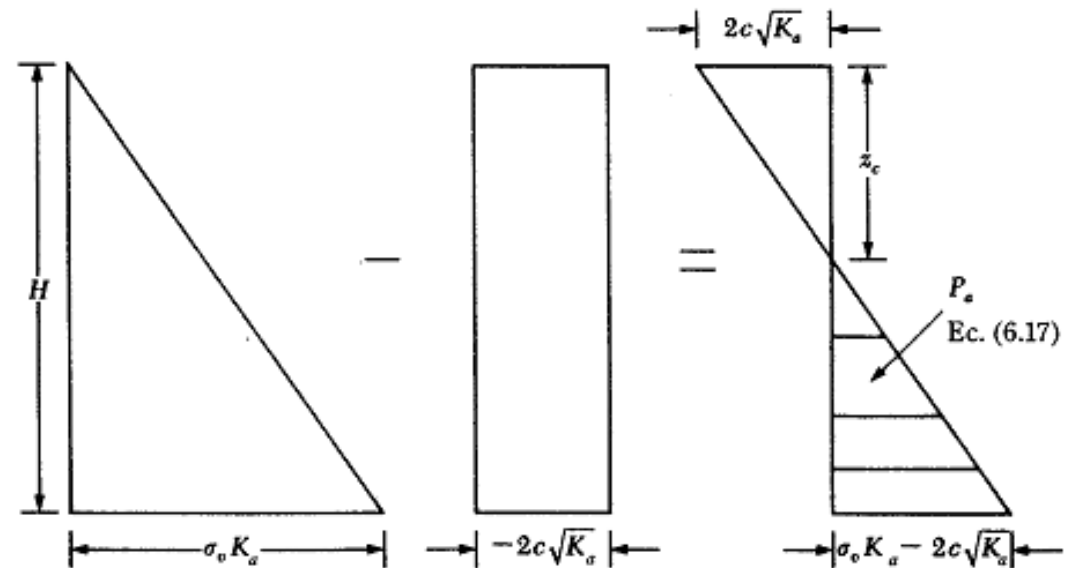
## LIMOS LOESSICOS (Est Saturado)

Parámetros:

Ang. Fricción  $15^\circ$

Cohesión  $5 \text{ kPa}$

Densidad  $15 \text{ kN/m}^3$



$$z = \frac{2c}{\gamma \cdot \sqrt{K_a}} = \frac{2 \cdot 5}{15 \cdot \sqrt{\left( \tan \left( 45 - \frac{15}{2} \right) \right)^2}} = \frac{2 \cdot 5}{15 \cdot 0,76} = 0,9 \text{ mts}$$



# EMPUJE ACTIVO APLICACIONES

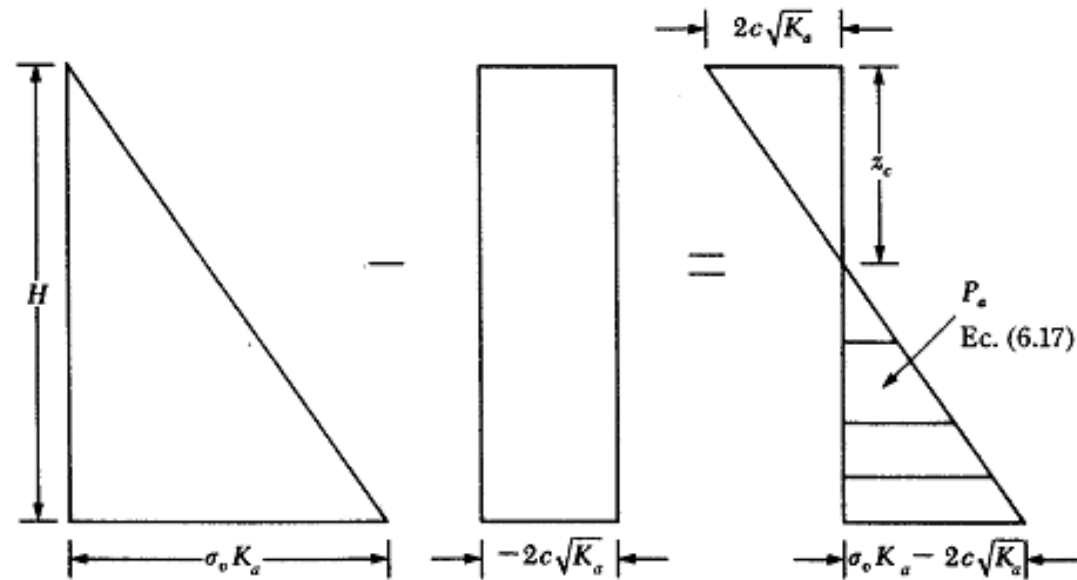
## ARENAS DEL CENTRO (Est Natural)

Parámetros:

Ang. Fricción  $40^\circ$

Cohesión  $10 \text{ kPa}$

Densidad  $16 \text{ kN/m}^3$



$$z = \frac{2c}{\gamma \cdot \sqrt{K_a}} = \frac{2 \cdot 10}{16 \cdot \sqrt{\left( \tan \left( 45 - \frac{40}{2} \right) \right)^2}} = \frac{2 \cdot 10}{15 \cdot 0,46} = 2,7 \text{ mts}$$



# EMPUJE ACTIVO APLICACIONES

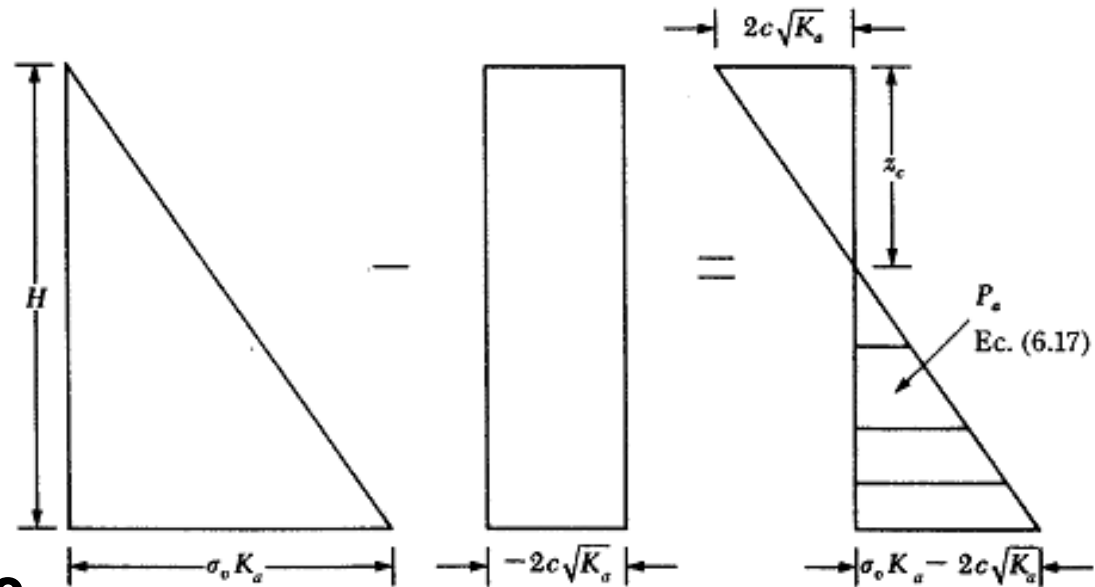
## ARENAS DEL CENTRO (Est Saturado)

Parámetros:

Ang. Fricción  $40^\circ$

Cohesión 1 kPa

Densidad 16 kN/m<sup>3</sup>



$$z = \frac{2c}{\gamma \cdot \sqrt{K_a}} = \frac{2 \cdot 1}{16 \cdot \sqrt{\left(\tan\left(45 - \frac{40}{2}\right)\right)^2}} = \frac{2 \cdot 1}{15 \cdot 0,46} = 0,3 \text{mts}$$

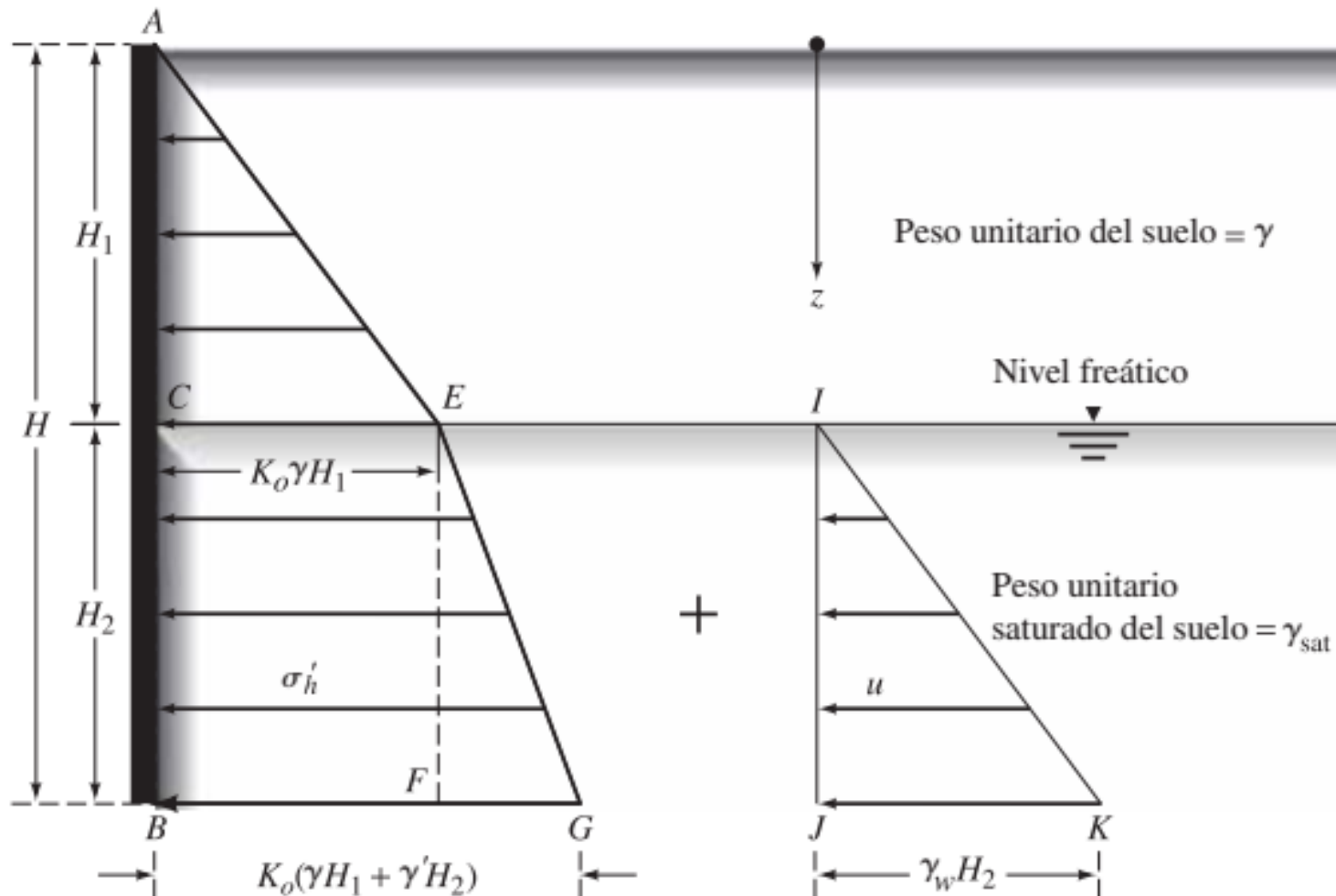




# EMPUJE ACTIVO

## NIVEL FREÁTICO

SUELOS FRICCIONAL CON NIVEL FREÁTICO:

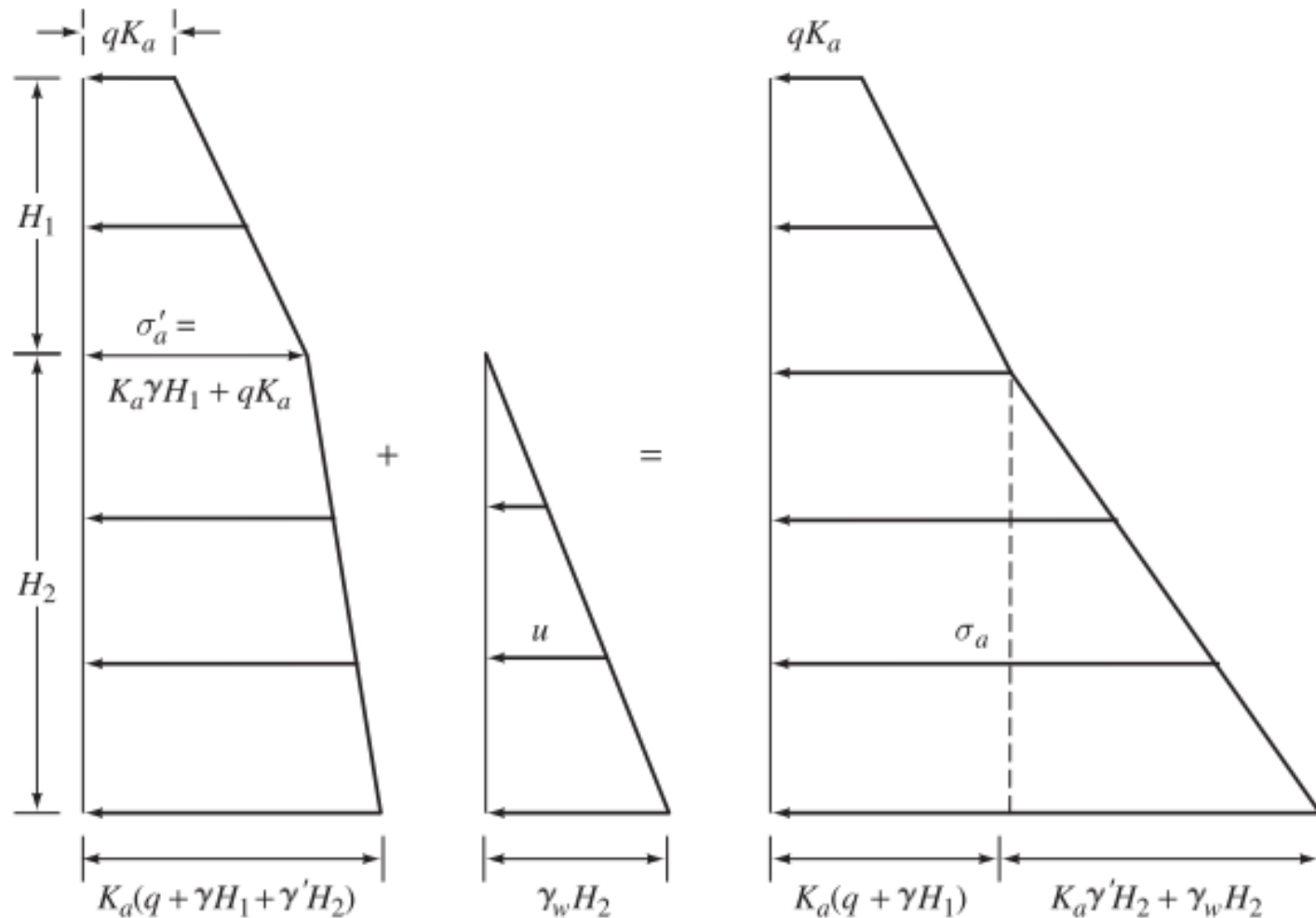




# EMPUJE ACTIVO

## SOBRECARGA Y NIVEL FREATICO

SUELOS FRICCIONAL CON NIVEL FREÁTICO Y SOBRECARGA:





# EMPUJE PASIVO

## DEFINICION

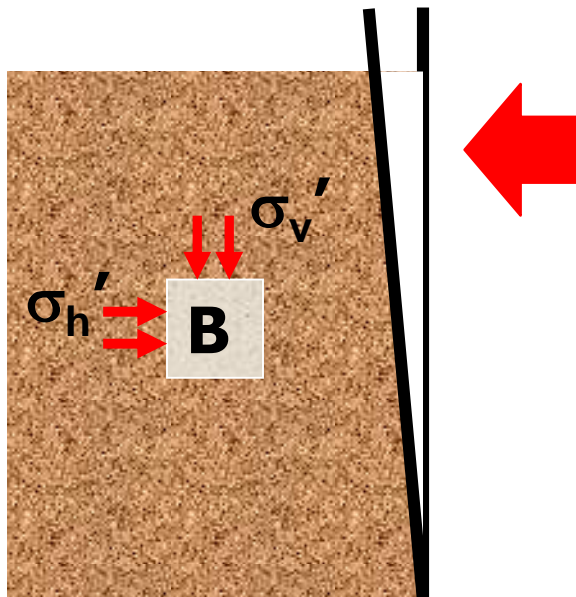
### Relación fuerza - desplazamiento

Inicialmente el suelo está en estado  $K_0$ .

Cuando el muro se mueve hacia el suelo...,

$\sigma_v'$  contantes, y...

$\sigma_h'$  incrementan hasta la **falla**.

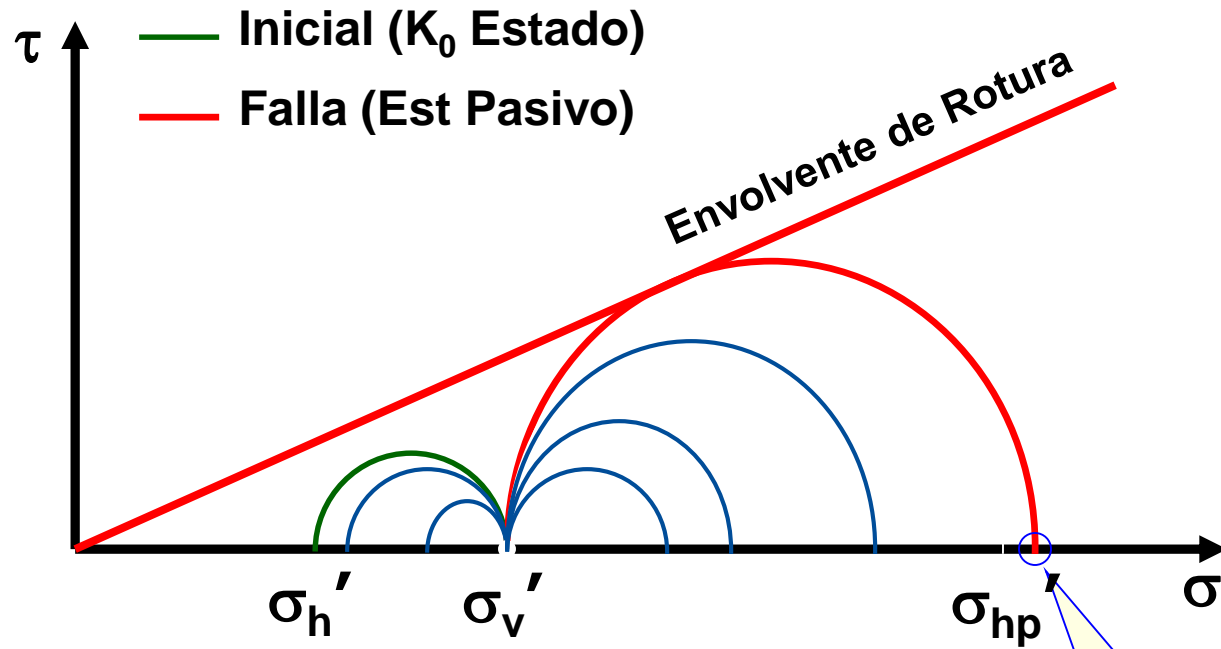


Estado Pasivo



# EMPUJE PASIVO

## DEFINICION



El muro se mueve hacia el suelo...

$$[\sigma_h']_{passive} = K_P \sigma_v'$$

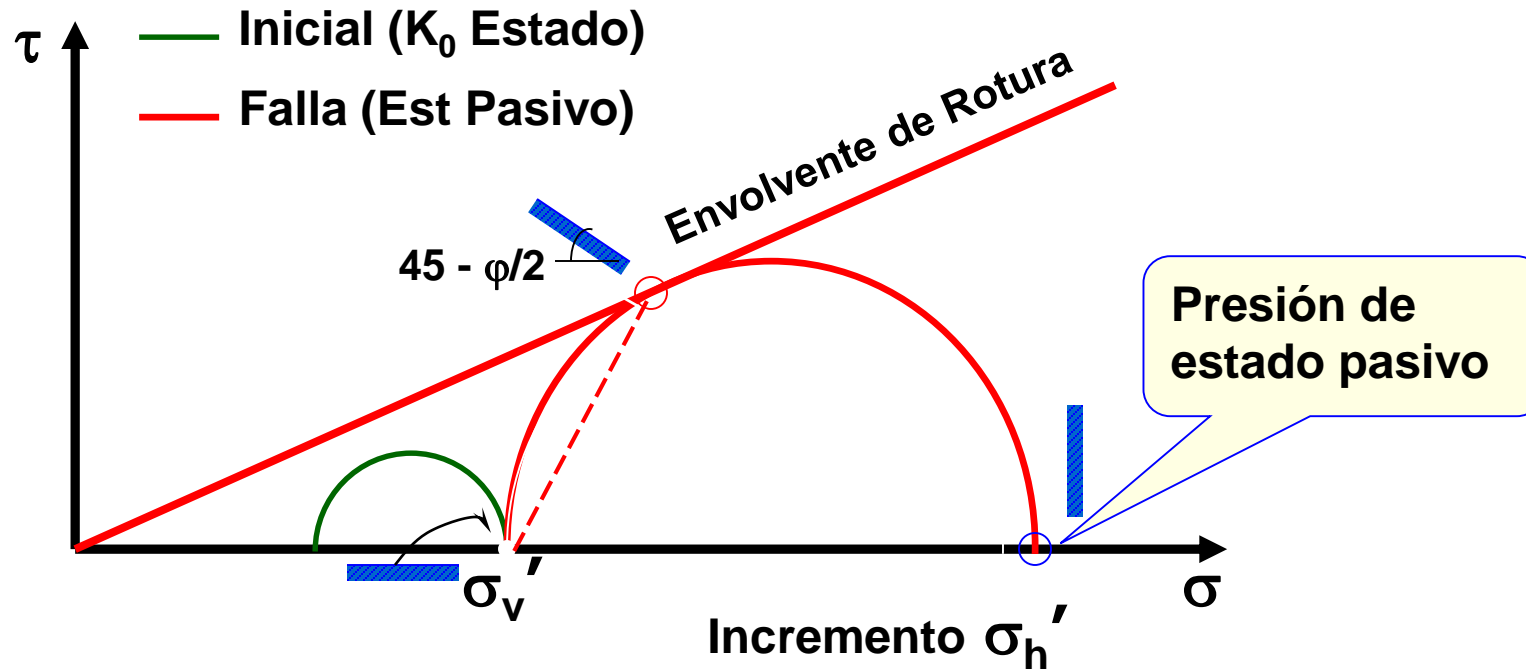
Presión de  
estado pasivo





# EMPUJE PASIVO

## DEFINICION



El muro se mueve hacia el suelo...

$$[\sigma_h']_{passive} = K_P \sigma_v'$$

$$K_P = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} = \tan^2(45 + \phi/2)$$

Diagram illustrating the failure surface for active earth pressure. The failure surface is a straight line segment  $BC$  at an angle of  $45 - \frac{\phi'}{2}$  to the horizontal. The failure surface is divided into two parts by a horizontal line at height  $z$ . The top part is a triangle with base  $L_p$  and height  $z$ . The bottom part is a trapezoid. The failure surface is divided into two parts by a horizontal line at height  $z$ . The top part is a triangle with base  $L_p$  and height  $z$ . The bottom part is a trapezoid.

$$K_P = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2(45 + \phi/2)$$



# EMPUJE PASIVO

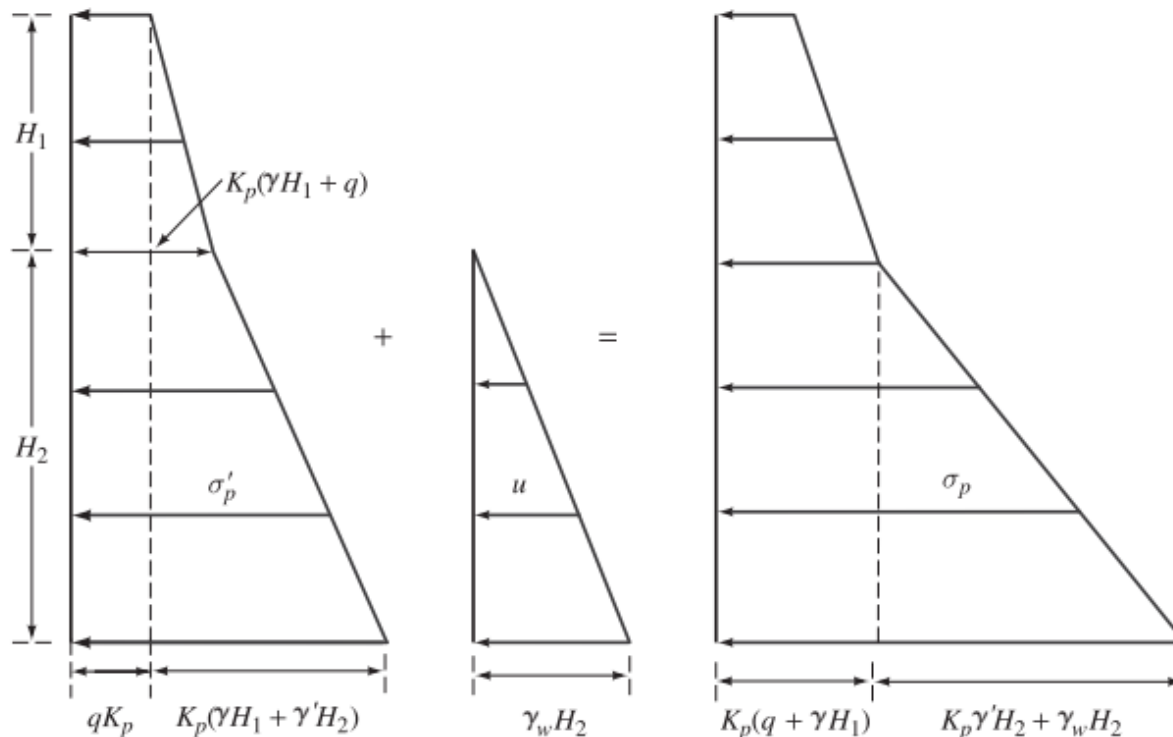
## DEFINICION

### EFFECTO DE LA COHESION:

Se realiza el mismo análisis que para el suelo friccional. Sólo que  $c \neq 0$ .

$$[\sigma_h']_{\text{pasivo}} = K_p \sigma_v' + 2c\sqrt{K_p}$$

### EFFECTO DE NIVEL FREATICO Y SOBRECARGA



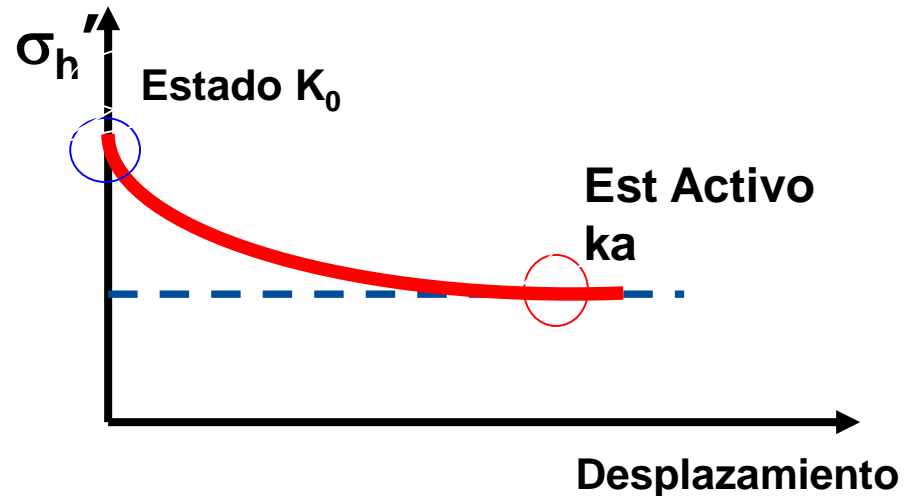
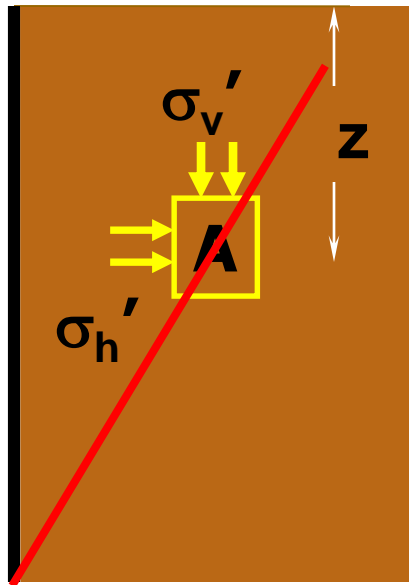
# EMPUJE ACTIVO

## DEFINICION

### Relación fuerza - desplazamiento

El muro se aleja del suelo

$\sigma_h'$  decrece hasta que ocurre la falla



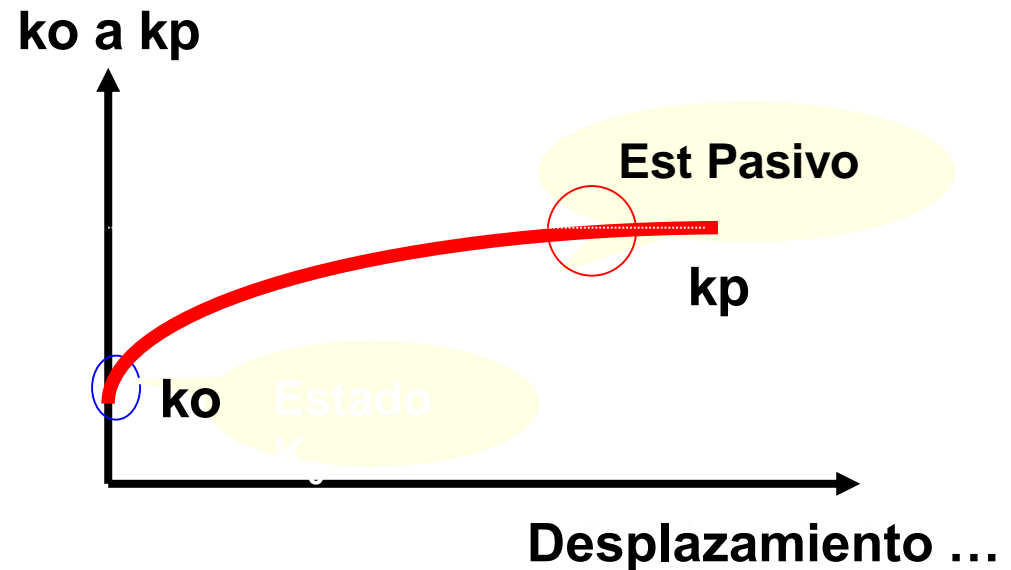
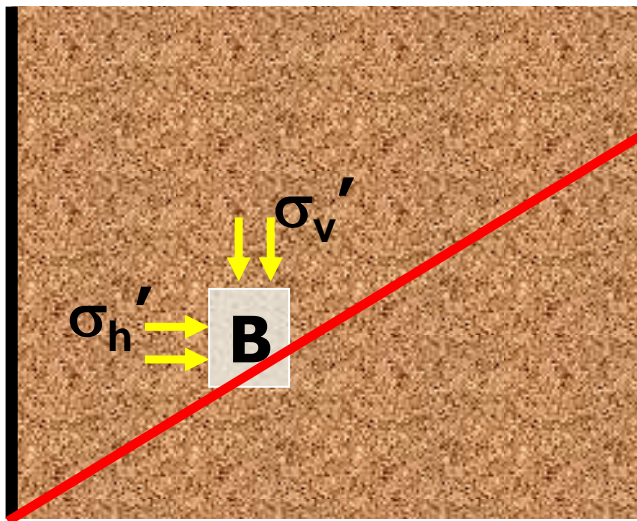


# EMPUJE PASIVO

## DEFINICION

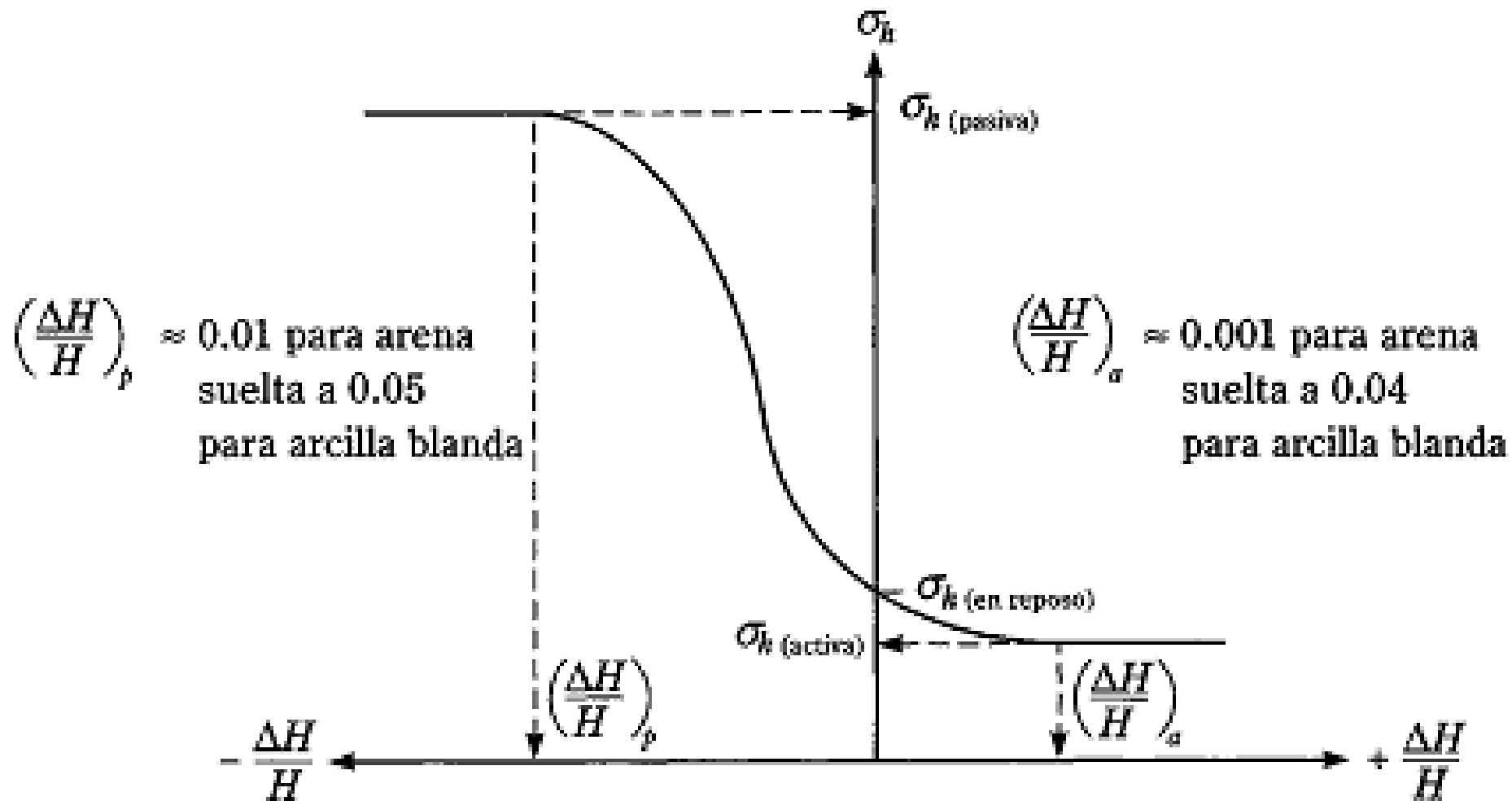
### Relación fuerza - desplazamiento

El muro se mueve hacia el suelo ...  
 $\sigma_h'$  incremento hasta la falla.





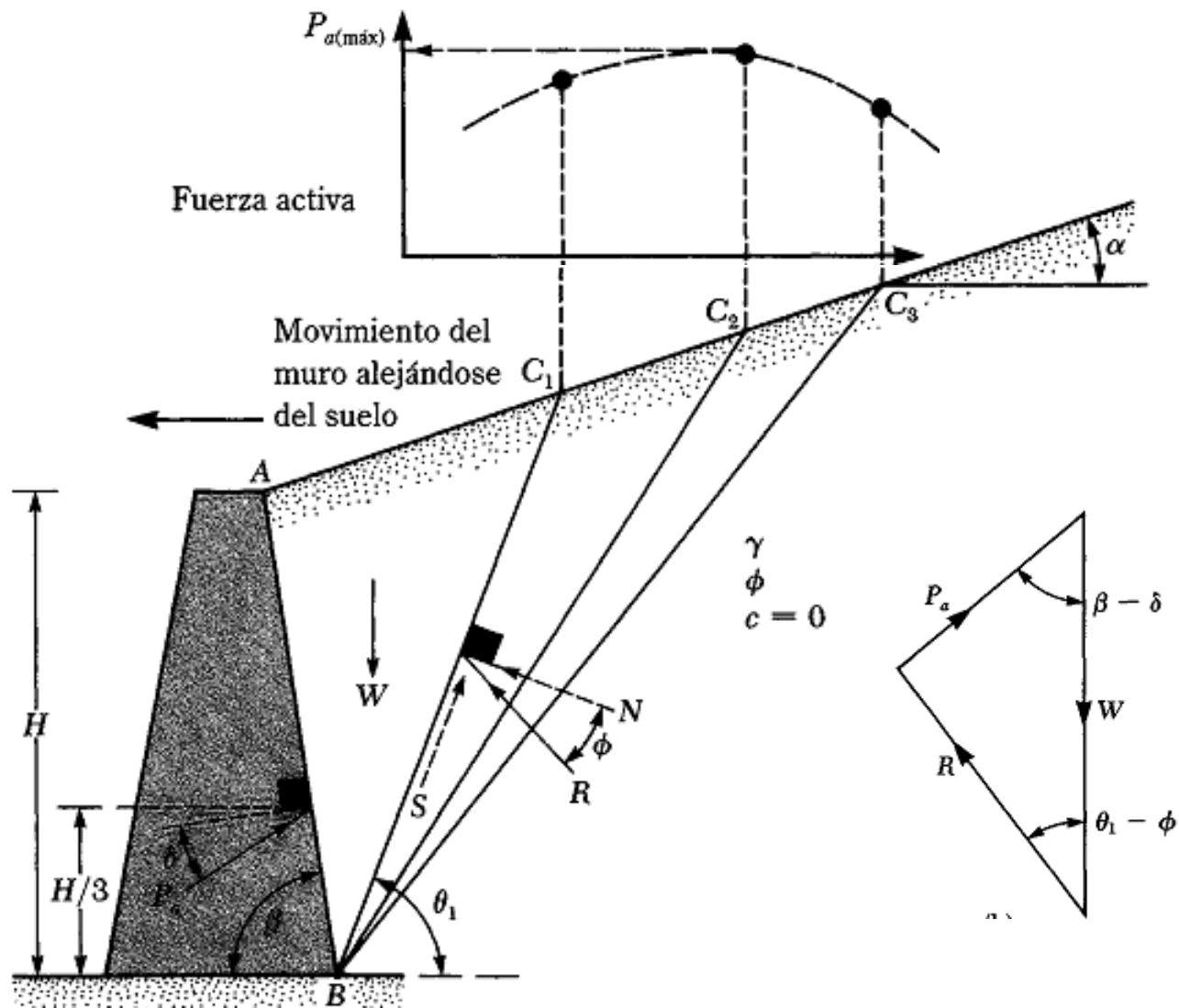
## COEFICIENTES DE EMPUJE



# Geometría

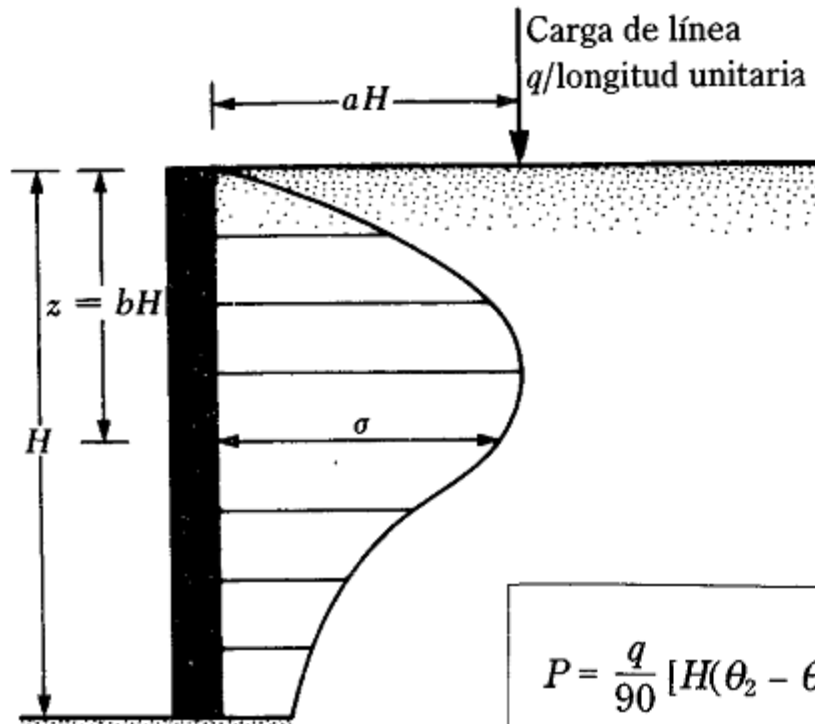


## Estado activo





# EMPUJE ACTIVO EFECTOS DE CARGAS LOCALIZADAS

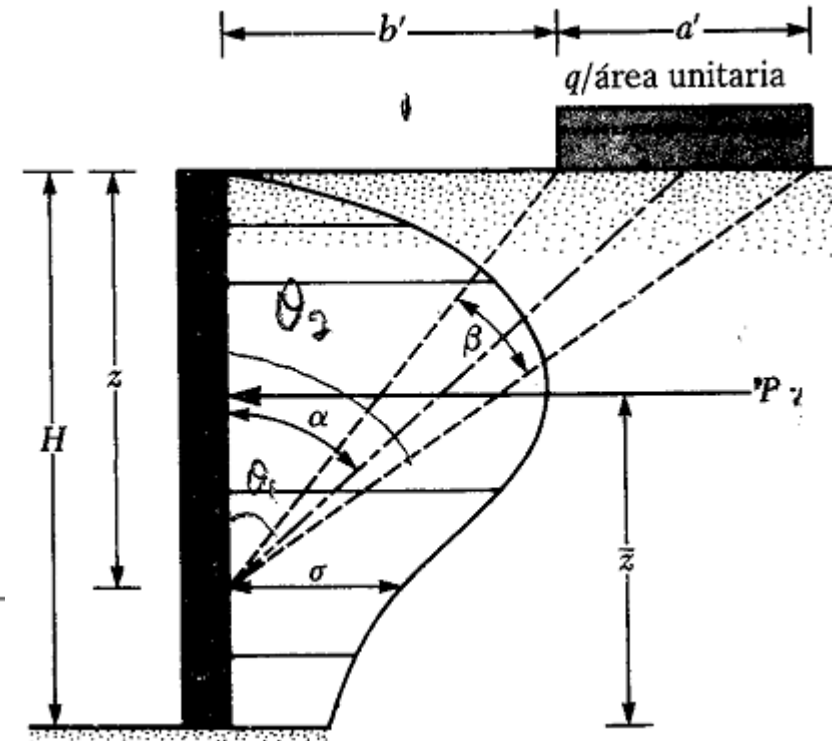


$$P = \frac{q}{90} [H(\theta_2 - \theta_1)]$$

donde

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{b'}{H} \right) \quad (\text{grados})$$

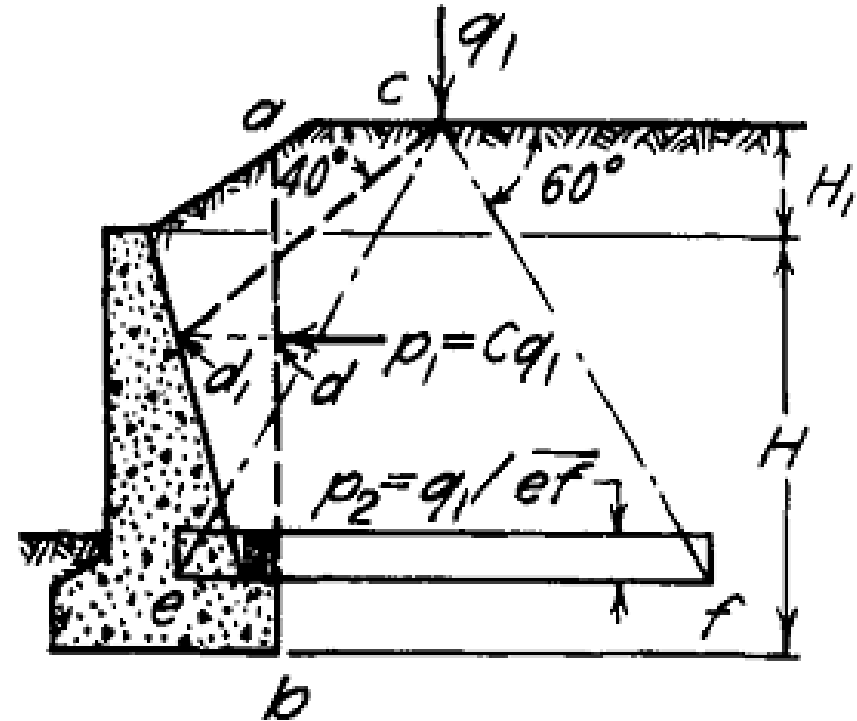
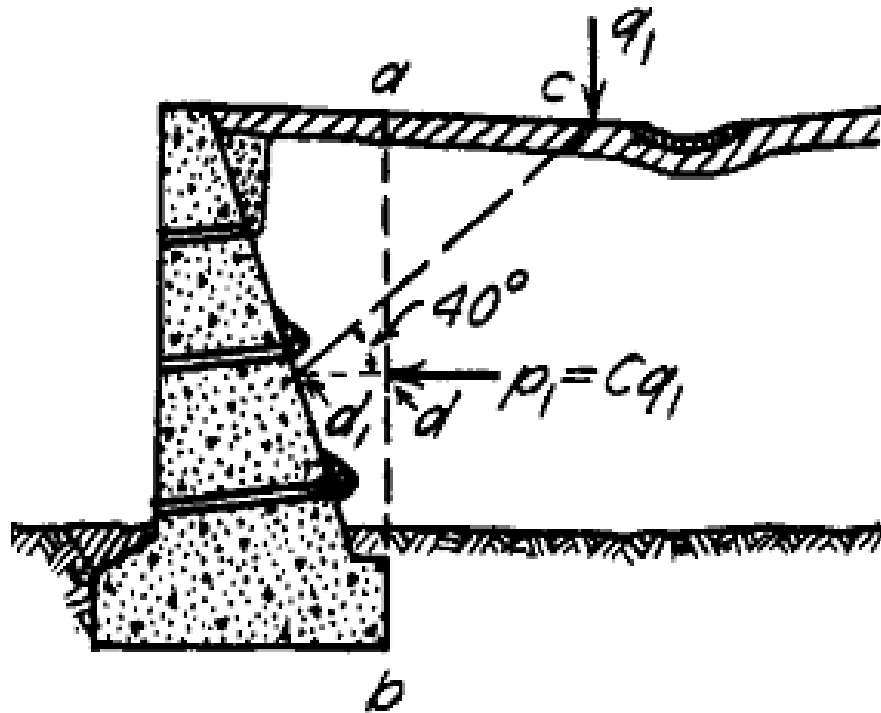
$$\theta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{a' + b'}{H} \right) \quad (\text{grados})$$







## EMPUJE ACTIVO EFECTOS DE CARGAS LOCALIZADAS



# EMPUJE ACTIVO

## ENTIBADO



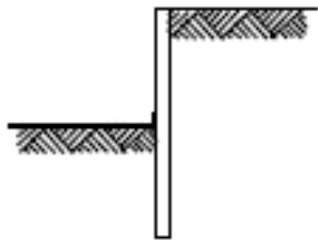


# EMPUJE ACTIVO ENTIBADO

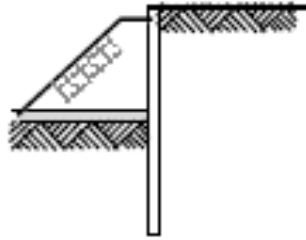




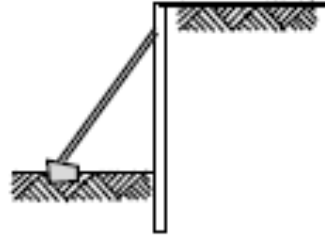
# EMPUJE ACTIVO ENTIBADO



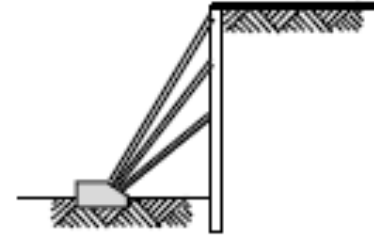
a) Cantiliver wall



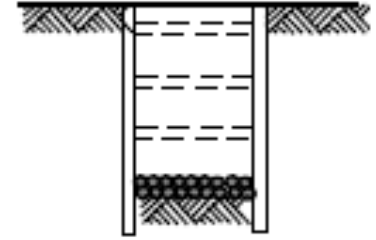
b) Berm and Slab



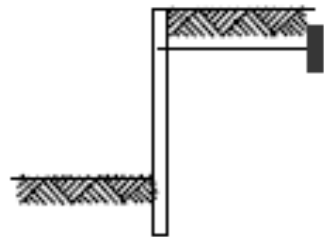
c) Single proped wall



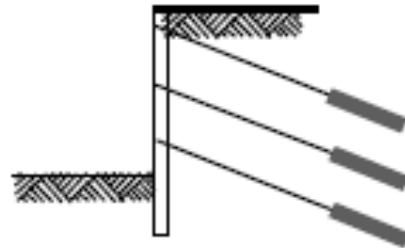
d) Multi-proped wall



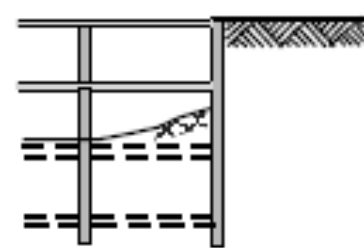
e) Soilcrete-slab



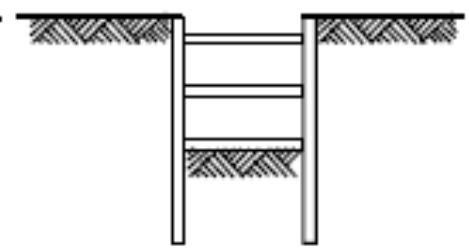
f) Tie-back wall



g) Ground anchors



h) Top-down construction

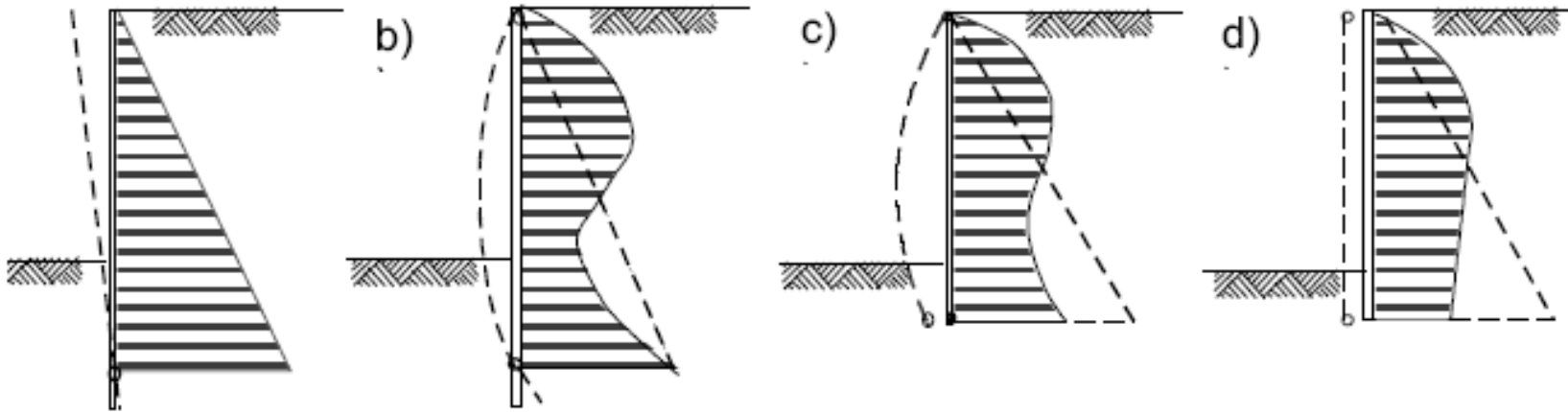


i) Braced excavation

**SE ASOCIA LA EXCAVACION CON LA APLICACIÓN DE UN  
SOSTENIMIENTO**



# EMPUJE ACTIVO ENTIBADO



La forma y valor del diagrama de empuje depende del modo de deformación

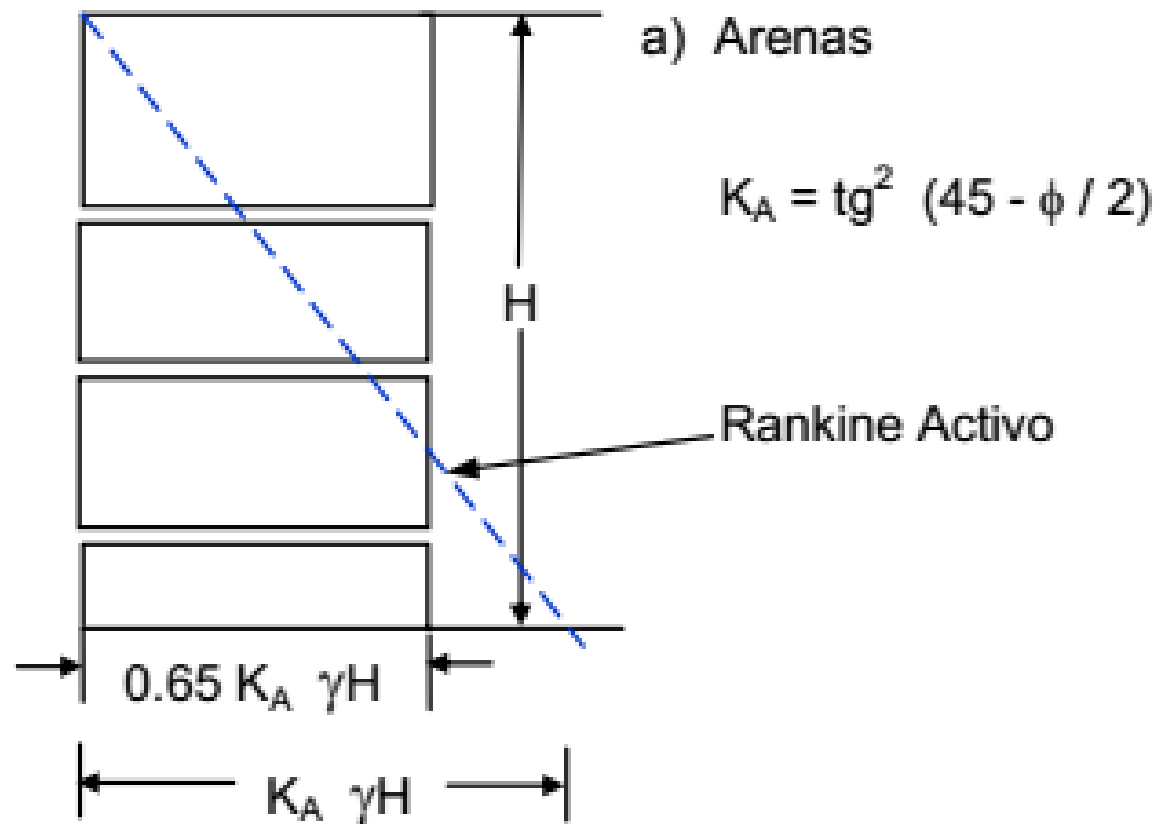
- El sostenimiento se “diseña” bajo la aplicación de un diagrama de solicitaciones.
- Este diagrama depende de la **interacción del sostenimiento con el terreno.**
- Deformación flexible de la pantalla

**SE ASOCIA LA EXCAVACION CON LA APLICACIÓN DE UN  
SOSTENIMIENTO**





# EMPUJE ACTIVO ENTIBADO



$P_t$  = Trapezoide

$P_A$  = Rankine

$$P_t = .65 K_A \gamma H^2$$

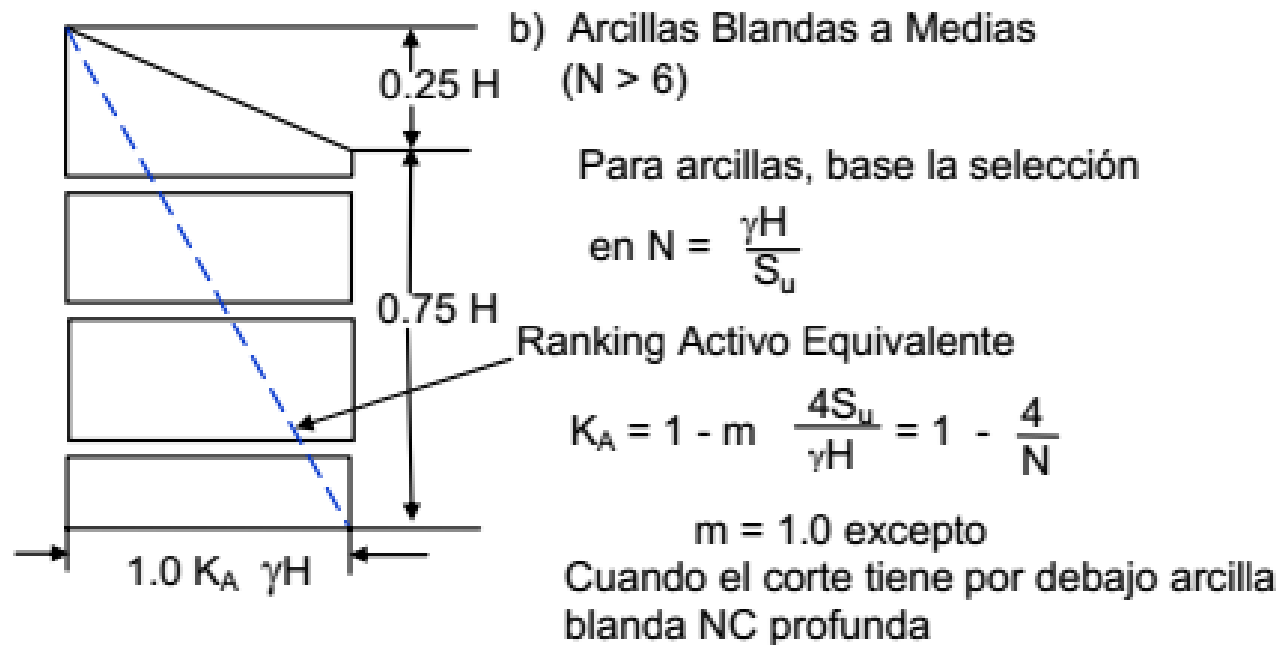
$$P_A = .50 K_A \gamma H^2$$

$$\frac{P_t}{P_A} = 1.30$$

Diagramas de Presión para Entibaciones de Terzaghi y Peck (1967)



# EMPUJE ACTIVO ENTIBADO



$$m = 1.0$$

$$P_t = .875\gamma H^2 \left(1 - \frac{4}{N}\right)$$

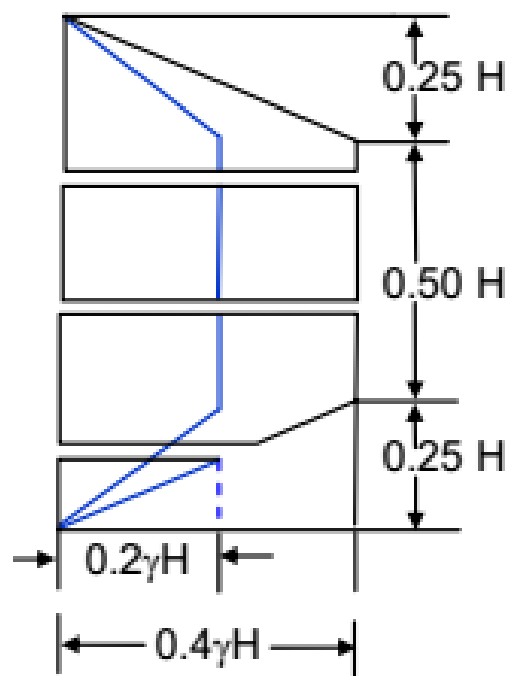
$$P_A = .50\gamma H^2 \left(1 - \frac{4}{N}\right)$$

$$\frac{P_t}{P_A} = 1.75$$

Diagramas de Presión para Entibaciones de Terzaghi y Peck (1967)



# EMPUJE ACTIVO ENTIBADO



c) Arcillas Rígidas

Para  $N < 4$

Para  $4 < N < 6$ , use el mayor de los diagramas b) y c)

$$P_t = .15\gamma H^2 \text{ a } .30\gamma H^2$$

$$\frac{P_A}{N} = 4, P_A = 0$$

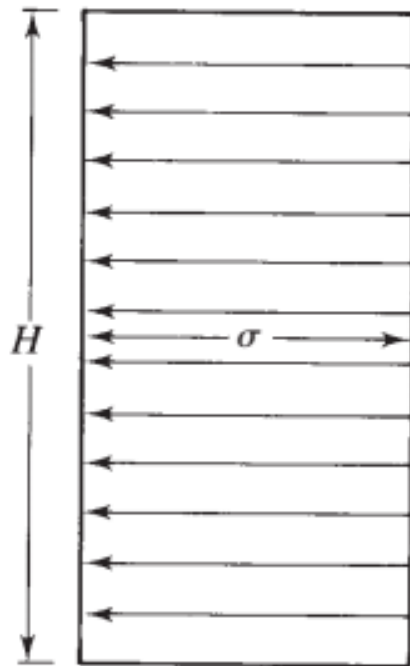
$$N < 4, P_A < 0$$

NOTA : Rankine Activo  
Equivalente = 0

Diagramas de Presión para Entibaciones de Terzaghi y Peck (1967)

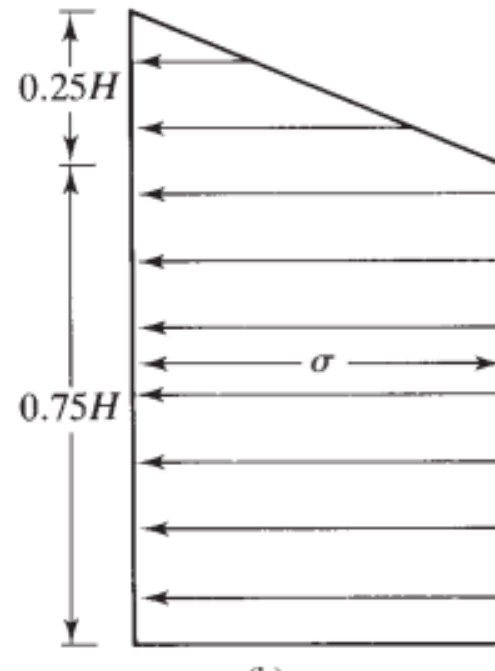


# EMPUJE ACTIVO ENTIBADO



**ARENAS**

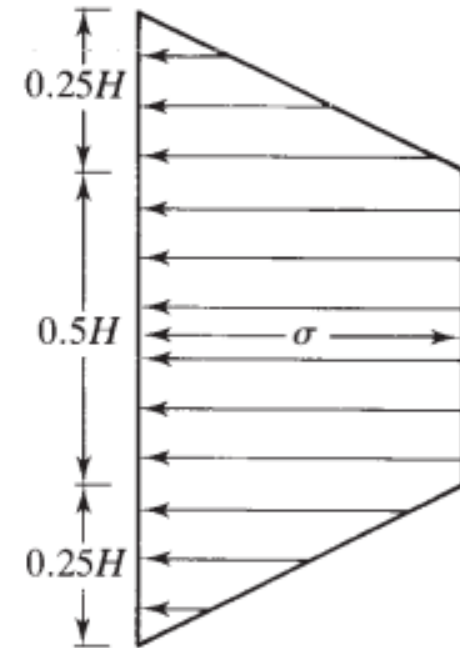
$$\sigma = 0.65\gamma HK_a$$



**ARC BLANDAS**

$$\sigma = \gamma H \left[ 1 - \left( \frac{4c}{\gamma H} \right) \right]$$

$$\sigma = 0.3\gamma H$$



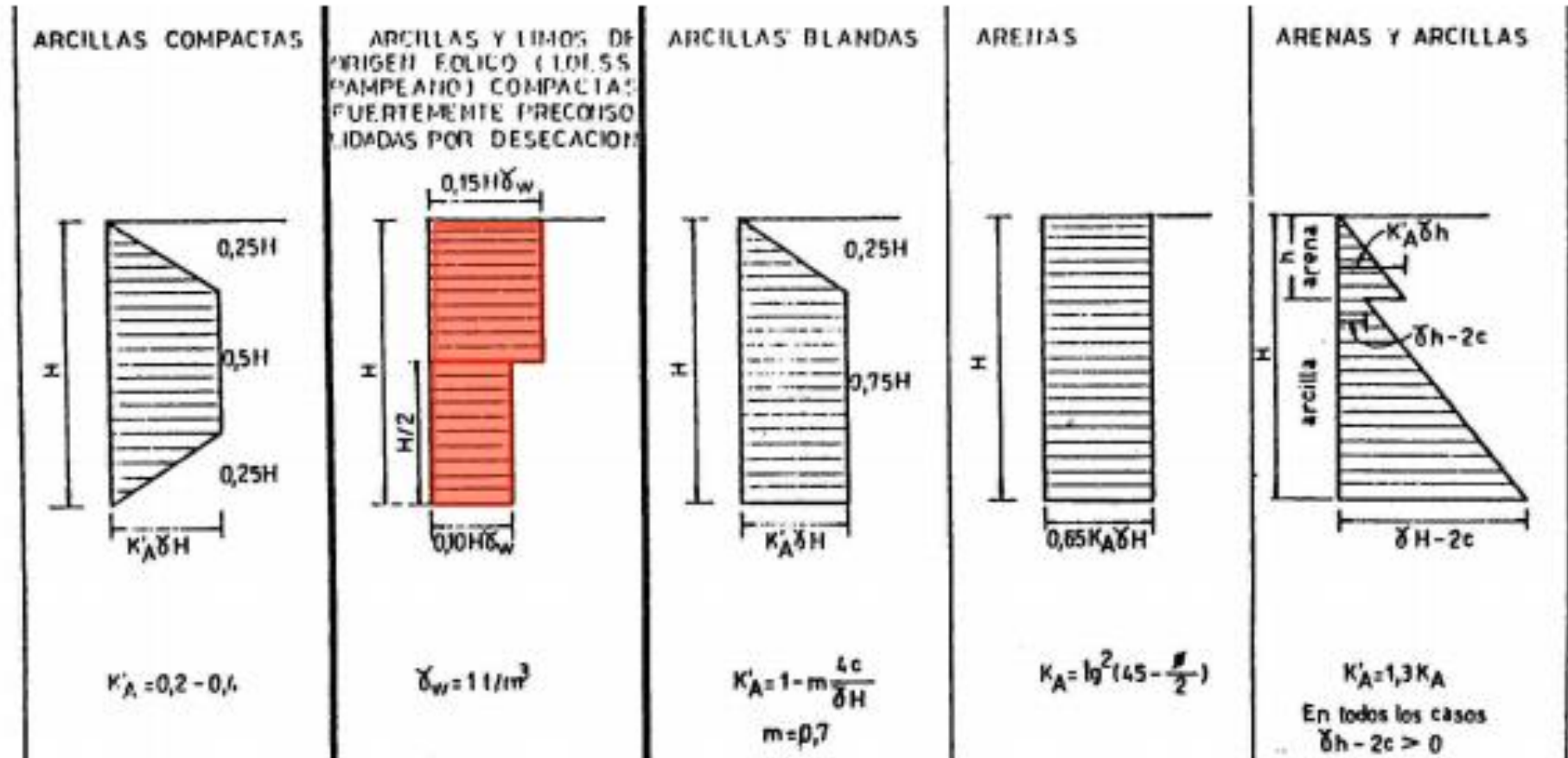
**ARC DURAS**

$$\sigma = 0.2\gamma H \text{ a } 0.4 \gamma H$$

$$\gamma H/c \leq 4.$$



# EMPUJE ACTIVO ENTIBADO



**SE ASOCIA LA EXCAVACION CON LA APLICACIÓN DE UN  
SOSTENIMIENTO**





# EMPUJE ACTIVO ENTIBADO

## LIMITACIONES

1. Las envolturas de presión algunas veces son referidos como ***envolturas de presión aparente***. Sin embargo, la distribución de la presión real es una función de la secuencia de la construcción y la relativa flexibilidad de la pared.
2. Se aplican a las excavaciones con profundidades superiores a unos 6 m.
3. Se basan en la suposición de que el nivel freático está por debajo de la parte inferior del corte.
4. Se supone que es arena drenada con presión de poros 0.
5. Se supone arcilla sin drenar y no se considera la presión del agua intersticial.