

*Departamento de Ingeniería del
Terreno, Cartográfica y Geofísica*
**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE
CATALUNYA**



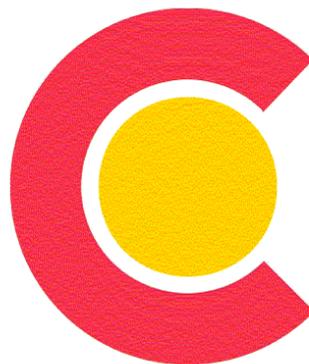
*Instituto de Investigaciones
Antisísmicas "Ing Aldo Bruschi"*
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN JUAN**



Laboratorio de Geotecnia
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
CÓRDOBA**

Geotecnia e Ingeniería Sísmica aplicadas a la Minería

San Juan, Argentina, 16 de Octubre de 2007



AGENCIA
ESPAÑOLA DE
COOPERACIÓN
INTERNACIONAL



Jornada “Geotécnica e Ingeniería Sísmica aplicadas a la Minería”

San Juan, 16 de Octubre de 2007

Influencia de factores climáticos en la estabilidad de presas de colas

Luciano A. Oldecop



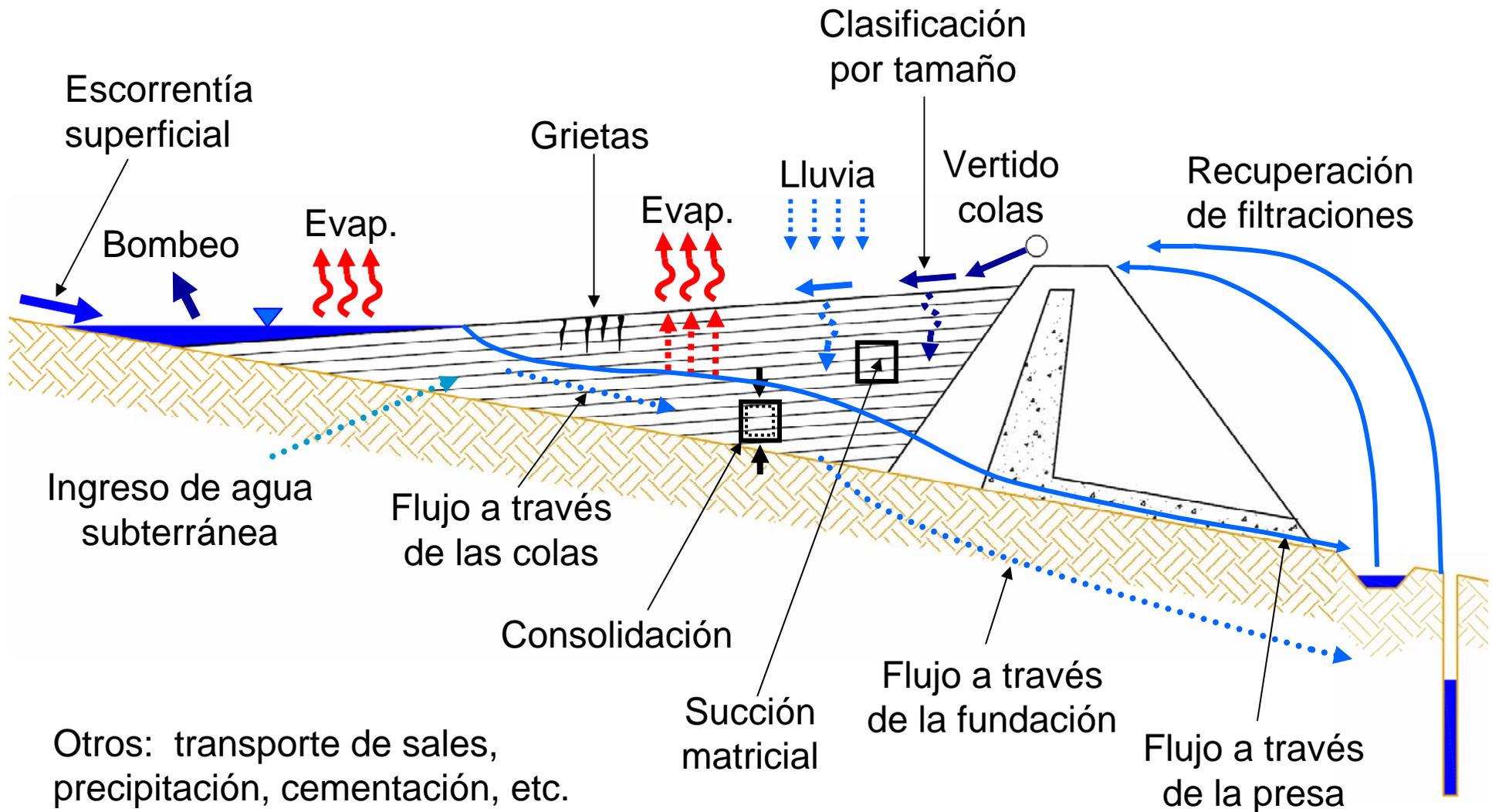
**Instituto de Investigaciones
Antisísmicas “Ing. Aldo Bruschi”**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN, ARGENTINA

CONTENIDO DE ESTA PRESENTACIÓN

- 1) Factores que influyen en la estabilidad de una presa de colas.
- 2) Caso de estudio
- 3) Modelación. Parámetros del modelo. Condiciones de contorno.
- 4) Resultados numéricos
- 5) Conclusiones

Fenómenología hidro-mecánica en una presa de colas.



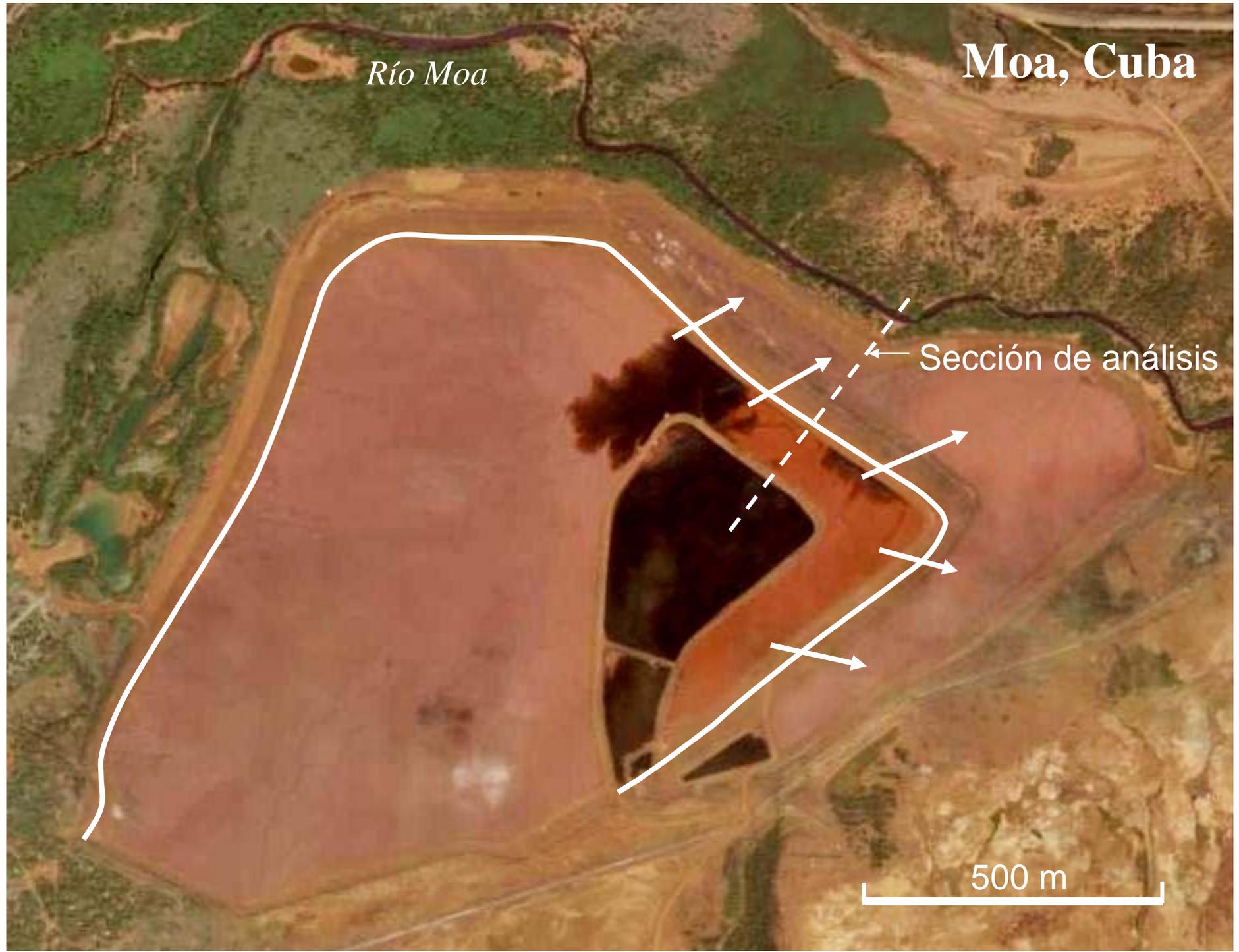
Característica fundamental de las colas
⇒ PEQUEÑO TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS

Río Moa

Moa, Cuba

Sección de análisis

500 m



Punto de vertido

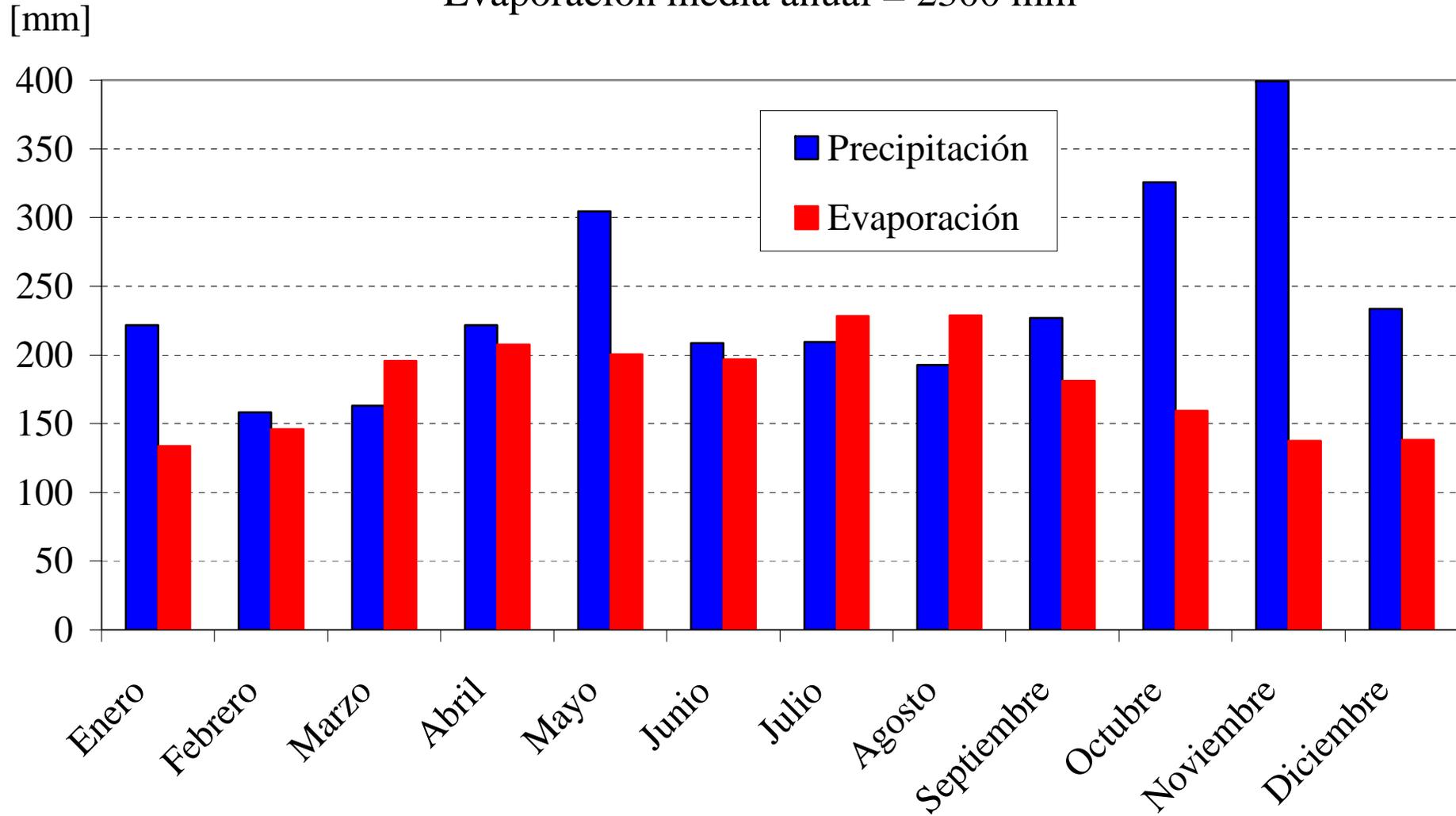


(FOTO : Rodriguez, 2002)

Precipitación y evaporación media mensual en el sitio

Precipitación media anual = 2800 mm

Evaporación media anual = 2300 mm



Modelación con CODE_BRIGHT

Fenómenos tenidos en cuenta en el modelo:

- Comportamiento mecánico con una ley elastoplástica.
- Consolidación.
- Flujo saturado y no saturado
- Presencia de la laguna de decantación.
- Drenaje a través de la fundación, de la presa (rezume)
- Ascenso capilar
- Variabilidad de las propiedades hidráulicas dentro del depósito
- Precipitación y evaporación medias
- Aportes de lluvia extraordinarios: infiltración/escorrentía superficial
- Efectos de la succión matricial en las propiedades mecánicas
- Construcción a lo largo de 20 años.

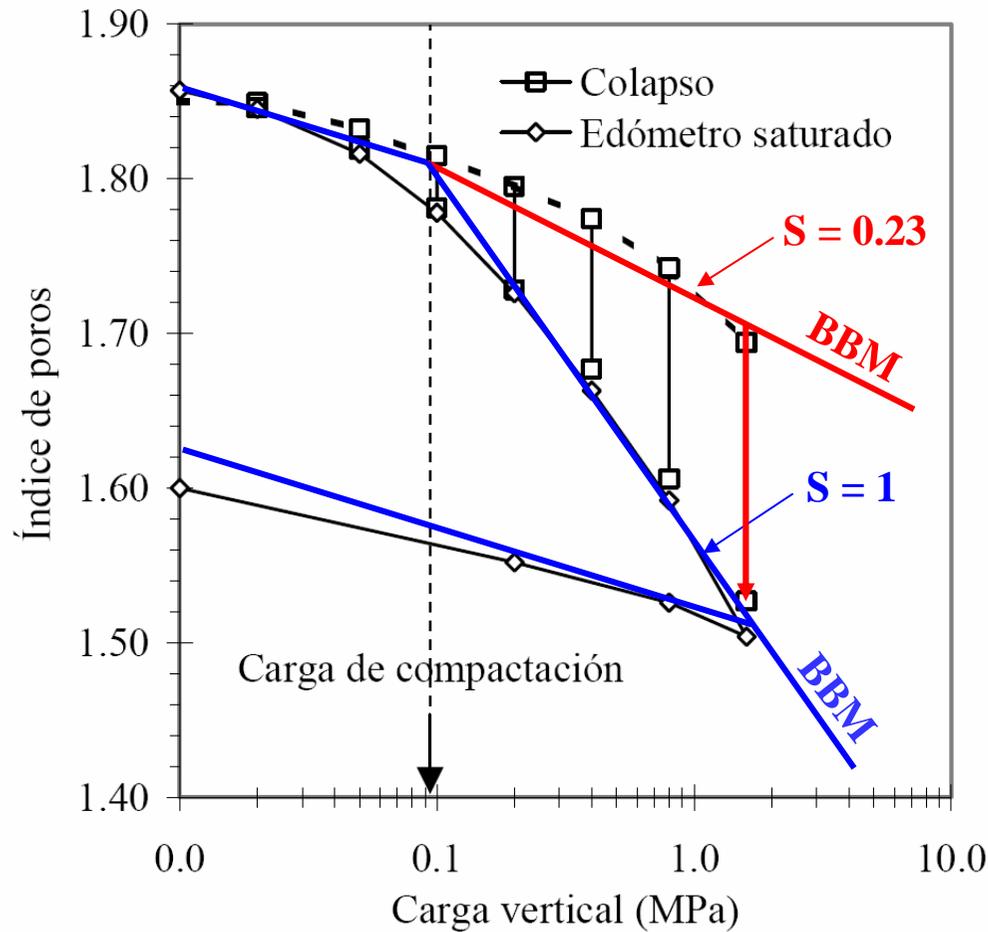
No tenidos en cuenta: transporte de sales, cementación, ingreso de agua subterránea

Ley constitutiva para el comportamiento mecánico

Barcelona Basic Model (BBM)

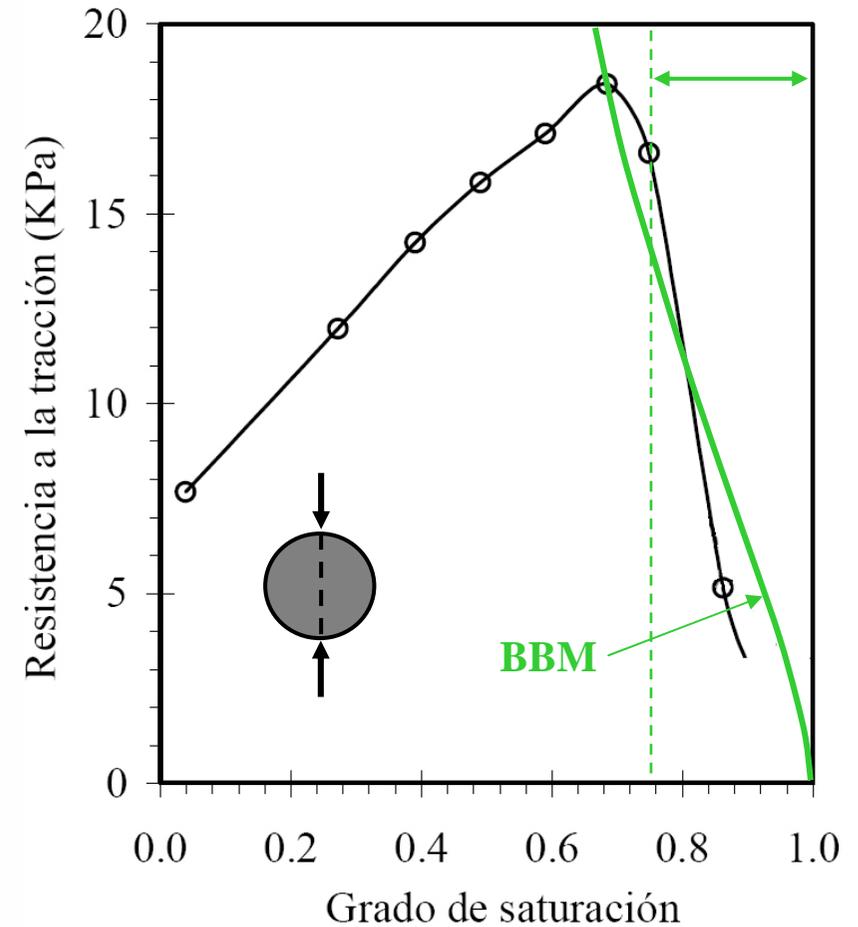
⇒ comportamiento dependiente del grado de saturación (succión)

ENSAYOS EDOMÉTRICOS



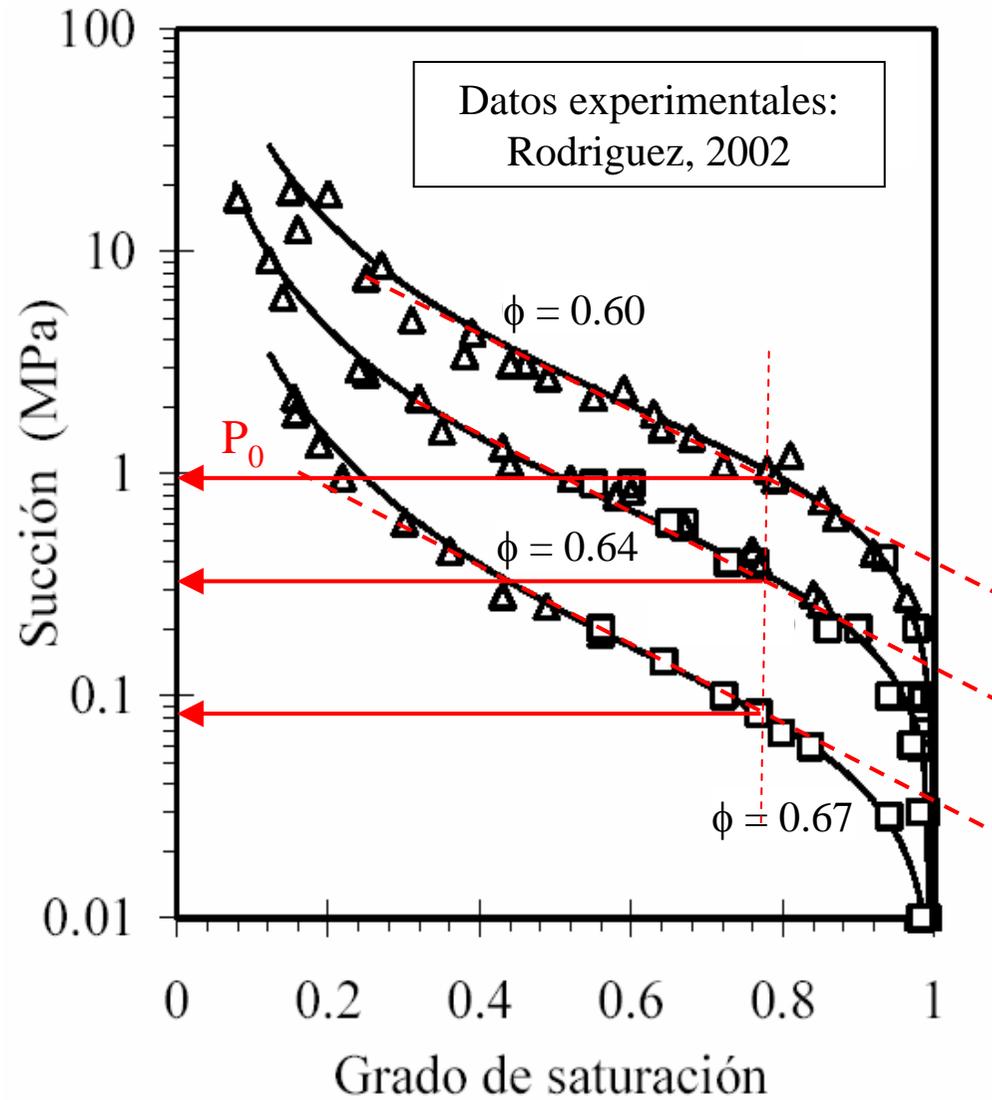
+ ENSAYOS TRIAXIALES

ENSAYO BRASILEÑO (tracción)



(datos experimentales: Rodriguez, 2002)

Curva de retención



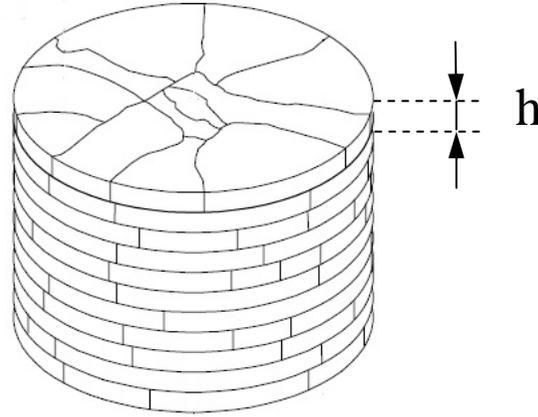
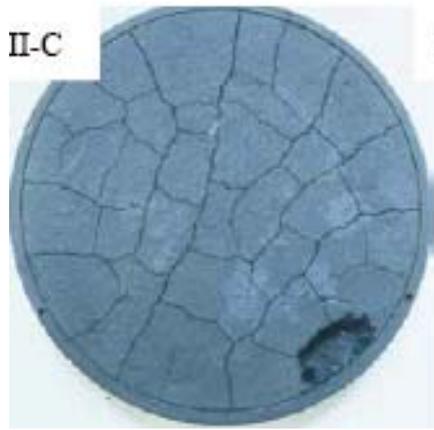
Modelo de Van Genuchten

$$S = \left[1 + \left(\frac{s}{P_0} \right)^{1-\lambda} \right]^{-\lambda}$$

$\lambda = cte.$

$$P_0(\phi) = P_0 \cdot e^{a(\phi_0 - \phi)}$$

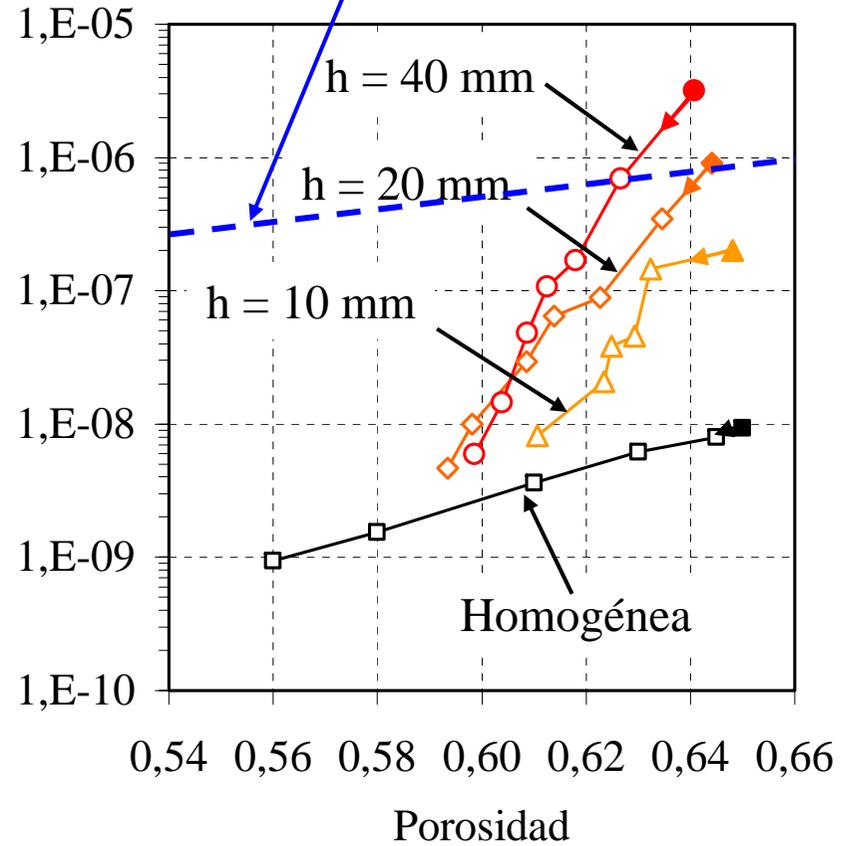
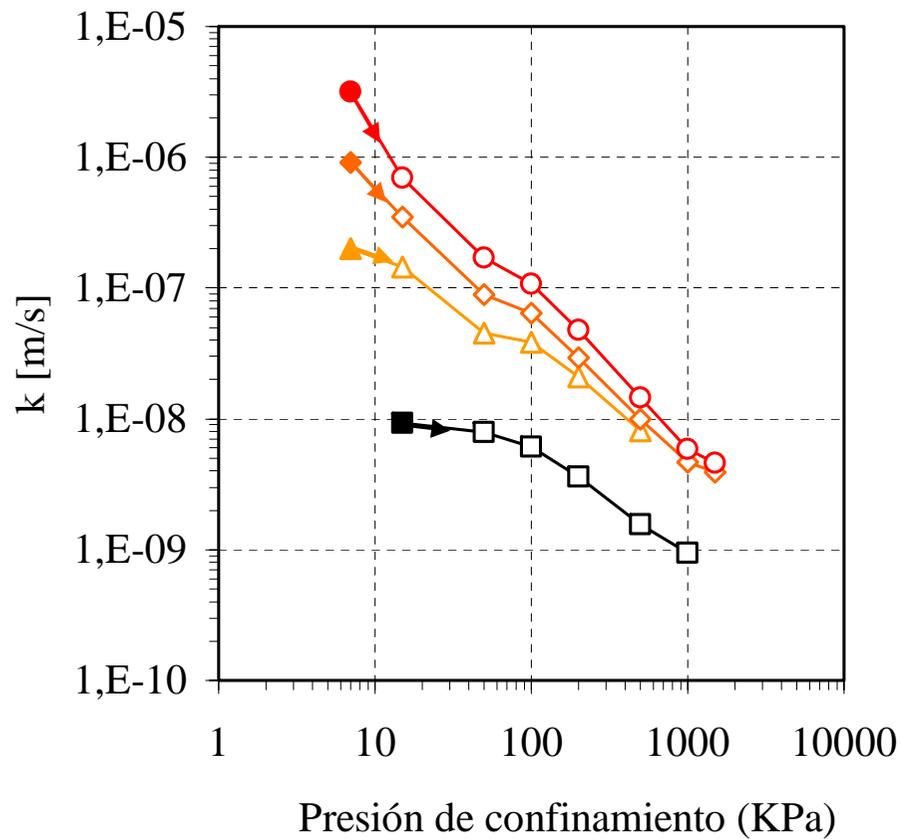
Permeabilidad de las colas



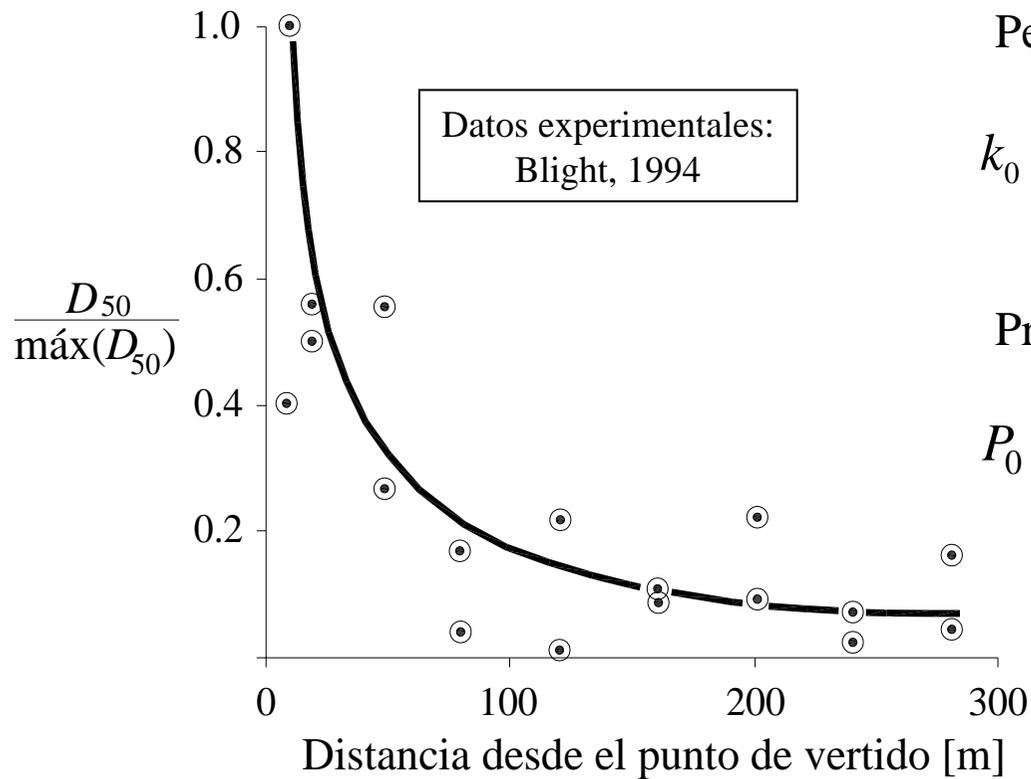
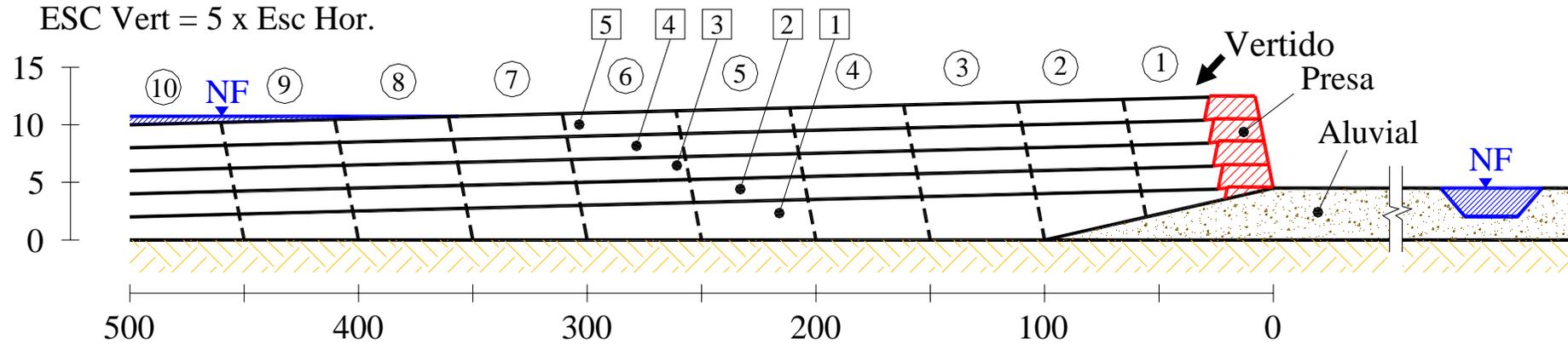
Datos experimentales:
Rodríguez, 2002

Modelo de Kozeny

$$k = k_0 \cdot \frac{\phi^3}{(1-\phi)^2} \cdot \frac{(1-\phi_0)^2}{\phi_0^3}$$



Sección de análisis



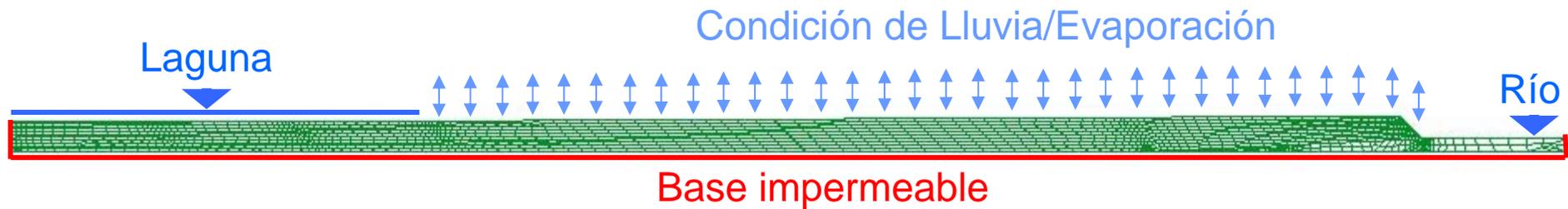
Permeabilidad intrínseca

$$k_0 = c \cdot D_{10}^2 \Rightarrow \frac{k_0^1}{k_0^i} = \left(\frac{D_{10}^1}{D_{10}^i} \right)^2$$

Presión de entrada de aire

$$P_0 = \frac{2\sigma}{r_c} \Rightarrow P_0 \sim \frac{1}{D_{10}} \Rightarrow \frac{P_0^1}{P_0^i} = \frac{D_{10}^i}{D_{10}^1}$$

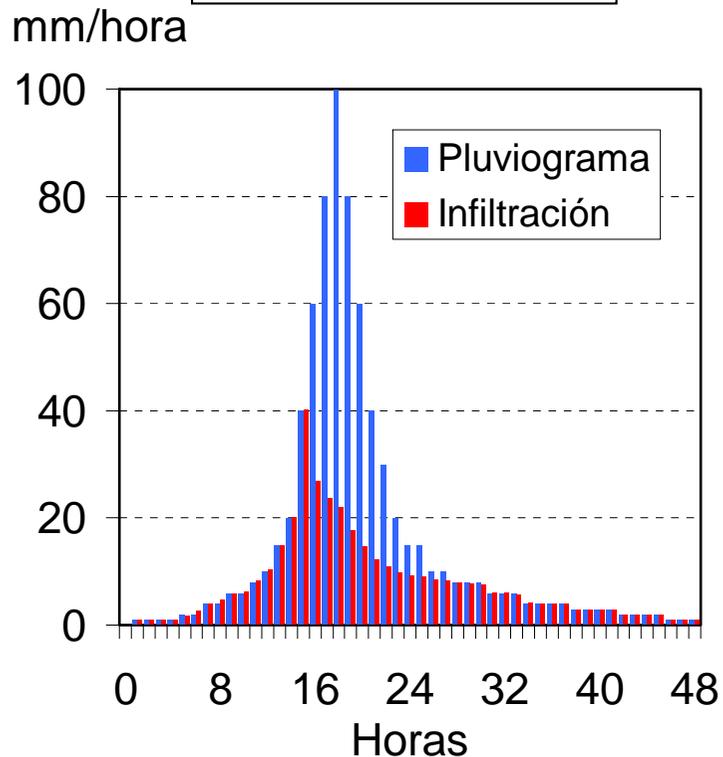
Condiciones de contorno



Modelación de la infiltración con
Code_Bright (CC natural con rezume)



Tormenta Nov, 1996



Condición de contorno promedio
(largo plazo)



LLUVIA (Infiltración/Escorrimento)

Modelo hidrológico SCS:
 $I = f(P, \text{tipo suelo, cubierta})$

EVAPORACIÓN (Frente de evap. en superficie)

$$E_{\text{suelo}} = K(\text{viento, HR, cubierta suelo}) \times E_{\text{evaporímetro}}$$

CAUDAL NETO: $Q = I - E$

Caso Base: $Q = +0.25$ mm/día

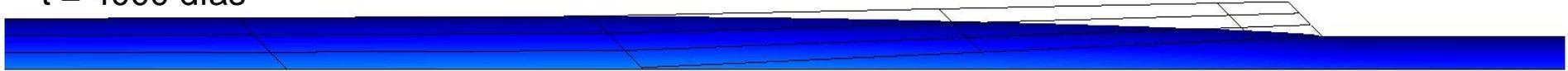
Caso Húmedo: $Q = +0.85$ mm/día

Caso Seco: $Q = -0.50$ mm/día

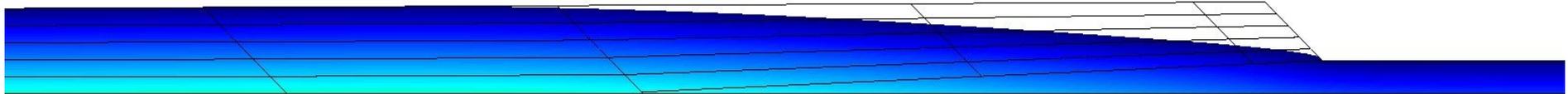
Resultados: llenado + CC promedio (Caso Base)

1- Superficie freatica

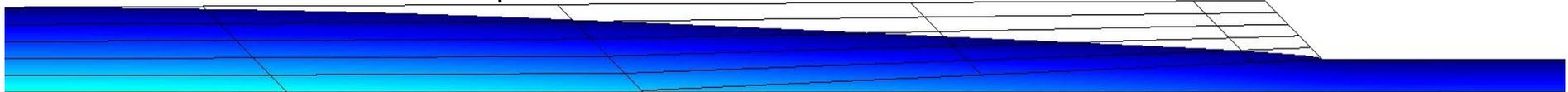
t = 4000 días



t = 6000 días – Final del llenado



t = 13300 días – 20 años después



2- Grado de saturación $S = 0.8$ 1.0

t = 6000 días – Final del llenado



t = 13300 días – 20 años después



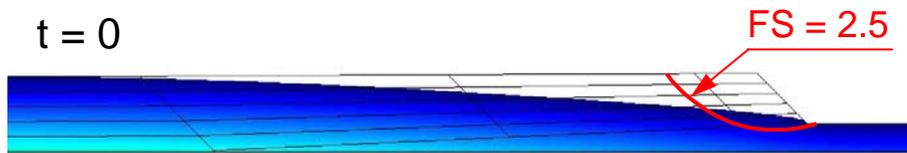
Resultados: Tormenta Noviembre 1996 (722 mm en 48 h)

Evolución de la superficie freática

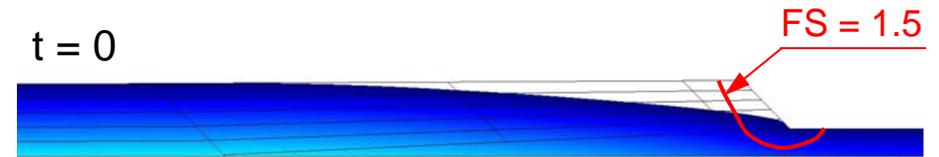
CASO BASE ($Q = 0.25$ mm/día)

CASO HÚMEDO ($Q = 0.85$ mm/día)

t = 0



t = 0



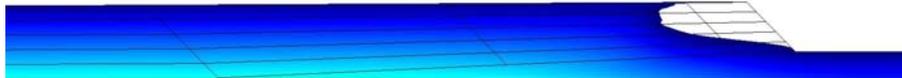
t = 12 h



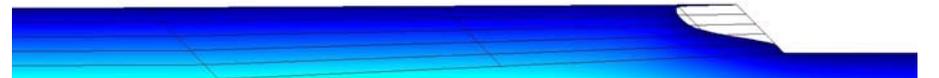
t = 12 h



t = 24 h



t = 24 h



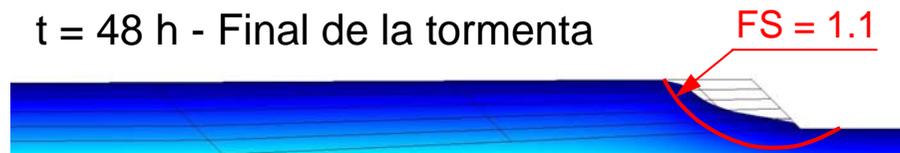
t = 36 h



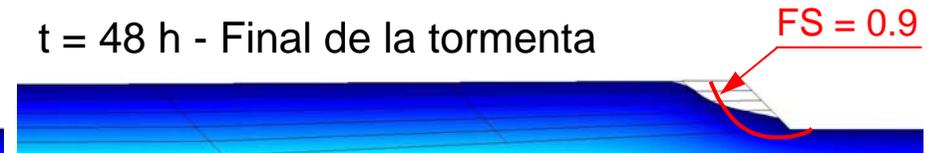
t = 36 h



t = 48 h - Final de la tormenta



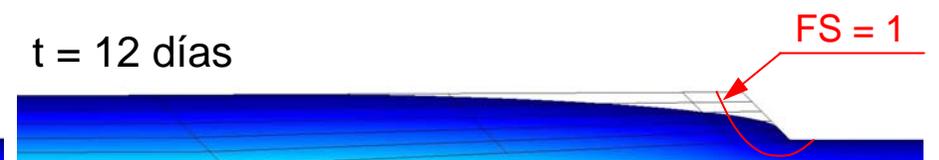
t = 48 h - Final de la tormenta



t = 12 días



t = 12 días



CONCLUSIONES

- 1) Durante la construcción la SF se mantiene elevada. En la zona no saturada $S > 0.85$
- 2) Régimen estacionario se alcanza después de 20 años de detenido el llenado del depósito.
- 3) El elevado grado de saturación se debe a:
 - Baja conductividad hidráulica de las colas
 - Aportes de agua con las colas vertidas y lluvias
 - Ascenso capilar desde la SF
- 4) Durante una tormenta de lluvia extraordinaria la SF asciende muy rápidamente (en horas). Pasada la tormenta la SF desciende lentamente (días).
- 5) En un cierto momento, entre el final de la tormenta y los primeros días, el talud se hace inestable.
- 6) La respuesta a la tormenta depende fuertemente de la condición de humedad previa (Análisis de sensibilidad de la CB promedio infiltración/evaporación)
- 7) El agua capilar y los fenómenos no saturados (ascenso capilar, flujos no saturados, infiltración, evaporación) tienen una influencia determinante. ¡El agua capilar no se detecta con equipos de auscultación tradicionales!