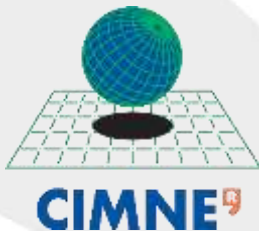




JORNADA SOBRE MODELACIÓN NUMÉRICA EN INGENIERÍA DE PRESAS

ESTIMACIÓN DE LA PRESIÓN INTERSTICIAL DURANTE DESEMBALSE RÁPIDO

Núria M. Pinyol
CIMNE - UPC



Madrid 25 de Noviembre de 2019



PRESA SAN LUIS, CALIFORNIA

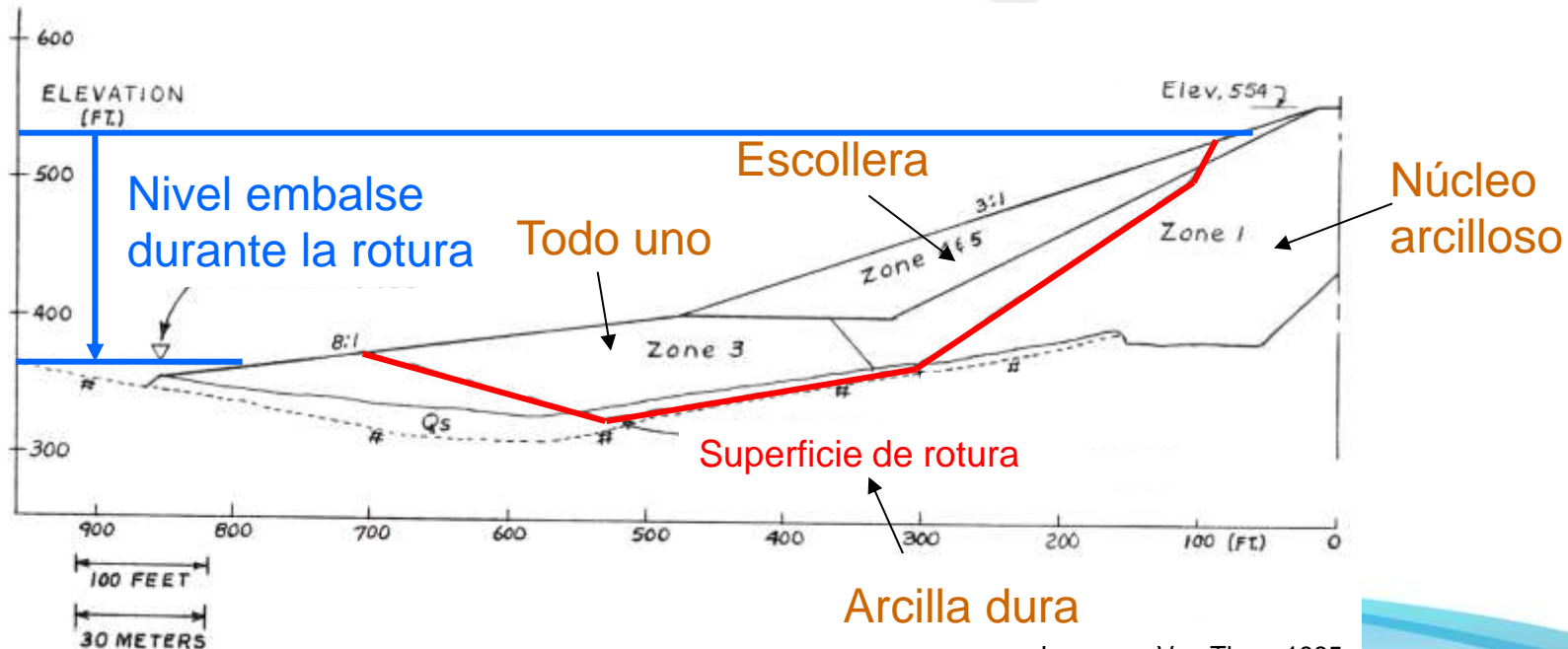
Rotura: Septiembre, 1981

±100 m de altura

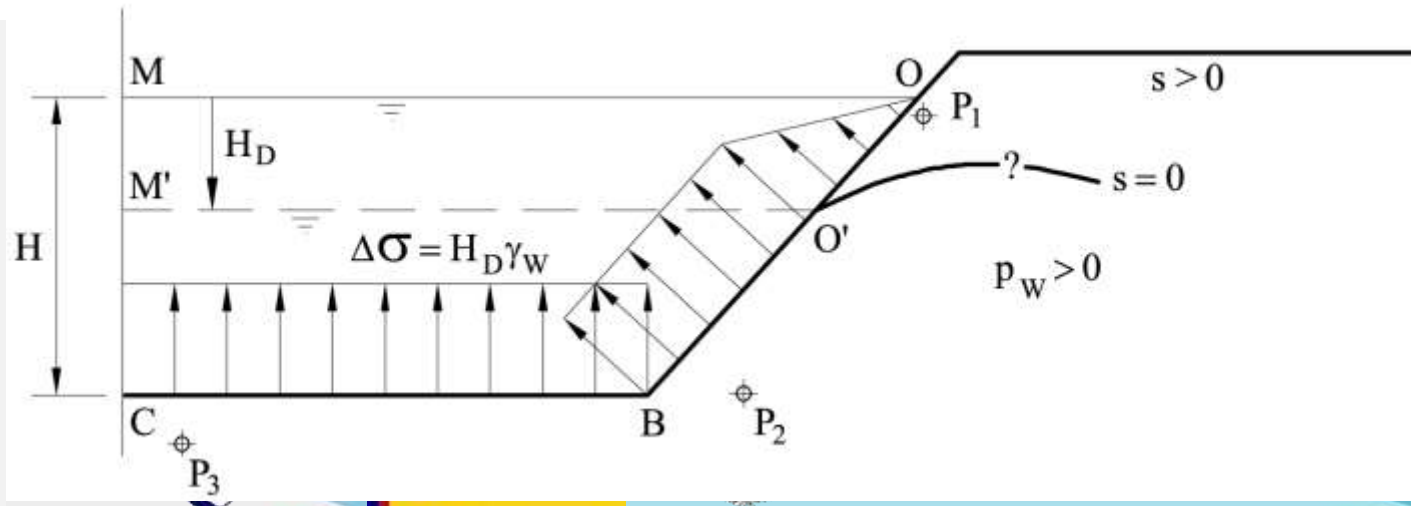
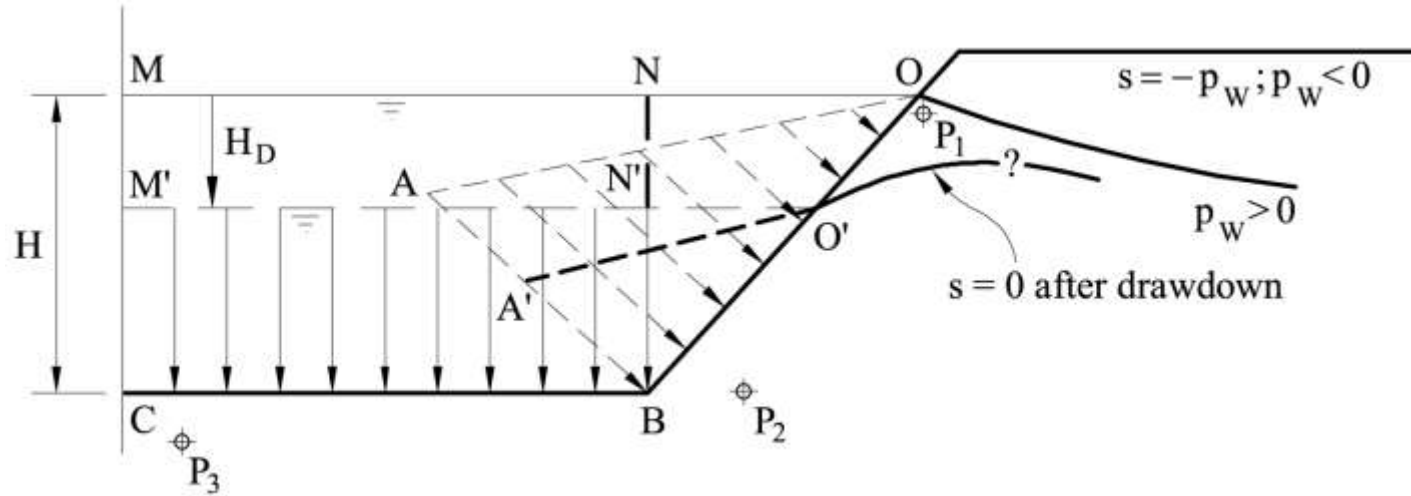
70 millones m³ de volumen

Altura de desembalse: 55 m (el de mayor magnitud)

Velocidad de desembalse: 0.4 m/día



Análisis del desembalse



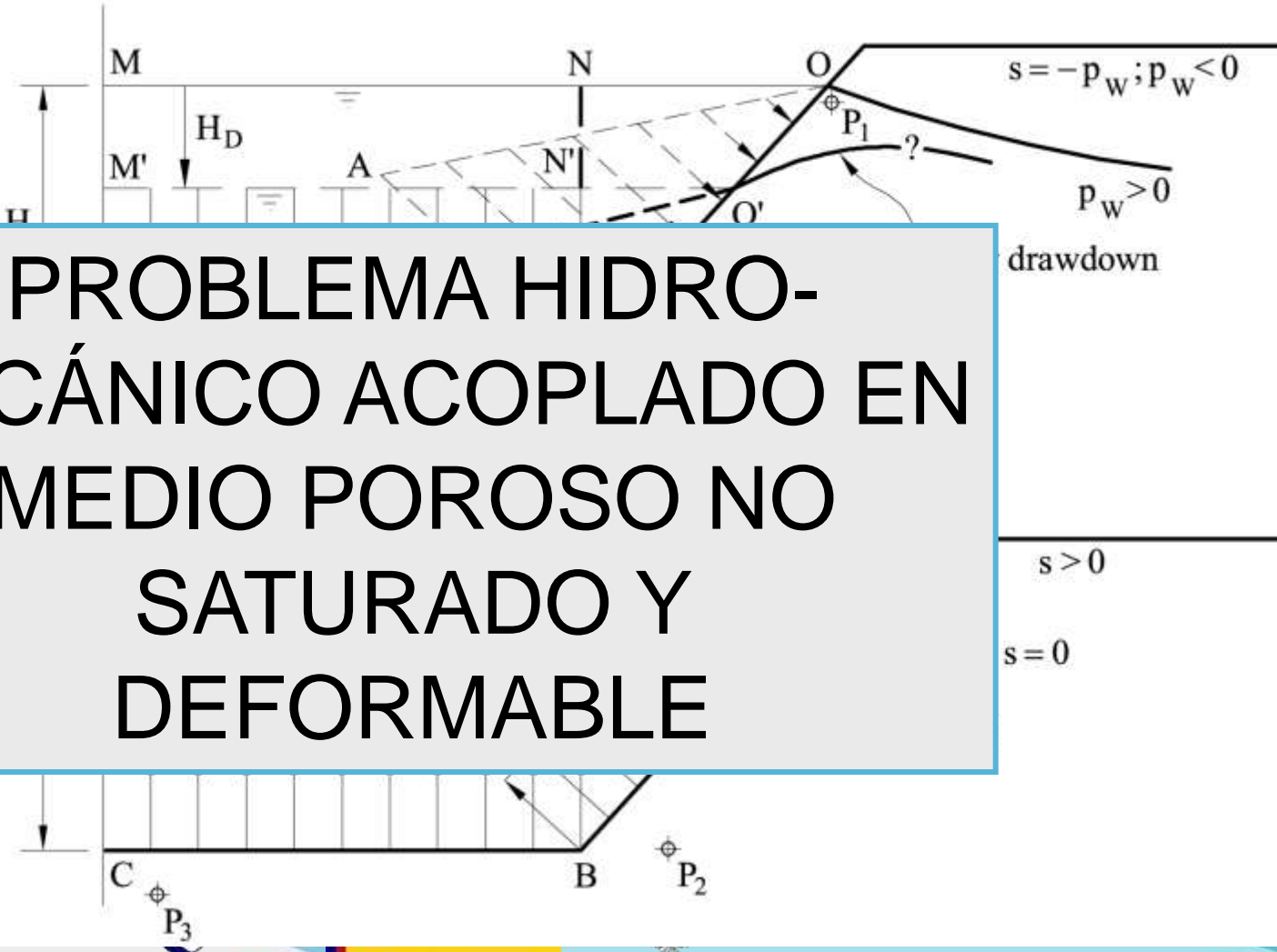
Referencia:

Alonso EE, Pinyol NM.(2016) Numerical analysis of rapid drawdown: Applications in real cases. *Water Sci. Eng.* 9(3):175–82.

Pinyol NM, Alonso EE, Olivella S. (2008) Rapid drawdown in slopes and embankments. *Water Resources Research.* May 27;44(W00D03):1–22.

Análisis del
desembalse

PROBLEMA HIDRO-
MECÁNICO ACOPLADO EN
MEDIO POROSO NO
SATURADO Y
DEFORMABLE



Revisión de los métodos de cálculo

Métodos de análisis no drenado

Skempton (1954), Bishop (1954), Morgenstern (1963), Baker et al. (1993) y Lane y Griffiths (2000).

$$\Delta u = \mathbf{B}[\Delta\sigma_1 - (1 - \mathbf{A})(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)]$$

$$B = \left(\frac{1}{1 + n \frac{K'_{skel}}{K_w}} \right)$$

$$K_w = 2100 \text{ MPa}$$

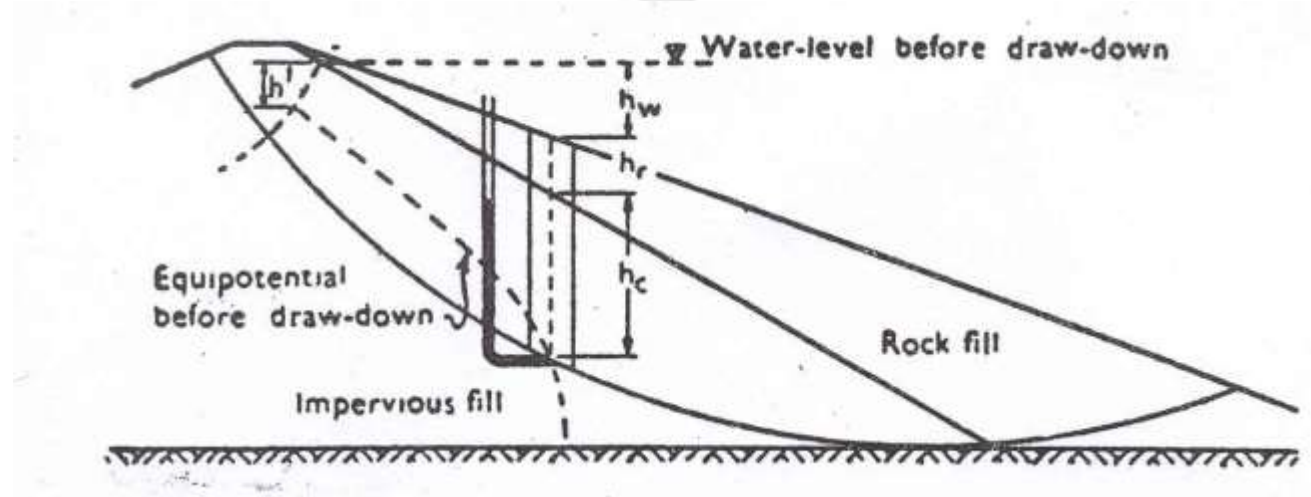
$$K'_{skel} \ll K_w$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{1}$$

Skempton (1954) The pore pressure coefficients **A** and **B**. *Géotechnique*, 4:4:143-147

Bishop, A. W. (1954). "The Use of Pore-Pressure Coefficients in Practice". *Géotechnique*, 4:4:148-152

Cálculo de la presión de agua después del desembalse

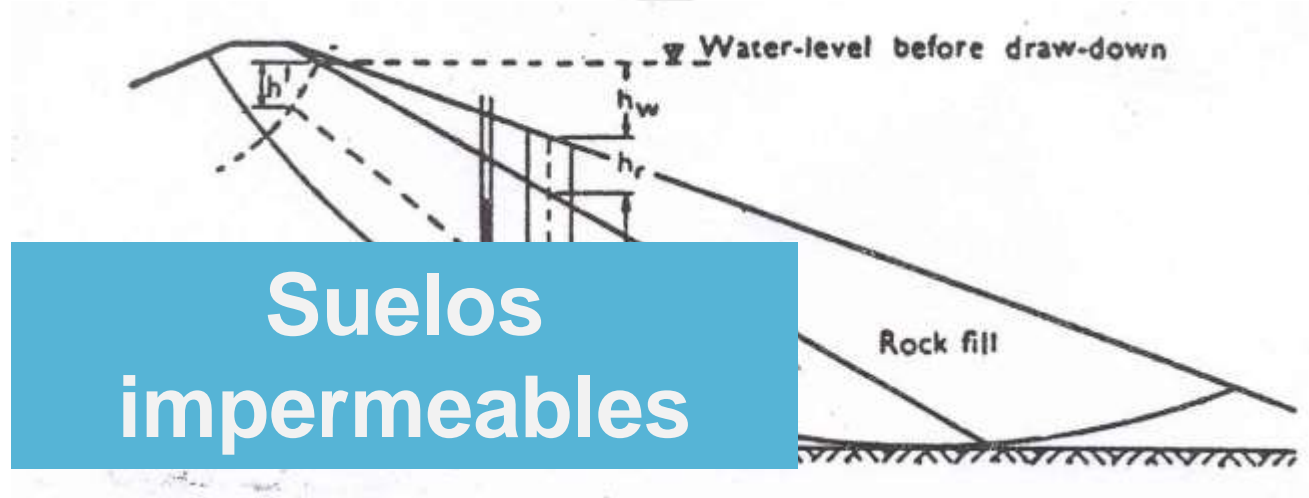


La tensión principal mayor se toma igual al peso de agua por encima del element

$$\Delta\sigma_1 = -[(\gamma_r - \gamma_{rd})h_r + \gamma_w h_w] \quad u = u_0 + \bar{B}\Delta\sigma_1 \quad \bar{B} = 1$$

Bishop, A. W. (1954). "The Use of Pore-Pressure Coefficients in Practice". *Géotechnique*, 4:4:148-152

*Cálculo de la presión
de agua después del
desembalse*



Suelos impermeables

La tensión principal mayor se toma igual al peso de agua por encima del element

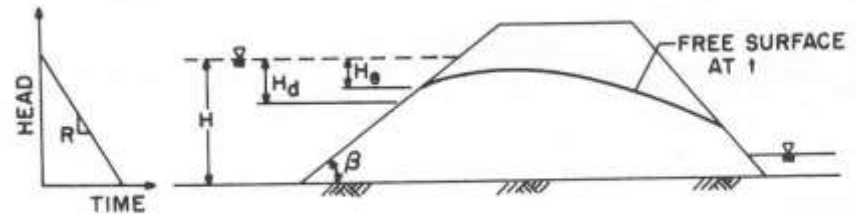
$$\Delta\sigma_1 = -[(\gamma_r - \gamma_{rd})h_r + \gamma_w h_w] \quad u = u_0 + \bar{B}\Delta\sigma_1 \quad \bar{B} = 1$$

Métodos de flujo

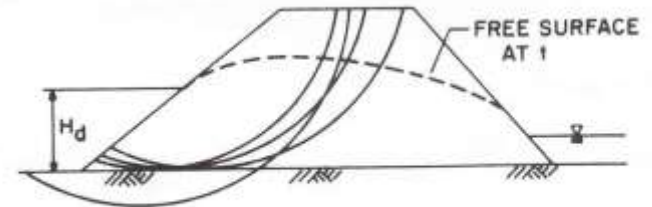
Reinius (1954) y Cedergren (1967), Brahma and Harr (1962), Stephenson (1978), Desai (1977), Cividini y Gioda (1984), Neumann (1973), Hromadka and Guymon (1980) y Pauls *et al.* (1999).

*“..seepage occurs through rigid porous medium, i.e., the soil skeleton is assumed to be **incompressible**, and **no pore pressures occur due to shear deformations**”.*

Desai, C. S. (1977)



(a) STEP 1: LOCATION OF FREE SURFACE



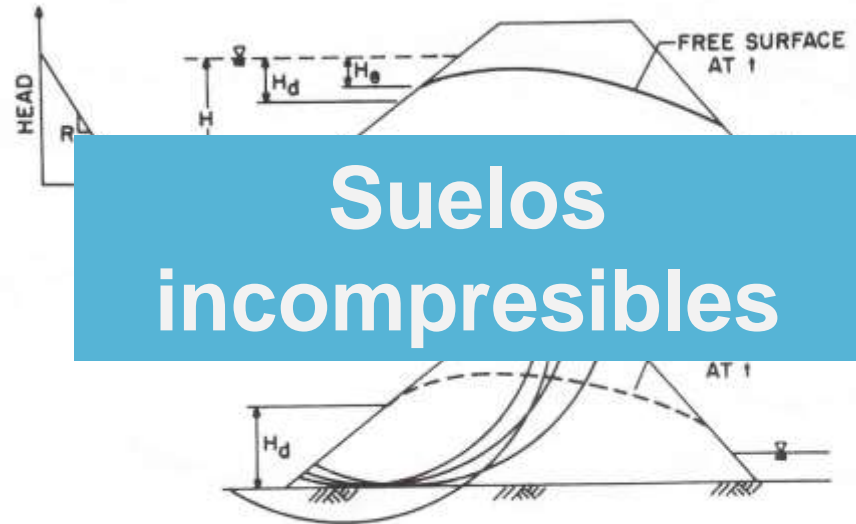
(b) STEP 2: COMPUTATION OF FS AT TIME t

Métodos de flujo

Reinius (1954) y Cedergren (1967), Brahma and Harr (1962), Stephenson (1978), Desai (1977), Cividini y Gioda (1984), Neumann (1973), Hromadka and Guymon (1980) y Pauls *et al.* (1999).

*“..seepage occurs through rigid porous medium, i.e., the soil skeleton is assumed to be **incompressible**, and **no pore pressures occur due to shear deformations**”.*

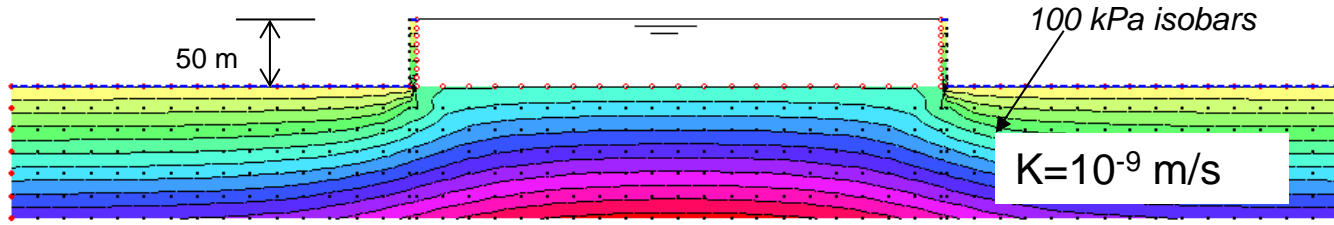
Desai, C. S. (1977)



Suelos incompresibles

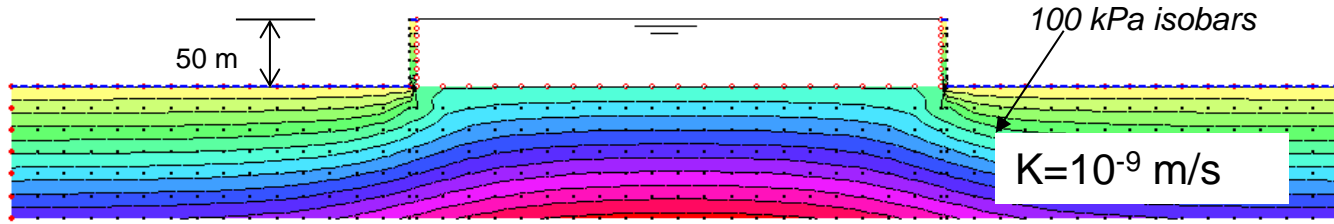
(b) STEP 2: COMPUTATION OF FS AT TIME t

Problema acoplado en medio poroso

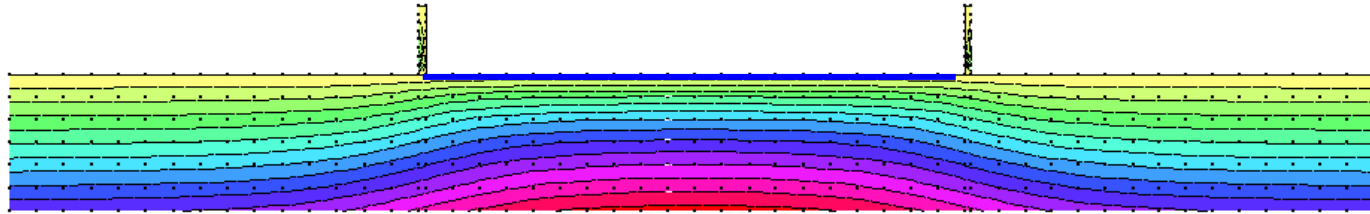


Condiciones iniciales. Depósito lleno. Situación estacionaria.

Problema acoplado en medio poroso

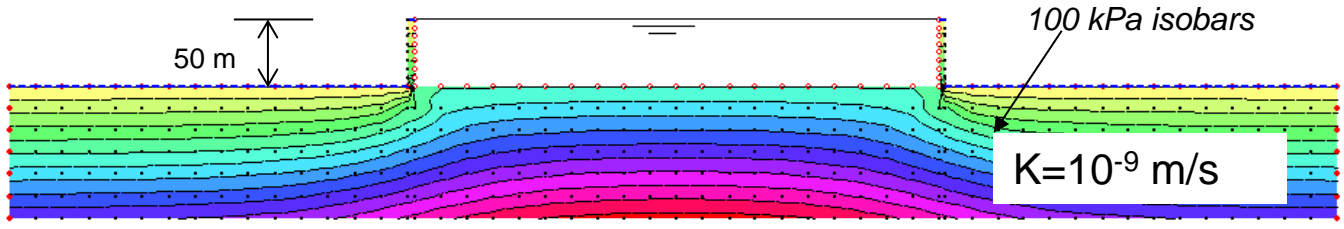


Condiciones iniciales. Depósito lleno. Situación estacionaria.

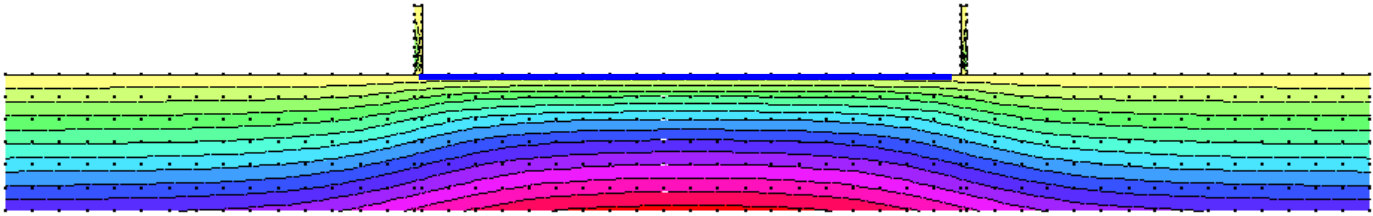


Presión de poros 100 días después del inicio del vaciado

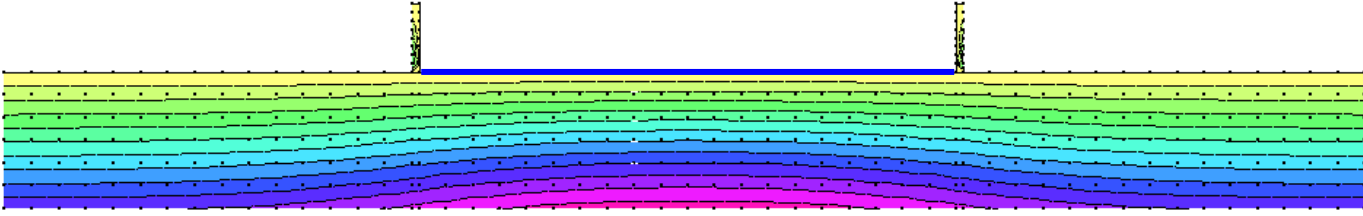
Problema acoplado en medio poroso

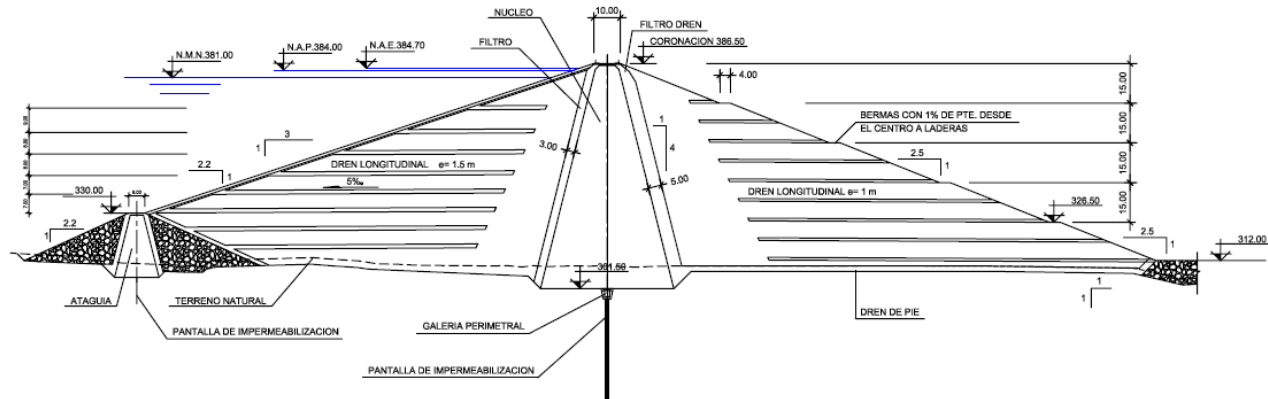


Condiciones iniciales. Depósito lleno. Situación estacionaria.



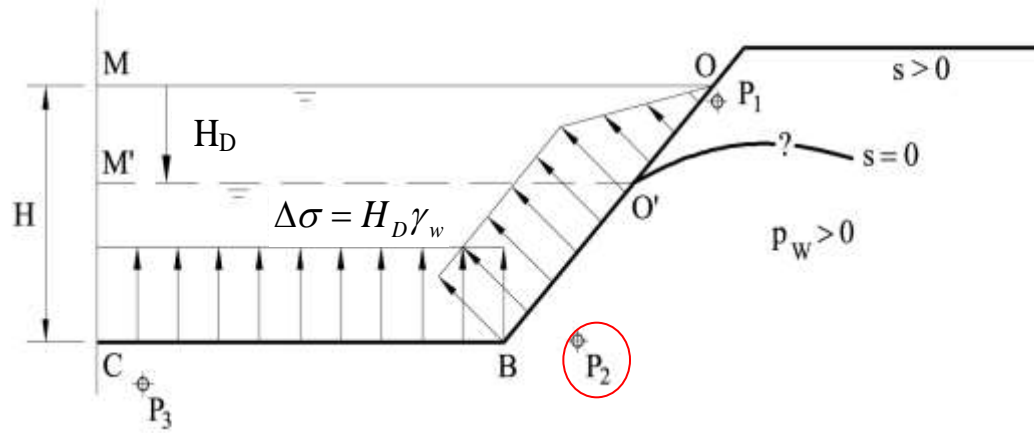
Presión de poros 700 días después del inicio del vaciado



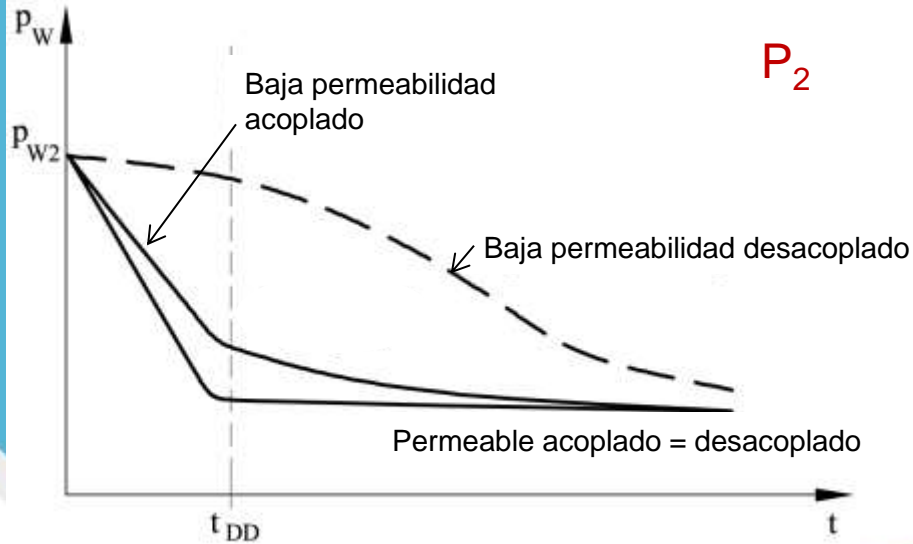


Material para espaldones

Presión de agua bajo la hipótesis de acoplado, desacoplado, permeable e impermeable



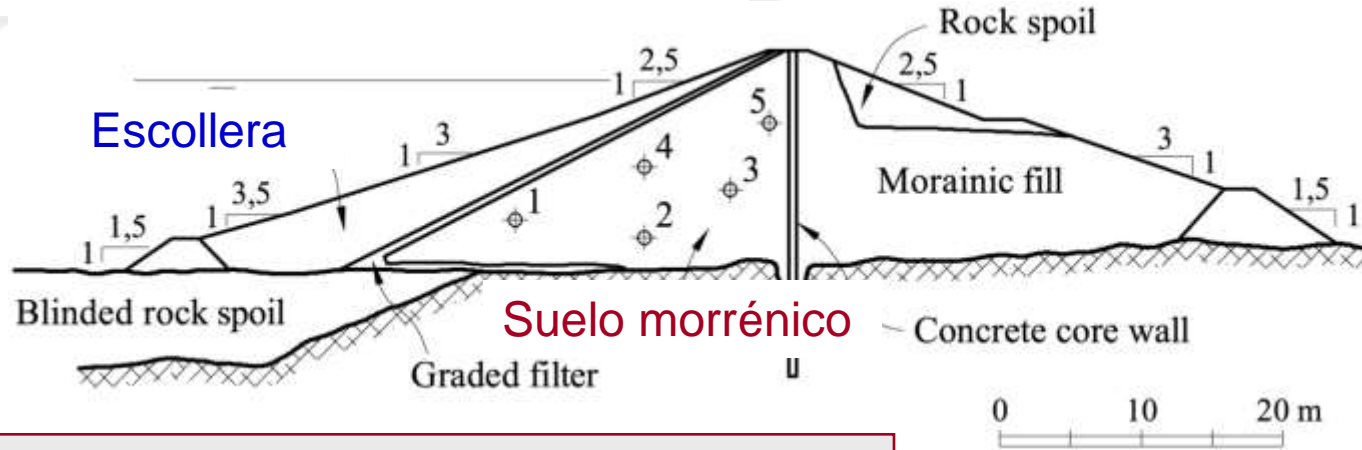
P_2



t_{dd} : Duración del desembalse

RAPID DRAWDOWN OF GLEN SHIRA DAM, SCOTLAND





Suelo morrénico

- Material bien graduado. Tamaño máximo: 15 cm
- No plástico
- $\phi' = 35^\circ$
- Compactado del lado húmedo. $w_{\text{average}} = 15\%$
- γ_d average: 19.8 kN/m³
- $k_{\text{sat}} = 1.6 \times 10^{-8}$ m/s

Escollera

- $n = 0.4$
- $\phi' = 45^\circ$
- $\gamma_d = 16.7$ kN/m³

Velocidad
media:
7.2 m/día



Hydraulic properties for the analysis of Shira dam

Symbol	Units	Type of soil	
		Moraine	Rockfill
I. PERMEABILITY			
k_{sat}	m/s	$1.6 \cdot 10^{-8}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$
k_{rel}	-	$(S_w)^3$	$(S_w)^3$
II. WATER RETENTION			
p_0	MPa	0.05	0.01
λ	-	0.2	0.4

Initial state: $s_0 = 0.01$ MPa and $p_0^* = 0.01$ MPa

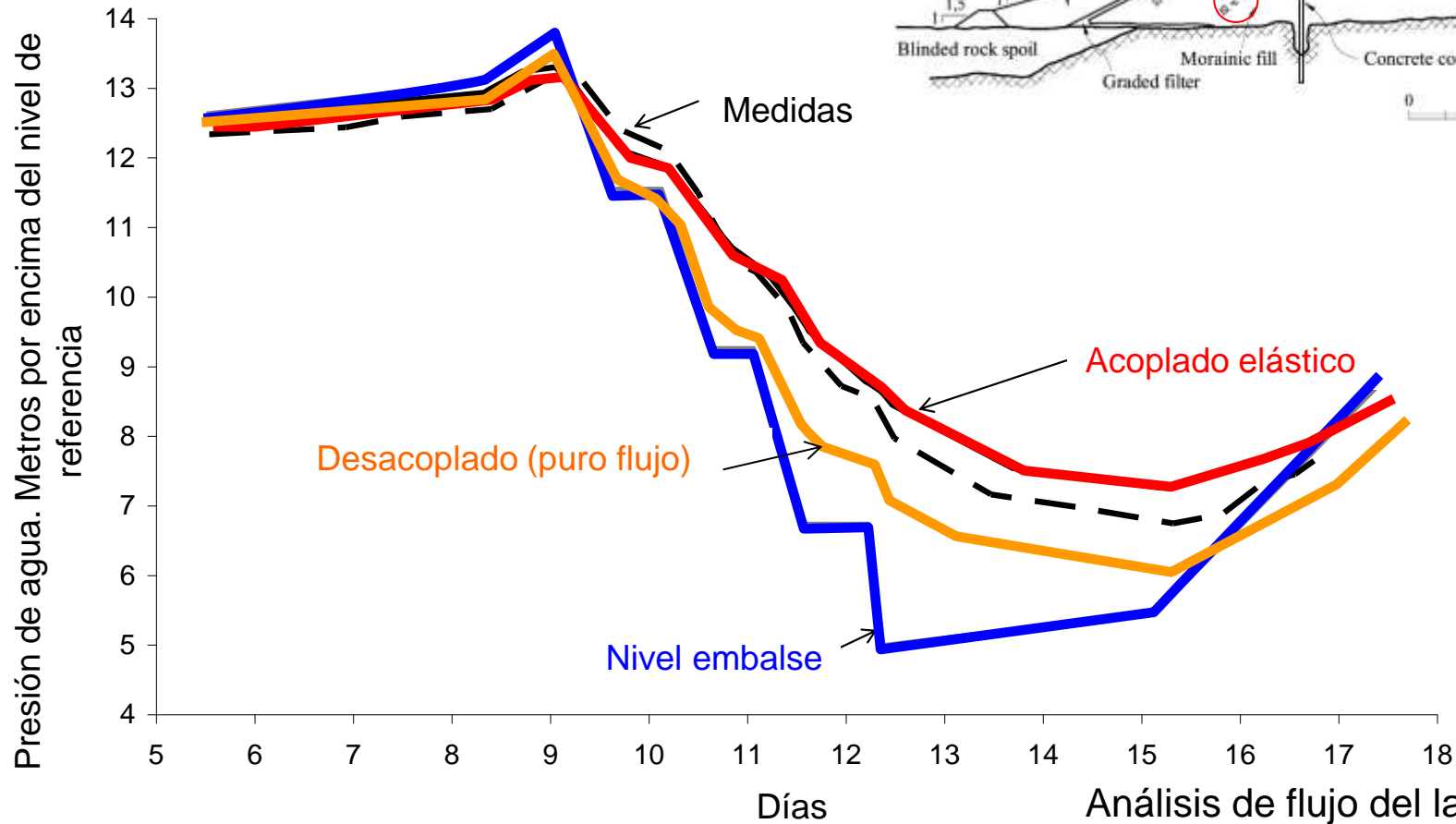
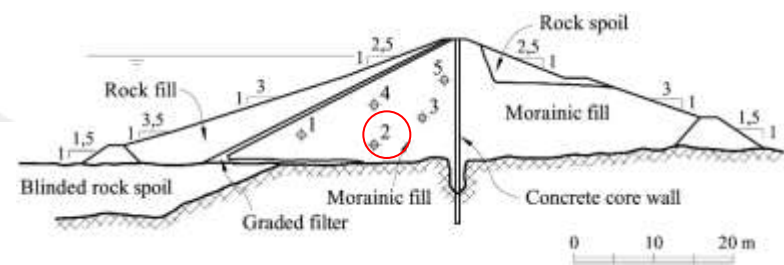
Mechanical properties for the analysis of Shira dam

Symbol	Units	Type of soil	
		Moraine	Rockfill
I. ELASTIC BEHAVIOUR			
E	MPa	100	100
ν	-	0.3	0.3
II. PLASTIC BEHAVIOUR			
$\lambda(0) - \kappa$	-	0.02	0.02
r	-	0.8	0.8
β	MPa ⁻¹	6.5	6.5
p^c	MPa	0.01	0.01
M	-	1.4 (35°)	1.85 (45°)
k_s	-	0	0
α	-	1	1
III. INITIAL STATE FOR DAM MODEL			
p_o^*	MPa	0.01	0.01
s_0	MPa	0.01	0.01

Análisis de desembalse en la presa Shira

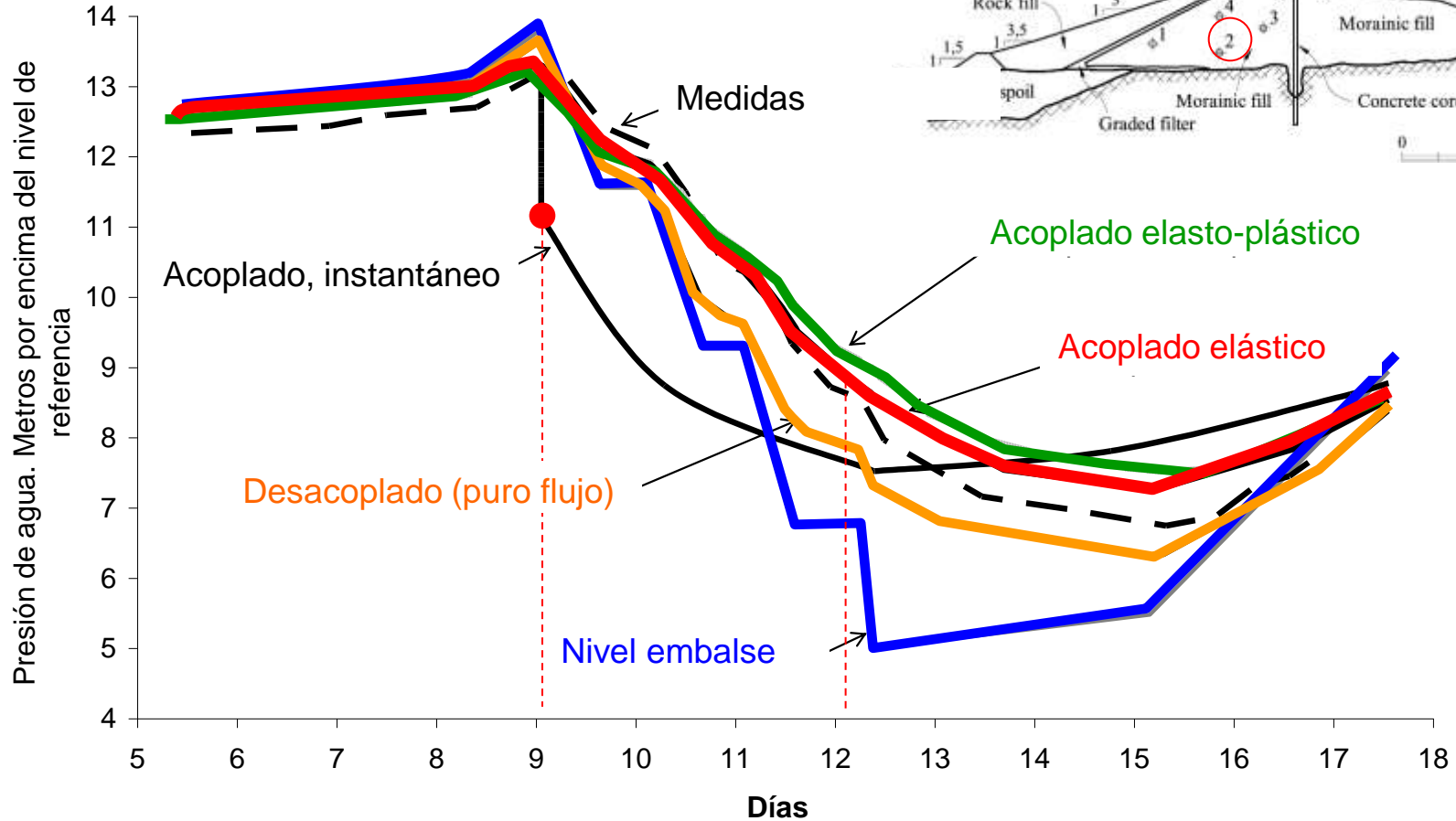
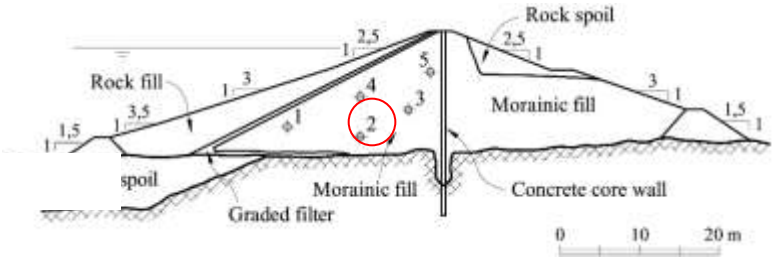
1. Análisis de **puro flujo** en medio saturado/no saturado
2. Análisis **acoplado** en medio saturado/no saturado de **desembalse total instantáneo**. Materiales elásticos.
3. Análisis **acoplado** en medio saturado/no saturado. **Desembalse real**. Materiales **elásticos**.
4. Análisis **acoplado** en medio saturado/no saturado. **Desembalse real**. Materiales **elastoplásticos** (BBM)

Presión de poros. Piezómetro 2

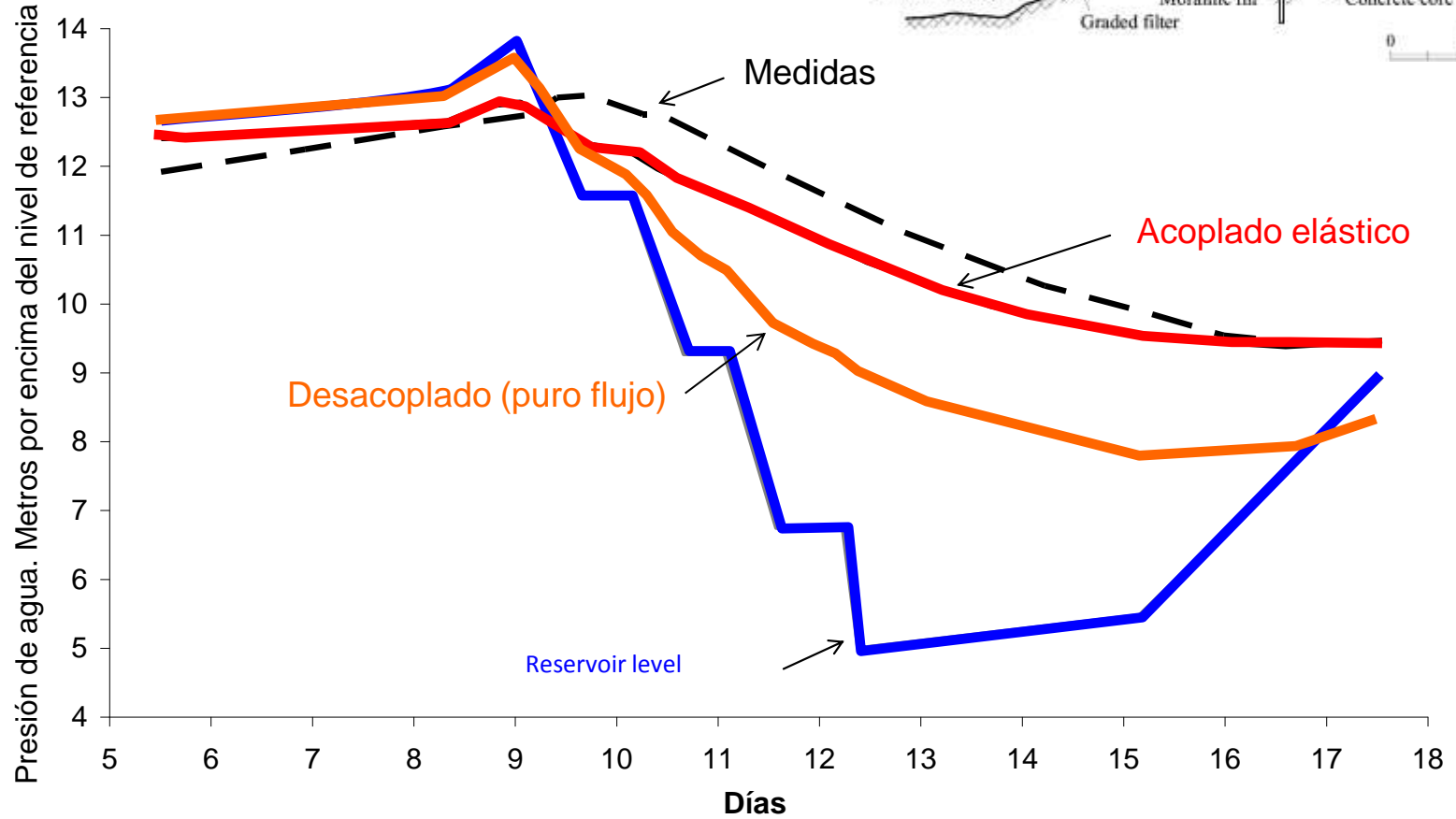
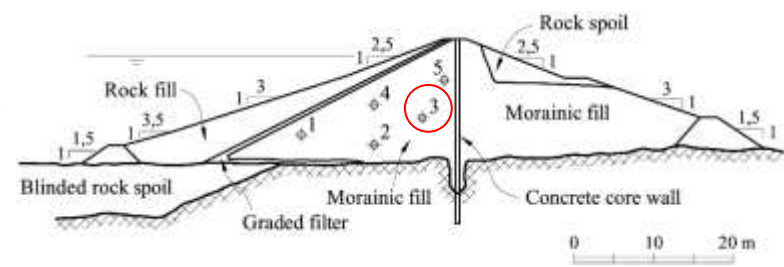


Análisis de flujo del lado de la inseguridad

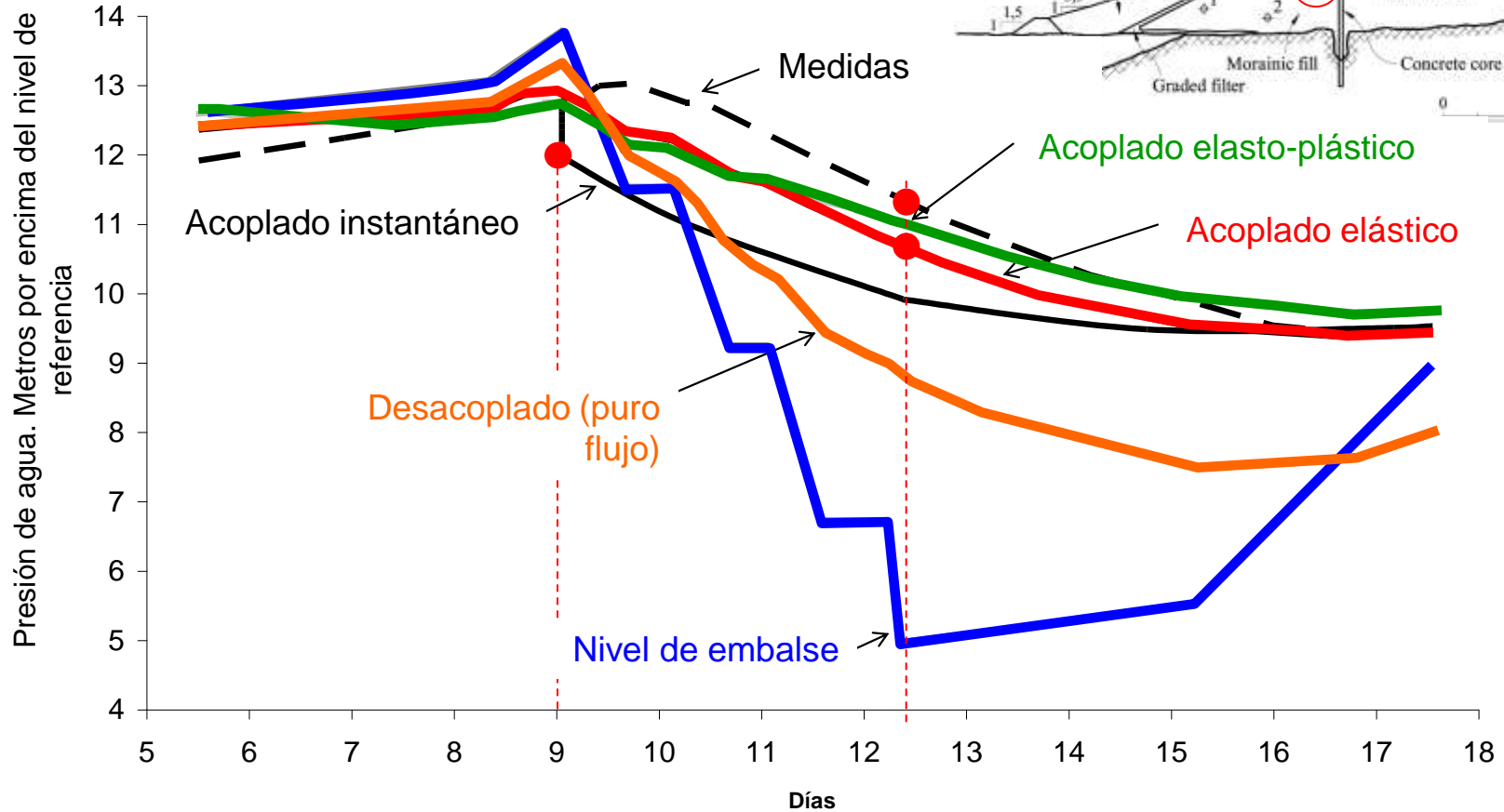
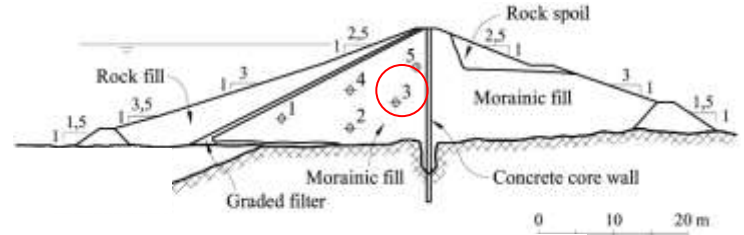
Presión de poros. Piezómetro 2



Presión de poros. Piezómetro 3



Presión de poros. Piezómetro 3



CONCLUSIONES

- La presión de agua después de un desembalse rápido depende de:
 - la permeabilidad (saturada y no saturada).
 - la capacidad de retener agua
 - el comportamiento mecánico (tensión-deformación).
 - la velocidad de desembalse
 - las condiciones de contorno geométricas
- La adecuada consideración de estos aspectos es posible si se introduce el comportamiento hidro-mecánico acoplado en condiciones saturadas y no saturadas.
- Los procedimientos simplificados pueden ser adecuados en casos extremos.
- Es difícil estimar a priori si estos procedimientos simplificados ofrecen una solución próxima a la real y si están o no del lado de la seguridad.



JORNADA SOBRE MODELACIÓN NUMÉRICA EN INGENIERÍA DE PRESAS

MUCHAS GRACIAS

Núria M. Pinyol

nuria.pinyol@upc.edu

