



JORNADA SOBRE MODELACIÓN NUMÉRICA EN INGENIERÍA DE PRESAS

# MODELIZACIÓN DE PRESAS AFECTADAS POR REACCIONES EXPANSIVAS

Javier Rodríguez (PRINCIPIA)

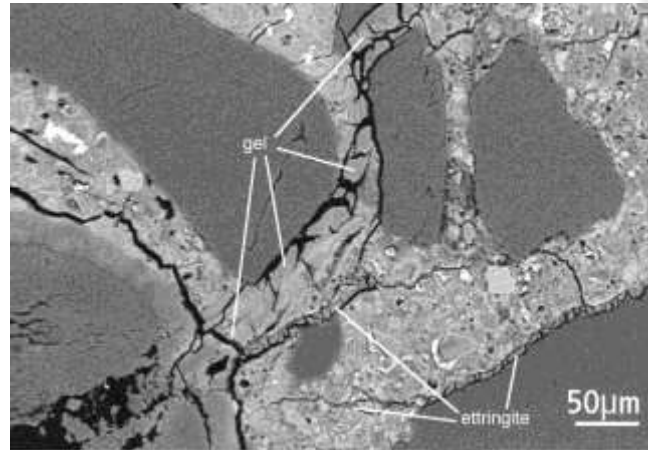
## ÍNDICE

1. Introducción
2. Modelos de material
3. Modelos estructurales
4. Calibración y validación
5. Conclusiones



# 1. INTRODUCCIÓN

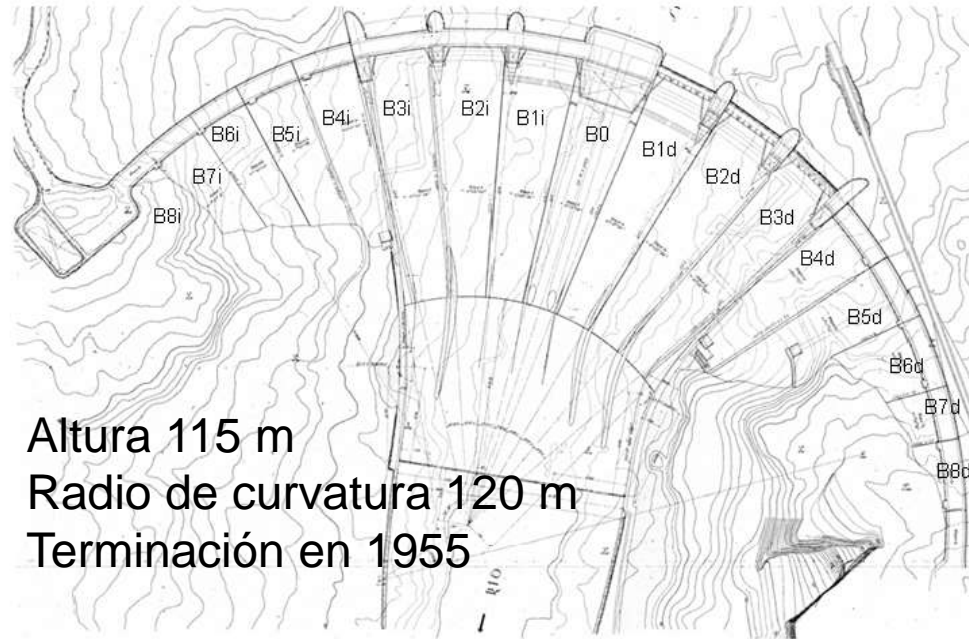
- Hay reacciones que pueden dar lugar a expansión del hormigón, destacándose la de tipo álcali-sílice.
- El proceso es muy lento y habitualmente involucra varias reacciones en serie.



- Efectos de la expansión:

- Deterioro del material
- Generación y redistribución de tensiones debido a las condiciones de compatibilidad, afectadas por:
  - Condiciones de contorno
  - Expansión no homogénea

- Presa arco-gravedad de San Esteban sobre el río Sil en Orense

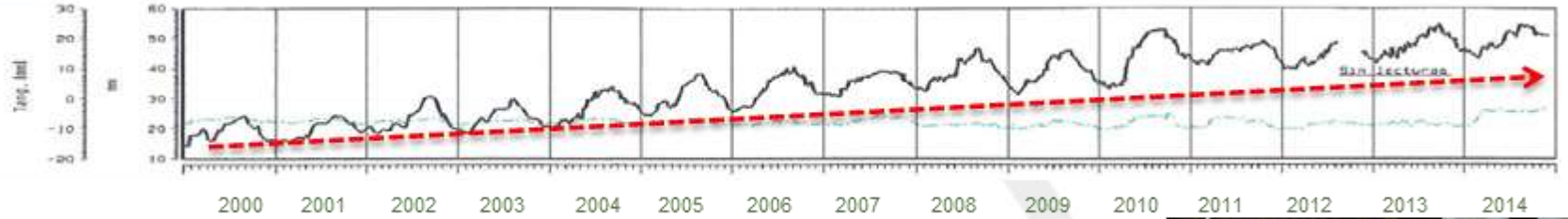


Altura 115 m  
Radio de curvatura 120 m  
Terminación en 1955

Modelo (temporal)

(\*) A. Arriba  
(r) M. Izaut

COTA 231.0



Fisuración



Movimientos irreversibles

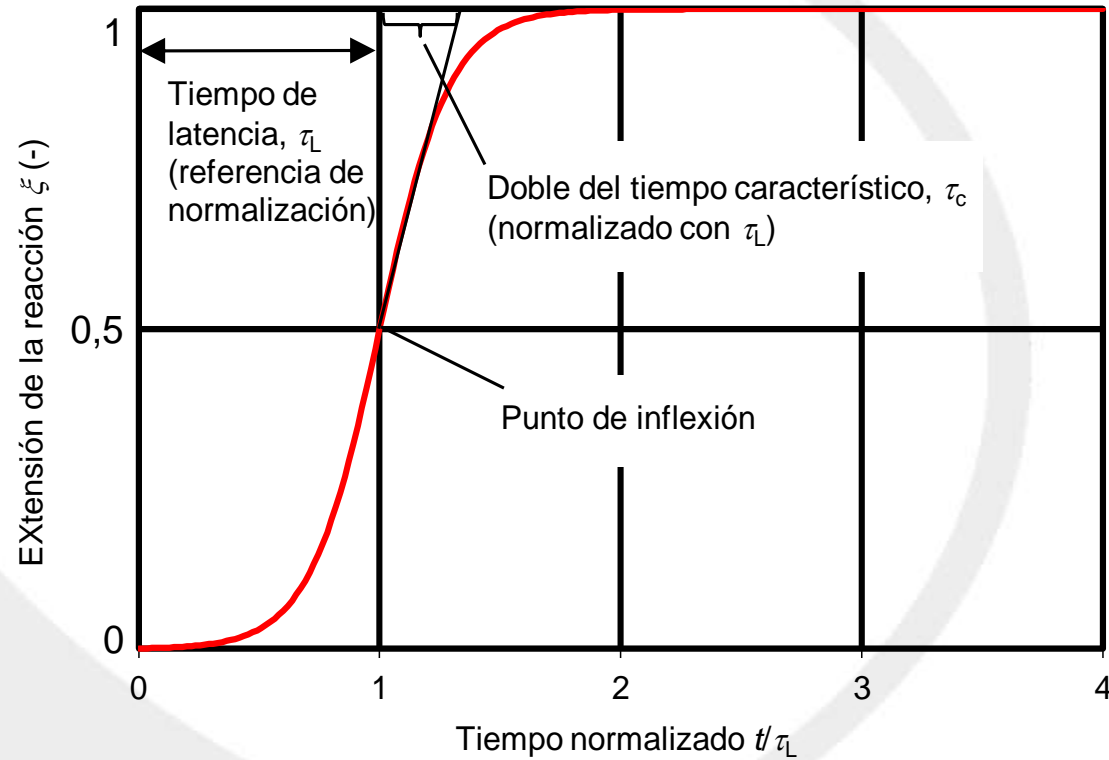


Rotura guía ascensor  
(solucionado)

## 2. MODELOS DE MATERIAL

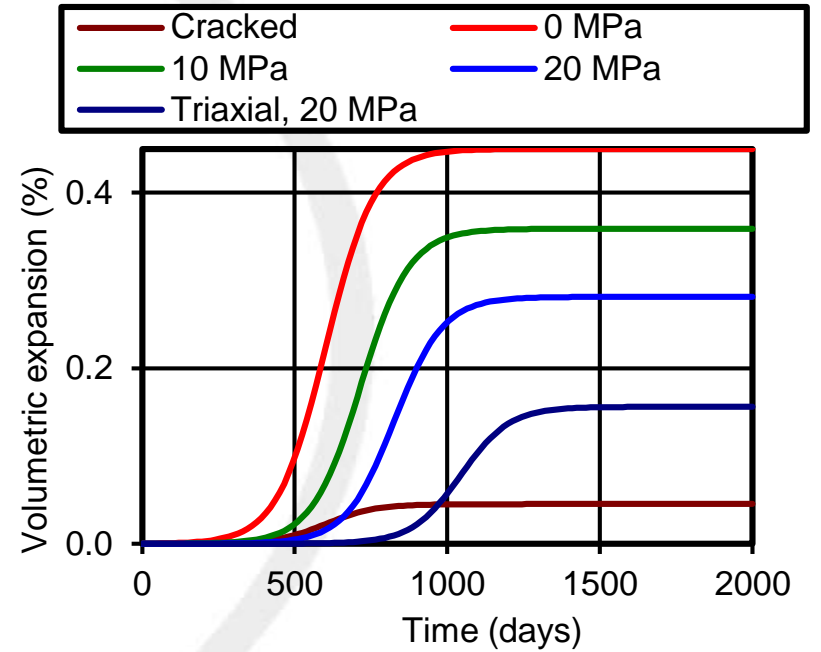
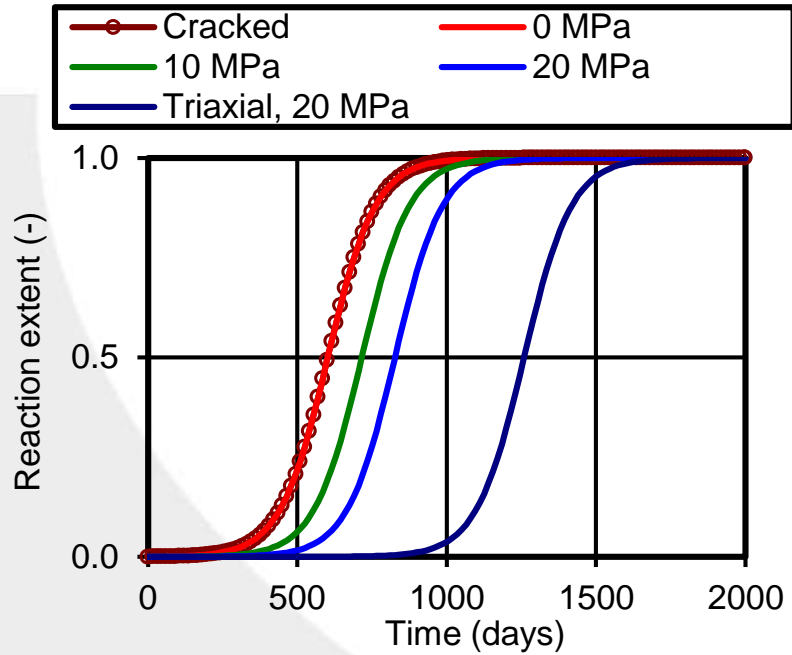
- Los modelos constitutivos macroscópicos son generalmente más adecuados a nivel estructural que los que incorporan los constituyentes del hormigón y la microestructura.
- Los modelos más básicos de expansión establecen una equivalencia entre la expansión química y las dilataciones.
- A su vez, la cinética química depende de la temperatura y de la humedad (esta habitualmente con menor variación en el tiempo que la anterior)
- En ocasiones puede ser conveniente asumir una tasa de expansión constante en tiempo indefinido.

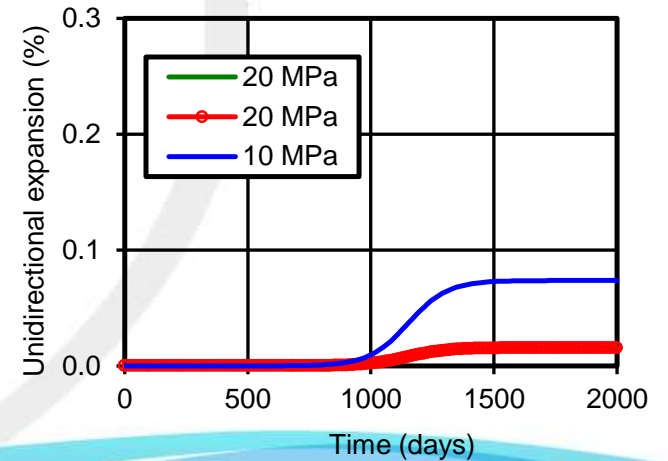
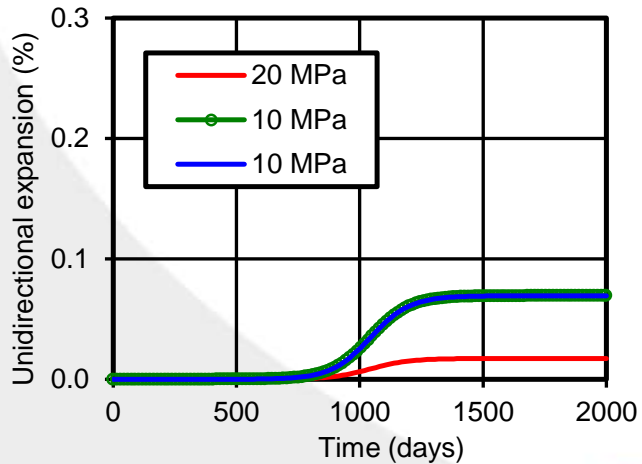
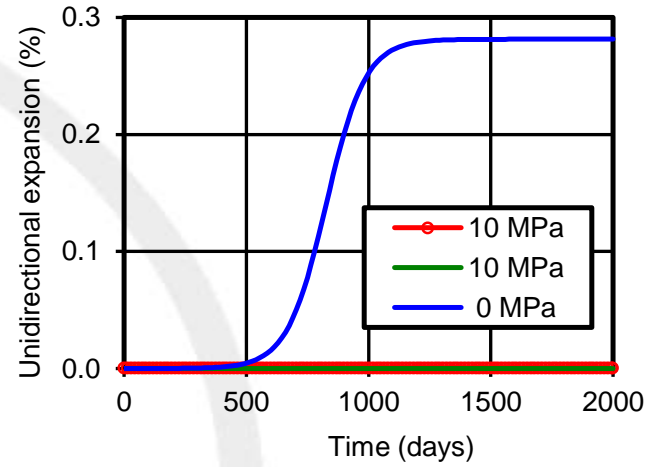
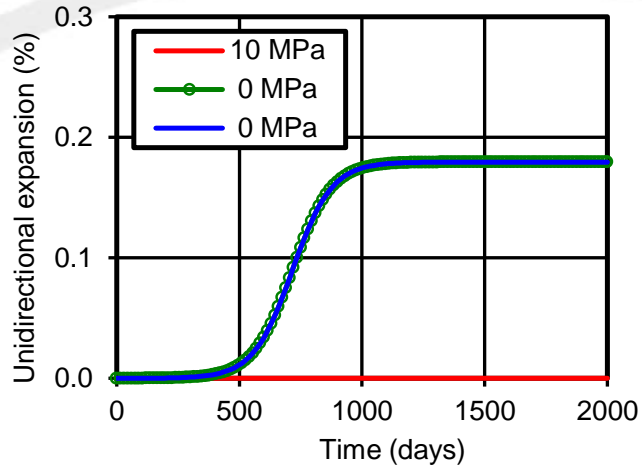
- Modelo de Ulm (2000)





- Varios autores han propuesto mejoras para tener en cuenta el estado tensional y de fisuración en la evolución de la reacción.
- Entre ellos destaca el modelo de Saouma y Perotti (2006):
  - Dependencia de la temperatura según Ulm
  - La dilatación en una dirección del espacio está afectada por las otras
  - Altas compresiones o tracciones reducen la expansión
  - Las direcciones preferenciales de expansión son las menos comprimidas
- La fluencia está controlada por mecanismos distintos.

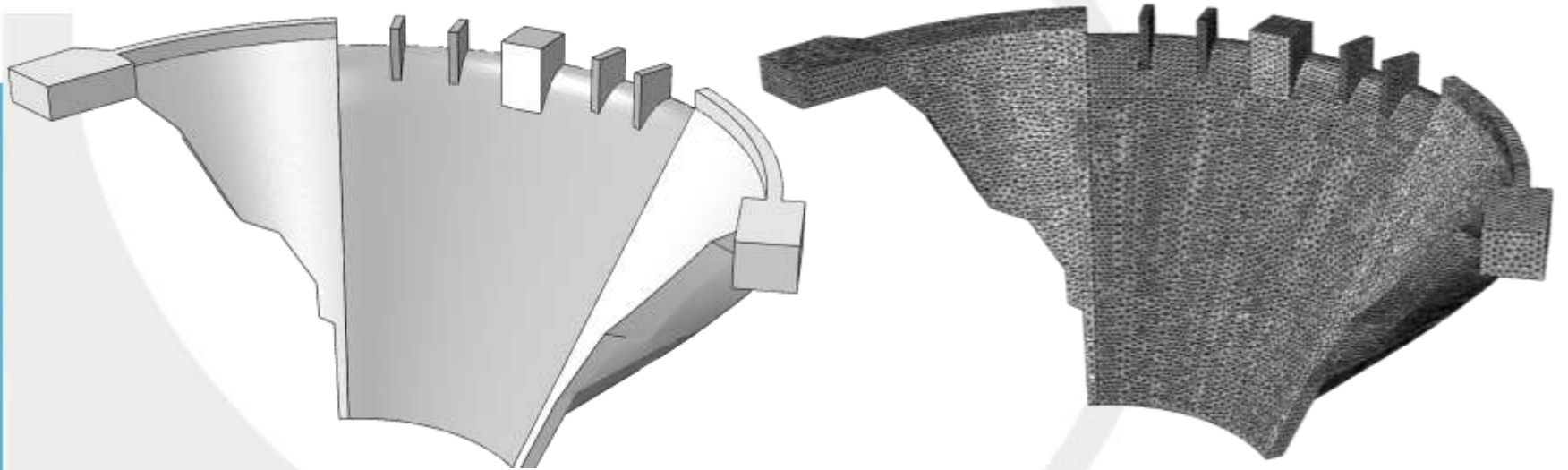


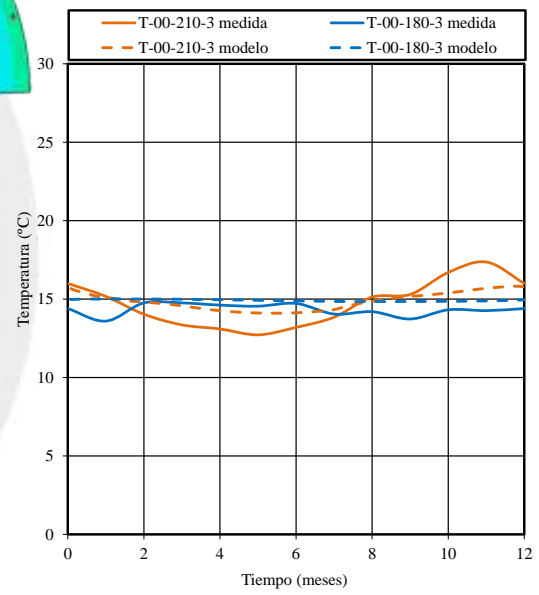
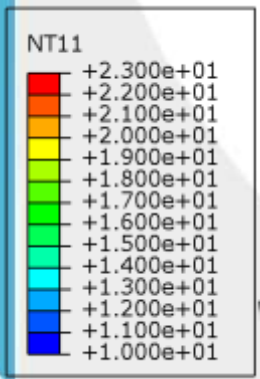
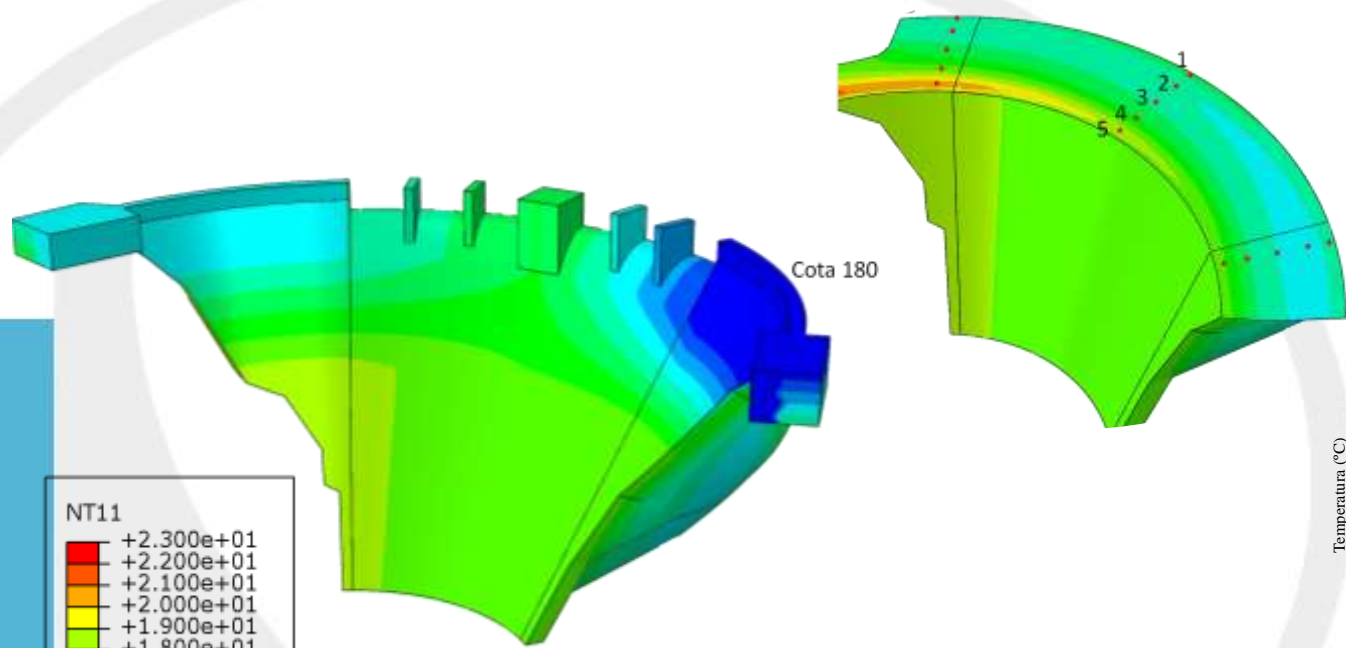


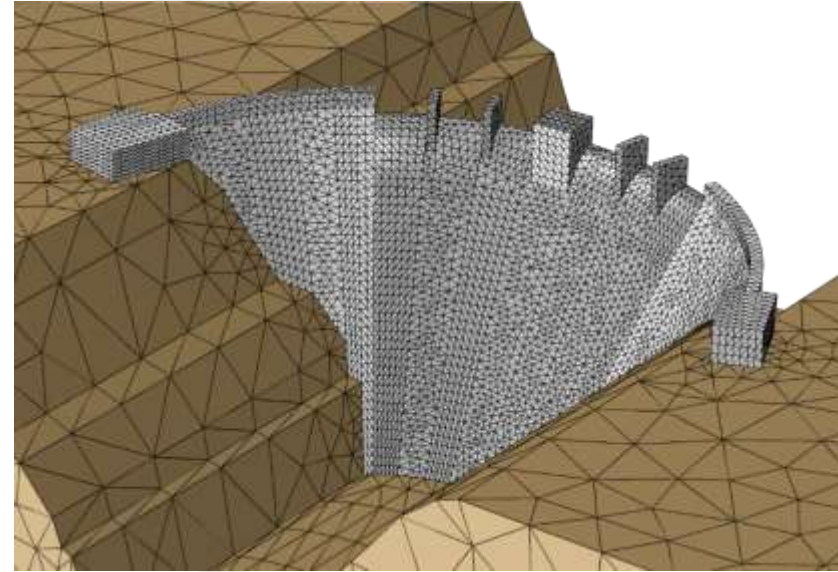
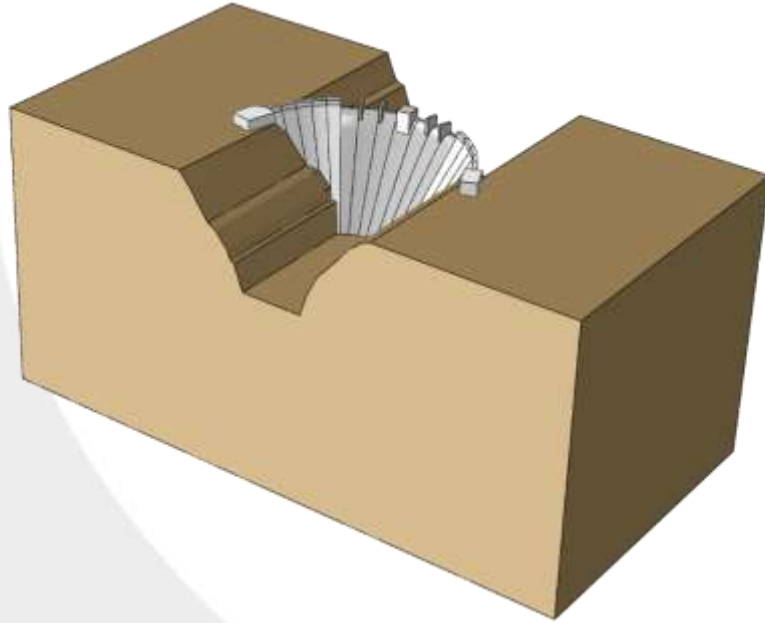
### 3. MODELOS ESTRUCTURALES

- Los distintos fenómenos físicos acoplados (térmico, químico y mecánico) pueden resolverse numéricamente por el método de los elementos finitos.
- Una aproximación conveniente es:
  - Obtener un año térmico promedio resolviendo la ecuación del calor hasta obtener una solución periódica.
  - Realizar un análisis mecánico sometido a la expansión química (acoplado con el propio campo mecánico) y a las dilataciones térmicas, obteniéndose la evolución del estado de la presa incluyendo la deformación del terreno, la fisuración y el contacto cohesivo-friccional.

- Modelo térmico



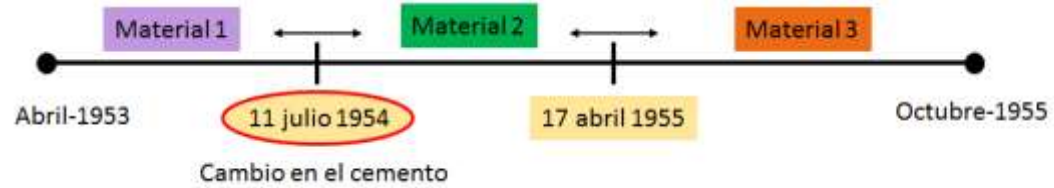
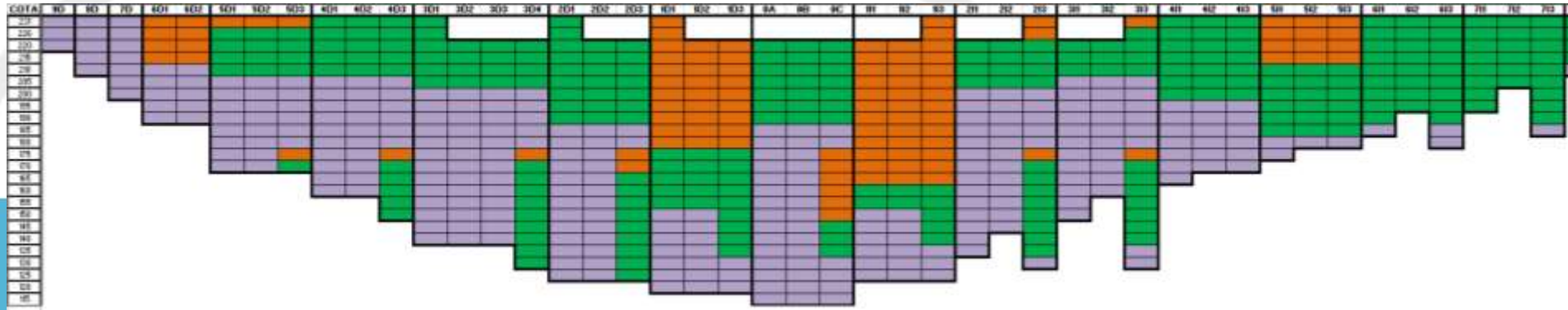


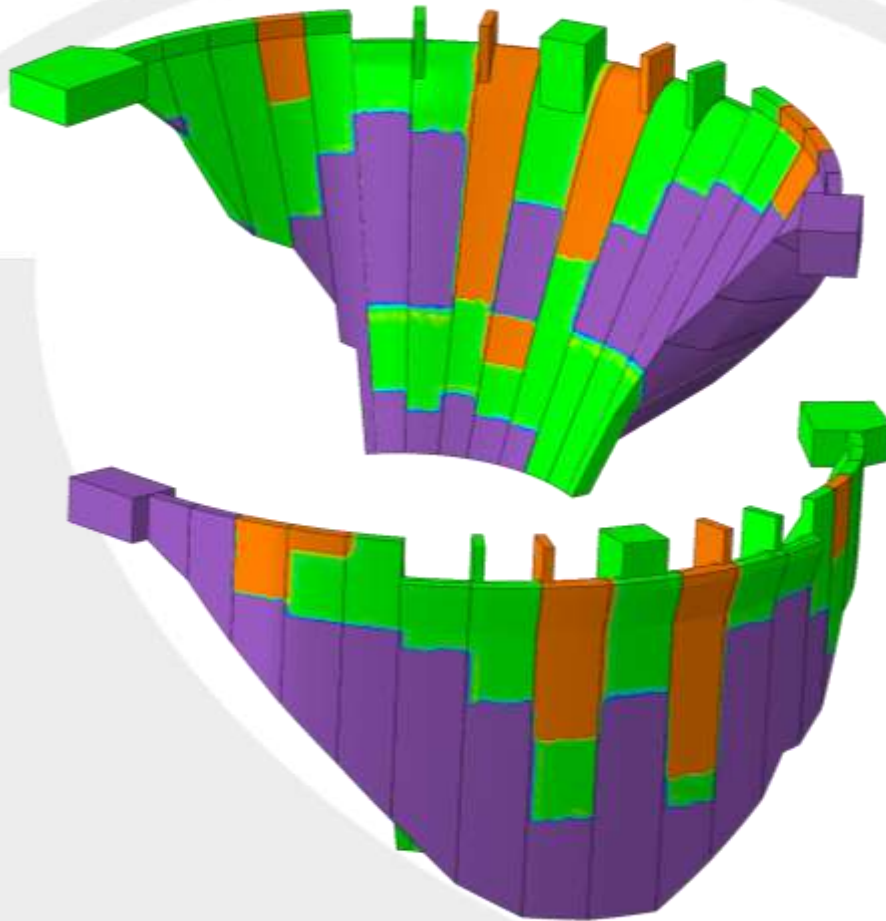


## 4. CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN

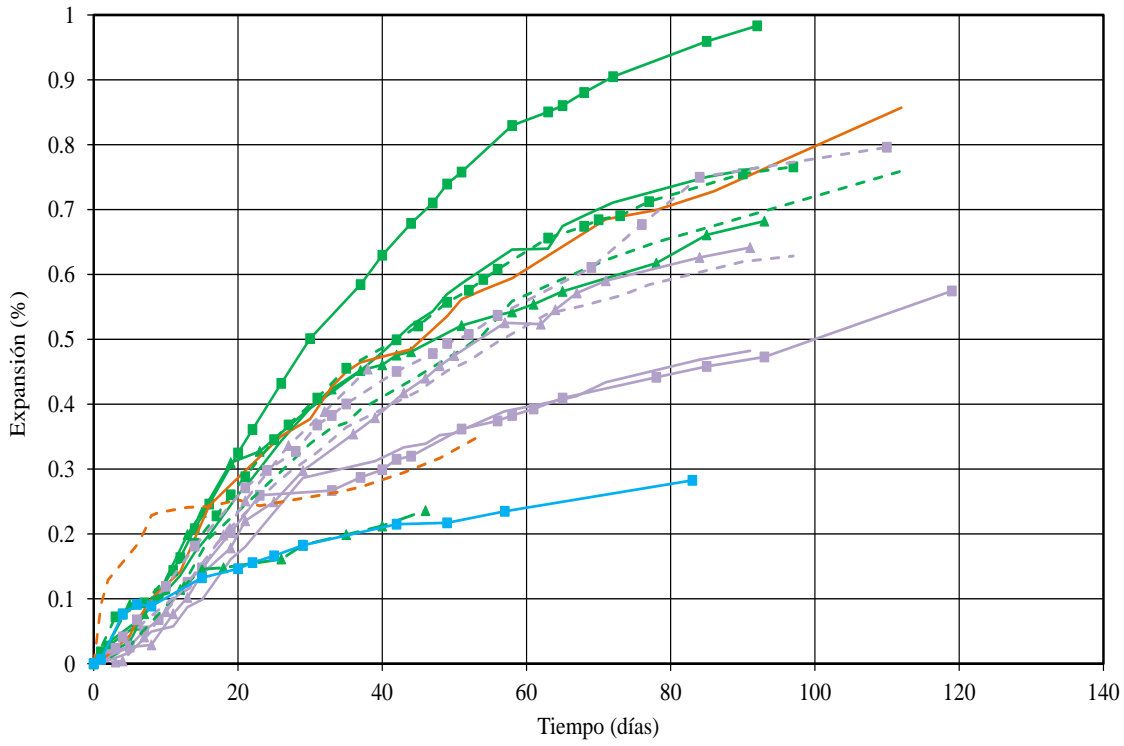
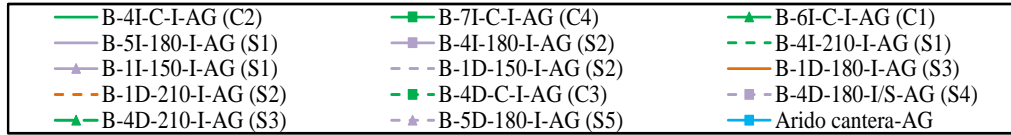
- La calibración de parámetros del modelo se basa principalmente en resultados de ensayos de laboratorio y datos de auscultación.
- La revisión de la documentación histórica del archivo técnico y los datos de nivelación son especialmente interesantes.
- Entre los ensayos destacan los de expansión residual de distintas fracciones de áridos extraídos para estimar la fracción de reacción que tuvo lugar antes de la extracción, según la metodología desarrollada junto con el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja en el proyecto Prexes promovido por Iberdrola.







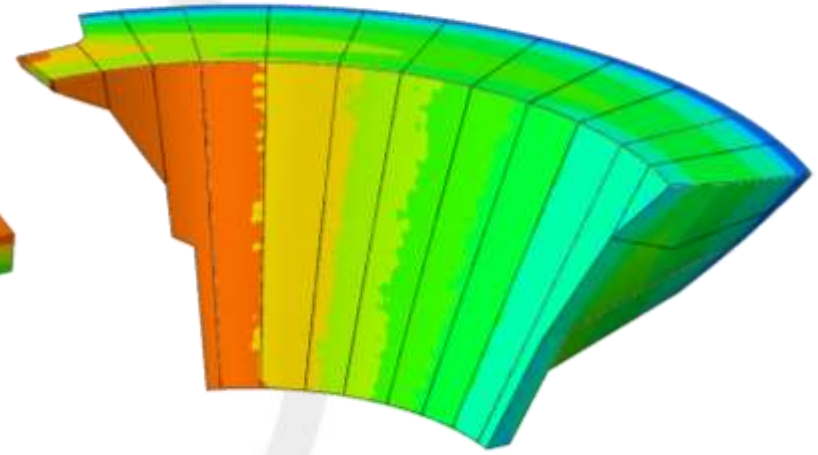
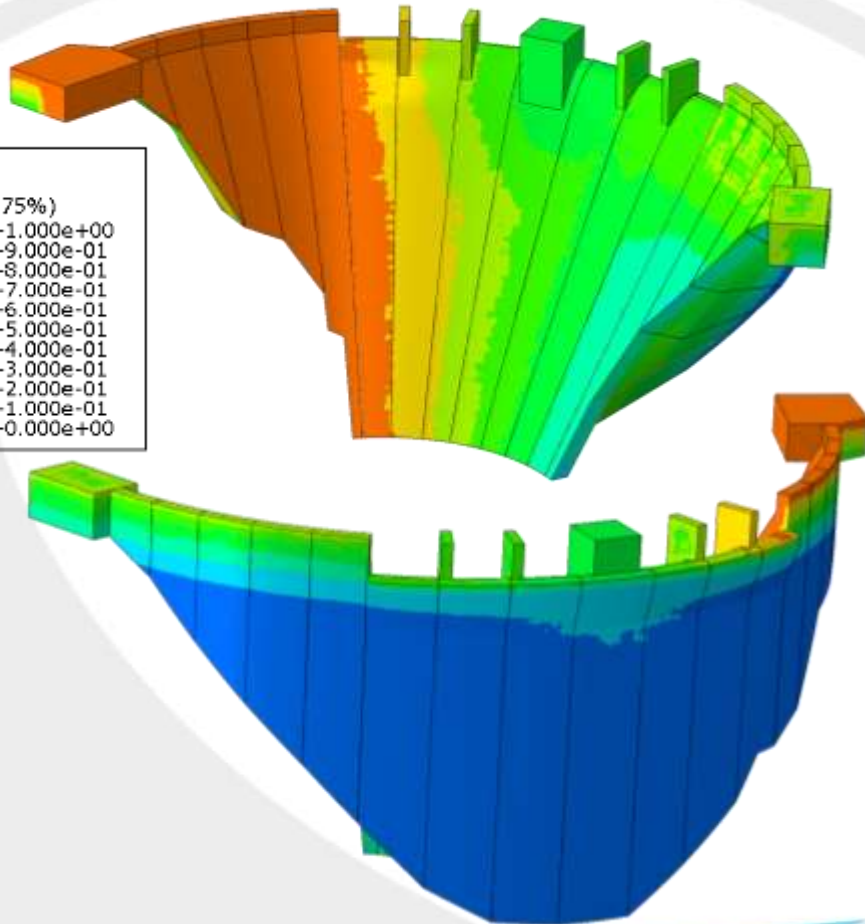
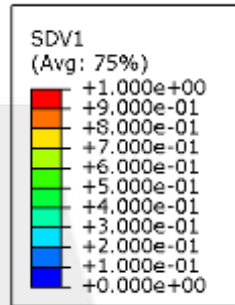
	Expansión vertical (%)
Anterior 11 julio 1954	0,042
11 julio 54 – 17 abril 55	0,340
Posterior a 17 abril 1955	0,189



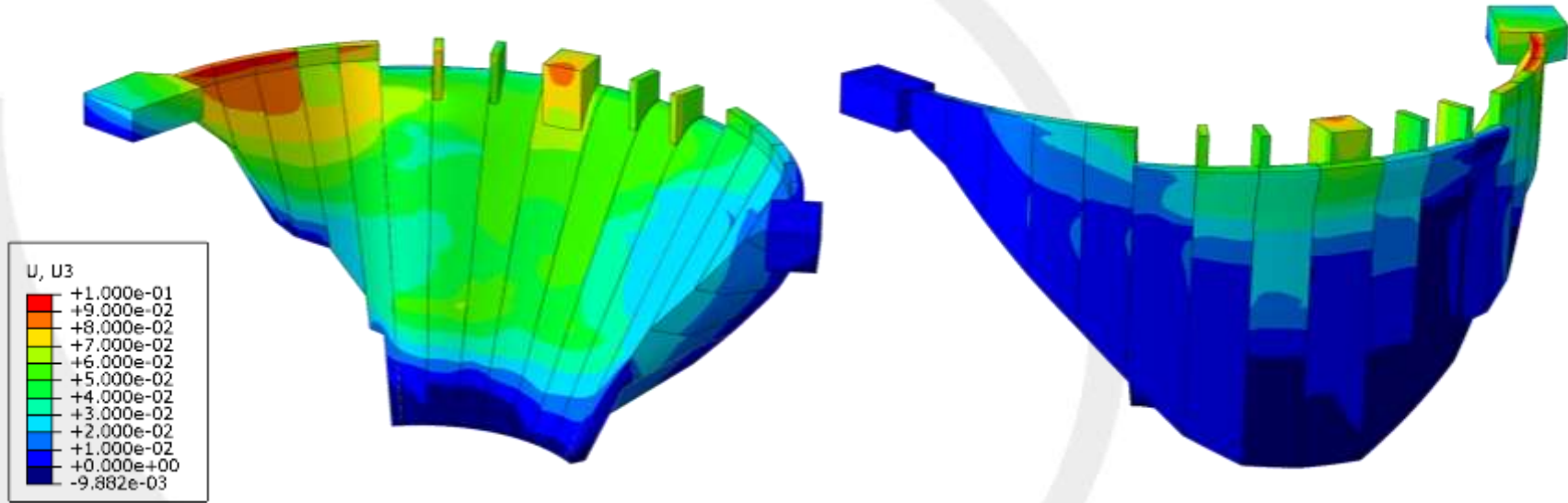
### Fracción de la reacción consumida

$$\xi = 1 - \frac{1}{\lambda}$$

	fracción (-)	Deformación (mm/año.m)
Anterior 11 julio 1954	0,303	0,003
11 julio 54 – 17 abril 55	0,394	0,038
Posterior a 17 abril 1955	0,193	0,015



## Desplazamientos en 2017



## 5. CONCLUSIONES

- Los modelos constitutivos macroscópicos son convenientes para estudiar el comportamiento estructural.
- La calibración es un aspecto crítico, debiéndose basarse tanto en medidas de laboratorio como en el registro de los desplazamientos en la presa
- La fracción de la reacción es una información especialmente valiosa.
- Los modelos más realistas de material tienen en cuenta expansiones anisótropas basadas en el estado tensional