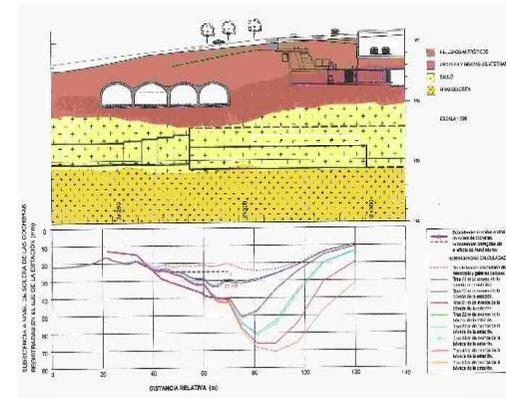
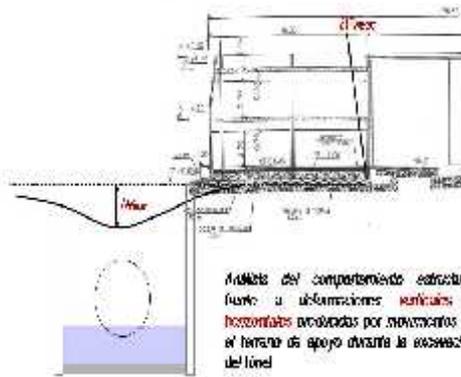
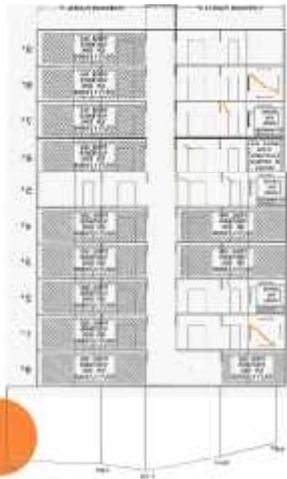




# ESTUDIOS DE SENSIBILIDAD, FRENTE A CUBETAS DE ASIENTO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

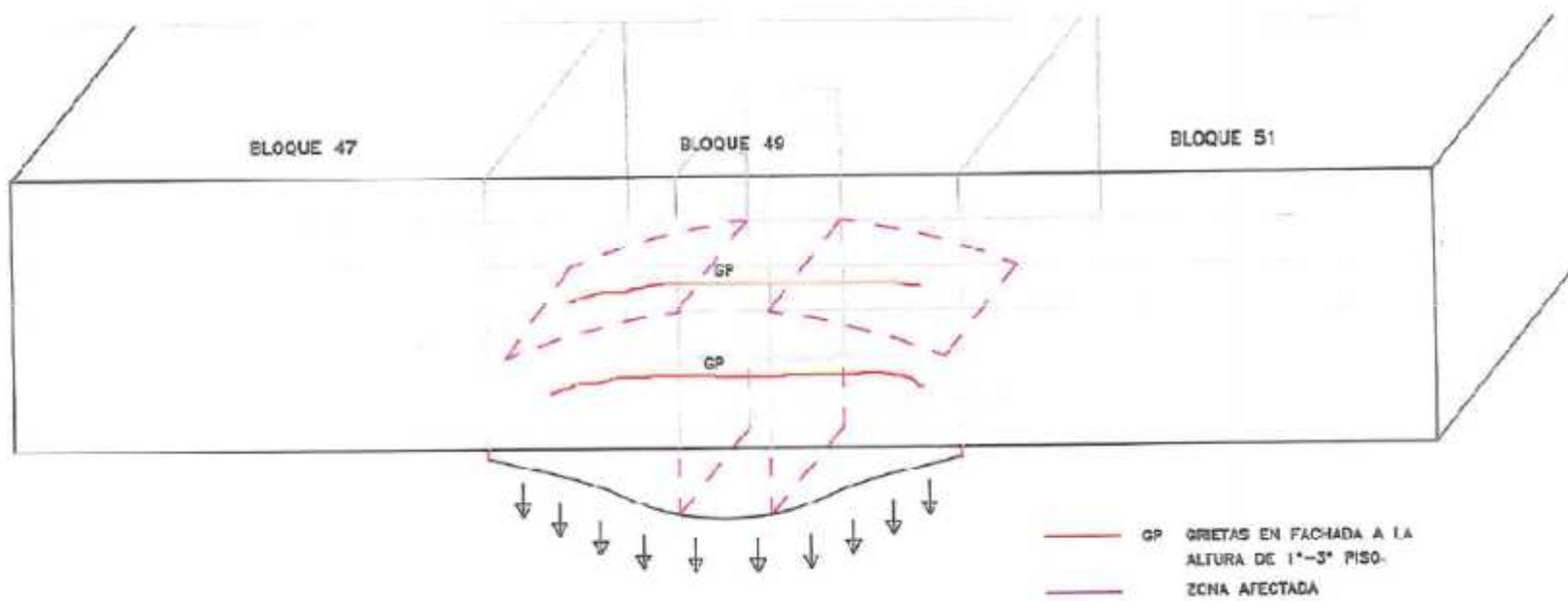


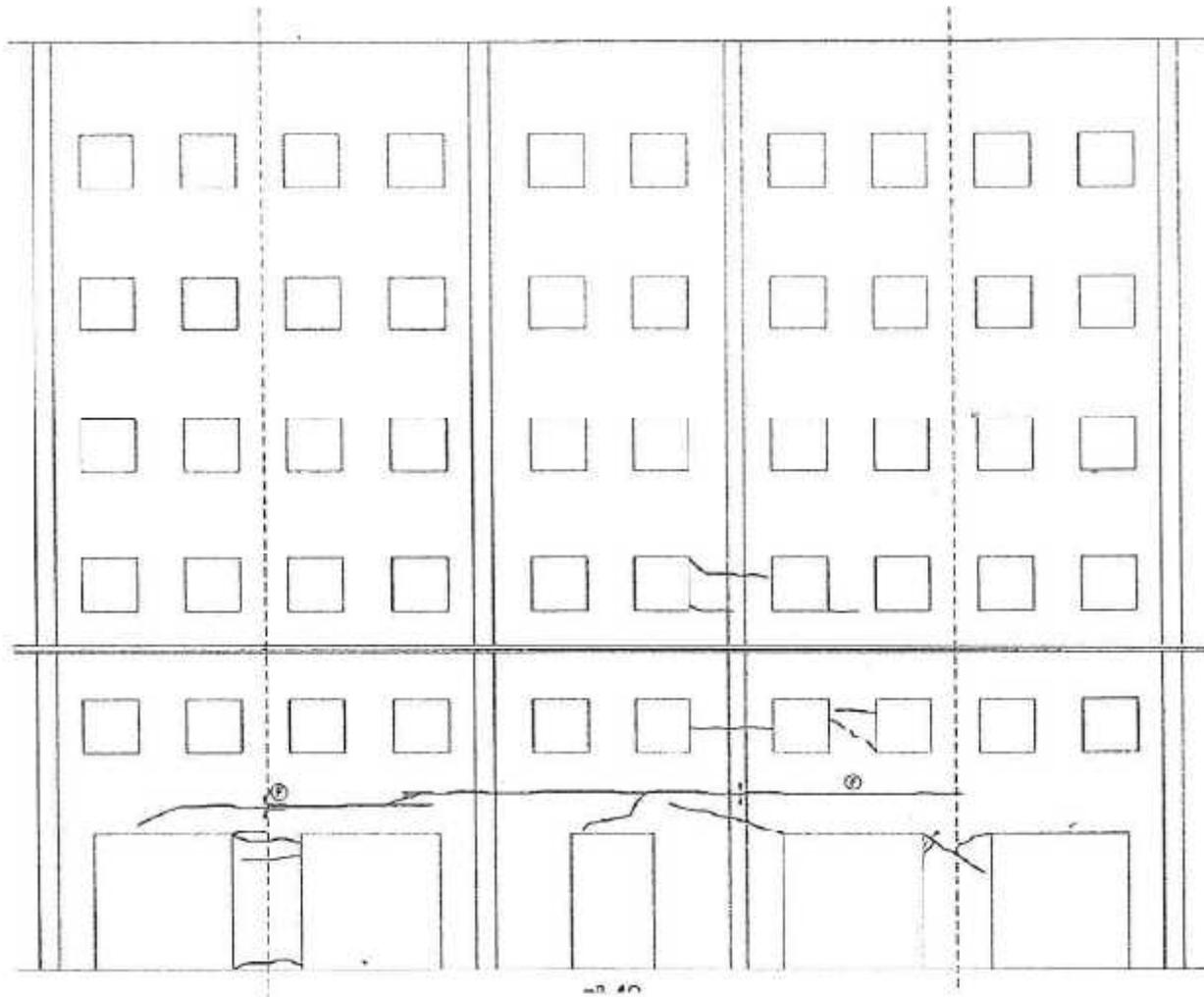
ALEGRE HEITZMANN, Vicente

# DIFICULTADES ASOCIADAS AL EDIFICIO

\*Cada estructura es un prototipo, no hay dos iguales







Arco de descarga producido por la subsidencia.









Vista frontal de la pared de fachada en el vestíbulo con lesiones apreciables en fecha 5 de enero de 2005.

La misma zona de la fotografía anterior pero dos días después en la que también se detecta claramente el incremento de grosor de las grietas.



\* “Las estructuras reaccionan a los cambios y a las intervenciones con el Principio de la mínima energía”



La estructura del árbol se acopla a su ciclo energético.

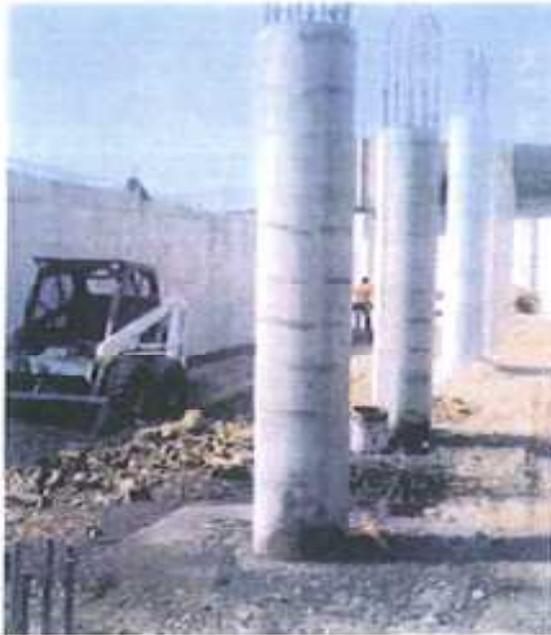


\*Siempre que sea posible se tenderá a la metodología científica, apoyando técnicamente la respuesta y evitando los métodos intuitivos que pueden resultar válidos en los procedimientos de urgencia. Herramienta importante son los **estudios de sensibilidad de las variables a la hipótesis de partida.**

\*Debe haber un equilibrio entre el análisis numérico, la instrumentación y el seguimiento.



- \* La respuesta de una estructura viene muchas veces indicada por los subsistemas ligados a ella.
- \* Hay que saber discriminar los fenómenos patológicos de los que no lo son:



Fisuras horizontales en pilar, consecuencia de un asiento plástico. Sin repercusión estructural





Fisuras verticales en un pilar mal reparado al que se la habían eliminado los estribos, como se aprecia al eliminar el recubrimiento. Clara repercusión estructural



\* En zonas urbanas hay estructuras que comparten medianera, o cimentaciones a profundidades diferentes que arrastran a las vecinas.

\*No es fácil modelizar estructuras existentes antiguas: materiales heterogéneos, uniones con vicios ocultos, o no accesibles para su definición sin catas, incorporar la fisuración existente.

\* Idiosincracia constructiva de la época.

\*La posición respecto de la cubeta es un factor determinante.

\* El tipo de estructura y cimentación de hormigón.



\*Debe tenerse en cuenta la trascendencia de un nuevo error, a la hora de valorar el riesgo de la intervención.



# DIFICULTADES ASOCIADAS AL TERRENO

- Movimientos reales tridimensionales
- Heterogeneidades geométricas
- Variaciones del nivel freático
- Variación en el tiempo
- Profundidad y diámetro del túnel



# HERRAMIENTAS DE TRABAJO

\*El proyecto, los cálculos de asientos y la clasificación de edificios y daños

\* La instrumentación y el seguimiento

\*Estudios de sensibilidad a asientos e identificación de riesgos.

¿ A partir de que asiento tengo daños irreversibles en la estructura?



# ESTRUCTURAS APORTICADAS

\*Los movimientos verticales relativos producen variaciones de esfuerzos en jácenas, forjados y pilares aumentando en el sentido de las cargas exteriores o no.

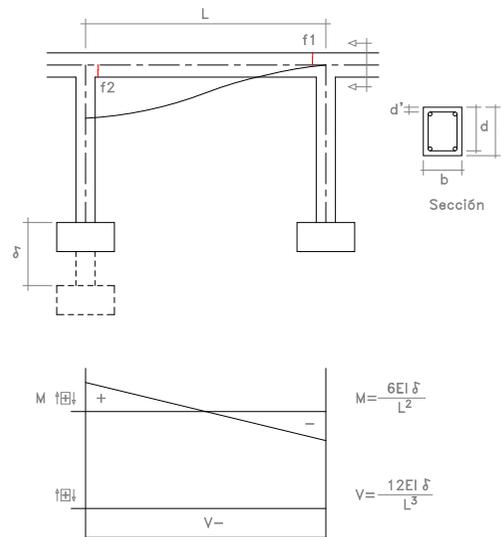


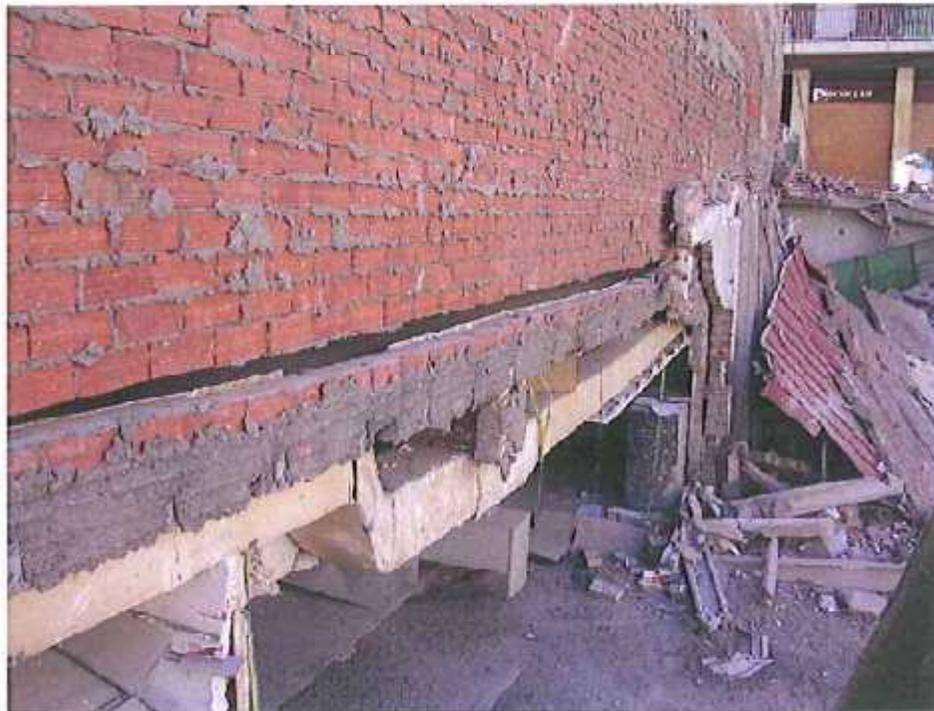
FIGURA 1: ASIENTO EN UN PORTICO



\*Aparecen fisuras, que en si mismas NO reducen la seguridad de la estructura.

La resistencia depende de la  $\sigma_s$  y  $\sigma'_s$  y la  $f_{ck}$ .

\*Al aparecer la fisura se reduce la rigidez de la pieza, y con ello las tensiones provocadas por los movimientos impuestos del terreno que son proporcionales a la rigidez.



Vista del descuelgue del forjado.



# DISTORSIONES EN PÓRTICOS

Criterios:

- Limitar ancho de fisura a 0,4 mm.
- Limitar las tensiones en la armadura principal (limitando la plastificación).
- Limitar el  $\Delta\sigma_c$  para no superar  $\varepsilon_c = - 0,002$ .

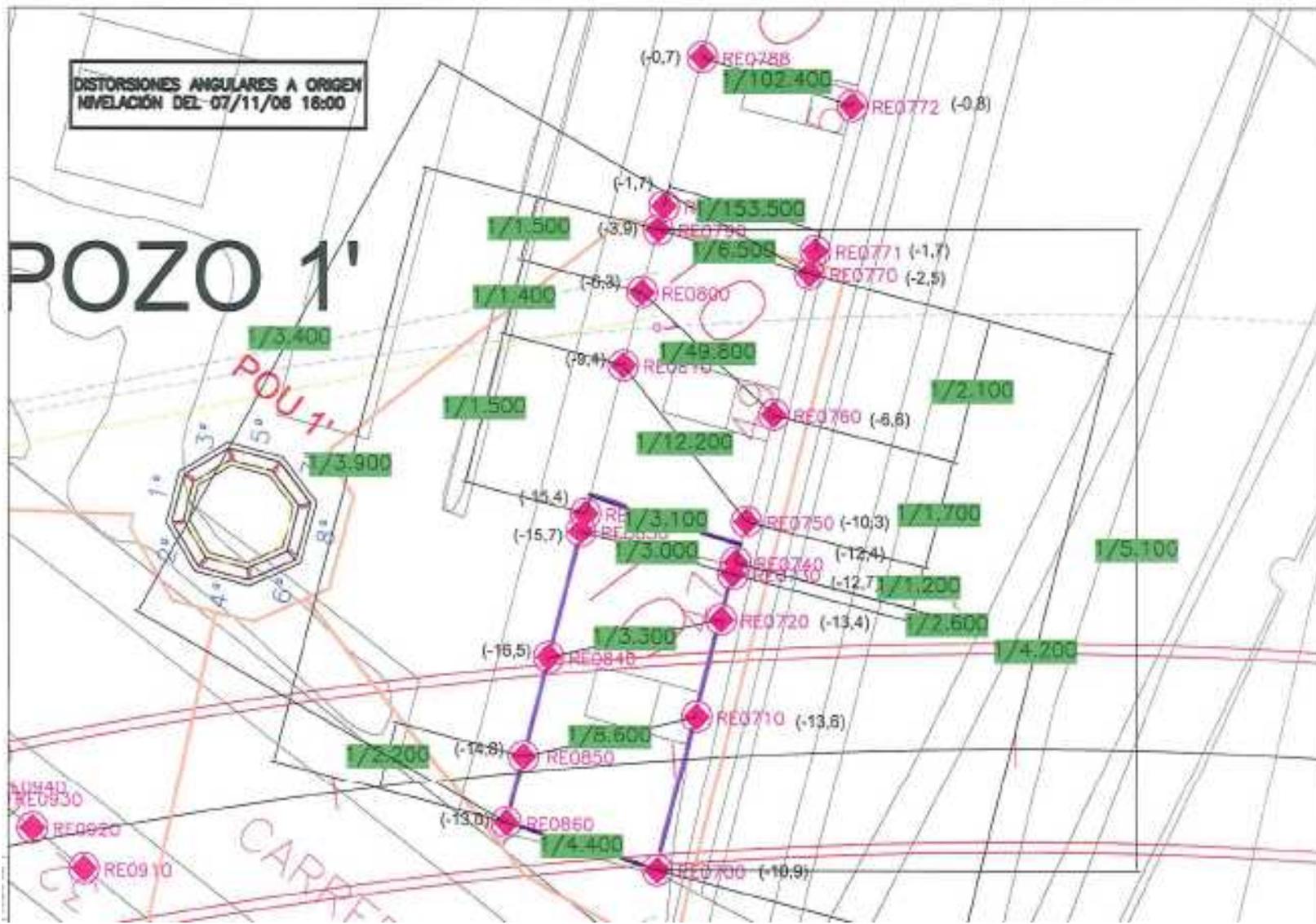
LOS VALORES OBTENIDOS PARA LA DISTORSIÓN MÁXIMA

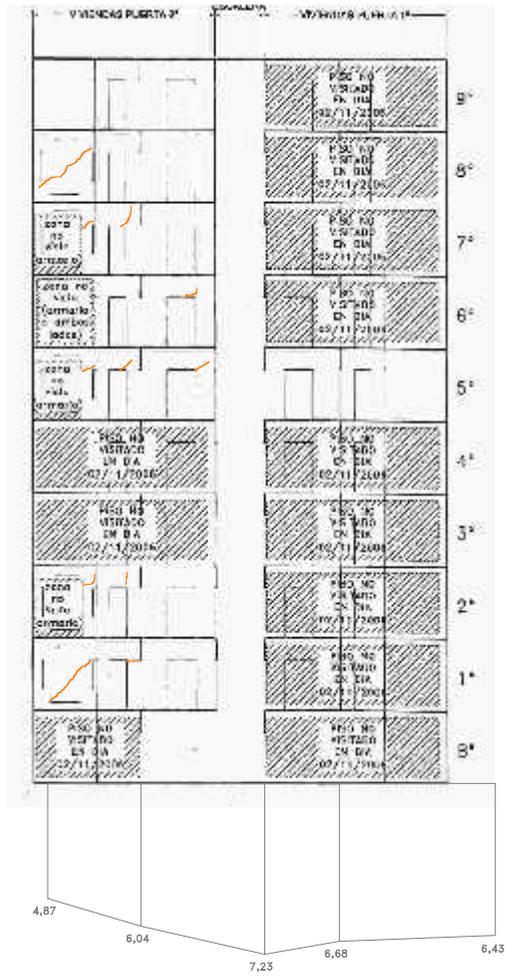
(Daños irreversibles en la estructura)

l/375 Pórticos con jácenas de canto

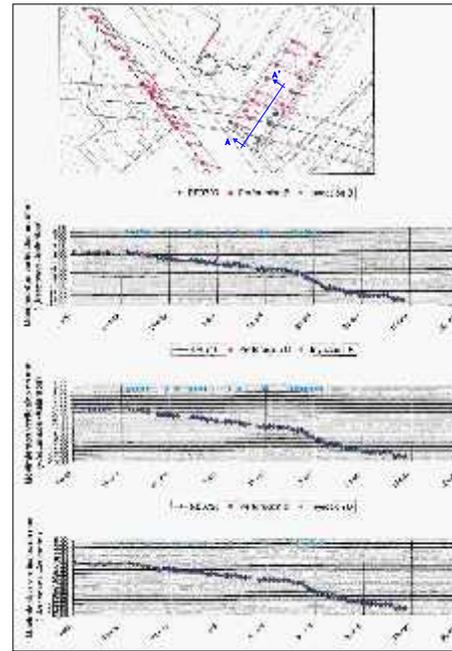
l/225 Jácena plana o forjado reticular







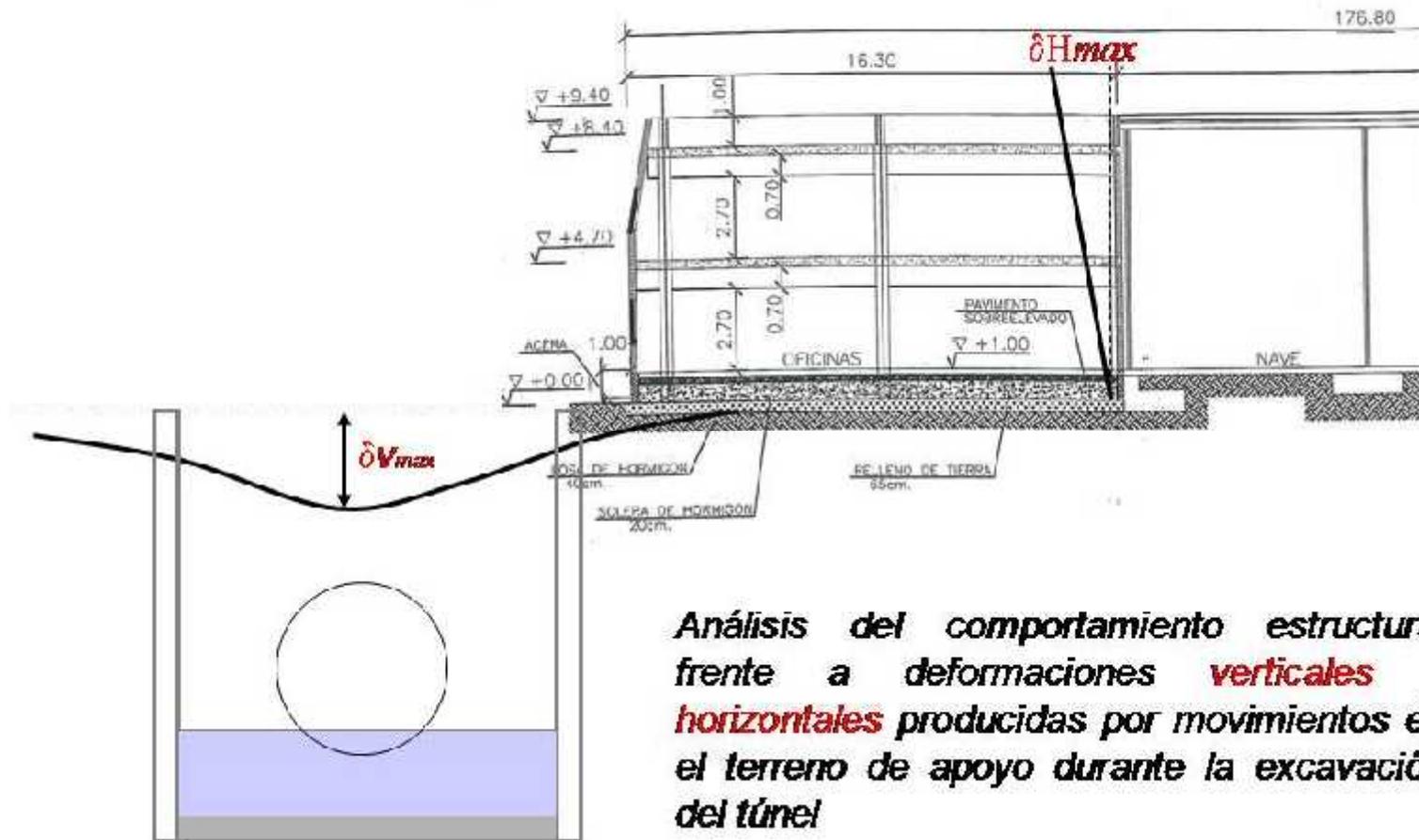
Sección del pórtico A-A'



Planta del edificio. Asientos en tres puntos



# EFECTOS EN LOSAS DE CIMENTACIÓN



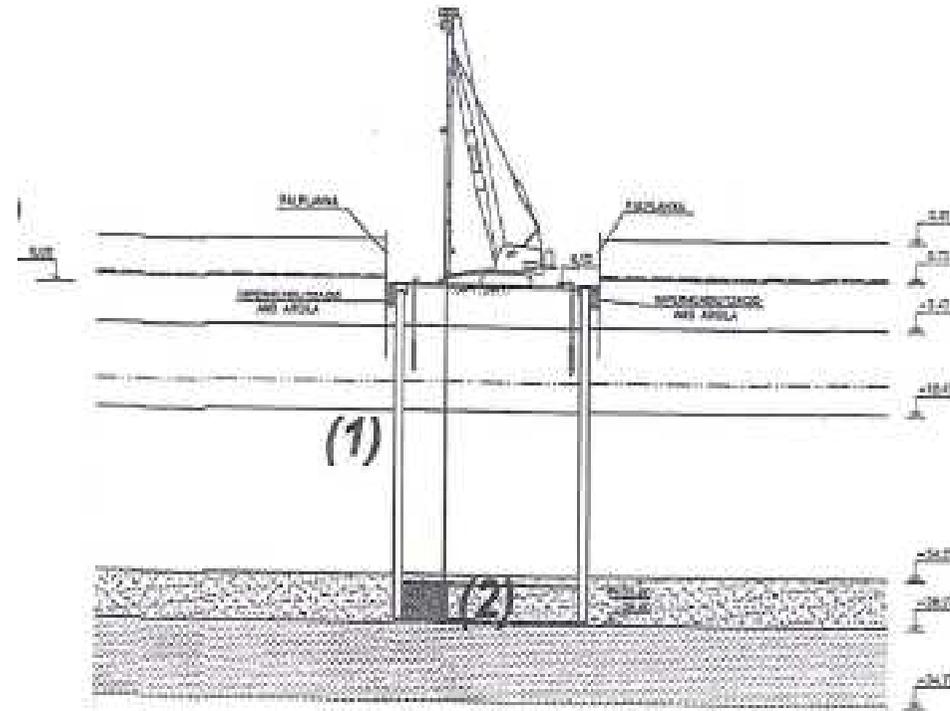
Asentamientos diferenciales en estructura apoyada en losa de cimentación.



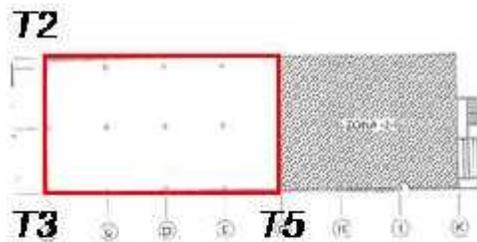
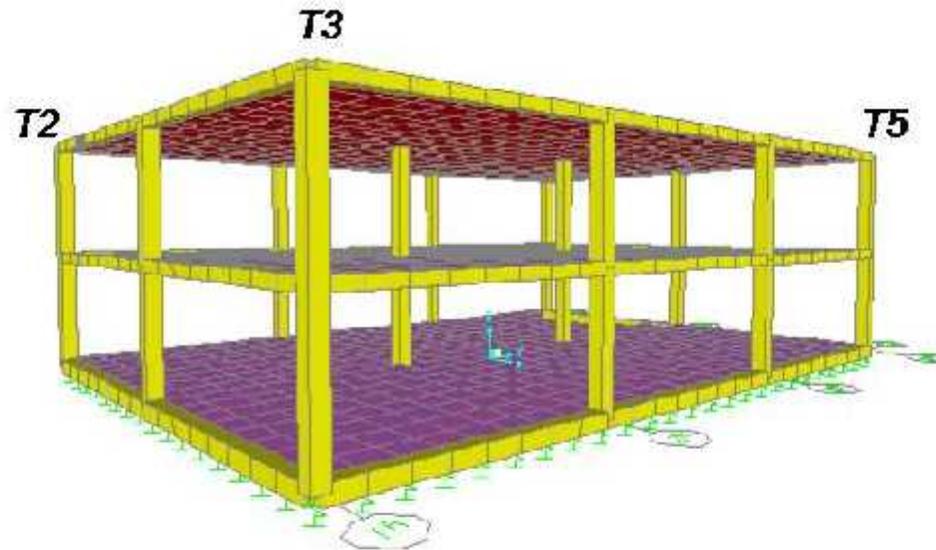
# Asentamientos diferenciales en estructura apoyada en losa de cimentación

## Proceso constructivo:

- 1) Ejecución de pantallas laterales
- 2) Estabilización de fondo de excavación con jet grouting.







**Características del terreno de cimentación:**

- *Limo arcilloso*
- $\gamma_{aparente}$  (hasta 1.10 m) = 1.95 ton/m<sup>3</sup>
- $\gamma_{sumergida}$  (hasta 1.10 m) = 0.95 ton/m<sup>3</sup>
- $e_0 = 0.7$
- $\sigma_{adm} = 0.4 \text{ kg/cm}^2$

## Análisis estructural

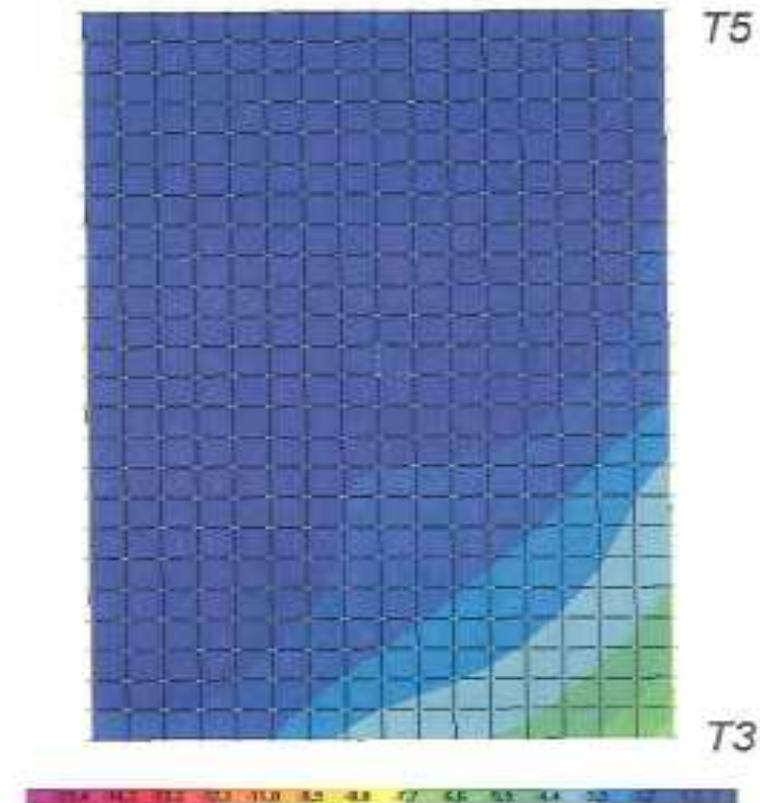
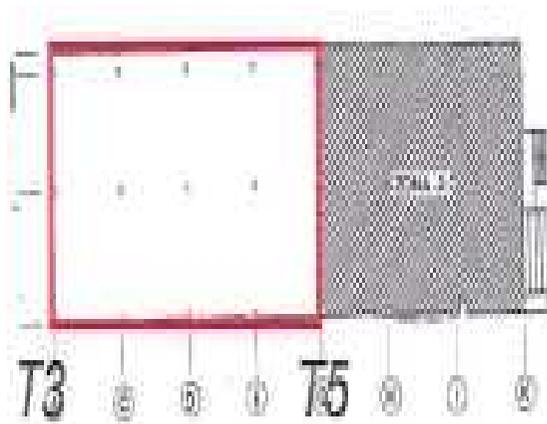


# COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

## ANÁLISIS ESTRUCTURAL

### Análisis 1

Desplazamiento relativo entre dos puntos de medición a lo largo del edificio, paralelo a la excavación ( $\delta = 6 \text{ mm}$ )



Desplazamientos en losa de cimentación para  $\delta = 6 \text{ mm}$  (control de movimientos)



# COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

## ANÁLISIS ESTRUCTURAL

### Análisis 1

Desplazamiento relativo entre dos puntos de medición a lo largo del edificio, paralelo a la excavación ( $\zeta = 6 \text{ mm}$ )

### **Resultado:**

Incremento poco  
representativo de los esfuerzos en la losa debido a los movimientos del terreno

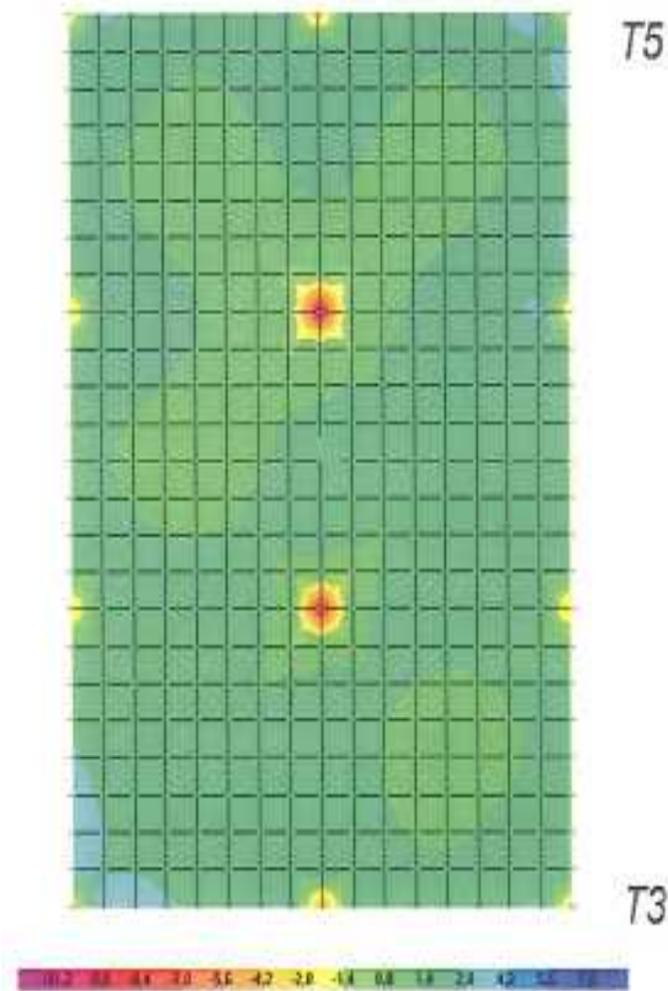
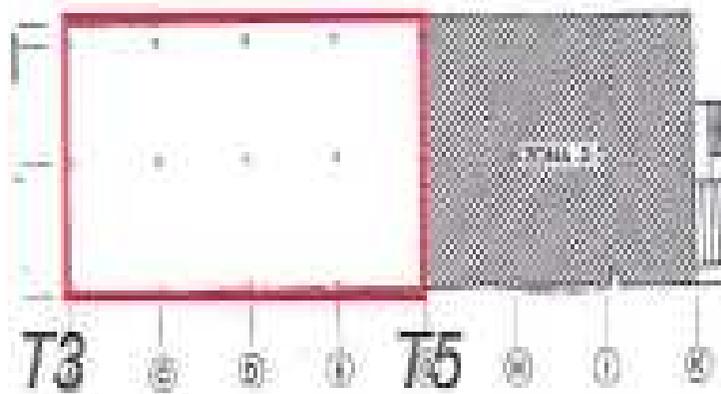
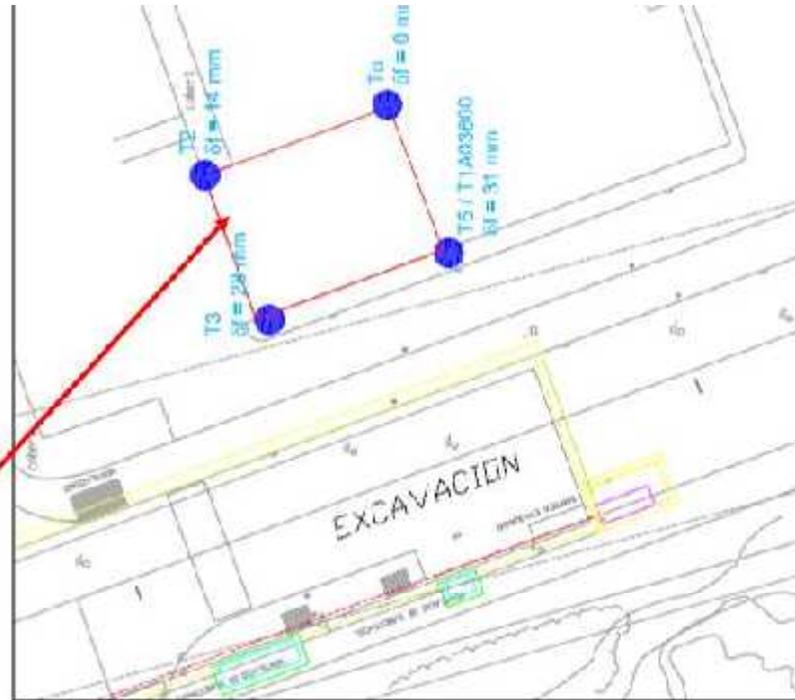
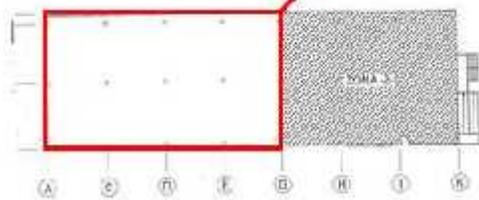


Diagrama de momentos en la losa de cimentación para  $\delta = 6 \text{ mm}$

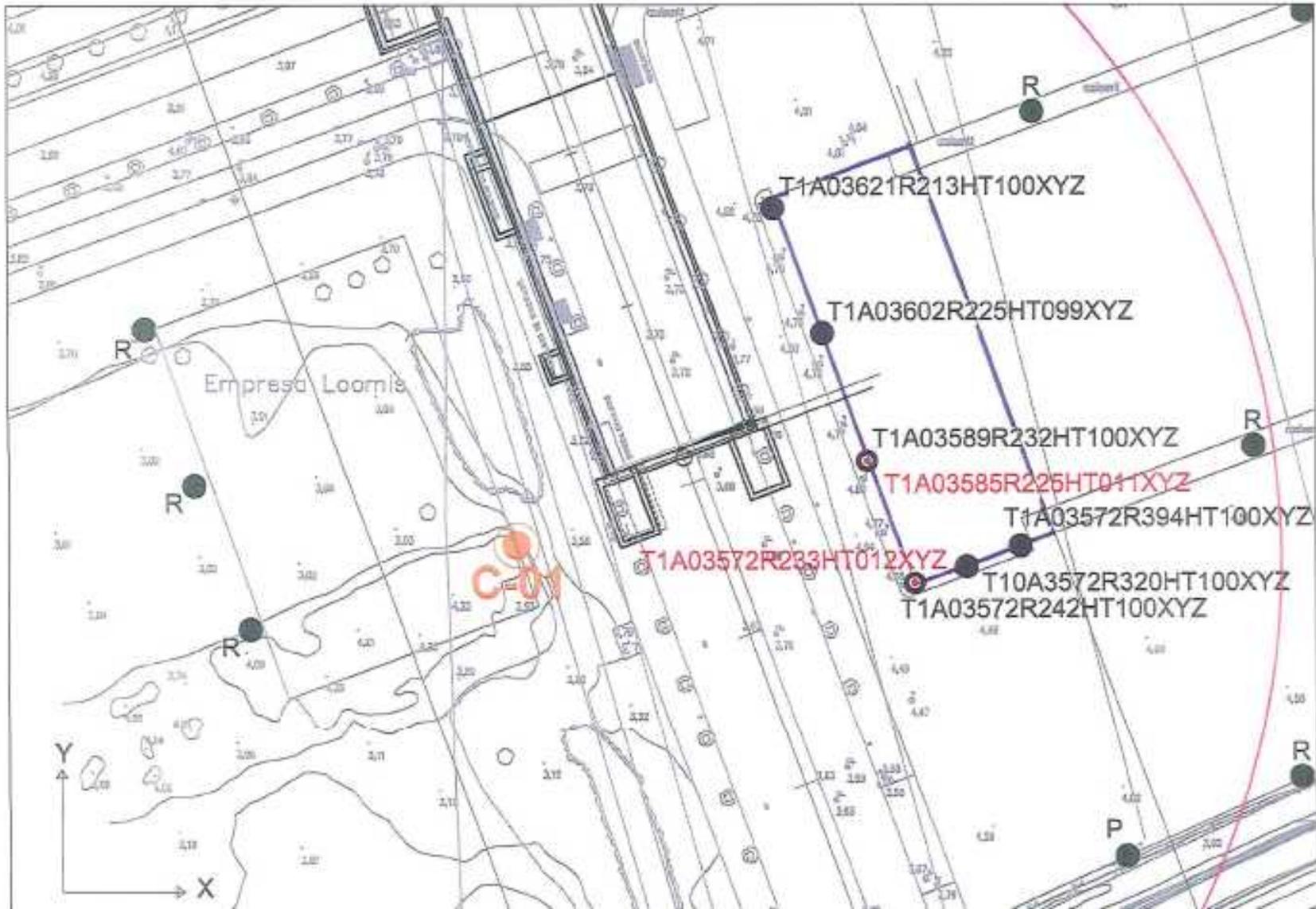




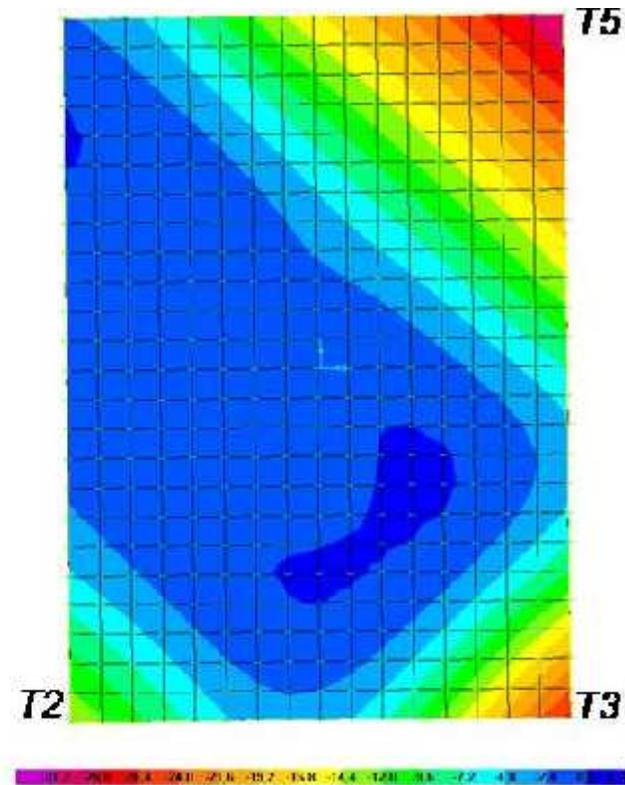
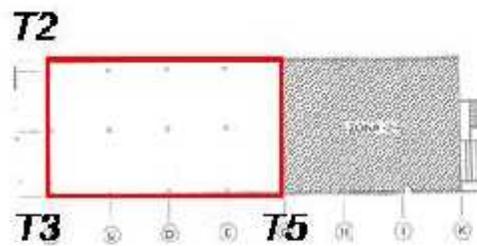
**Caso mas desfavorable: Desplazamiento relativo combinando los puntos de medición en superficie y los puntos de medición sobre el edificio**

Control de movimientos





*Desplazamiento relativo combinando los puntos de medición en superficie y los puntos de medición sobre el edificio*

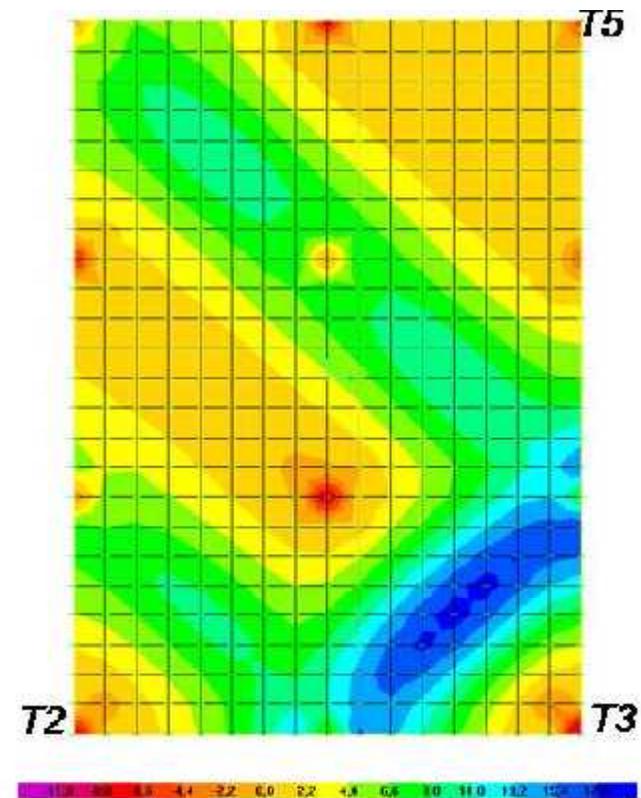
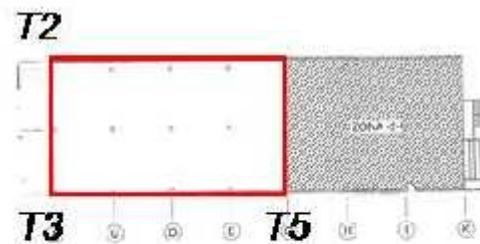


*Desplazamientos en losa de cimentación para  $\delta_{max} = 31$  mm (control de movimientos)*



*Desplazamiento relativo combinando los puntos de medición en superficie y los puntos de medición sobre el edificio*

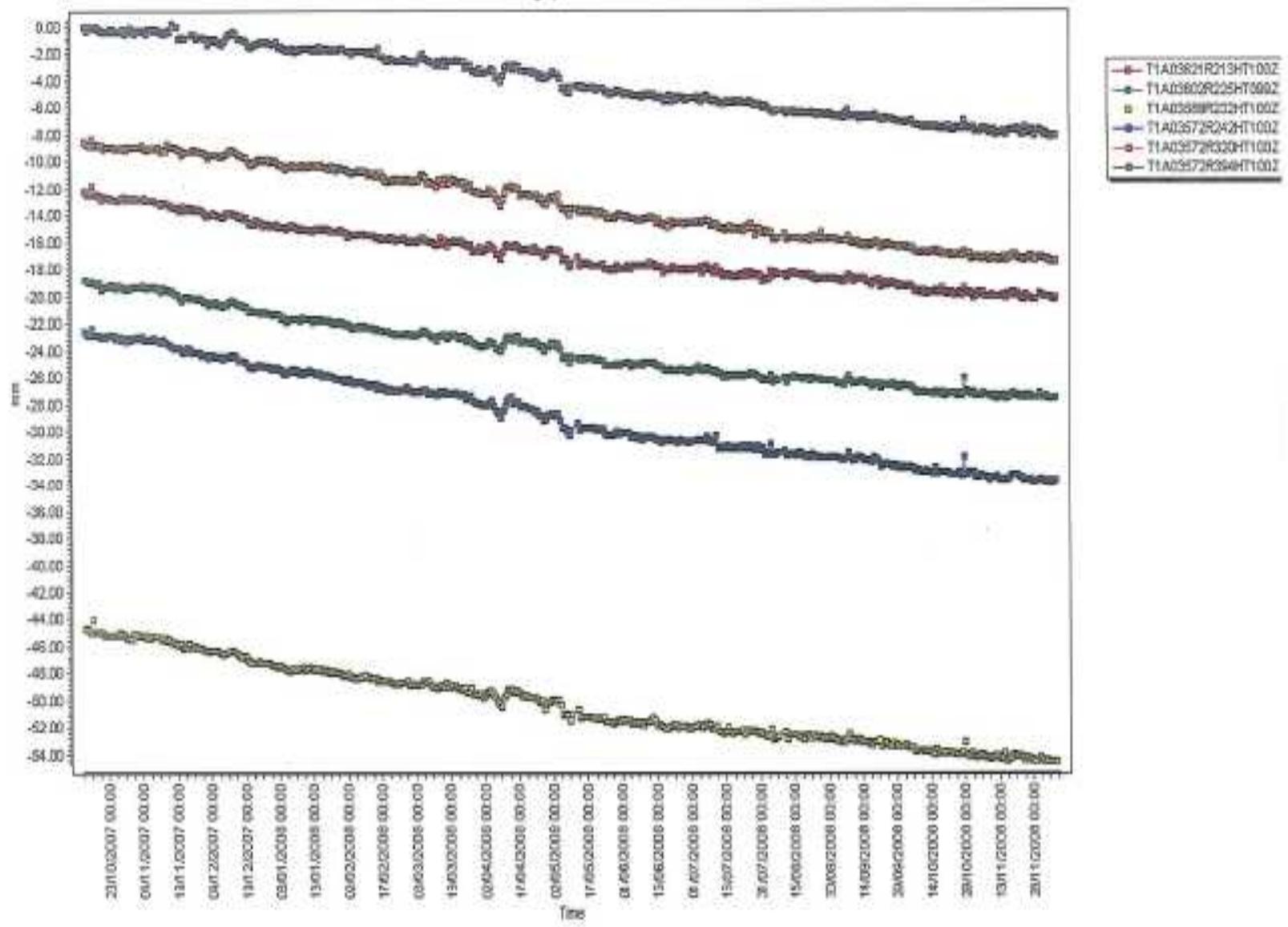
*Resultado:  
Incremento significativo de esfuerzos*



*Diagrama de momentos en losa de cimentación para  $\delta_{max} = 31 \text{ mm}$   
(control de movimientos)*



Time graph



# EFECTOS SOBRE TÚNELES

- En los túneles las subsidencias pueden afectar a las vías, ya que las tolerancias para la circulación de trenes pueden ser estrictas. Las afectaciones en la solera se suman a las fisuras de fatiga ya existentes, teniendo que discernir entre daños de asiento y daños de fatiga, y controlando en puntos significativos si las fisuras de fatiga aumentan.

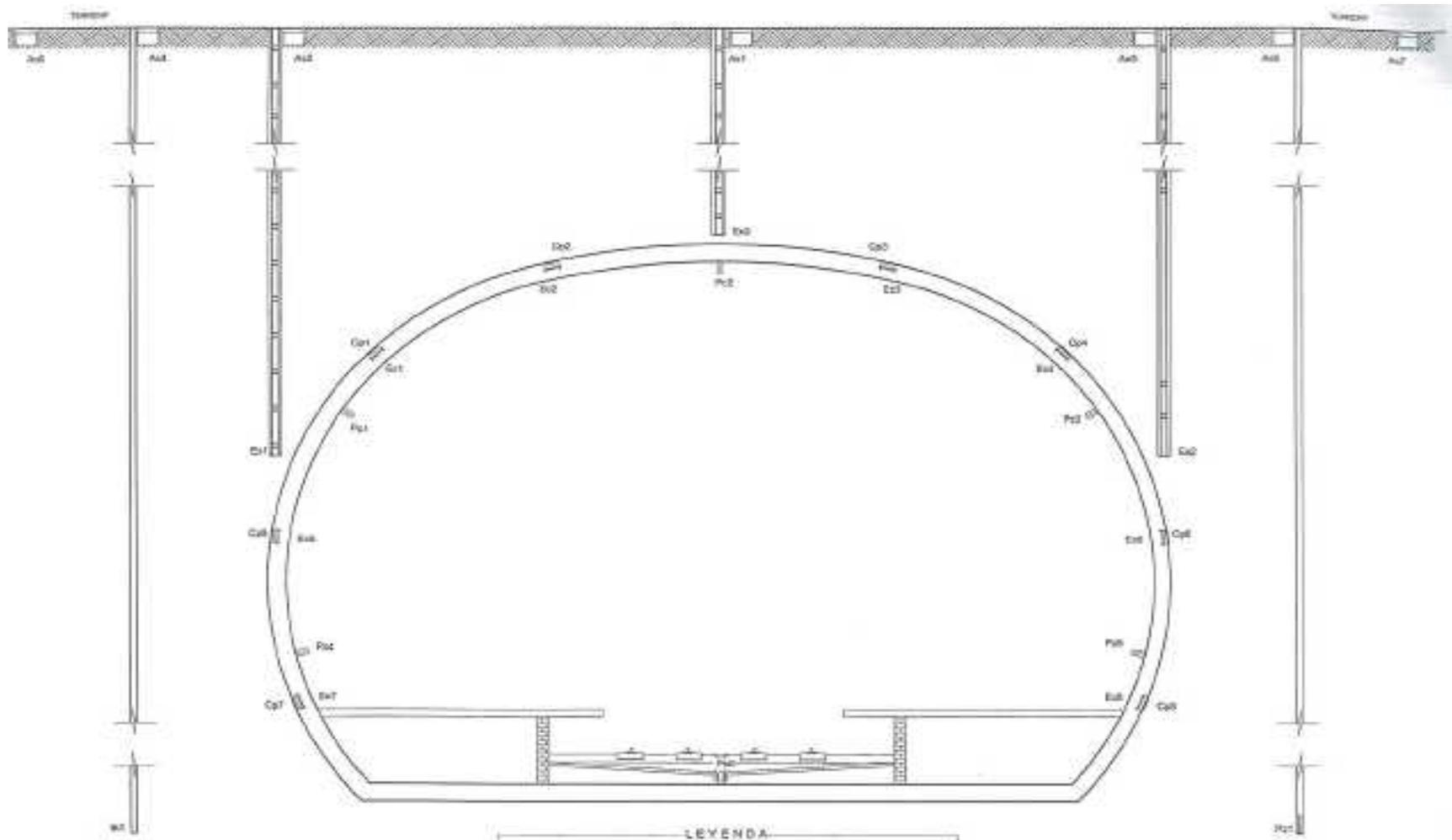


Detalle de fisuras por fatiga.



- Nuevamente tenemos tres herramientas, cuya definición previa es importante para tener criterio durante su evolución: el estado actual del túnel, (sus soleras, sus juntas ,la afectación en su caso del balasto,...); la instrumentación planteada y su seguimiento para crear alarmas cuando se sobrepase alguna limitación geométrica; y los estudios de sensibilidad a asientos que definen a priori los riesgos de los movimientos y los limitan.

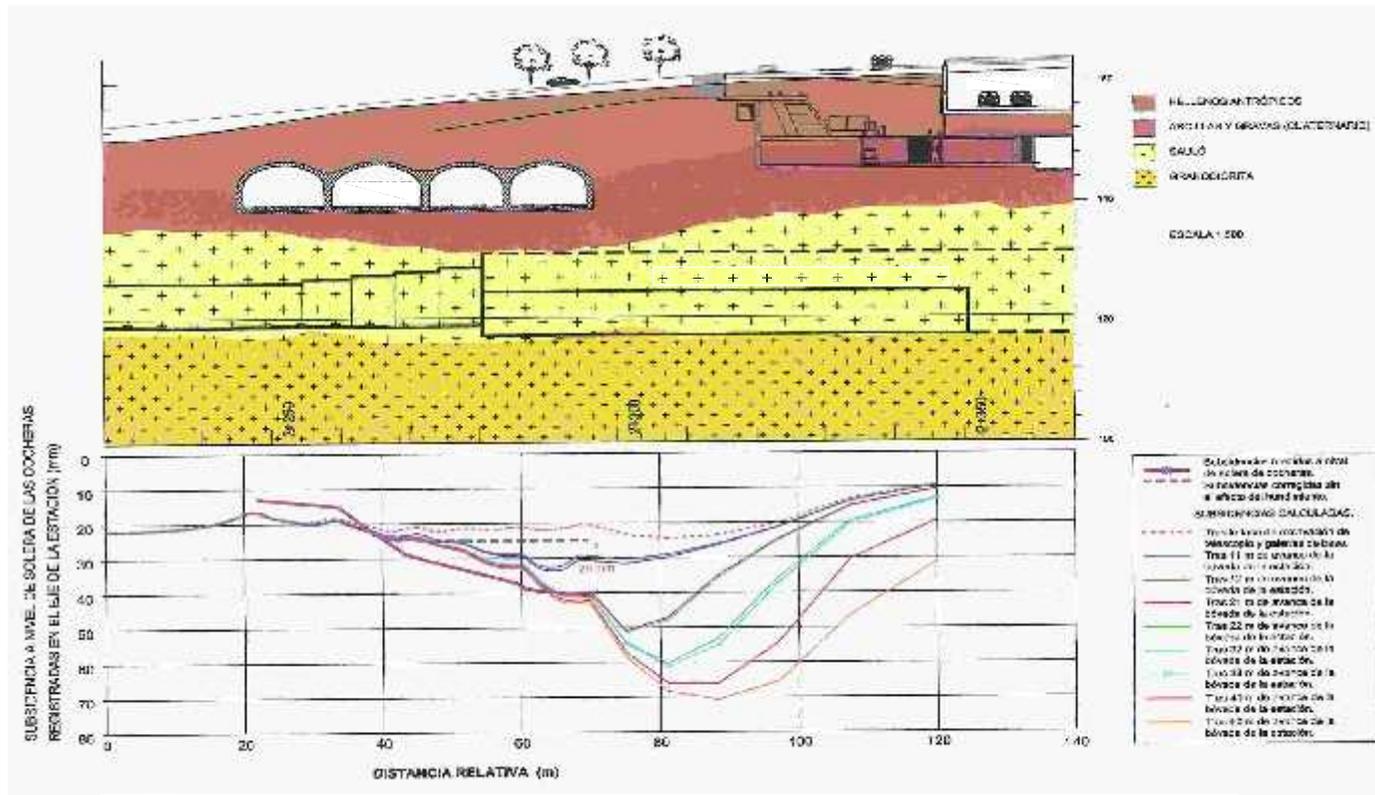




**LEYENDA**

A1	Alfabetización	E4	Exposición de arte popular
C1	Clases prácticas de teatro infantil	E5	
P1	Plaza de actividades	P2	Plaza de teatro
E1	Exposición de teatro infantil	E3	Escenario

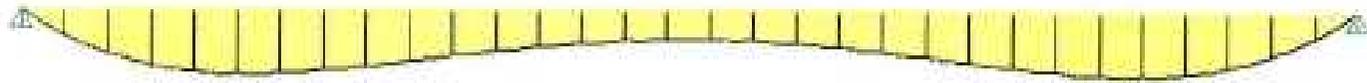
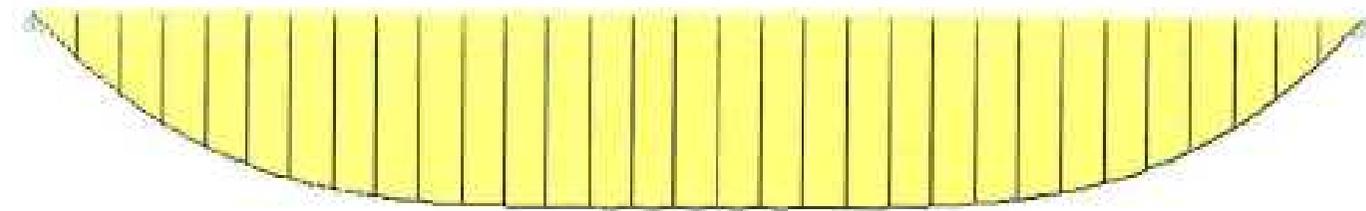




Sección general del túnel existente y el paso inferior

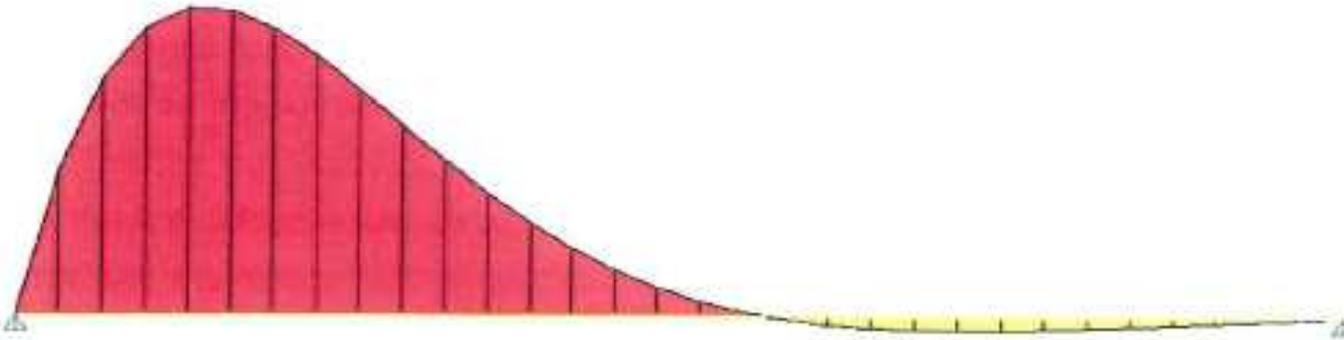
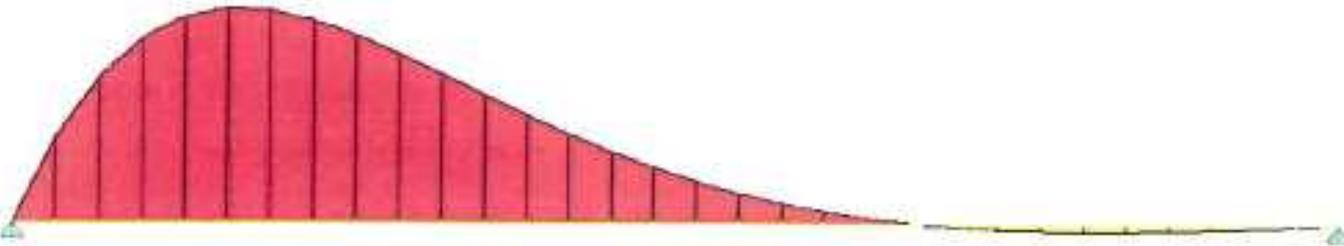
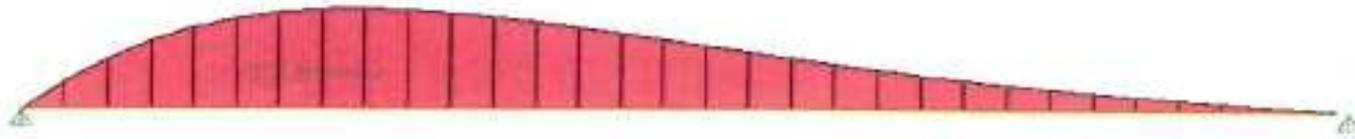






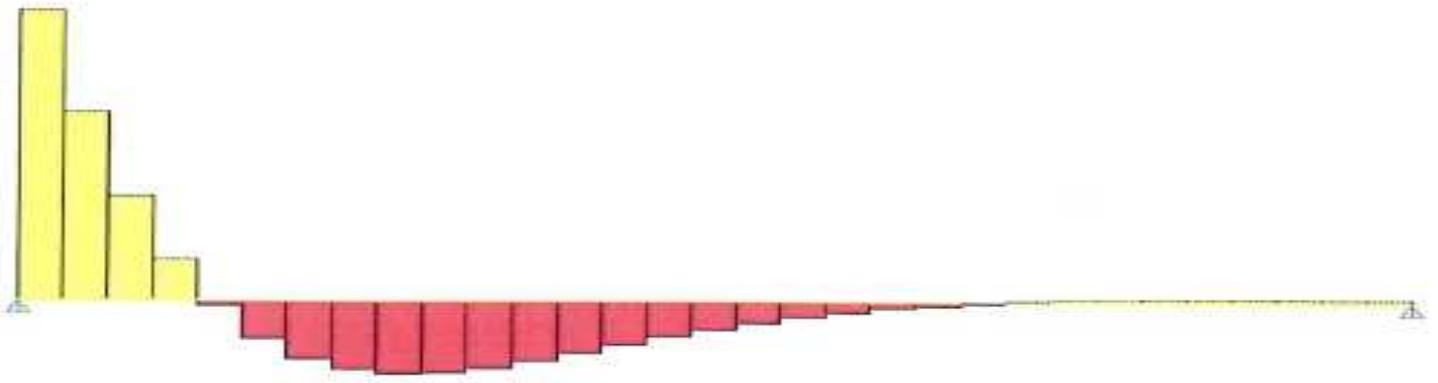
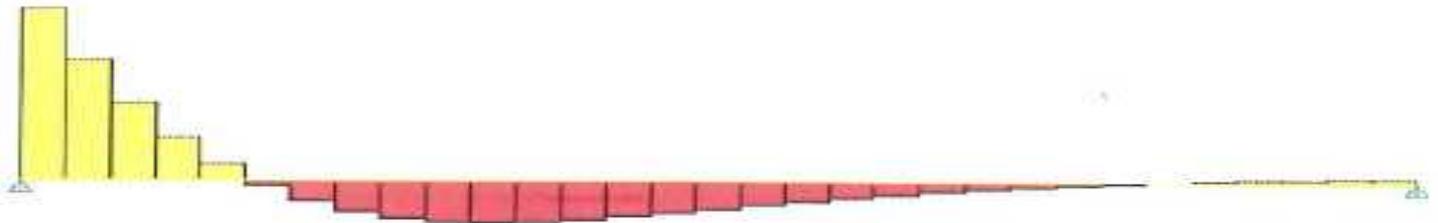
- Diagramas de momentos flectores para el peso propio y un módulo de balasto de  $1,0 \text{ Kp/cm}^3$ ,  $5,0 \text{ Kp/cm}^3$  y  $10,0 \text{ Kp/cm}^3$  respectivamente





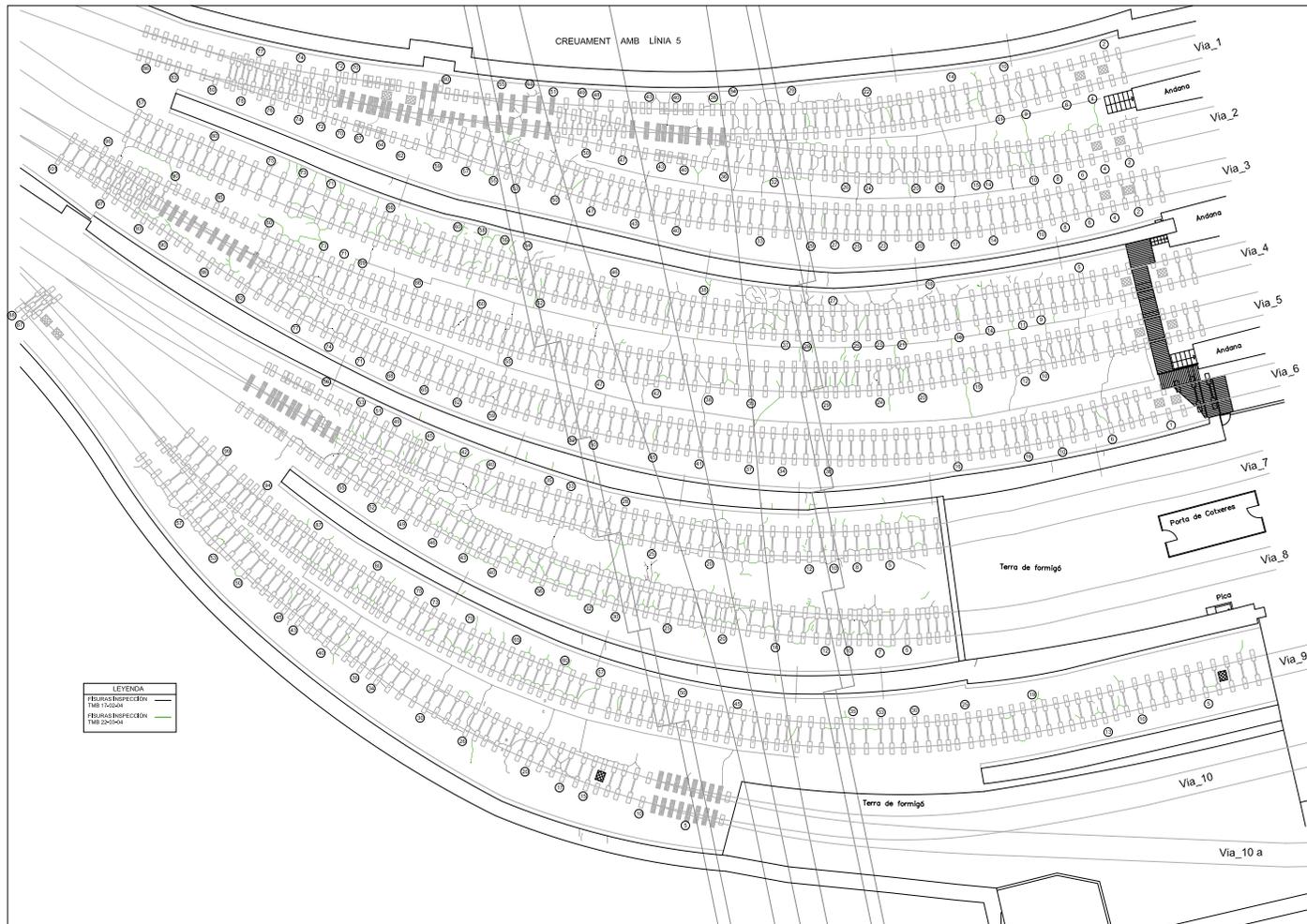
- Diagramas de momentos flectores para un descenso diferencial entre apoyos y un módulo de balasto de  $1,0 \text{ Kp/cm}^3$ ,  $5,0 \text{ Kp/cm}^3$  y  $10,0 \text{ Kp/cm}^3$  respectivamente





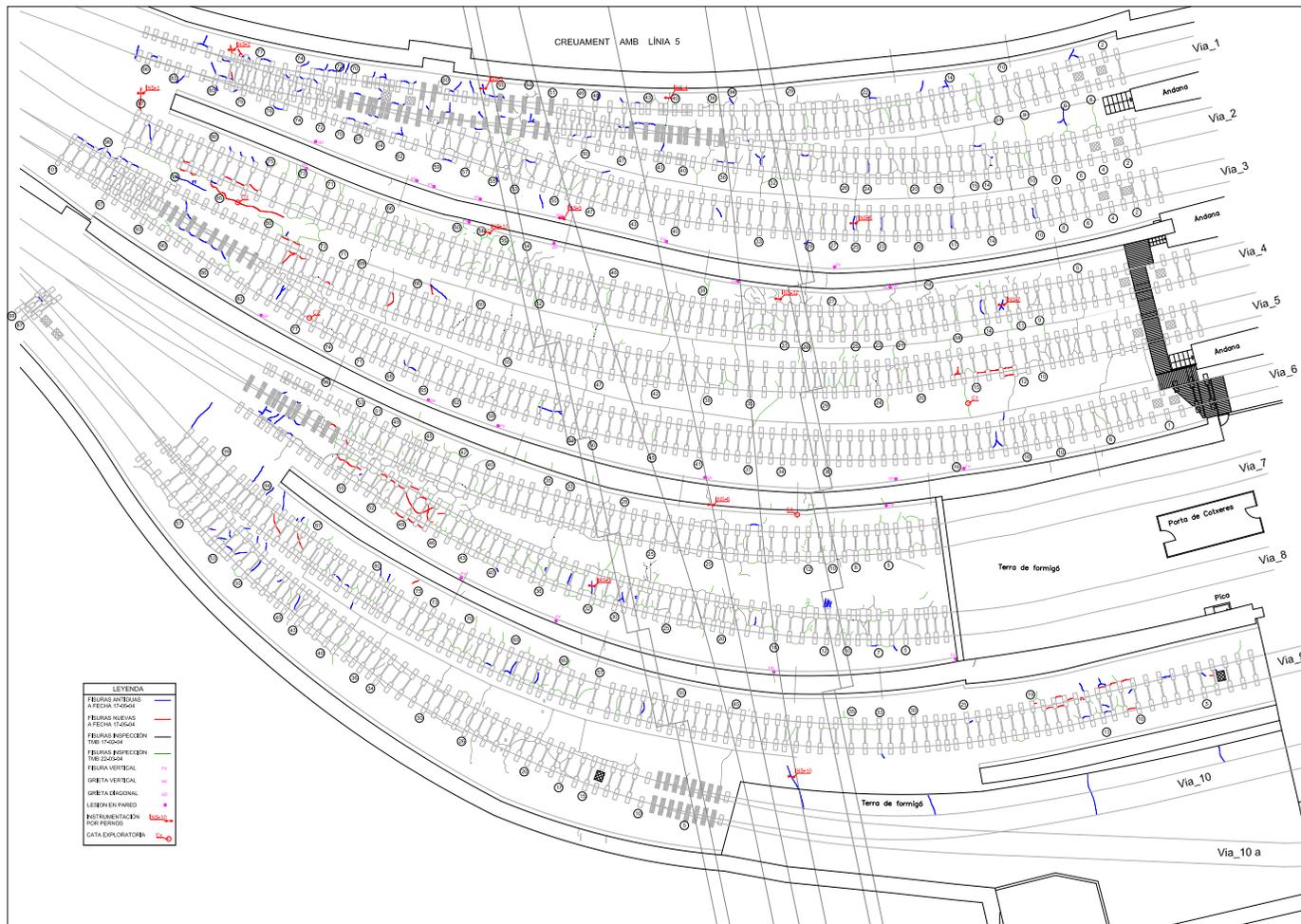
Diagramas de esfuerzos cortantes para un descenso diferencial entre apoyos y un módulo de balasto de  $1,0 \text{ Kp/cm}^3$ ,  $5,0 \text{ Kp/cm}^3$  y  $10,0 \text{ Kp/cm}^3$  respectivamente





# Daños en la solera





# Daños tras la ejecución del túnel



- En el caso presentado, las subsidencias dieron lugar a un aumento del nivel de daños en solera, en especial en la zona de mayor diámetro (Estación) movimientos de las juntas y microfisuras en algún tramo del túnel, pero la respuesta de la infraestructura fue correcta y sólo requirió una inyección de las nuevas fisuras producidas por la subsidencia en la solera.



# IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

## Riesgos asociados a operaciones previas

- \* Tablestacados o hincado de pantallas que producen vibraciones en las estructuras y sensación de malestar en los usuarios cuando son impactos fuertes o continuados en función del terreno .



## Riesgos asociados a vicios ocultos





Vista de las fisuras en la fachada a la altura del zuncho. El enfoscado está desadherido.



Cascotes hormigonados en tres capas en un tramo del zuncho.



## Riesgos asociados a daños

\* En estructuras aporticadas, los daños más comunes en la estructura consecuencia de subsidencias del terreno son las fisuras sensiblemente horizontales en pilares de zapata o cimiento profundo, y fisuras en las losas aligeradas a la salida de los capiteles, o de redistribución de esfuerzos en dicha losa. Si se van a producir nuevos asientos en una estructura que se asentó con anterioridad, hay que considerarlos en el modelo y estudiar si es necesario de entrada una medida de refuerzo preventiva.



## Riesgos asociados a usos



# CONCLUSIONES

- Los modelos de comportamiento del terreno y los edificios, aun siendo necesarios para acotar riesgos, no dejan de ser una aproximación a una realidad que es general mucho más compleja, y que dificulta la identificación de riesgos.
- Las distorsiones en estructuras aporricadas de hormigón llevan a valores de  $1/375$  a  $1/225$  para hablar de daños, esto significa que tardan en “avisar” en general más que los subsistemas que la rodean en los edificios (tabiques, cerramientos y fachadas, pavimentos, etc).
- Las estructuras de hormigón son en general seguras y con capacidad de redistribución de esfuerzos para los niveles de subsidencias y de distorsiones que generan los diámetros grandes utilizados en Barcelona.



- No obstante las cubetas de asiento producidas por esos diámetros son poco compatibles en general con los subsistemas más frágiles ligados a la estructura como pueden ser los tabiques que con distorsiones de 1/500 se señalan, y obligan a los actuales protocolos de actuación preventivos de toma de datos de los daños de instrumentación y de seguimiento.

- Hay que transmitir el rigor al técnico, hay que tecnificar la respuesta, para dar tranquilidad los usuarios (que en la actualidad son muy sensibles a los daños como consecuencia de los fallos habidos en las últimas infraestructuras)... los estudios de sensibilidad son un ejemplo de tecnificación de respuesta y acercamiento a la identificación de riesgos.

- Las estructuras de hormigón hablan a través de sus grietas, y hay que escucharlas, con una correcta instrumentación que permita descifrar su lenguaje.







# Las Grietas

El agua dulce filtra de la parte alta y se mezcla con el agua salada filtrada del mar entre las rocas, convirtiéndose en agua salobre que encontramos en esta grieta.

*Fresh water filters from the highlands and it mixes with the salt water filtered from the sea between the rocks, turning into the brackish water that we see in these fissures.*

*"Este lugar es suyo ayúdenos a conservar la!"  
"This place is yours helps us to conserve!"*



