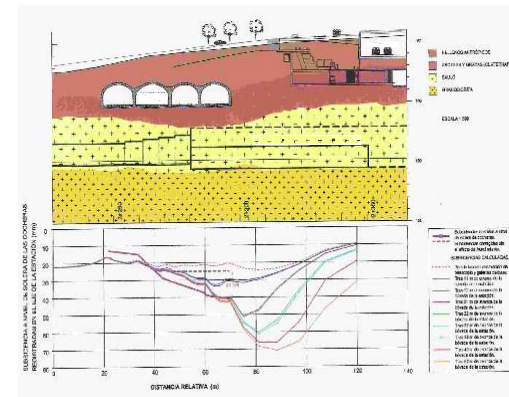
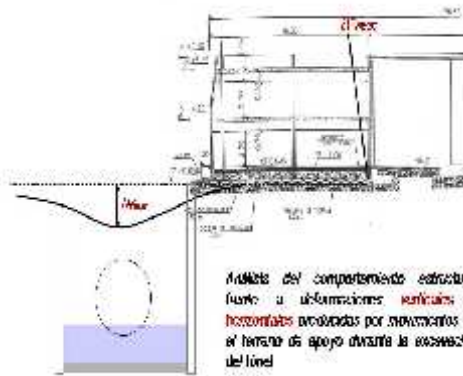
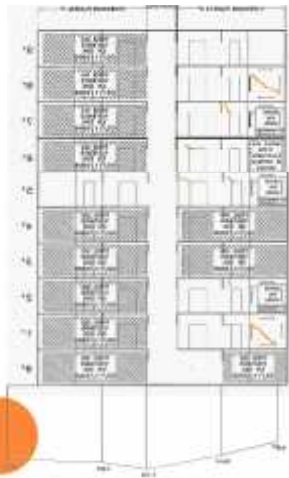




ESTUDIOS DE SENSIBILIDAD, FRENTE A CUBETAS DE ASIENTO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

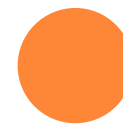
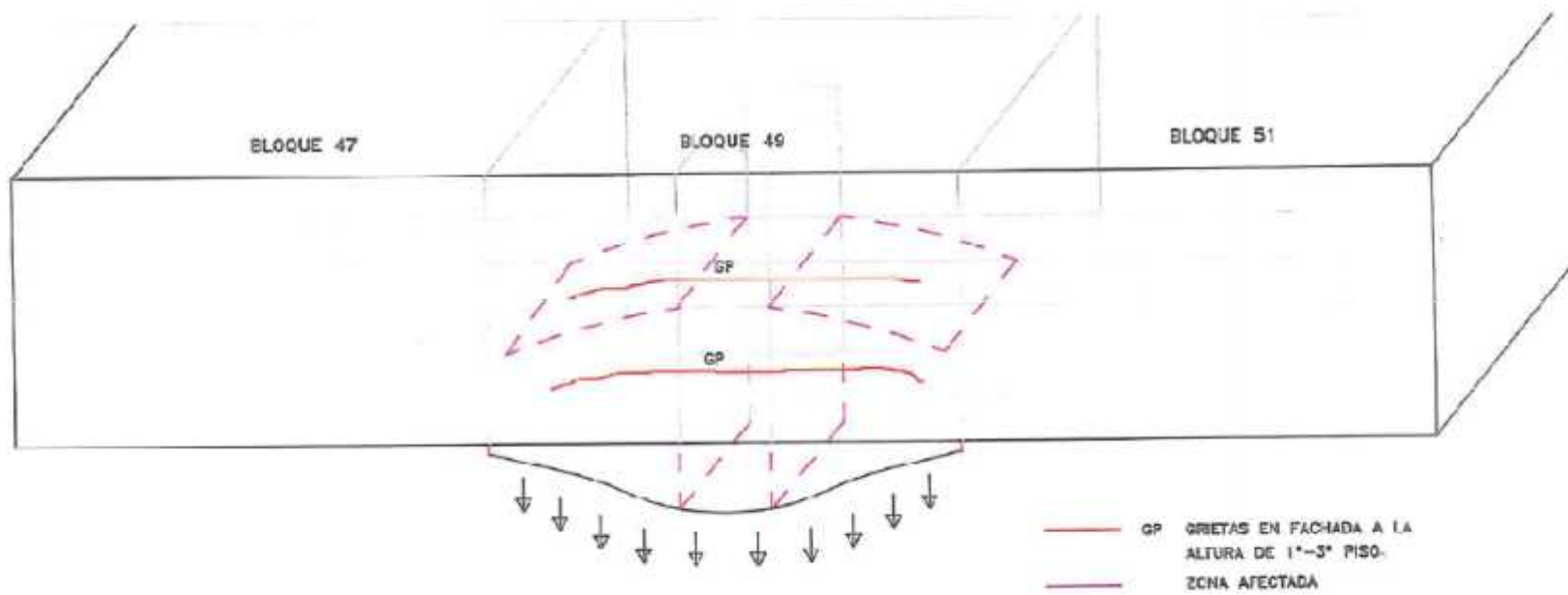


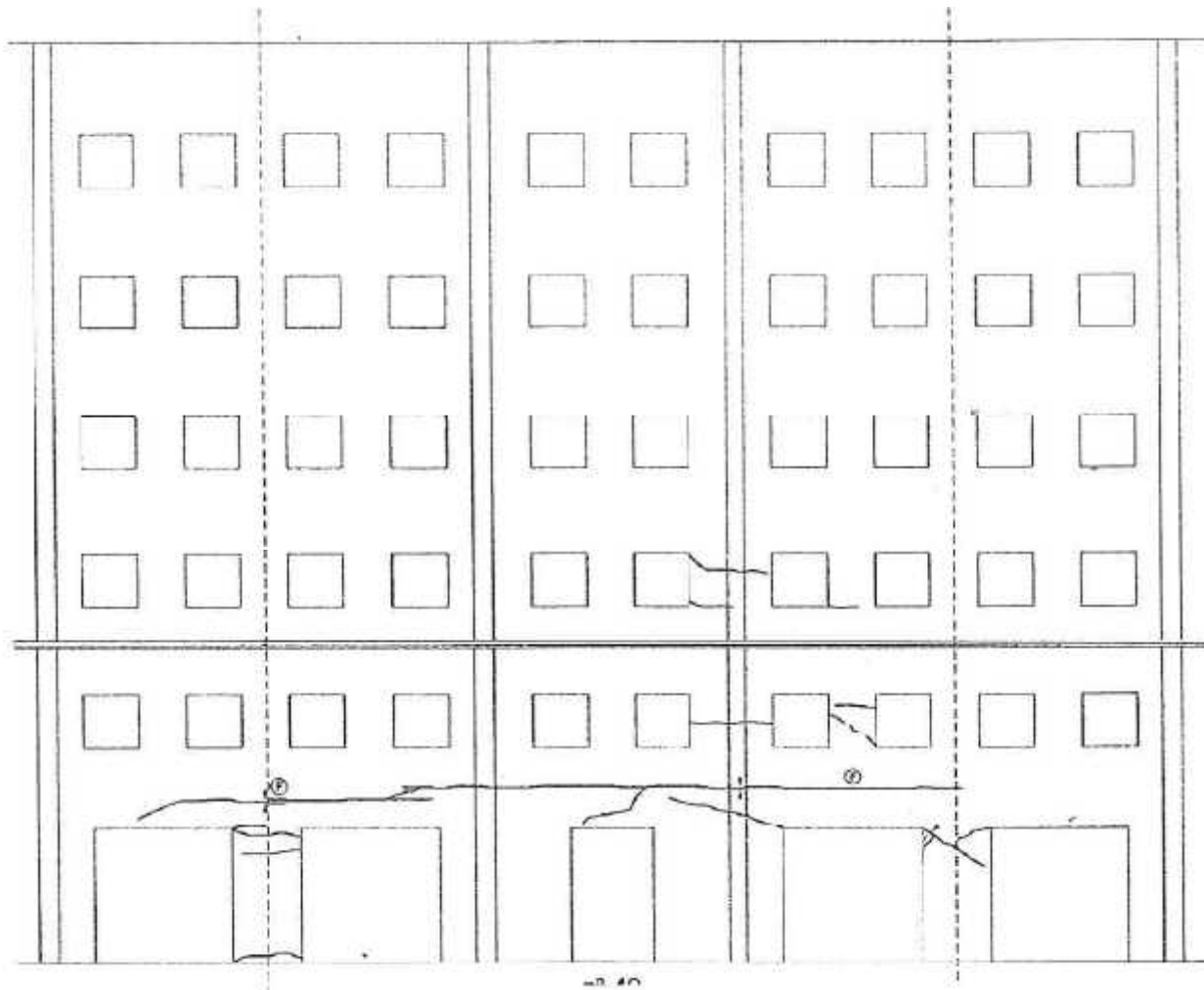
ALEGRE HEITZMANN, Vicente

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 le 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.

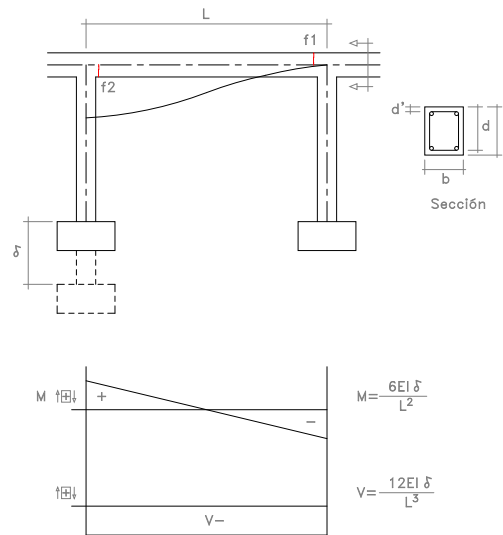


FIGURA 1: ASIENTO EN UN PORTICO



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

La resistencia depende de la σ_s y σ'_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 $\varepsilon_c = - 0,002$.

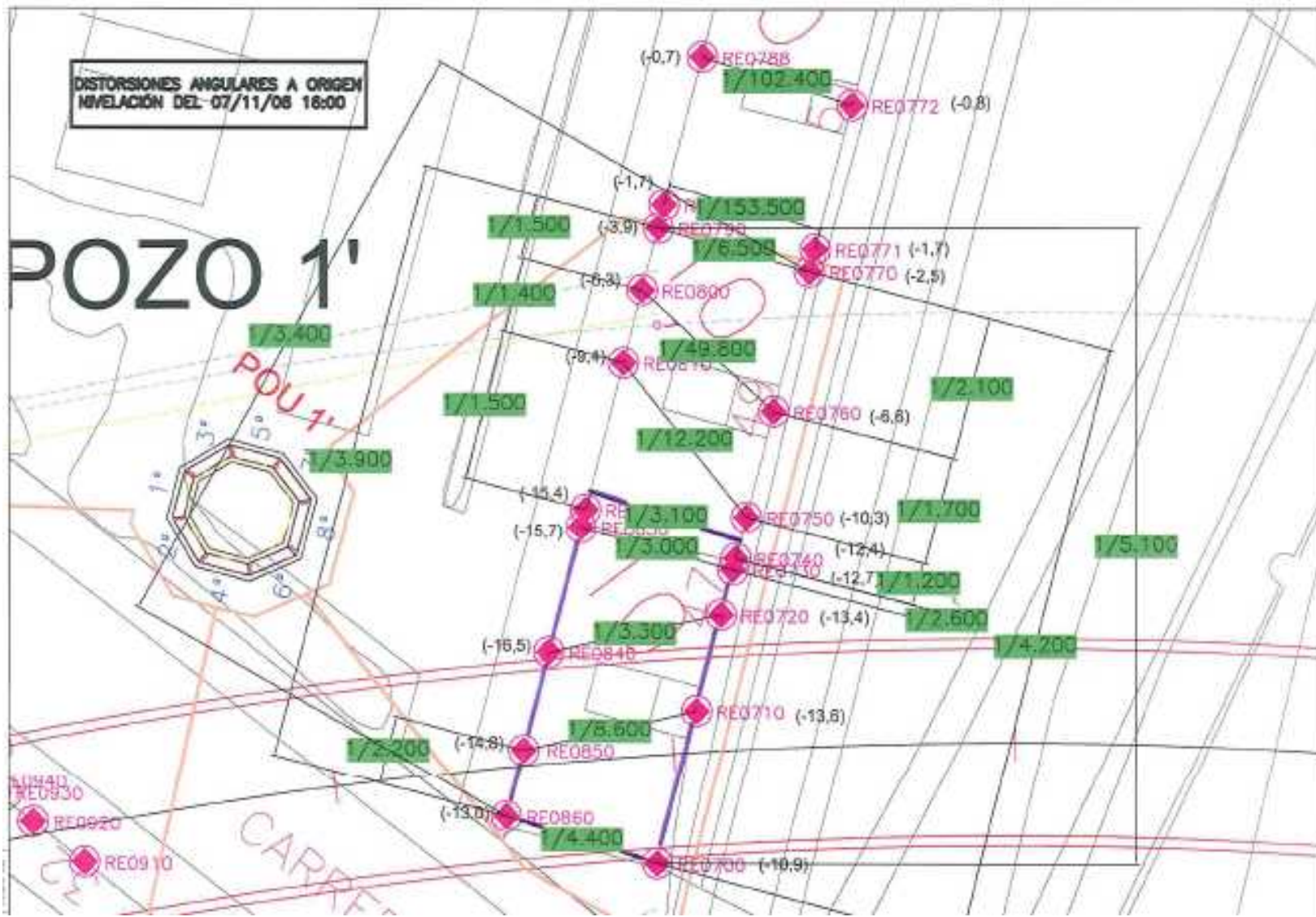
LOS VALORES OBTENIDOS PARA LA DISTORSIÓN MÁXIMA

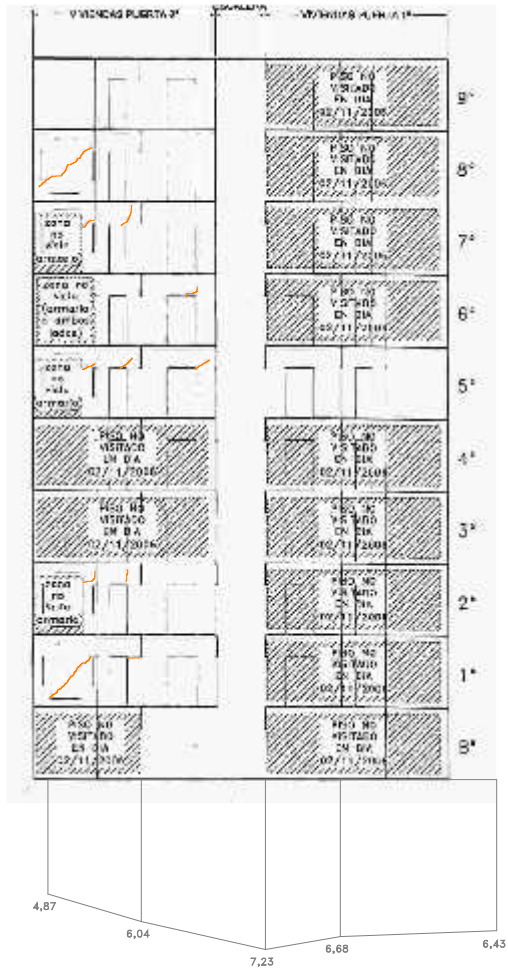
(Daños irreversibles en la estructura)

l/375 Pórticos con jácenas de canto

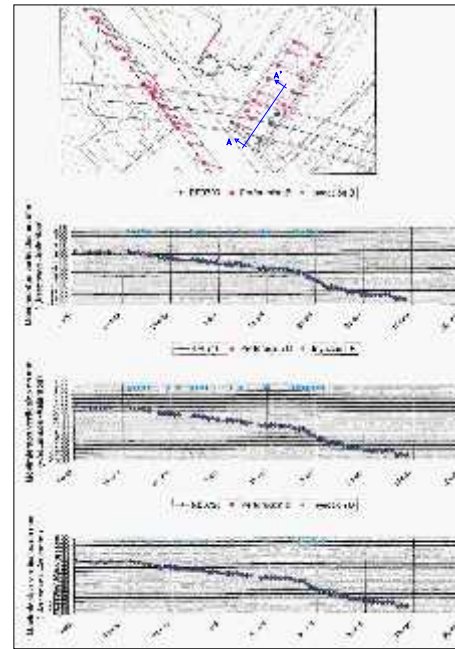
l/225 Jácena plana o forjado reticular







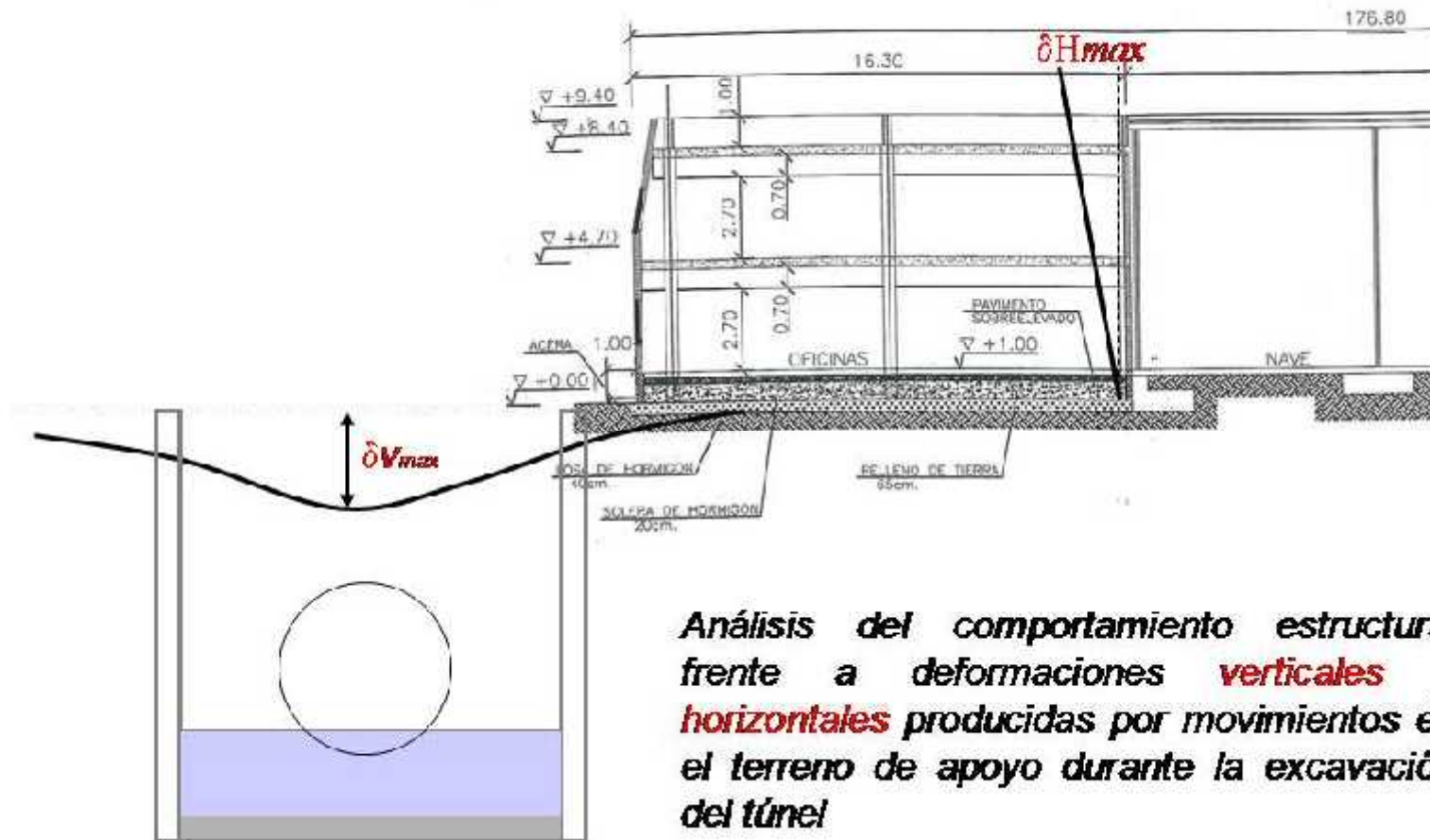
Sección del pórtico A-A'



Planta del edificio. Asientos en tres puntos



EFECTOS EN LOSAS DE CIMENTACIÓN



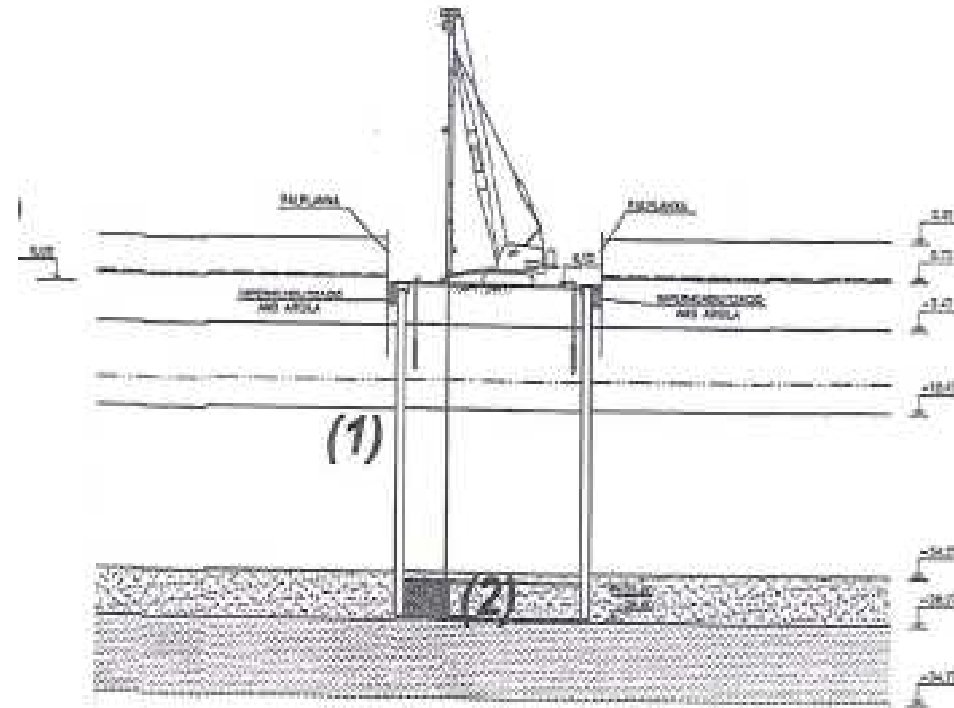
Asentamientos diferenciales en estructura apoyada en losa de cimentación.



Asentamientos diferenciales en estructura apoyada en losa de cimentación

Proceso constructivo:

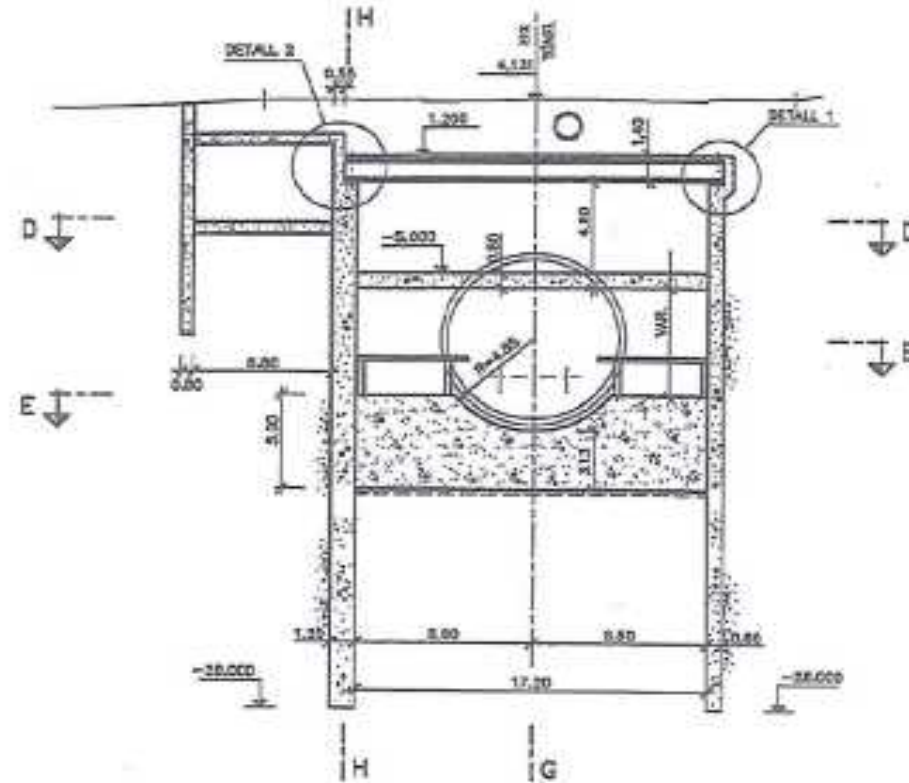
- 1) Ejecución de pantallas laterales
- 2) Estabilización de fondo de excavación con jet grouting.

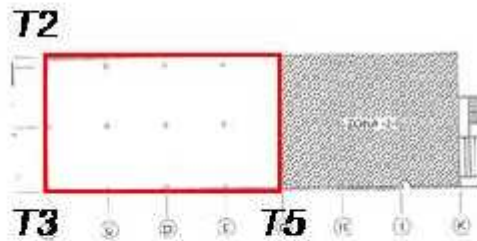
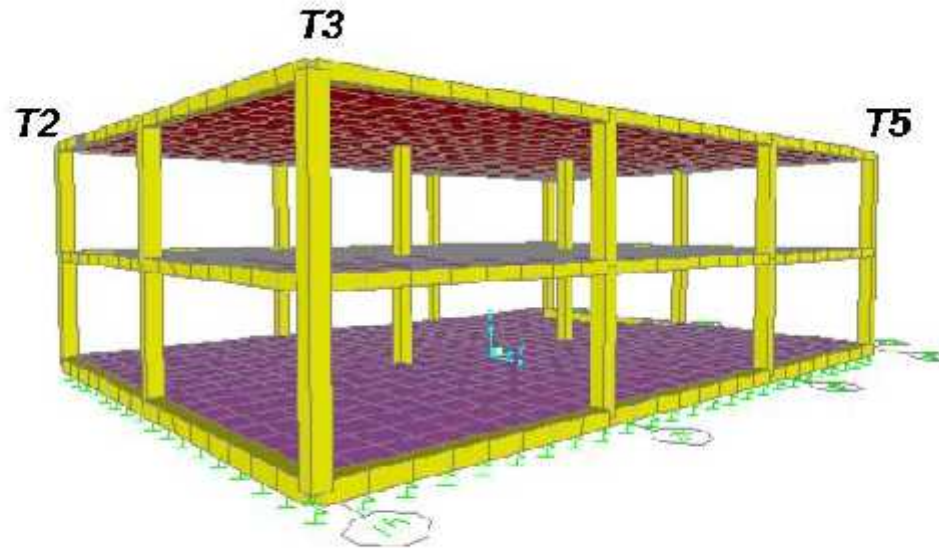


Asentamientos diferenciales en estructura apoyada en losa de cimentación

Proceso constructivo:

- 3) Excavación con bombeo tipo well-point.
- 4) Ejecución de relleno de fondo, forjados y elementos auxiliares del túnel.





Características del terreno de cimentación:

- *Limo arcilloso*
- $\gamma_{aparente}$ (hasta 1.10 m) = 1.95 ton/m³
- $\gamma_{sumergida}$ (hasta 1.10 m) = 0.95 ton/m³
- $e_0 = 0.7$
- $\sigma_{adm} = 0.4 \text{ kg/cm}^2$

Análisis estructural

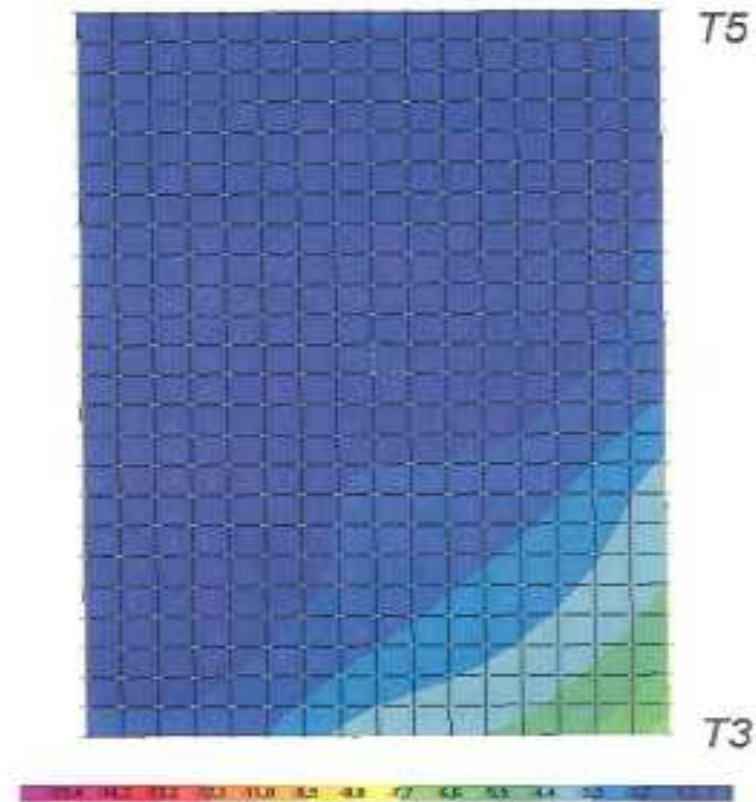
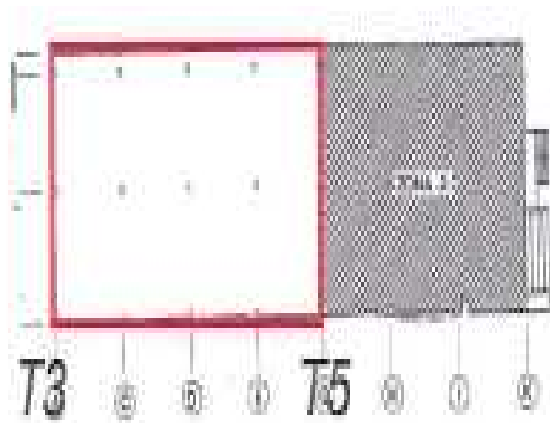


COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

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 ($\delta = 6$ mm)

Resultado:

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

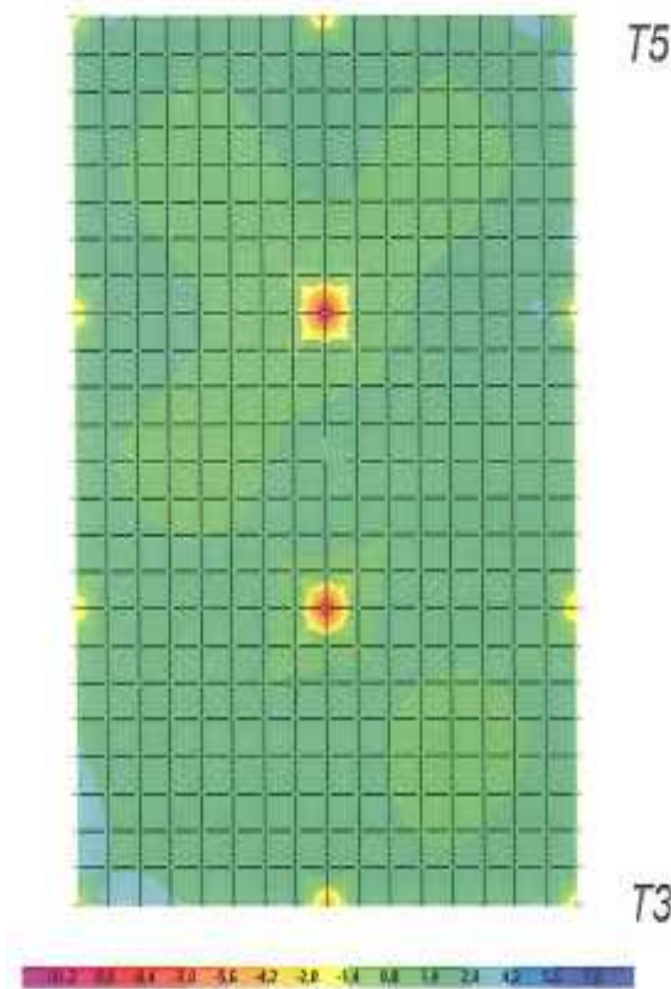
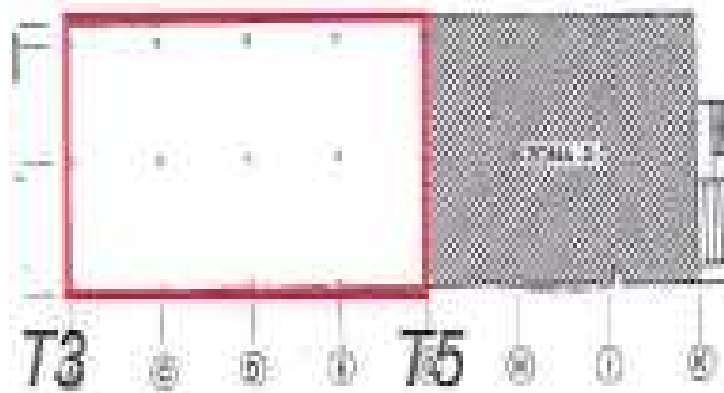
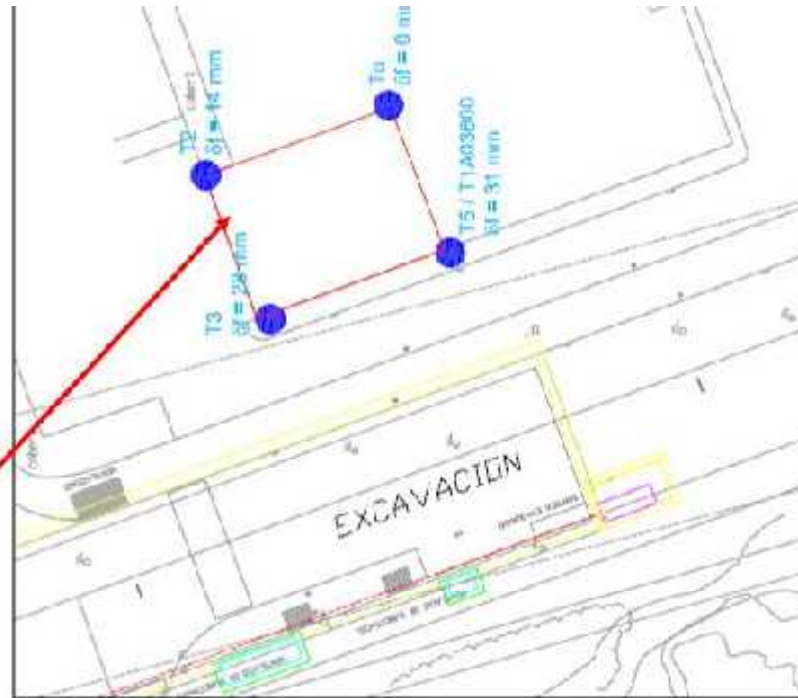
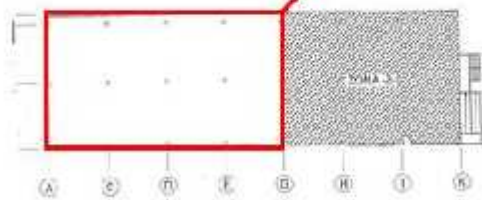


Diagrama de momentos en la losa de cimentación para $\delta = 6$ mm

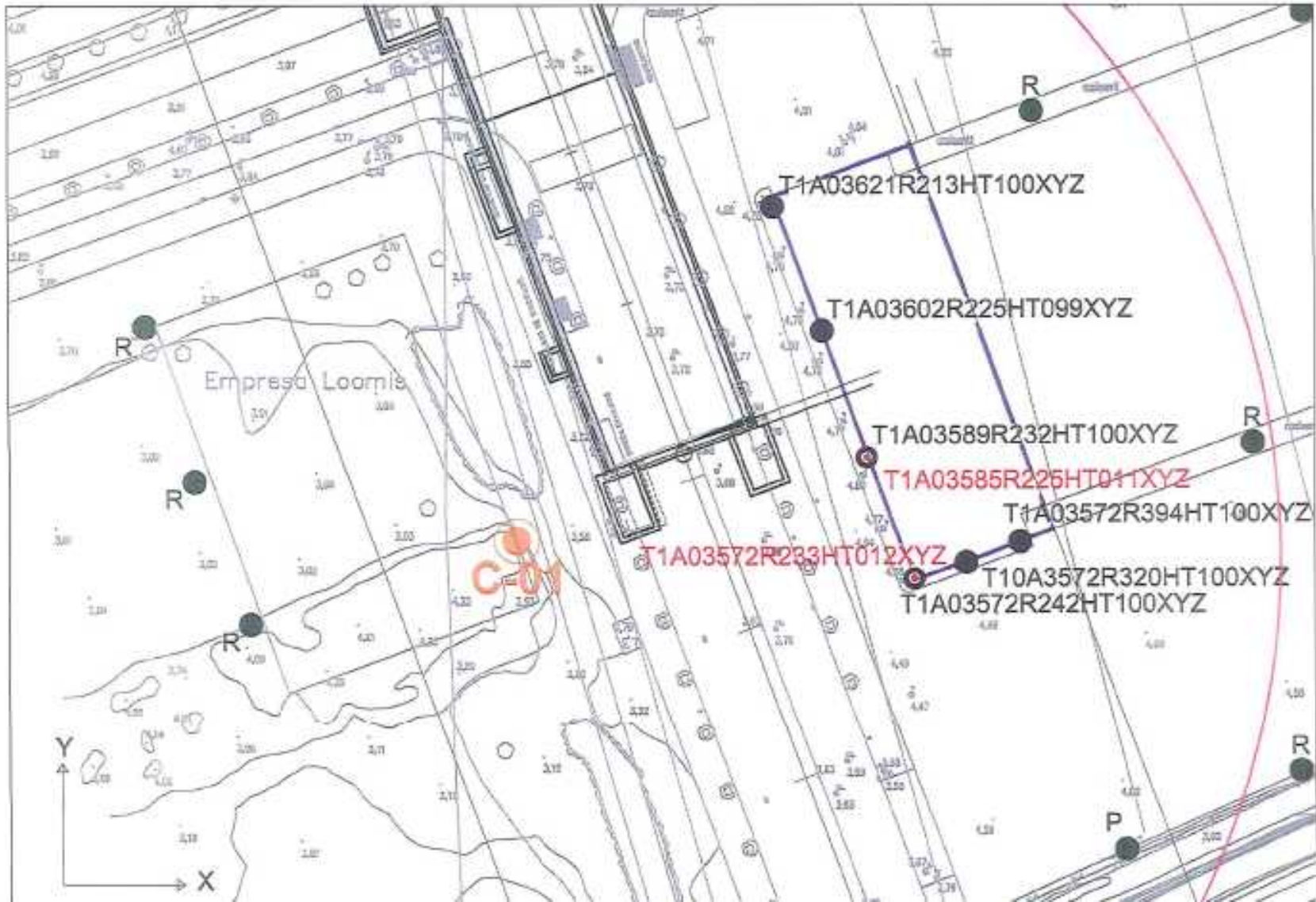




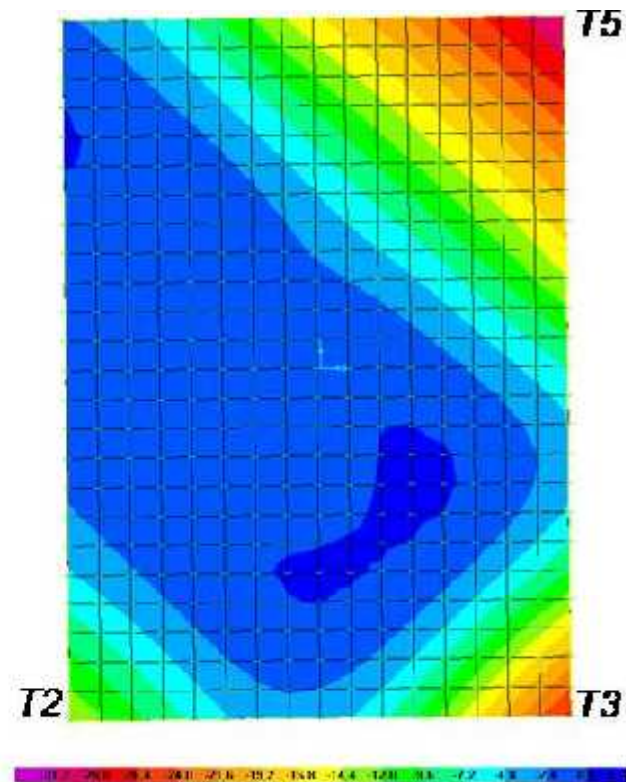
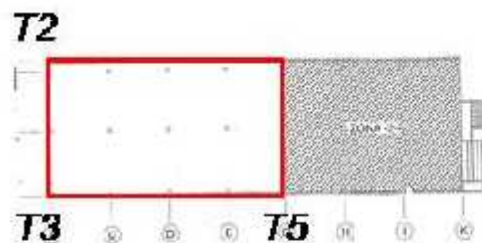
Caso mas desfavorable: Desplazamiento relativo combinando los puntos de medición en superficie y los puntos de medición sobre el edificio

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*

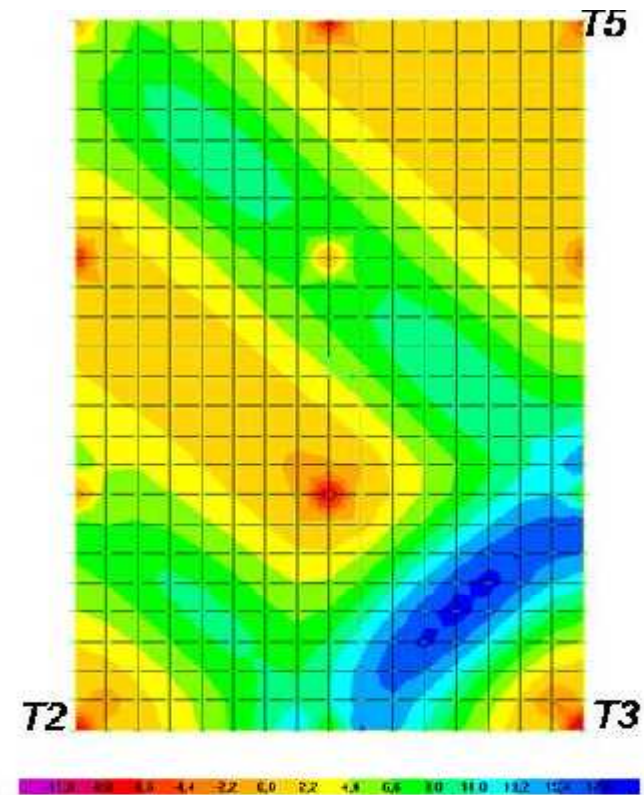
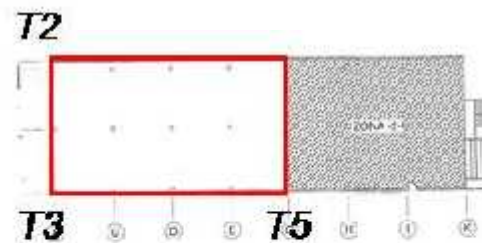
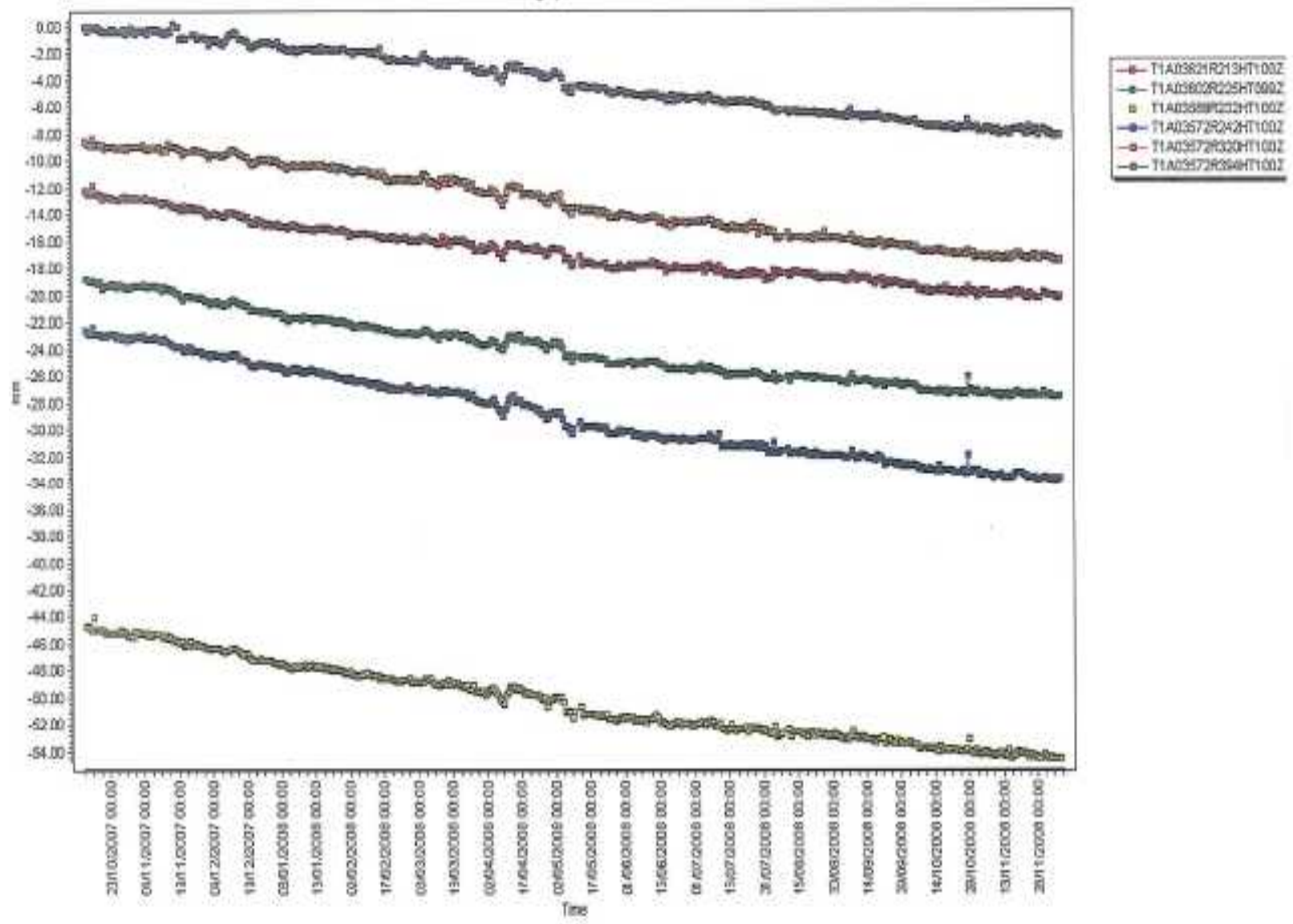


Diagrama de momentos en losa de cimentación para $\delta_{max} = 31$ mm (control de movimientos)



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.

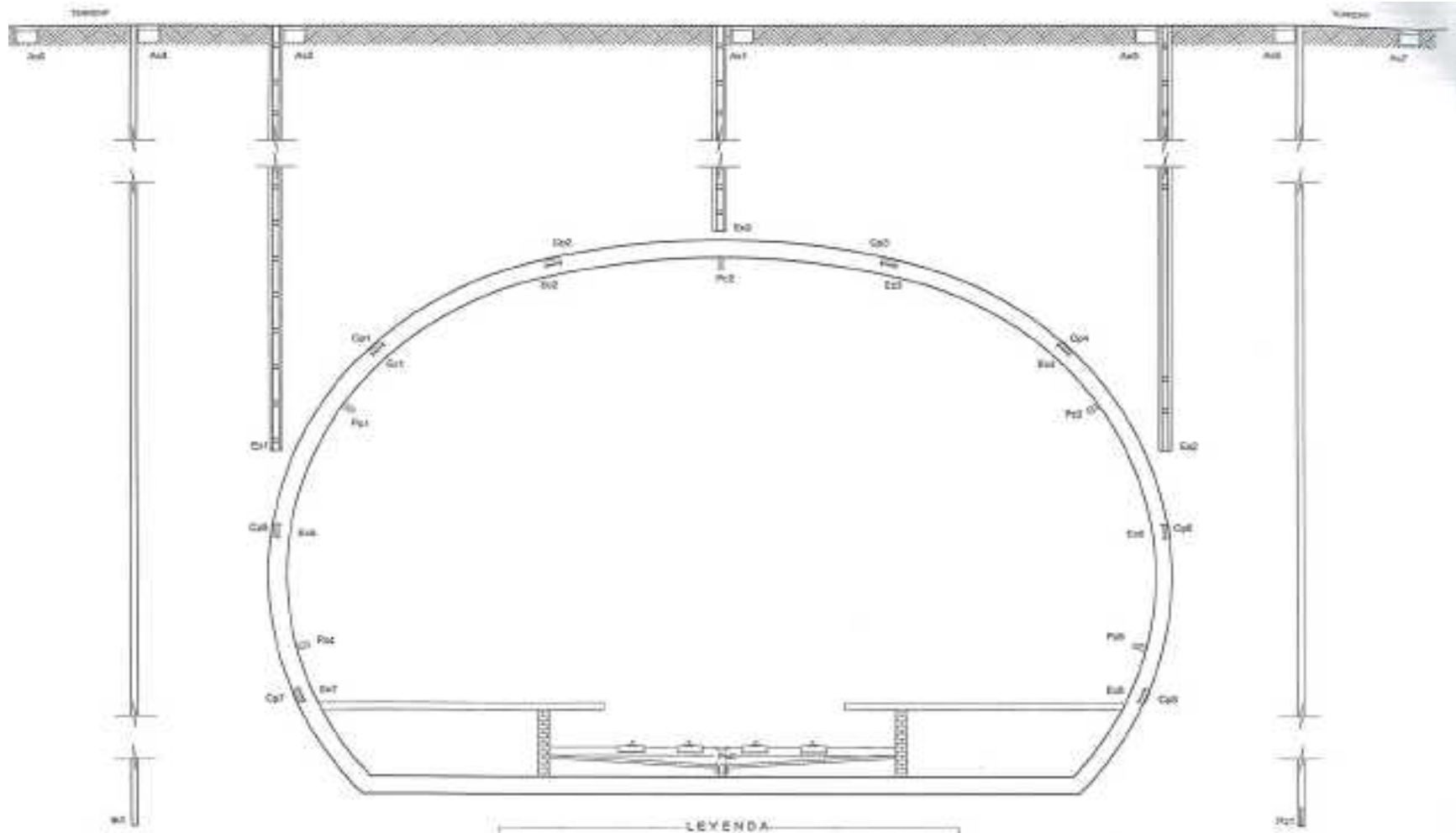


Detalle de fisuras por fatiga.



- 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.

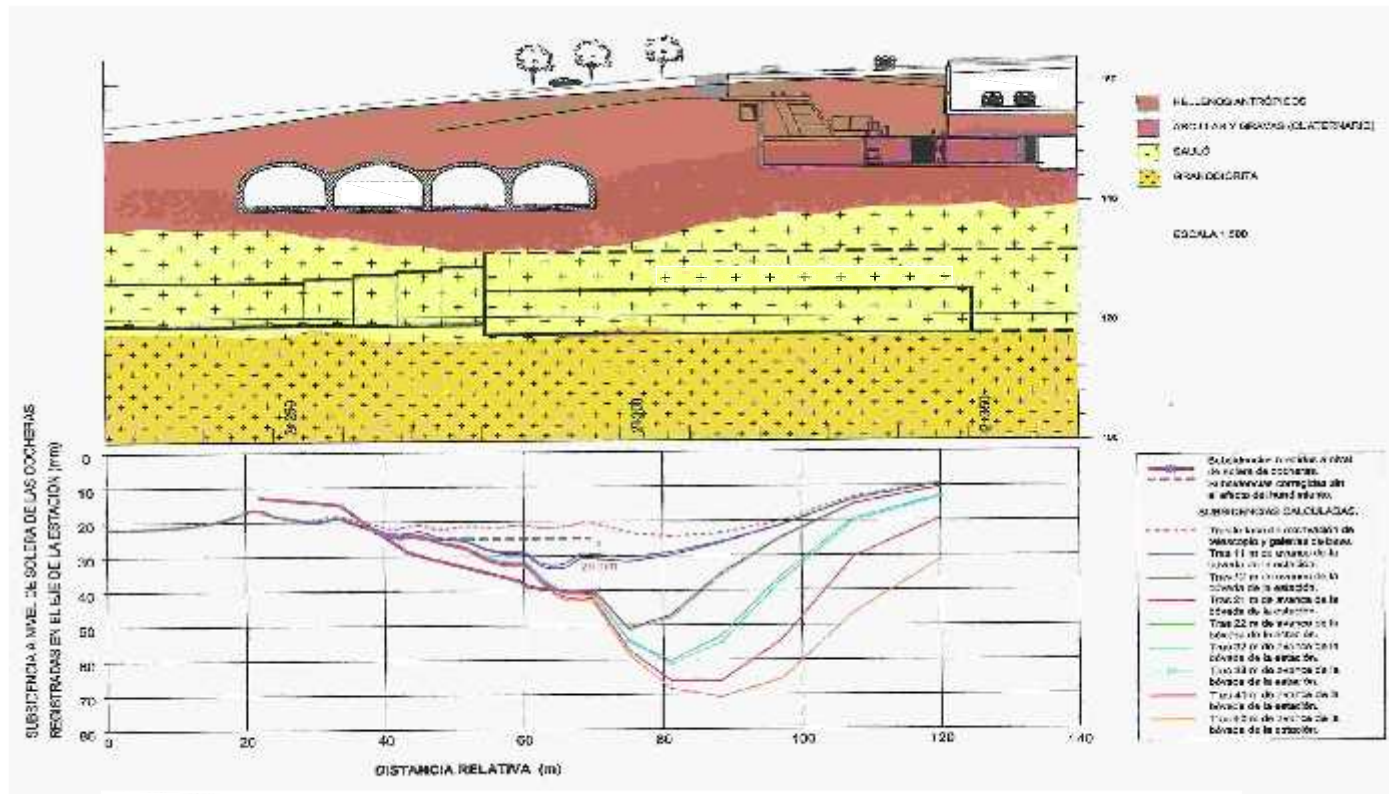




LEYENDA

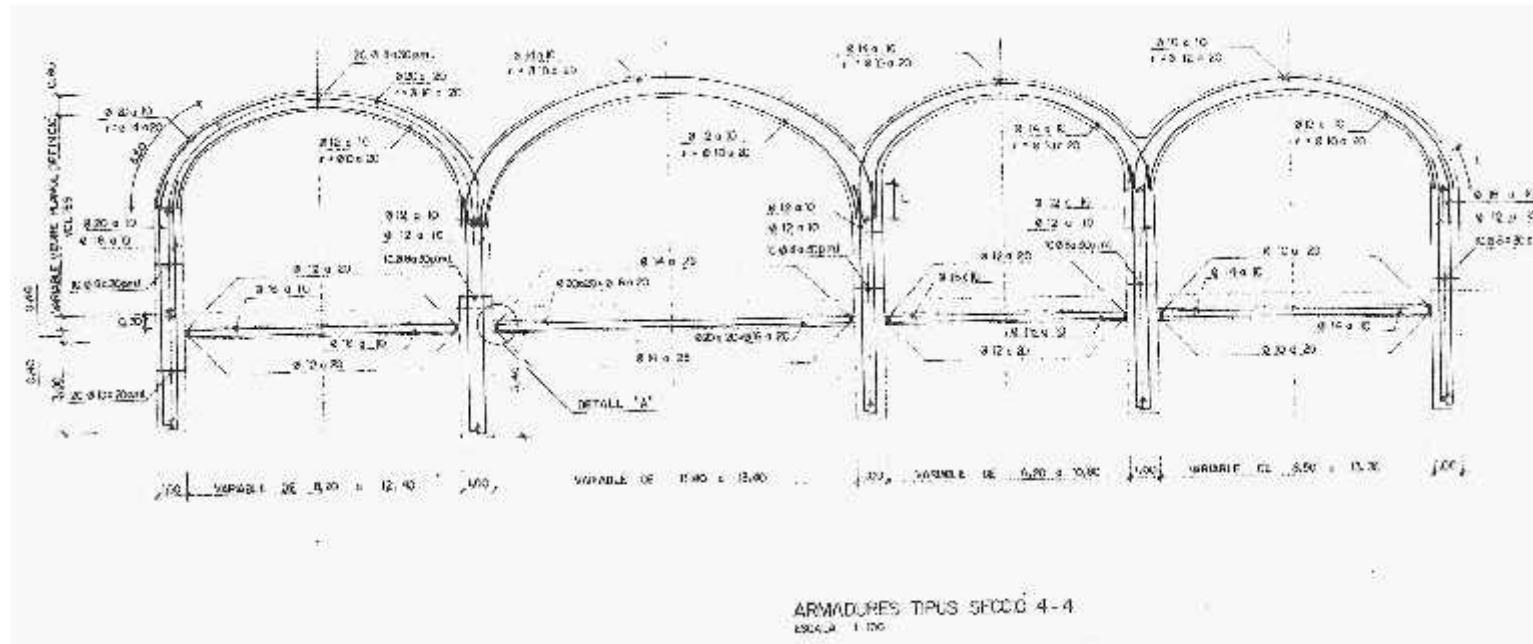
A1	Alfombrado	A4	Espejo
A2	Cableado	A5	Espejo
A3	Piso	A6	Espejo
A4	Espejo	A7	Espejo
A5	Espejo	A8	Espejo
A6	Espejo	A9	Espejo
A7	Espejo	A10	Espejo
A8	Espejo	A11	Espejo
A9	Espejo	A12	Espejo
A10	Espejo	A13	Espejo
A11	Espejo	A14	Espejo
A12	Espejo	A15	Espejo
A13	Espejo	A16	Espejo
A14	Espejo	A17	Espejo
A15	Espejo	A18	Espejo
A16	Espejo	A19	Espejo
A17	Espejo	A20	Espejo
A18	Espejo	A21	Espejo
A19	Espejo	A22	Espejo
A20	Espejo	A23	Espejo
A21	Espejo	A24	Espejo
A22	Espejo	A25	Espejo
A23	Espejo	A26	Espejo
A24	Espejo	A27	Espejo
A25	Espejo	A28	Espejo
A26	Espejo	A29	Espejo
A27	Espejo	A30	Espejo
A28	Espejo	A31	Espejo
A29	Espejo	A32	Espejo
A30	Espejo	A33	Espejo
A31	Espejo	A34	Espejo
A32	Espejo	A35	Espejo
A33	Espejo	A36	Espejo
A34	Espejo	A37	Espejo
A35	Espejo	A38	Espejo
A36	Espejo	A39	Espejo
A37	Espejo	A40	Espejo
A38	Espejo	A41	Espejo
A39	Espejo	A42	Espejo
A40	Espejo	A43	Espejo
A41	Espejo	A44	Espejo
A42	Espejo	A45	Espejo
A43	Espejo	A46	Espejo
A44	Espejo	A47	Espejo
A45	Espejo	A48	Espejo
A46	Espejo	A49	Espejo
A47	Espejo	A50	Espejo
A48	Espejo	A51	Espejo
A49	Espejo	A52	Espejo
A50	Espejo	A53	Espejo
A51	Espejo	A54	Espejo
A52	Espejo	A55	Espejo
A53	Espejo	A56	Espejo
A54	Espejo	A57	Espejo
A55	Espejo	A58	Espejo
A56	Espejo	A59	Espejo
A57	Espejo	A60	Espejo
A58	Espejo	A61	Espejo
A59	Espejo	A62	Espejo
A60	Espejo	A63	Espejo
A61	Espejo	A64	Espejo
A62	Espejo	A65	Espejo
A63	Espejo	A66	Espejo
A64	Espejo	A67	Espejo
A65	Espejo	A68	Espejo
A66	Espejo	A69	Espejo
A67	Espejo	A70	Espejo
A68	Espejo	A71	Espejo
A69	Espejo	A72	Espejo
A70	Espejo	A73	Espejo
A71	Espejo	A74	Espejo
A72	Espejo	A75	Espejo
A73	Espejo	A76	Espejo
A74	Espejo	A77	Espejo
A75	Espejo	A78	Espejo
A76	Espejo	A79	Espejo
A77	Espejo	A80	Espejo
A78	Espejo	A81	Espejo
A79	Espejo	A82	Espejo
A80	Espejo	A83	Espejo
A81	Espejo	A84	Espejo
A82	Espejo	A85	Espejo
A83	Espejo	A86	Espejo
A84	Espejo	A87	Espejo
A85	Espejo	A88	Espejo
A86	Espejo	A89	Espejo
A87	Espejo	A90	Espejo
A88	Espejo	A91	Espejo
A89	Espejo	A92	Espejo
A90	Espejo	A93	Espejo
A91	Espejo	A94	Espejo
A92	Espejo	A95	Espejo
A93	Espejo	A96	Espejo
A94	Espejo	A97	Espejo
A95	Espejo	A98	Espejo
A96	Espejo	A99	Espejo
A97	Espejo	A100	Espejo



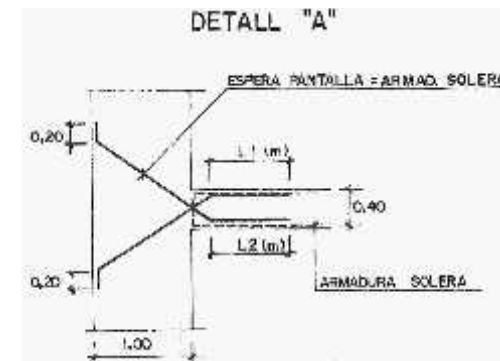


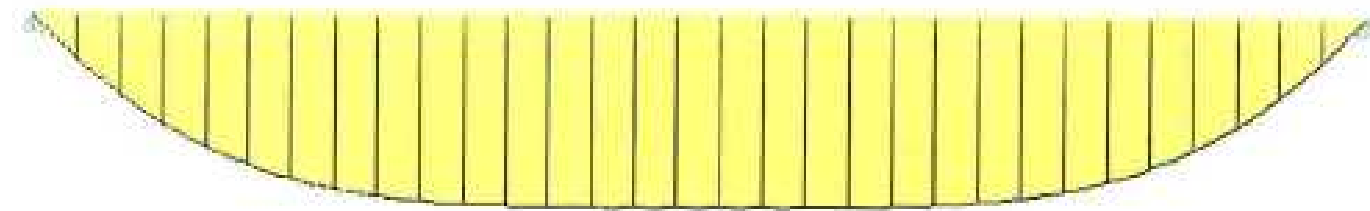
Sección general del túnel existente y el paso inferior





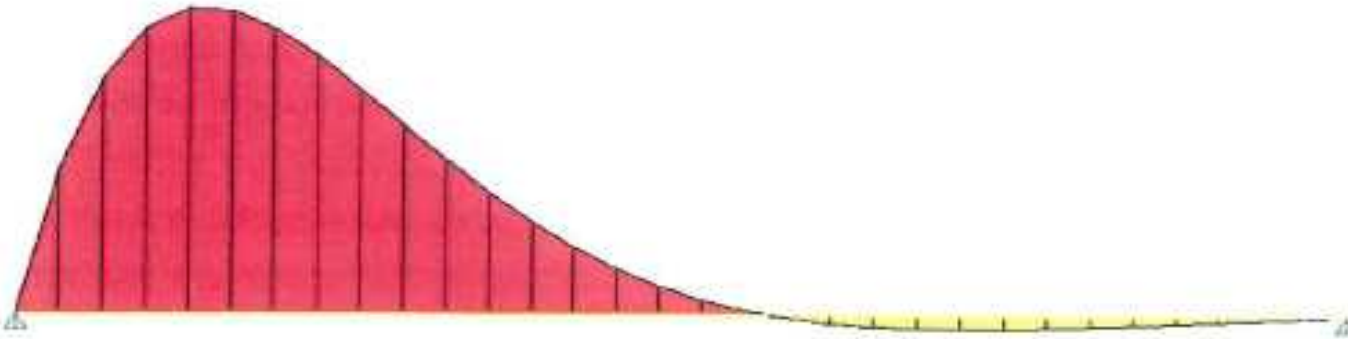
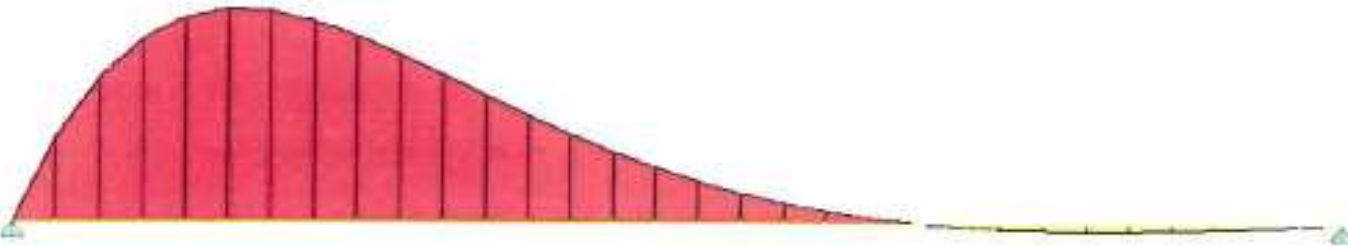
Sección de la estructura





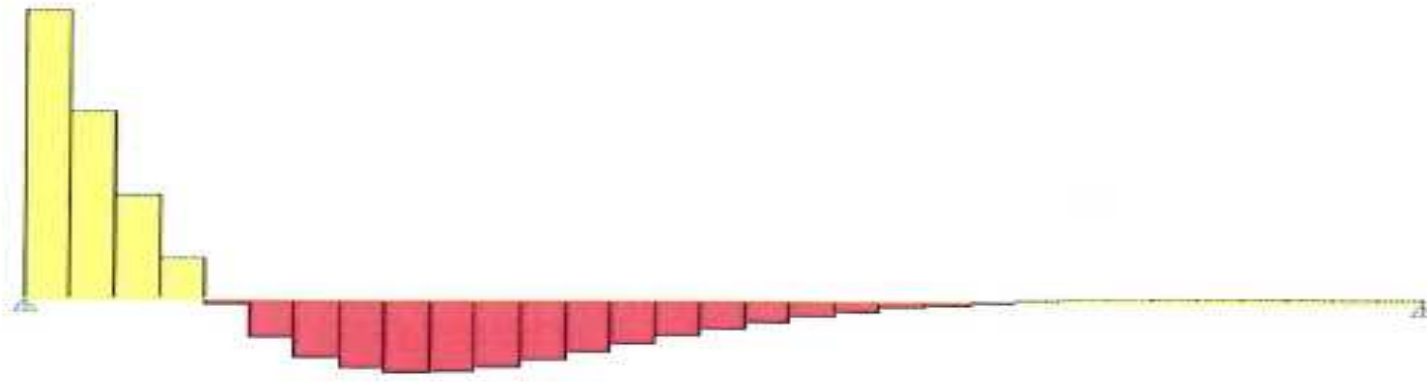
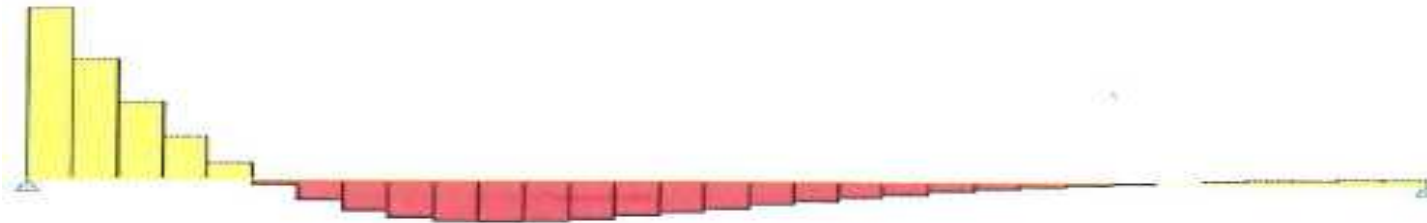
- Diagramas de momentos flectores para el peso propio y un módulo de balasto de $1,0 \text{ Kp/cm}^3$, $5,0 \text{ Kp/cm}^3$ y $10,0 \text{ Kp/cm}^3$ respectivamente





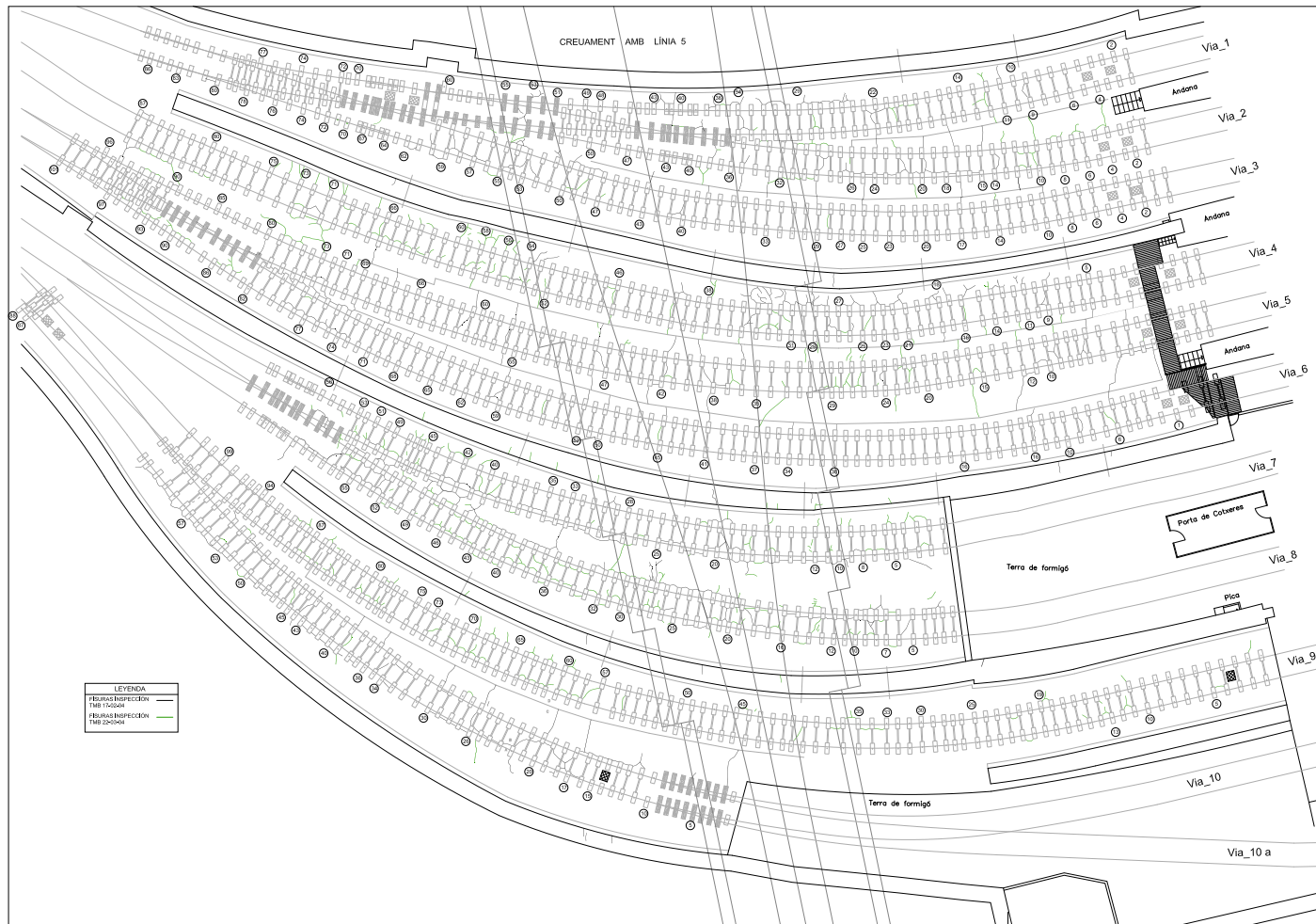
- Diagramas de momentos flectores para un descenso diferencial entre apoyos y un módulo de balasto de $1,0 \text{ Kp/cm}^3$, $5,0 \text{ Kp/cm}^3$ y $10,0 \text{ Kp/cm}^3$ respectivamente





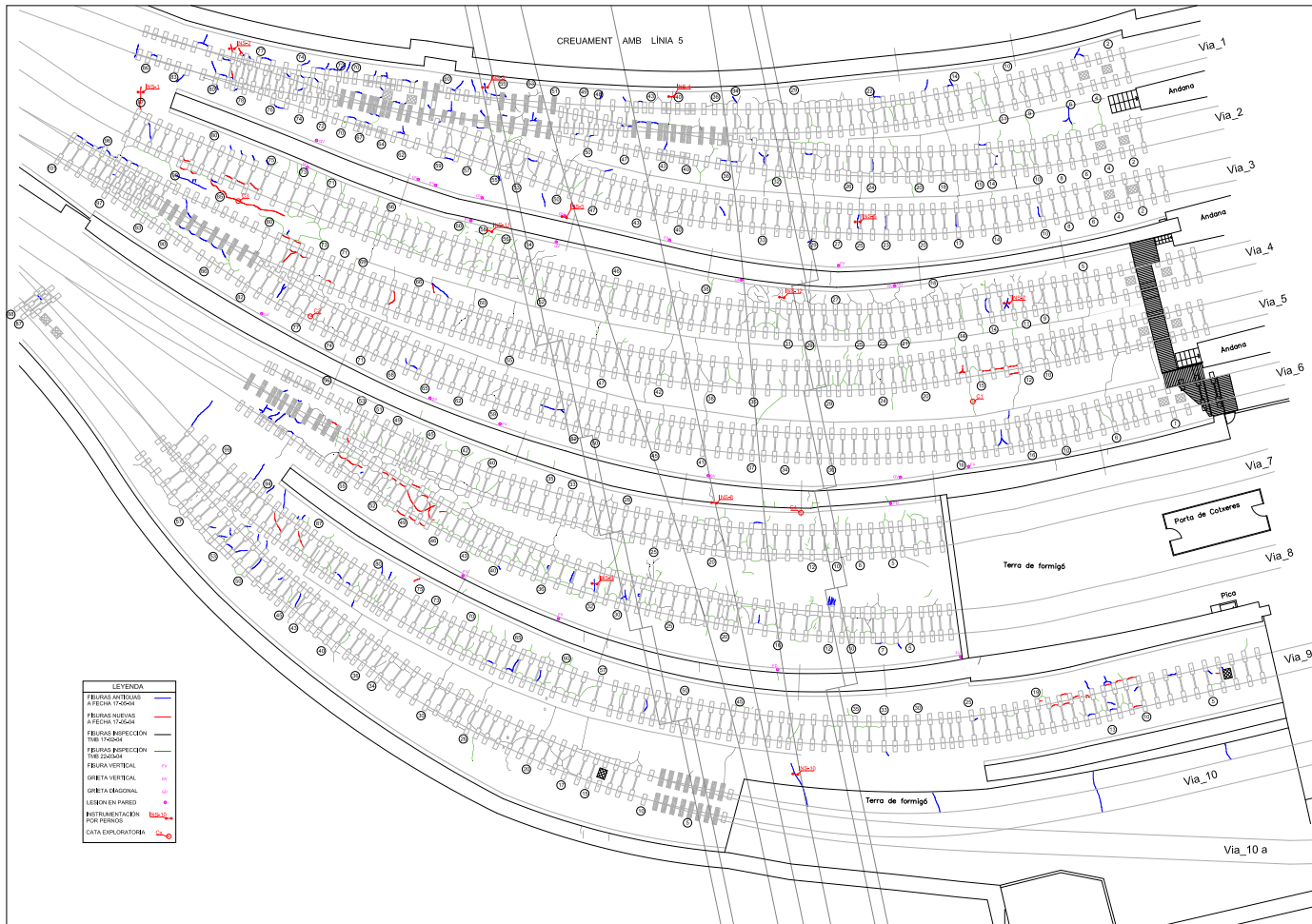
Diagramas de esfuerzos cortantes para un descenso diferencial entre apoyos y un módulo de balasto de $1,0 \text{ Kp/cm}^3$, $5,0 \text{ Kp/cm}^3$ y $10,0 \text{ Kp/cm}^3$ respectivamente





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"*



