

TÚNELES URBANOS DE ALTA VELOCIDAD EJECUTADOS CON TUNELADORA EN CATALUÑA



- ▲ 1. L.A.V. NORESTE
- ▲ 2. PROBLEMÁTICA DEL ENTORNO URBANO
- ▲ 3. GESTIÓN DEL PROCESO DE EXCAVACIÓN EN TÚNELES URBANOS
- ▲ 4. TRAZADO DE LOS TÚNELES
- ▲ 5. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS
- ▲ 6. MEDIDAS DE SEGURIDAD
- ▲ 7. MONITORIZACIÓN DE TUNELES
- ▲ 8. RESULTADOS
- ▲ 9. CONCLUSIONES

1. LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD NORESTE. SITUACIÓN ACTUAL

I Foro Internacional Ferroviario BcnRail



L.A.V. NORESTE 752Km INTEROPERABLE UIC 25KV 2010 Conexión Francia (viajeros y mercancías 3er carril)

ERTMS II (350 km/h) Madrid - Lleida Fin 2011 ERTMS II (350 Km/h Lleida - Barcelona)

2012 Finalización de la Línea Madrid - Barcelona - Frontera Francesa



3

2. PROBLEMÁTICA DEL ENTORNO URBANO. TENDENCIA

I Foro Internacional Ferroviario BcnRail



TENDENCIA A LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES URBANOS

POR QUÉ DE LOS TÚNELES PASANTES EN GRANDES CIUDADES

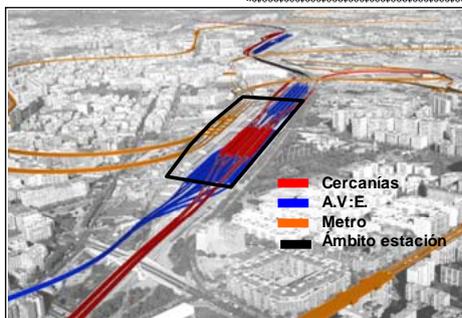
MENOR DISTANCIA ENTRE PUNTOS FIJOS (Estaciones)

MENOR IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

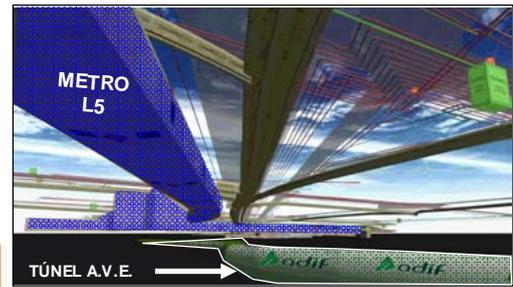
APROVECHAMIENTO DEL SUBSUELO

INTERMODALIDAD (conexión con otros servicios modales)

POSIBILIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE ESTACIONES INTERMEDIAS EN NÚCLEOS URBANOS



Ubicación futura Estación Intermodal La Sagrera. Barcelona



Vista esquemática del subsuelo en Av. Diagonal. Barcelona



4

2. PROBLEMÁTICA DEL ENTORNO URBANO.DIFICULTADES

I Foro Internacional Ferroviario BcnRail



Principales dificultades a afrontar:

Garantizar la seguridad de viviendas.



Protección de edificios singulares.



Necesidad de ocupación



Percepción negativa de las obras por el ciudadano



2. PROBLEMÁTICA DEL ENTORNO URBANO.SOLUCIONES

I Foro Internacional Ferroviario BcnRail



Solución elegida:

Ejecución de pantallas mediante Hidrofresa



Excavación mediante tuneladora EPB



Ejecución de pozos VSM



Ejecución de medidas de seguridad redundantes



Exhaustiva auscultación + Monitorización 24/7



PIAC'S (Punto de información y atención al ciudadano)



3. GESTIÓN DEL PROCESO DE LA EXCAVACIÓN DE TÚNELES URBANOS

I Foro Internacional Ferroviario BcnRail



MONITORIZACIÓN CENTRALIZADA Y EXTERNA
AL MANEJO DE LAS TUNELADORAS
24/7

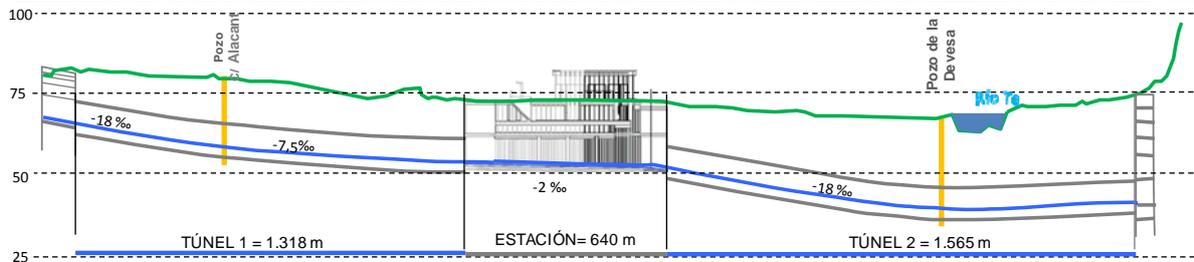


4. TRAZADO DE LOS TÚNELES.GIRONA

I Foro Internacional Ferroviario BcnRail

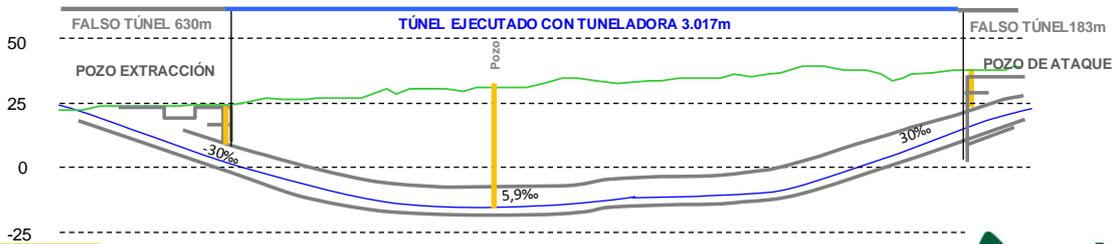


Planta y perfil longitudinal del túnel de Girona 3,6 km



4. TRAZADO DE LOS TÚNELES. MONTCADA

Planta y perfil longitudinal del túnel de Montcada 3,8 km

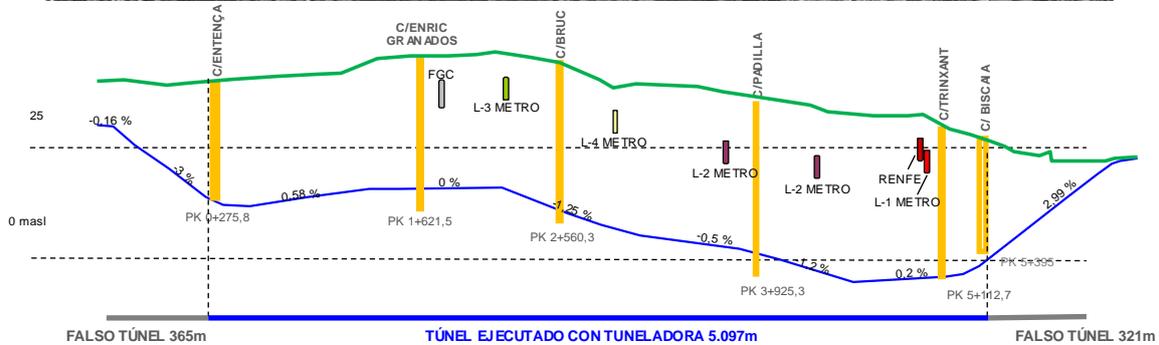
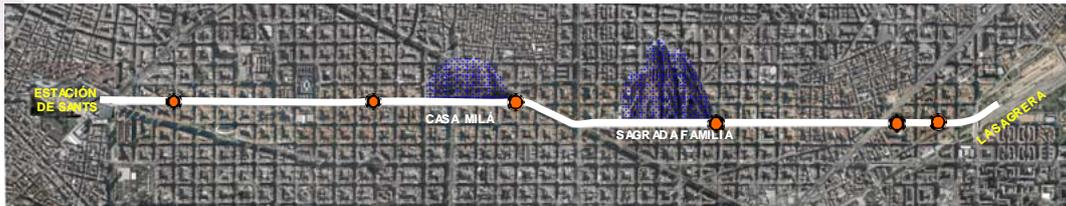


*La mayoría del trazado discurre muy cercano o por debajo de la línea convencional existente



4. TRAZADO DE LOS TÚNELES. BARCELONA

Planta y perfil longitudinal del túnel de Barcelona 5,8 km



5. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS.HIDROFRESA

I Foro Internacional Ferroviario BcnRail



Ejecución de pantallas con hidrofresa

Ventajas

Atenuación de vibraciones
Mayor precisión en la verticalidad de las pantallas
Juntas Estancas



Proceso de ejecución de pantallas

Ejecución de muro guía
Ejecución de excavación
Colocación de armaduras
Hormigonado



Inconvenientes de la ejecución mediante bivalba

Mayores vibraciones
Menor control de la verticalidad
Dificultad de excavación en terrenos duros



Aplicación

Construcción de pozos en zonas densamente urbanas

Funcionalidad

Túnel en ejecución: pozos de mantenimiento
Túnel en explotación: Pozo de ventilación y Salida de Emergencia

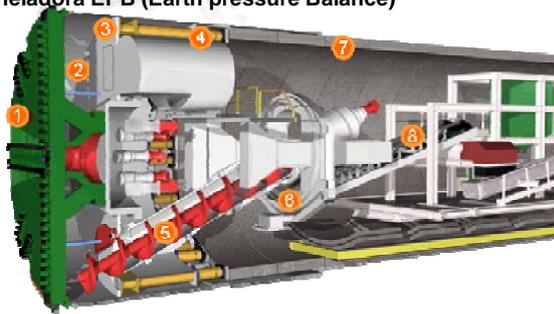


5. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS.TUNELADORA EPB

I Foro Internacional Ferroviario BcnRail



Tuneladora EPB (Earth pressure Balance)



TUNELADORA EPB

Permite perforar el terreno sin alterar sus condiciones intrínsecas de equilibrio, a la par que efectúa el montaje de las dovelas que configuran la estructura resistente del túnel

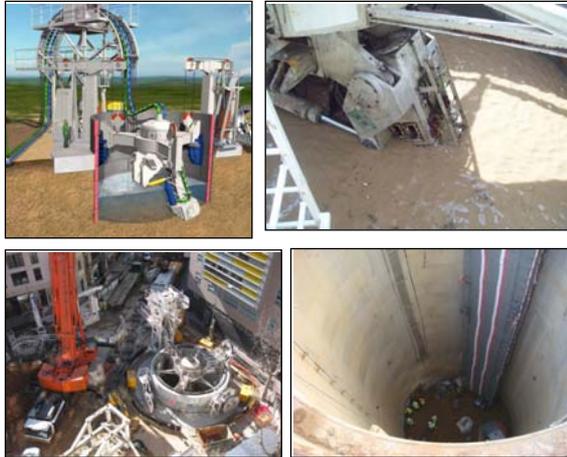
- 1 Rueda de corte
- 2 Cámara de excavación
- 3 Cámara de descompresión
- 4 Cilindros de empuje
- 5 Tornillo sin fin
- 6 Erector
- 7 Dovelas
- 8 Cinta transportadora
- 9 Escudo
- 10 Back-up

Tipo	EPB
Área de excavación	95 m ²
Diámetro de Excavación	12,2 m
Diámetro interno del túnel	11 m
Espesor del anillo	40 cm
Longitud total	125 m
Peso (RDC+Escudo)	2.700 t
Potencia total	10.500 KW



5. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS. VSM

Ejecución de pozos con VSM Vertical Shaft Machine (Tuneladora vertical)



Ventajas ejecución mediante VSM

Menor afección en suelo urbano
 Mayor rapidez en la ejecución (1 m/día) + montaje (1 mes)
 Mayor seguridad en la ejecución

Trabajos previos

Montaje estructura inicial e instalaciones auxiliares

Ciclo Excavación pozo mediante VSM

Avance de excavación mediante brazo rozador.
 Descenso de la estructura a su nueva posición.
 Montaje de nuevo anillo en la parte superior.
 Comienzo de un nuevo ciclo.

Finalización de la estructura

Ejecución tapón de fondo e inyecciones en el trasdós desde el pozo

PROCESO

6. MEDIDAS DE SEGURIDAD. PLAN CONTINGENCIA

Procedimiento en caso de Emergencia

Operación normal

Todos los parámetros de Control se encuentran dentro del 25% del valor admisible



Excavación EPB

PARÁMETROS DE CONTROL

- Tuneladora.
- Parada no programada
- Presión en cámara de excavación
- Peso material extraído
- Volumen inyección mortero
- Auscultación

Situación imprevista. No crítica

Algún Parámetro de Control supera o se reduce en el 25% del valor admisible.

- Se analizan parámetros por la Dirección de Obra y Especialistas
 - Se informa a la Mesa de Expertos.

Decisión



Situación imprevista. Crítica

Algún Parámetro de Control supera o se reduce en mas de un 25% del valor admisible. **VALORES NO ESTABILIZADOS**

- Se forma equipo respuesta inmediata con la Dirección de Obra y Especialistas.
 - **Decisión inmediata** para mitigar cualquier daño.
 - Posibilidad de detener tuneladora.
 - Se comunica a Mesa de Expertos

12 horas máximo

Reunión de Mesa de Expertos.

Medidas para la Protección Civil y Patrimonio cultural

Evaluación de posibles daños secundarios en caso de proseguir la obra

6. MEDIDAS DE SEGURIDAD.AUSCULTACIÓN

Secciones de control



Secciones de control Instrumentación edificios

AUSCULTACIÓN

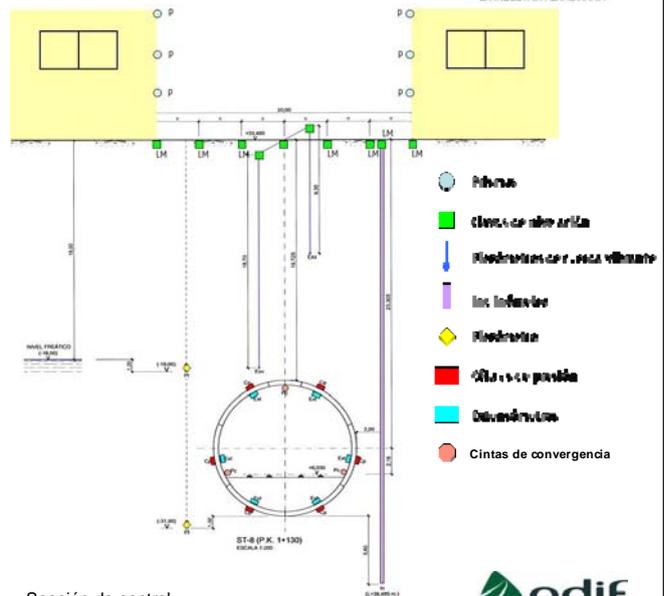
- Estudio de Edificios
- Fijación de Umbrales
- Instalación de Instrumentación
- Transmisión Online de datos en tiempo real en edificios y secciones de control

	Nº Dispositivos instalados	Nº Secciones control
Barcelona	7267	24
Montcada	2580	13
Girona	2712	9



6. MEDIDAS DE SEGURIDAD.AUSCULTACIÓN. CASO BARCELONA SAGRADA FAMILIA Y CASA MILÀ

DISPOSITIVOS DE AUSCULTACIÓN	INSTALADOS
Clavos de nivelación	1732
Prismas	3059
Hitos de nivelación de suelo	858
Hitos de vía	658
Hitos combinados	9
Inclinómetro en suelo	48
Inclinómetro en pantalla	27
Hitos profundos	52
Extensómetros de varillas	15
Extensómetros incrementales	51
Piezómetros abiertos	72
Piezómetros de cuerda vibrante	38
Células de presión	75
Extensómetro de cuerda vibrante	68
Cintas de convergencia automáticas	37
Cintas de convergencia manual	128
Electroniveles	340



Sección de control



6. MEDIDAS DE SEGURIDAD.INSPECCIÓN DE EDIFICIOS

I Foro Internacional Ferroviario BcnRail



Inspección de edificios

- Inspección cero, previa al inicio de los trabajos realizada por INTEMAC.
- Inspecciones de seguimiento, realizada por un equipo de arquitectos de la consultora INECO.
- Segundas inspecciones, Puntos de Información al Ciudadano (PIAC) gestionado por INECO

	INSPECCIÓN VIVIENDAS
BARCELONA	3700
MONTCADA	450
GIRONA	2500

ACTIVIDAD DE LOS PIAC (PUNTO DE INFORMACIÓN Y ATENCIÓN AL CIUDADANO, caso Barcelona)

- 38.759 visitas en los PIACs de la ciudad de Barcelona: Sants, Eixample y La Sagrera
- 1.459 solicitudes por escrito de los ciudadanos en los PIACs de Barcelona referentes a consultas informativas, reclamaciones y solicitudes de inspección de vivienda.
- 2402 consultas electrónicas referentes al tramo Sants-Sagrera
- Se ha definido un plan de seguimiento planificado a partir de las inspecciones previas y durante el transcurso de las obras. En fase de seguimiento, 422 edificios han sido inspeccionados (el 79% de aquellos que presentaban patologías previas al inicio de los trabajos).



Catalogación de edificios de acuerdo con inspección 0 y UPC (Universidad Politécnica de Catalunya)

- A auscultar con criterios de muestreo
- Se recomienda auscultar sus movimientos
- Seguimiento exhaustivo durante ejecución
- Realizar seguimiento exhaustivo de movimientos y realizar estudio detallado



6. MEDIDAS DE SEGURIDAD. PROTECCIÓN DE EDIFICIOS

I Foro Internacional Ferroviario BcnRail



Protección de edificios

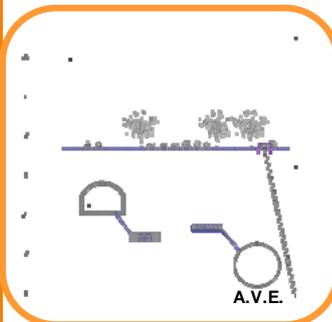
PANTALLAS DE PROTECCIÓN DE EDIFICIOS

VIVIENDAS

EDIFICIOS SINGULARES

- Biscaia
- Trinxant
- Bruc/Diagonal
- Provença 35

Sagrada Familia
Casa Milá



Biscaia y Trinxant: Ejecución de pantallas por poca montera en el inicio.

Bruc /Diagonal: Proximidad al edificio

Provença 35 : Protección parking existente (4 plantas)

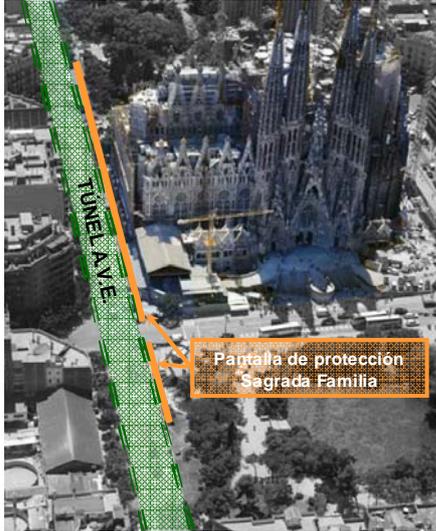


6. MEDIDAS DE SEGURIDAD. PROTECCIÓN DE EDIFICIOS
SAGRADA FAMILIA

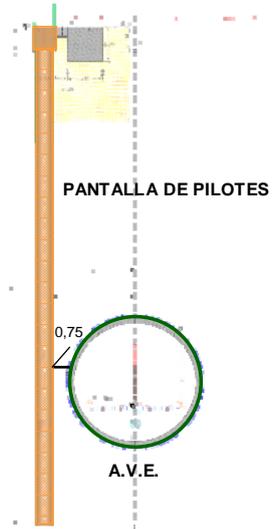
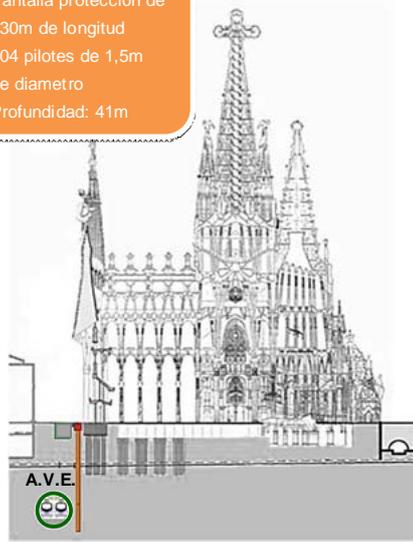
I Foro Internacional Ferroviario BcnRail



Protección de edificios (Sagrada Familia)



Pantalla protección de 230m de longitud
104 pilotes de 1,5m de diametro
Profundidad: 41m

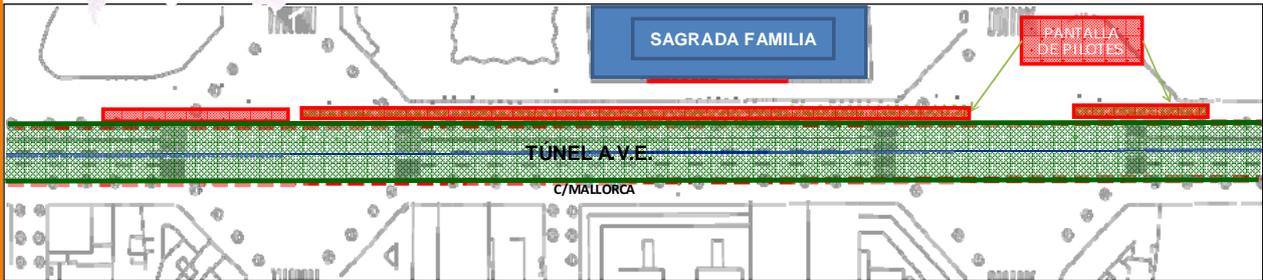


6. MEDIDAS DE SEGURIDAD. PROTECCIÓN DE EDIFICIOS
SAGRADA FAMILIA

I Foro Internacional Ferroviario BcnRail



Protección de edificios (Sagrada Familia)



Pantalla protección de 230m de longitud
104 pilotes de 1,5m de diametro
Profundidad: 41m



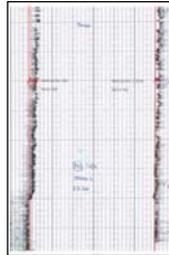
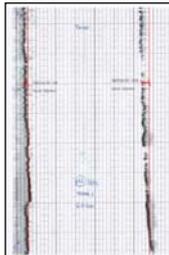
6. MEDIDAS DE SEGURIDAD.EDIFICIOS
SAGRADA FAMILIA

Sistemas adicionales de seguridad, control de verticalidad y reducción de vibraciones

Control de verticalidad de pilotes (KODEN)



Registro continuo



Lecturas

Descabezado de pilotes mediante quebrantadores hidráulicos



Quebrantador hidráulico



Descabezado de pilote



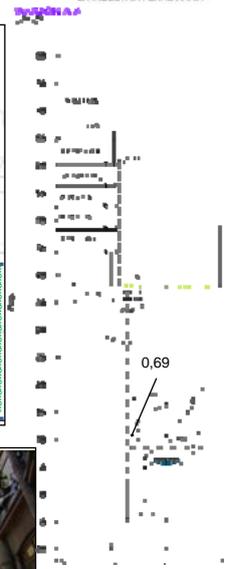
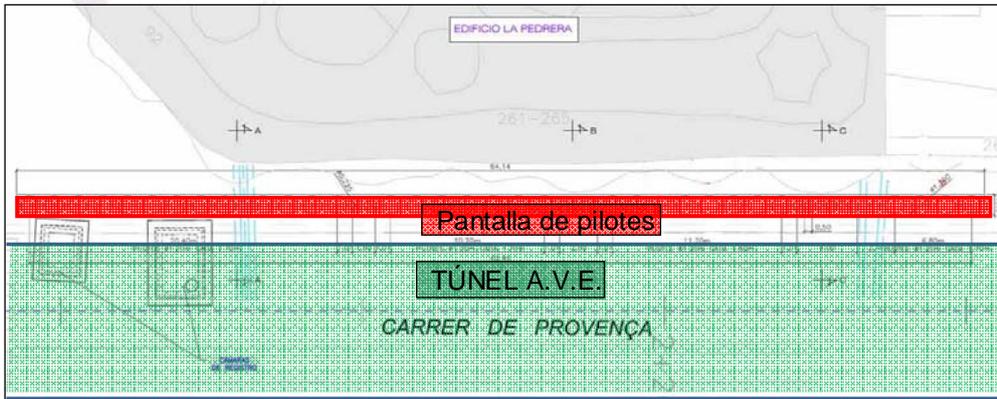
Detalle de pilote descabezado

LOS RESULTADOS DE LA DESVIACIÓN DE PILOTES OBTENIDOS ESTAN MUY POR DEBAJO DE LOS LIMITES ESTABLECIDOS (Desviación máxima obtenida < 1% L)



6. MEDIDAS DE SEGURIDAD.EDIFICIOS
CASA MILÀ

Protección de edificios (Casa Milà)



Pantalla protección de 64 m de longitud
37 pilotes de 1,2 m de diametro
Profundidad: 41 m



6. MEDIDAS DE SEGURIDAD. ESTUDIO ADICIONAL SAGRADA FAMILIA
INTEMAC

Estudio de interacción entre las obras del túnel de L.A.V. y las del Templo Expiatorio de la Sagrada Familia.

Investigación geológica-geotécnica e hidrogeológica del terreno

Inspección del TEMPLO y estructuras existentes en el subsuelo en el entorno del TEMPLO

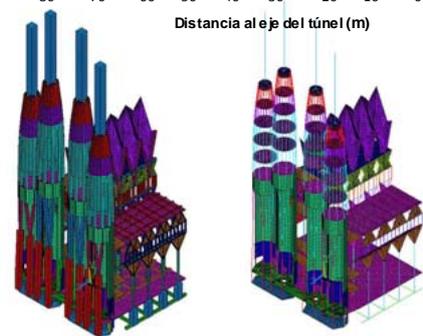
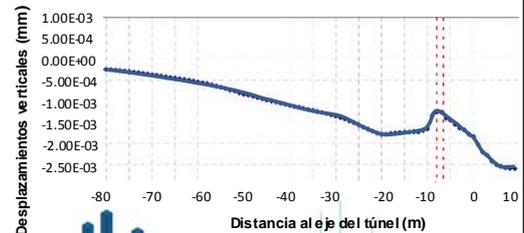
Creación de un modelo integral terreno - cimentación - estructura.

Introducción en el modelo de las medidas de protección previstas, Pantalla de pilotes

Análisis del proceso constructivo del túnel mediante EPB con el modelo creado

RESULTADO.

LOS MOVIMIENTOS QUE LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL INDUCÍA EN EL TEMPLO ERAN MUY PEQUEÑOS, INFERIORES A LOS 2 MM Y POR TANTO IRRELEVANTES PARA EL TEMPLO.



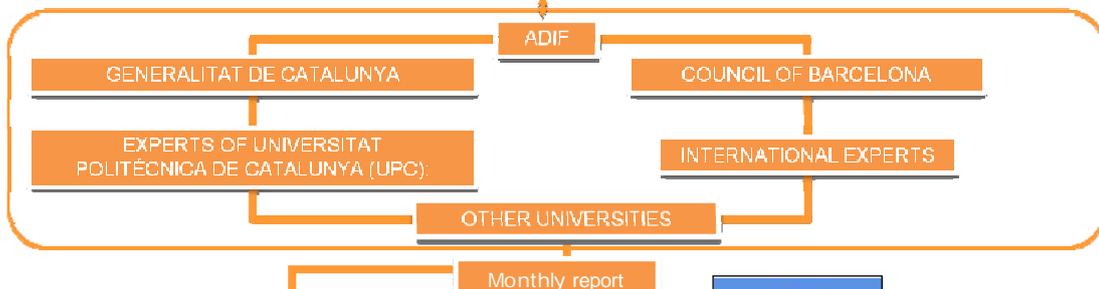
6. MEDIDAS DE SEGURIDAD. UNESCO

- El 22 de junio de 2009 en la 33 reunión de la Unesco en Sevilla se pide al Estado una especial vigilancia de la construcción del túnel entorno a los edificios catalogados como World Heritage, Sagrada Familia y Casa Milá, **Decisión COM 7B 121**
- El 24 de abril de 2010 el Ministerio de Cultura y Ministerio de Fomento realizaron una propuesta oficial a **UNESCO** para crear una Mesa de expertos.
- El 11 de mayo de 2010, dicha propuesta fue aprobada por la **UNESCO**. Los principales objetivos de la Mesa son:

- Supervisión y seguimiento de la construcción.
- Análisis de resultados.
- Recomendaciones.

BOARD OF EXPERTS

COMPOSICIÓN



6. MEDIDAS DE SEGURIDAD.UNESCO

I Foro Internacional Ferroviario BcnRail



BOARD OF EXPERT

Desde su creación la MESA se ha reunido en tres ocasiones. Las conclusiones más relevantes de las tres reuniones celebradas son las siguientes:

30 de Junio de 2010

1ª MESA DE EXPERTOS

"The TBM performs due to the intelligent pressure systems as its own "Compensation Grouting Facility"; the TBM works are executed well and with high competency."

26 de Agosto de 2010

2ª MESA DE EXPERTOS

"Design of protection measures as redundant safety system in the area of Casa Milà should be designed urgently"

20 de Enero de 2011

3ª MESA DE EXPERTOS

"The maximum measured settlements at Glory Facade of Sagrada Familia are in the range of measurement accuracy (below 0,15 cm) and their influence on the structure of Sagrada Familia are negligible,"

"The settlements near UNESCO World Heritage Part of Sagrada Familia were below 0,06cm."

22de Julio 2011

DECISIONS ADOPTED BY THE WORLD HERITAGE COMMITTEE AT ITS 35TH SESSION PARIS (UNESCO, 2011)

Decision 35 COM 7B.109

"The progress on the railway tunnel under Mallorca street, in conformity with the predictions of soil stability and structural vibration at the Sagrada Familia

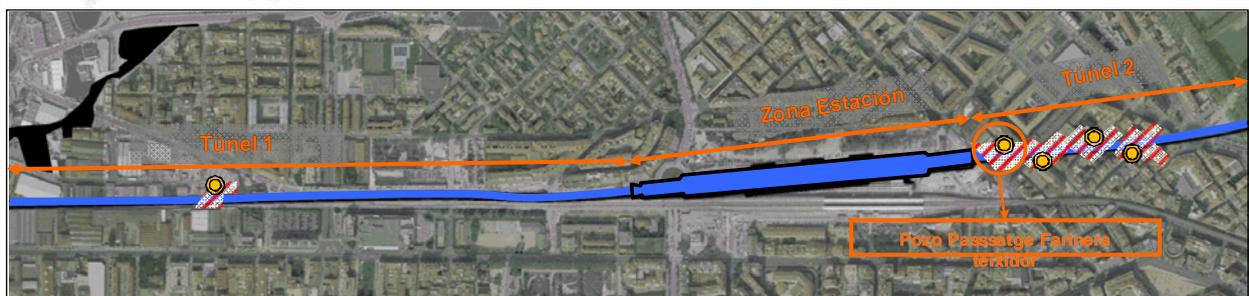


6. MEDIDAS DE SEGURIDAD.CASO GIRONA

I Foro Internacional Ferroviario BcnRail



Ubicación de los pozos de pretratamiento / compensación en Girona



● Pozo de consolidación / compensación



Área de inyección

INYECCIONES

PRETRATAMIENTO
PREVIO AL PASO DE LA TUNELADORA

Inyección de lechada a presión en una o varias fases

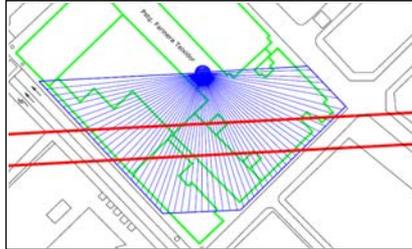
COMPENSACIÓN
DURANTE EL PASO DE LA TUNELADORA SI MOVIMIENTOS >5mm

Respuesta rápida con inyecciones en el área de influencia de asiento

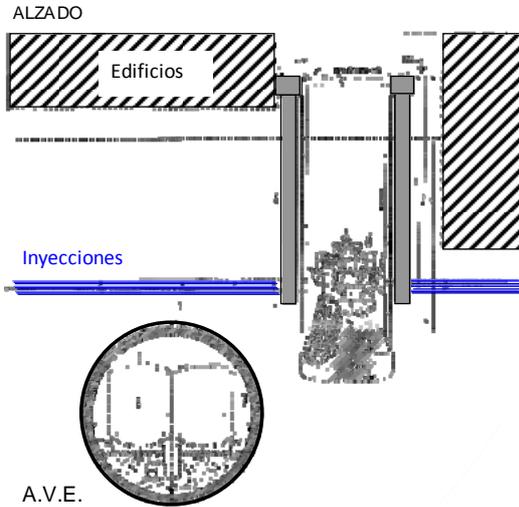


6. MEDIDAS DE SEGURIDAD.CASO GIRONA

Pretratamiento / compensación desde el pozo vertical

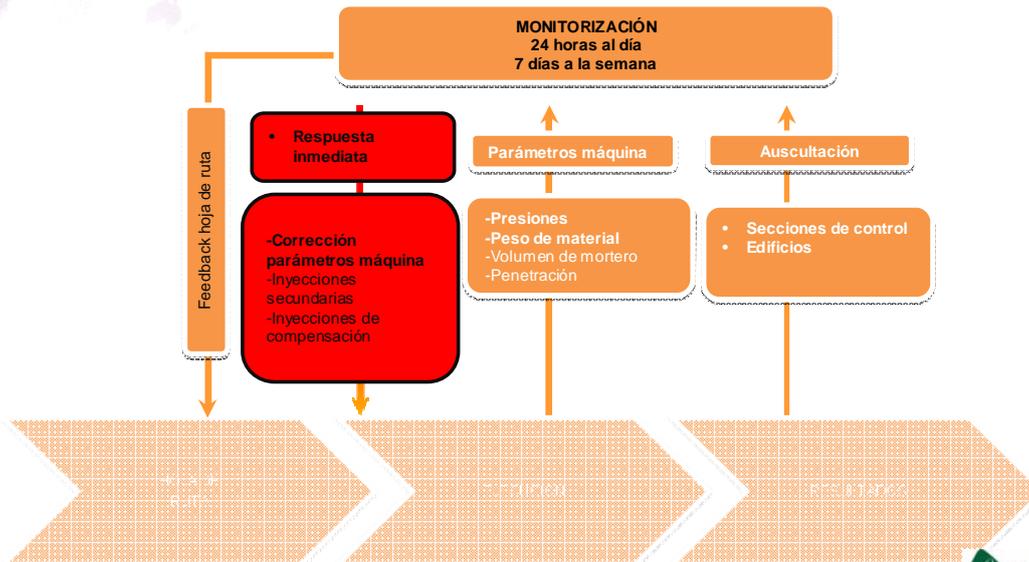


Ejecución de perforaciones para inyecciones



A.V.E. Entre edificios y túnel

7. MONITORIZACIÓN DE TÚNELES



7. MONITORIZACIÓN DE TÚNELES

Esquema de monitorización

Parámetros máquina

Visualización en tiempo real de los parámetros de operación de máquina y comparación con esperados según hoja de excavación, comunicando directamente con cabina en caso de desviaciones por encima de umbrales prefijados.

Auscultación

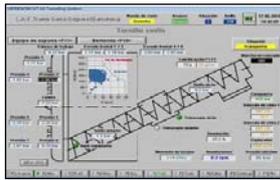
Visualización en tiempo real de los asentamientos superficiales controlados con la instrumentación.

Parámetros principales de operación

Peso del material extraído
Densidad en la cámara de excavación
Presiones de trabajo
Presión y volumen de inyección de mortero, Velocidad de avance
Fuerza de empuje del escudo.

Operación de la tuneladora, asistida en todo momento por el feedback recibido por el equipo de monitorización y control.

Visualización en tiempo real por el piloto de los asentamientos superficiales controlados con la instrumentación



MONITORIZACIÓN
24 horas al día
7 días a la semana

Visualización en tiempo real de las medidas de la auscultación instalada



CONTROL

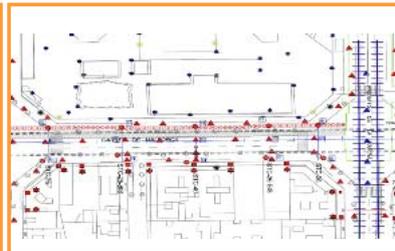
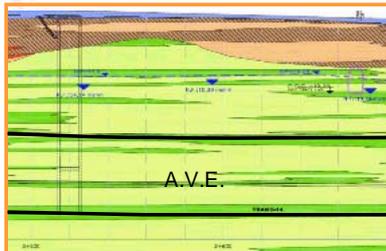
Respuesta inmediata
(Control de parámetros de la máquina)



7. MONITORIZACIÓN DE TÚNELES.

Hoja de ruta

Perfil geológico.



- Auscultación implantada
- Secciones de control

PRESIÓN DE CONFINAMIENTO O EN CLAVE (P1) Teórico 4	NIVEL SUPERIOR NIVEL INTERMEDIO NIVEL INFERIOR	0,5	NIVEL ANULAR SUPERIOR NIVEL ANULAR INTERMEDIO NIVEL ANULAR INFERIOR	1,00	NIVEL SUPERIOR NIVEL INTERMEDIO NIVEL INFERIOR	1,00
PESO MATERIAL EXTRUIDO POR ANILLO Teórico 368	NIVEL SUPERIOR NIVEL INTERMEDIO NIVEL INFERIOR	0,00	NIVEL ANULAR SUPERIOR NIVEL ANULAR INTERMEDIO NIVEL ANULAR INFERIOR	0,00	NIVEL SUPERIOR NIVEL INTERMEDIO NIVEL INFERIOR	0,00
VOLUMEN DE MORTERO POR ANILLO Teórico 125 m³	NIVEL SUPERIOR NIVEL INTERMEDIO NIVEL INFERIOR	0,00	NIVEL ANULAR SUPERIOR NIVEL ANULAR INTERMEDIO NIVEL ANULAR INFERIOR	0,00	NIVEL SUPERIOR NIVEL INTERMEDIO NIVEL INFERIOR	20,2
PRESIÓN DE CONFINAMIENTO O EN P2 y P3 Teórico 2,30 bar	NIVEL SUPERIOR NIVEL INTERMEDIO NIVEL INFERIOR	0,00	NIVEL ANULAR SUPERIOR NIVEL ANULAR INTERMEDIO NIVEL ANULAR INFERIOR	0,00	NIVEL SUPERIOR NIVEL INTERMEDIO NIVEL INFERIOR	0,00
PRESIÓN DE CONFINAMIENTO O EN P4 y P5 Teórico 2,85 bar	NIVEL SUPERIOR NIVEL INTERMEDIO NIVEL INFERIOR	0,00	NIVEL ANULAR SUPERIOR NIVEL ANULAR INTERMEDIO NIVEL ANULAR INFERIOR	0,00	NIVEL SUPERIOR NIVEL INTERMEDIO NIVEL INFERIOR	0,00

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL TÚNEL
DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS SINGULARES
DESCRIPCIÓN DE LAS SECCIONES DE CONTROL



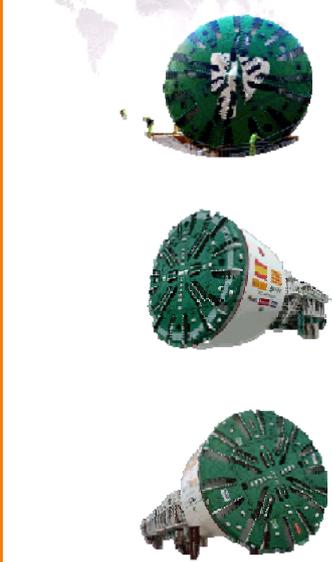
- Parámetros teóricos
- Umbrales de seguridad

- Descripción geológica
- Puntos singulares
- Paradas



8. RESULTADOS. RENDIMIENTOS EPB BARCELONA, MONTCADA Y GIRONA

I Foro Internacional Ferroviario BcnRail



Túnel :Iniciado: Marzo 2010	Tiempo de ejecución 16 meses
Túnel :Finalizado: Julio 2011	
Avance máximo	43 m / día
Avance medio	10,5 m / día
Profundidad máxima	40 m
Asientos máximos	2 mm

Barcelona

Túnel : Abril 2009	Tiempo de ejecución 30 meses
Túnel : Septiembre 2011	
Avance máximo	34 m / día
Avance medio	3,5 m / día
Profundidad máxima	46 m
Asientos máximos	4 mm

Montcada

Túnel 1 :Iniciado: Abril 2010	Tiempo de ejecución 5 meses
Túnel 1 :Finalizado: Septiembre 2010	
Túnel 2 :Iniciado: Abril 2011	Tiempo de ejecución 3 meses
Túnel 2 :Finalizado Julio 2011	
Avance máximo	41,4m/día
Avance medio	11m/día
Profundidad máxima	36 m
Asientos máximos	2 mm

Girona



8. RESULTADOS.SAGRADA FAMILIA

I Foro Internacional Ferroviario BcnRail



Protección de edificios (Sagrada Familia)

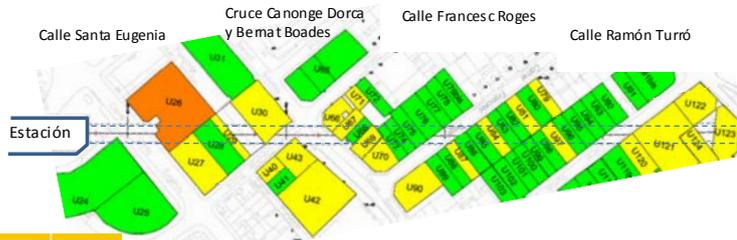
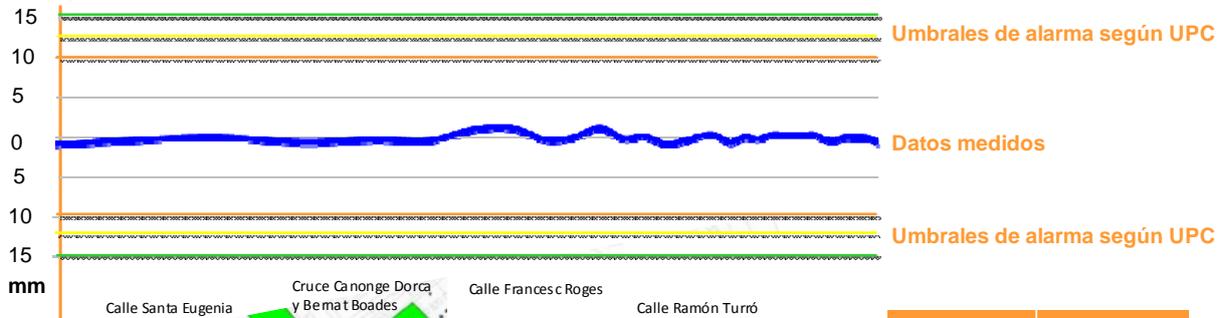
	Valores Previstos						Máximos Valores Medidos		
	INTECSA-INARSA	KIERAC		UPC	Buxadé, Margarit, Ferrando, S.L.P.	Umbral Verde (Mesa de expertos)	Dirección de avance de la tuneladora	Diciembre 2011	Enero / Febrero 2012
		Max. (0% inyección de mortero)	Min. (100% inyección de mortero)						
Asentamientos									
Eje de Lateral	5 mm	18 mm	8 mm	11,5 mm	12,5 mm	20 mm	0,7 mm	1,5 mm	1,7 mm (28/02/2011)
Fachada de la Iglesia	2 mm	4 mm	2 mm	2 mm	8,5 mm	5 mm	1,3 mm	1,3 mm	1,8 mm (25/01/2011)
Pared de la estructura del tranvía en la antigua de Sagrada Familia con un como: Bateria con el plan de la UNE300	1 mm	3 mm	1 mm	1 mm	5 mm	5 mm	0,6 mm	1,2 mm	1,2 mm (24/01/2011)
Máxima inclinación									
Estructura entre la Sagrada Familia	16.000	18.000	16.000	15.000	18.500	18.000	1410.000	1410.000	1410.000

8. RESULTADOS. GIRONA ,PASO BAJO EDIFICIOS DEL TÚNEL 2

I Foro Internacional Ferroviario BcnRail



Resultados de asientos bajo viviendas



Sensibilidad de edificios	Umbral de alarma según UPC
Verde	15 mm
Amarillo	12 mm
Naranja	10 mm



9. CONCLUSIONES

I Foro Internacional Ferroviario BcnRail



La ejecución de los túneles ha sido finalizada con éxito con los máximos estándares de seguridad en la construcción. Según la experiencia adquirida los puntos clave para la seguridad en la construcción de túneles urbanos son los siguientes.

Planificación exhaustiva mediante hoja de ruta

Diseño y ejecución de medidas preventivas pasivas

Pantallas de protección

Inyecciones de pretratamiento

Auscultación y Monitorización en tiempo real de la ejecución de los trabajos

Feedback inmediato de la Monitorización para detección y corrección inmediata de desviaciones:

Corrección de parámetros
Inyecciones secundarias
Inyecciones de compensación

La disposición de PIAC junto con la inspección y seguimiento de estado de edificios (Punto de información y atención al Ciudadano) se ha revelado como una herramienta eficaz para disminuir las posibles afecciones y mejora la percepción de las obras por parte del ciudadano





GRACIAS POR SU ATENCIÓN

