



United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization

Organisation  
des Nations Unies  
pour l'éducation,  
la science et la culture

Organización  
de las Naciones Unidas  
para la Educación,  
la Ciencia y la Cultura

Организация  
Объединенных Наций по  
вопросам образования,  
науки и культуры

منظمة الأمم المتحدة  
للثقافة والعلم والتعليم

联合国教育、  
科学及文化组织

## Sección de Cultura

Excelentísima Sra. María Jesús San Segundo  
Embajadora, Representante Permanente  
Delegación Permanente del  
Reino de España ante la UNESCO  
UNESCO House

7 de junio de 2010

Ref.: WHC/74/2756/ES/PA/ASD

Asunto: **Informe sobre el seguimiento reactivo de los bienes de Patrimonio de la Humanidad de las Obras de Antonio Gaudí (España)**

Estimada Señora Embajadora:

Le adjuntamos el informe de la comisión de seguimiento de los bienes de Patrimonio de la Humanidad de las Obras de Antonio Gaudí (España), que tuvo lugar entre el 7 y el 11 de febrero de 2010.

Desearía aprovechar esta oportunidad para agradecer a ustedes, las autoridades, así como a las autoridades locales y partes interesadas en las distintas ubicaciones, todo el apoyo prestado a los miembros de esta comisión. Les agradeceríamos que nos comunicaran cualquier comentario que pudieran tener al respecto.

Quiero aprovechar esta oportunidad para agradecerle su cooperación y su apoyo en la aplicación de la Convención para el Patrimonio de la Humanidad.

Sírvase aceptar las muestras más sinceras de mi consideración.

[Aparece una firma ilegible]

Francesco Bandarin  
Director a.i.  
Centro del Patrimonio de la Humanidad

Doc. adjuntos

CC: Comisión Nacional de España para la UNESCO  
Ministerio de Cultura, España  
ICOMOS International

7, Place de Fontenoy  
75352 Paris 07 SP, Francia  
Tel.: +33 (0) 1 45 68 14 40  
Fax: +33 (0) 1 45 68 55 70

[www.unesco.org](http://www.unesco.org)



United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization

Organisation  
des Nations Unies  
pour l'éducation,  
la science et la culture

**Patrimonio de la Humanidad**

**34 COM**

Distribución limitada

París, 17 de mayo de 2010

Original: Inglés

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS  
PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA**

**CONVENCIÓN PARA LA PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD  
CULTURAL Y NATURAL**

**COMITÉ DEL PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD**

**Sesión trigésimo cuarta**

**Brasilia, Brasil  
25 de julio - 3 de agosto de 2010**

**Punto 7 del Orden del día provisional: Estado de conservación de los bienes  
incluidos en la Lista del Patrimonio de la Humanidad y/o en la Lista del  
Patrimonio de la Humanidad en peligro**

**INFORME DE LA COMISIÓN**

**Obras de Antonio Gaudí (España) (320bis)**

**7-11 de febrero de 2010**

Este informe de comisión debe leerse conjuntamente con el Documento:  
WHC-10/34.COM/7B.Add

## ÍNDICE

### INFORME DE LA COMISIÓN DE EXPERTOS

<b>1 ANTECEDENTES Y OBJETIVO DE LA COMISIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVO	1
<b>2 DESCRIPCIÓN DE LOS BIENES DEL PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD</b>	<b>1</b>
2.1 LA SAGRADA FAMILIA COMO MONUMENTO ARQUITECTÓNICO EXCEPCIONAL	2
2.2 CASA MILÀ COMO MONUMENTO ARQUITECTÓNICO EXCEPCIONAL	3
<b>3 CRONOLOGÍA DEL PROYECTO DEL AVE Y DEBATE SOBRE LOS TRAZADOS ALTERNATIVOS</b>	<b>4</b>
<b>4 DESCRIPCIÓN DEL TRAZADO ACTUAL Y SU SITUACIÓN RESPECTO AL PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD DE LA UNESCO</b>	<b>4</b>
<b>5 CUESTIONES Y RIESGOS DECLARADOS POR LA UNESCO, ICOMOS Y LAS ONG</b>	<b>5</b>
<b>6 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE LA LÍNEA DE TREN DE ALTA VELOCIDAD (AVE)</b>	<b>6</b>
6.1 ESTADO DEL SUBSUELO Y DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS; INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS	6
6.2 MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL Y TECNOLOGÍA ESCOGIDA	6
6.3 DISEÑO DEL REVESTIMIENTO DEL TÚNEL	7
6.4 ESTUDIO DE ASENTAMIENTOS	7
6.5 MEDIDAS DE PROTECCIÓN PARA EL PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD DE LA UNESCO EN LA SAGRADA FAMILIA	9
6.6 ESTUDIO HIDROLÓGICO	10
6.7 ESTUDIO DE VIBRACIONES	10
<b>7 AUSCULTACIÓN</b>	<b>11</b>
7.1 AUSCULTACIÓN GEOTÉCNICA	11
7.2 AUSCULTACIÓN DE LA TUNELADORA	12
7.3 AUSCULTACIÓN DE LOS BIENES DE PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD	12
<b>8 ESTADO REAL DEL PROYECTO DEL AVE</b>	<b>12</b>
8.1 ESTADO DE LOS TRABAJOS DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN EN LA SAGRADA FAMILIA	12
8.2 RESULTADO DE LA AUSCULTACIÓN EN LOS TRABAJOS DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN EN LA SAGRADA FAMILIA	12
8.3 ESTADO DE LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL	13
8.4 RESULTADO DE LA AUSCULTACIÓN DURANTE LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL	13
<b>9 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS</b>	<b>13</b>
<b>10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>15</b>
<b>11 ANEXOS</b>	<b>17</b>

## 1 ANTECEDENTES Y OBJETIVO DE LA COMISIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

De conformidad con la designación de Patrimonio de la Humanidad y la Evaluación de ICOMOS en 1984, Casa Milà, entre otros monumentos arquitectónicos (Parque Güell, Palacio Güell) de Barcelona, se incluyó en la Lista de Patrimonio de la Humanidad con la referencia N320 como "Obras de Antonio Gaudí". Entre el 10 y el 17 de julio de 2005, por decisión de la 29ª Sesión del Comité de Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO en Durban, se aprobó la ampliación de "Obras de Antonio Gaudí", con la inscripción de los monumentos Fachada del Nacimiento y Cripta de la Sagrada Familia, Casa Vicens, Casa Batlló y la Cripta de la Colonia Güell en la Lista del Patrimonio de la Humanidad.

El Proyecto de la Línea de Tren de Alta Velocidad (AVE) Madrid-Barcelona-Frontera de Francia se empezó a desarrollar en 1998. La disposición definitiva del tramo que conecta Sants y Sagrera, dos de las principales estaciones de tren de Barcelona, discurre a lo largo de los monumentos Casa Milà y Sagrada Familia. Este hecho ha provocado la preocupación por la seguridad de determinadas Organizaciones No Gubernamentales (ONG), la Junta de la Sagrada Familia y el Comité de Construcción de la Sagrada Familia, que está completando el Templo de la Sagrada Familia de conformidad con los documentos históricos disponibles. La Junta de la Sagrada Familia y el Comité de Construcción informaron a la UNESCO de la situación, en una carta del Arquitecto Jefe del Templo de la Sagrada Familia con fecha del 12 de enero de 2007. En el Anexo 1 se documentan las acciones que se llevaron a cabo en relación con esta situación.

Como resultado de las acciones emprendidas, la UNESCO/ICOMOS asignaron a expertos independientes para que examinaran la influencia del Proyecto del AVE en los bienes del Patrimonio de la Humanidad, la Sagrada Familia y Casa Milà, y para que prepararan un informe de la comisión. Este informe se basa en los documentos proporcionados por la UNESCO/ICOMOS, presentados por las partes interesadas, que se incluyen en el Anexo 2, la información obtenida durante la visita a dichos lugares entre el 6 y el 11 de febrero de 2010, otros documentos distribuidos después de la comisión, el estado real de la tecnología y la investigación, nuestra experiencia y opiniones independientes. El programa de la visita se incluye en el Anexo 3.

### 1.2 OBJETIVO

El objetivo de la comisión queda definido en los Términos de Referencia, documento distribuido por la UNESCO el 03.02.2010:

*"Revisar el proyecto del túnel, sus impactos adversos potenciales y los posibles daños irreversibles para la estructura del Templo de la Sagrada Familia, en la ubicación del Patrimonio de la Humanidad de las Obras de Antonio Gaudí;*

*tener en cuenta cualquier requisito para modificar el trazado del túnel más lejos del Templo de la Sagrada Familia;*

*en base al informe de estado de conservación presentado al Centro del Patrimonio de la Humanidad por el Estado el 1 de febrero de 2010, presentar un informe conciso [...]. El informe debería formular las recomendaciones a tener en cuenta por el Comité del Patrimonio de la Humanidad, incluyendo las medidas correctivas necesarias para conservar la integridad y autenticidad del Valor Universal Excepcional de los bienes."*

## 2 DESCRIPCIÓN DE LOS BIENES DEL PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD

### 2.1 LA SAGRADA FAMILIA COMO MONUMENTO ARQUITECTÓNICO EXCEPCIONAL

El Templo Expiatorio de la Sagrada Familia es un templo de gran tamaño de la Iglesia Católica Romana, de financiación privada, que empezó a construirse en 1882 y cuya finalización no se espera hasta 2026, como mínimo, el 100º aniversario de la muerte de Gaudí. Una parte del interior del edificio está abierta a visitantes y turistas.

Teniendo en cuenta el excelente trabajo del famoso arquitecto catalán Antonio Gaudí (1852-1926), la gran escala y el diseño idiosincrásico del proyecto han convertido el edificio en una de las atracciones turísticas más importantes de España durante muchos años. La Sagrada Familia fue diseñada por Antonio Gaudí (1852-1926), que trabajó en este edificio desde 1883 y dedicó los últimos quince años de su vida al proyecto. En 1882, antes de que Gaudí participara, se nombró a Francesc del Villar para que diseñara una iglesia en esta ubicación, pero éste dimitió un año después, momento en que Gaudí fue nombrado arquitecto del proyecto y éste lo rediseñó de manera considerable.

Tras la muerte de Gaudí en 1926, la obra continuó bajo la dirección de su estrecho colaborador Domènec Sugrañes. Los cuatro campanarios de la Fachada del Nacimiento, en la cara este, se completaron en 1930. En 1936, durante la Guerra Civil Española, los revolucionarios prendieron fuego a la cripta, quemaron las Escuelas Provisionales de la Sagrada Familia y destruyeron el taller. Como resultado, quedaron destruidos la mayor parte de los planos, dibujos y fotografías originales, así como algunas de las maquetas de yeso a escala. La restauración de la cripta y de las maquetas destrozadas finalizó cuatro años después.



*Fig. 1 - Fachada del Nacimiento en torno a 1926 (izquierda). Modelo de las cargas invertidas con cadenas (centro) y modelo de la nave principal y el claustro de yeso (derecha)*

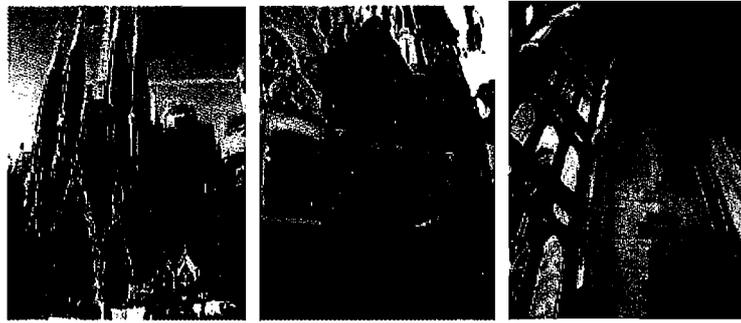
Entre 1954 y 1977 continuaron las obras en la Fachada de la Pasión, en el lado oeste, pero en la actualidad aún no se ha finalizado. La construcción de la nave empezó en 1978. La bóveda de la nave central se finalizó en el año 2000.

De forma paralela a los trabajos de construcción, se ejecutaron las obras de construcción de la línea 5 del metro en dirección de la calle Provença, al norte de la Sagrada Familia (1992), y de la línea 2 del metro, en dirección de la calle Marina, al este del templo. Las dos líneas de metro se construyeron con el método de falso túnel. El nivel inferior de las dos líneas se encuentra aproximadamente a la altura de la cimentación de la Cripta de la Sagrada Familia.

Los trabajos principales desde el año 2000 han sido la construcción de las bóvedas del transepto y el ábside. A partir de 2006, los trabajos se han concentrado en el cruce y la estructura de soporte de la torre principal de Jesucristo, así como en el recinto sur de la nave central, que se convertirá en la fachada principal: la Fachada de la Gloria. La torre central de Jesucristo, coronada por una cruz gigantesca, tendrá una altura total de 170 m, una de las espiras más altas del mundo. Además, la Torre de María, con una altura superior a 120 m, también está en proceso de construcción.

Gaudí planeó unas columnas inclinadas de ramificación en forma de árbol para la iglesia. A partir de un estudio largo, metódico y empírico de escalas con pesos invertidos con cadenas o cuerdas, un método usual en el gótico, además de cálculos gráficos, Gaudí pudo determinar la inclinación de los elementos portantes (columnas-árboles) para optimizar el comportamiento estructural, mediante la transferencia de las cargas al núcleo central. De esta forma, conseguía que los elementos de compresión funcionaran y reducía los elementos flexionados al mínimo. También consiguió reducir las cargas principales a lo largo de los pilares interiores de la nave y no a lo largo del perímetro del suelo ni de los elementos exteriores.

*Fig. 2 - Fachada del Nacimiento en la actualidad (izquierda), costosa conexión entre la estructura antigua y la nueva en el claustro este (centro) y en los muros exteriores de la sacristía (derecha)*



El actual director de la Junta de Construcción de la Sagrada Familia, Jordi Bonet i Armengol, ha introducido la informática en el proceso de diseño y construcción desde la década de 1980. Los programas informáticos modernos de cálculo y diseño, así como los materiales de construcción modernos como, por ejemplo, el hormigón armado de alto rendimiento, ayudan al equipo de trabajo de la Sagrada Familia a llevar a cabo el trabajo de Antonio Gaudí.

## **2.2 CASA MILÀ COMO MONUMENTO ARQUITECTÓNICO EXCEPCIONAL**

Casa Milà es otro edificio excepcional diseñado por Gaudí, que también forma parte del Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO, incluida en "Obras de Antonio Gaudí". Fue construida durante los años 1906-1910. Se encuentra en el cruce de Paseo de Gracia y la Calle Provença, por debajo de las cuales pasará el túnel del AVE.

Casa Milà fue el último edificio profano de Gaudí antes de que éste se centrara totalmente en la construcción de la Sagrada Familia. Fue construida para el matrimonio Roser Segimon y Pere Milà. El diseño de Gaudí no se siguió en algunos aspectos. El gobierno local se opuso a algunos aspectos del proyecto, multó a los propietarios por muchas infracciones del código de la construcción, ordenó la demolición de algunos elementos que superaban la altura estándar de la ciudad y se negó a autorizar la instalación de una escultura enorme en la parte superior del edificio, descrita como "la Virgen" y que, según declara Gijs van Hensbergen en su biografía de Gaudí, representaba a la diosa primitiva de la Tierra, Gaia.



*Fig. 3 - Entrada de la Casa Milà (izquierda), vista del atrio elíptico desde el techo (centro) y desde abajo (derecha)*

Casa Milà se encontraba en malas condiciones a principios de la década de 1980. Se había pintado de color marrón lóbrego y muchas de sus gamas de colores interiores se habían abandonado o se había permitido su deterioro, pero desde entonces se han restaurado y se han reavivado muchos de los colores originales. La estructura del edificio está hecha de hormigón armado con columnas de carga y sin ninguna pared de carga ni de retención.

Los pasamanos de hierro forjado de los balcones son únicos y extemporáneos, obra de Josep Maria Jujol, que también trabajó en otros proyectos con Gaudí. En cada apartamento, las paredes se pueden cambiar de forma individual. En el edificio también hay un aparcamiento subterráneo.

En la actualidad, el edificio es propiedad de Caixa Catalunya. El edificio fue incluido en el Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO en 1984. Fue el primer edificio del siglo XX declarado Patrimonio de la Humanidad.

### 3 CRONOLOGÍA DEL PROYECTO DEL AVE Y DEBATE SOBRE LOS TRAZADOS ALTERNATIVOS

El proyecto de la Línea de Tren de Alta Velocidad (AVE) Madrid - Barcelona - Frontera de Francia, se desarrolló para conectar España con la red de trenes de alta velocidad de Europa. Parte de este proyecto es el tramo Barcelona Aeropuerto - L'Hospitalet - Calle Mallorca, con una conexión entre la existente Estación de Sants y La Sagrera. En 1999 se hizo público un estudio de la conexión entre Sants y La Sagrera. La Estación de Sants cubre las conexiones de tren con el sur de España y la Estación de La Sagrera cubre las conexiones con el norte de España. La distancia directa entre las dos estaciones de tren es de 5,6 km. Con respecto al entorno existente y a los bienes de Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO en Barcelona se han estudiado varias rutas alternativas para la conexión. En el Anexo 4 se ha incluido la información sobre estas rutas alternativas. Según los distintos estudios, los requisitos legales y los motivos económicos resultantes de los costes de las distintas rutas y del tiempo de desplazamiento necesario, se eligió la ruta que pasa más cerca de los monumentos Patrimonio de la Humanidad: la Sagrada Familia y Casa Milà.

### 4 DESCRIPCIÓN DEL TRAZADO ACTUAL Y SU SITUACIÓN RESPECTO AL PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD DE LA UNESCO

La distancia directa entre las estaciones de tren de Sants y La Sagrera es de 5,6 km. Para conectar las estaciones se ha planificado un túnel con un diámetro externo de 11,55 m. La mayor parte del túnel (parte central de 5 km se ejecuta con una tuneladora de alta tecnología (TBM, por sus siglas en inglés), mientras que el resto (tramos de acceso de 0,6 km en total) se ha realizado con el método de falso túnel, entre el diafragma y los muros de hormigón perforados. Con excepción del tramo ubicado entre el eje de extracción (km 0 + 408) y el km 0 + 520, el túnel se encuentra debajo del nivel freático, con una altura media de 19 m sobre su bóveda.

El monumento Patrimonio de la Humanidad, la Sagrada Familia, se encuentra situado junto al kilómetro del proyecto 3+500 y 3+700, y Casa Milà se encuentra junto al kilómetro del proyecto 2+160 y 2+200. En su ruta desde La Sagrera a Sants, el túnel pasará junto a la Casa Milà por su fachada de la calle Provença. El túnel proyectado del tren de alta velocidad pasará a lo largo del monumento de la Sagrada Familia, en la Calle Mallorca, junto a la Fachada de la Gloria.

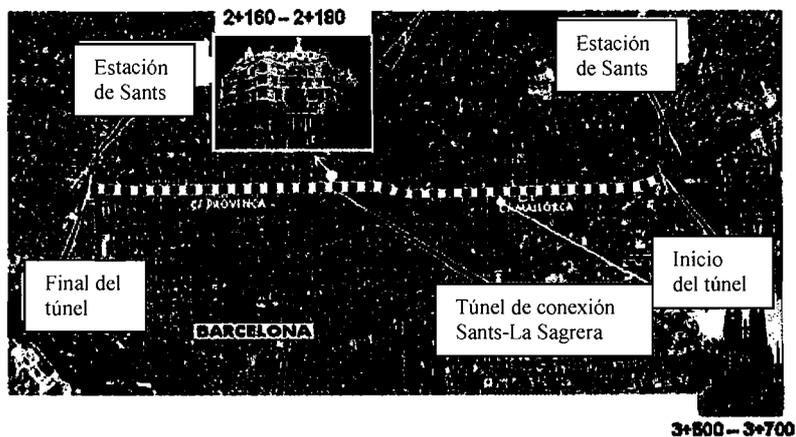


Fig. 4 - Ubicación del túnel del AVE, Sagrada Familia y Casa Milà

La distancia mínima entre las partes de la Sagrada Familia que se construyeron en vida de Antonio Gaudí y el eje del túnel es de 33 m (véase Anexo 5), según el dibujo incluido en la Evaluación de ICOMOS. NO obstante, en el texto de este documento, sólo se mencionan explícitamente la Fachada del Nacimiento y la Cripta como bienes de Patrimonio de la Humanidad. La distancia mínima entre la Fachada del Nacimiento y el eje del túnel es de 50 m. Con respecto a la Cripta, la distancia desde el eje del túnel supera los 90 m. La distancia mínima entre la Fachada de Casa Milà y el eje del túnel es de 10 m. La profundidad del túnel junto a los bienes del Patrimonio de la Humanidad varía entre 25 m y 30 m por debajo de la superficie.

El Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (Adif), junto con su equipo de consultores (Intecsa-Inarsa, Ineco Tifsa, Intemac, Universidad Politécnica de Cataluña, etc.) son los responsables de la planificación y ejecución de las obras correspondientes al Proyecto de la Línea de Tren de Alta Velocidad (AVE) Madrid - Barcelona - Frontera de Francia.

Además, hay dos túneles de metro y dos estaciones subterráneas de metro situados en las proximidades de la Sagrada Familia. Las situaciones geométricas del túnel del AVE, las estaciones de metro y los bienes de Patrimonio de la Humanidad pueden consultarse en el Anexo 5.

## **5 CUESTIONES Y RIESGOS DECLARADOS POR LA UNESCO, ICOMOS Y LAS ONG**

Durante las reuniones objeto de la comisión, los participantes abordaron diferentes riesgos relativos a la construcción y el funcionamiento del túnel del Proyecto de Tren de Alta Velocidad (AVE) y su impacto adverso en los monumentos de Patrimonio de la Humanidad. Estos riesgos, en parte, ya eran conocidos gracias a las Agendas Provisionales y los Informes sobre decisiones de la UNESCO y la información aportada por la Junta de Construcción de la Sagrada Familia, así como por la evaluación de ISCARSAH. Una vez finalizados los resultados de las reuniones y los problemas abordados en los documentos mencionados anteriormente, se deben tener en cuenta las siguientes cuestiones técnicas:

**Cuestión 1:** Asentamientos y daños relacionados con los bienes del Patrimonio de la Humanidad correspondientes a la construcción del túnel, asumiendo un funcionamiento normal

**Cuestión 2:** Daños en los bienes del Patrimonio de la Humanidad en relación con los accidentes acaecidos durante la construcción del túnel (casos de catástrofe) - Riesgo de colapso

**Cuestión 3:** Daños debidos a la interacción del túnel y la Sagrada Familia en su estado final (asentamientos adicionales del túnel debido a las cargas finales del templo y el efecto contrario)

**Cuestión 4:** Impacto negativo en los cimientos de la Sagrada Familia debido al aumento del nivel freático en relación con la construcción del túnel (aumento del nivel freático) y en relación con la construcción de pilotes cerca de la Sagrada Familia como medida de protección (arrastre)

**Cuestión 5:** Efecto negativo de las vibraciones sobre la estructura de la Sagrada Familia debido a la construcción de pilotes perforados como medida de protección, por la construcción del túnel o el funcionamiento del túnel. Los representantes de las ONG presentaron dos casos de daños y grietas adyacentes a la ruta de construcción del túnel, observados durante los trabajos realizados en el proyecto del AVE:

**Caso 1:** Grietas en los edificios de la Calle Trinxant debido a la construcción de un pozo de ventilación.

**Caso 2:** Daños en la calzada cercana a la Calle Mallorca. Los casos comunicados por los representantes de las ONG fueron analizados en este informe. Los resultados se incluyen en la evaluación final.

## **6 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE LA LÍNEA DE TREN DE ALTA VELOCIDAD (AVE)**

### **6.1 ESTADO DEL SUBSUELO Y DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS; INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS**

El área del proyecto se encuentra en un área relativamente plana del centro de Barcelona. El túnel planificado se encuentra en una zona plana formada por depósitos del cuaternario antiguo que cubren las capas del Plioceno, con una pendiente suave hacia el mar. El área se encuentra ubicada en los depósitos denominados "Piedemonte", correspondientes a suelos del Pleistoceno. Estos materiales se han formado por una alternancia de arcilla de color gris rojizo, limo arenoso de color marrón, arenas con diversos contenidos de limo y cortezas carbonatadas. Estos materiales están sustentados por estratos del Plioceno Terciario. Los estratos del Plioceno están formados por una capa de arena de color amarillento en la parte superior, sustentada por arcillas margosas de color gris-negro. El espesor de estos materiales aumenta desde la montaña hacia el centro urbano de Barcelona.

Para poder investigar las condiciones del subsuelo para el proyecto del AVE, se llevaron a cabo tres campañas de investigación. En total, se realizaron más de 100 perforaciones en la totalidad del proyecto. Se han llevado a cabo diversos estudios geotécnicos en las proximidades de la Sagrada Familia, realizados por Losan, Intecsa-Inarsa e Intemac.

Losan realizó más de 10 perforaciones y otras pruebas in situ en las proximidades de la Sagrada Familia para la ampliación del templo, entre 1986 y 2008, parte de ellas en el interior del templo. Los resultados del estudio se utilizaron en la evaluación de las condiciones del subsuelo a lo largo de la línea del túnel próxima a la Sagrada Familia. Además, se conocieron los resultados de los estudios de otros proyectos en el área circundante. En el ámbito del proyecto del AVE, Intecsa-Inarsa realizó 3 perforaciones adicionales cerca de la Sagrada Familia.

Una campaña de estudio geotécnico adicional realizada por Intemac incluyó 24 perforaciones, con pruebas de laboratorio de muestras de las perforaciones, 48 pruebas de presiómetro, pruebas de dilatómetros Marchetti, pruebas de permeabilidad Lefranc y Gilg-Gavard in situ, estudios geofísicos (8 exploraciones en orificios transversales y 2 líneas sísmicas pasivas). Para cotejar el Informe de Intemac sobre las interacciones entre las obras de la línea del Tren de Alta Velocidad (AVE) Madrid - Barcelona - Frontera de Francia en las proximidades de la Sagrada Familia, la Sagrada Familia encargó unos estudios a la empresa APPLUS durante marzo y abril de 2009, en los que se alcanzó una profundidad máxima de 51 metros. En total, en el área de la Sagrada Familia se han ejecutado más de 40 puntos de estudio, con una profundidad máxima de 60 metros.

En base a los resultados de los estudios mencionados anteriormente, las condiciones del suelo en las proximidades de la Sagrada Familia son las siguientes. La capa superior consiste en un relleno artificial de hasta 2 metros de espesor. Por debajo de los limos arenosos cuaternarios de relleno se encuentran unas capas alternas con arenas limosas con un espesor de capa entera de 4 - 10 metros. Por debajo, y hasta el final de la profundidad de exploración de 60 m, se encontró una secuencia alterna de capas de arenas terciarias y arcillas terciarias de diversos grosores. El túnel se ha planificado en los suelos terciarios. En el Anexo 6 se incluye una descripción detallada de los estudios del suelo.

Las condiciones hidrológicas se estudiaron durante la ejecución de las perforaciones, mediante los pozos de control del agua subterránea que se habían instalado. Intemac instaló siete pozos de control de agua subterránea en la Sagrada Familia, que se midieron continuamente. Además, se instalaron 5 pozos de control de agua subterránea en las proximidades de la Sagrada Familia en una de las primeras fases de planificación, que también se controlaron continuamente. Por otro lado, ya había en el área 3 pozos de control de agua subterránea desde hacía mucho tiempo. El control intensivo permanente del nivel de agua subterránea en las proximidades de la Sagrada Familia se empezó a realizar en 1999.

El nivel freático en las proximidades de la Sagrada Familia se encuentra entre 14 y 17 metros por encima del nivel del mar, y a 13-14 metros de profundidad por debajo de la superficie. La dirección del flujo de agua se encuentra entre el este y el sudeste, y la pendiente del agua es aproximadamente del 1%. La variación del nivel freático en las proximidades de la Sagrada Familia durante los últimos 40 años varía entre 6 y 10 metros. En el Capítulo 6.6 - Estudio hidrológico, se incluye más información al respecto.

Intecsa-Inarsa realizó los estudios geotécnicos en las proximidades de Casa Milà, dentro del ámbito del proyecto completo del túnel. En el tramo a lo largo de la Casa Milà se ejecutaron tres perforaciones. En la parte superior se encontró un relleno de un espesor de 1-2 metros. Por debajo del relleno se encuentran depósitos cuaternarios alternos, incluyendo arcilla, limos arenosos, gravilla y arena, de un espesor de 11-16 metros. Después de las capas cuaternarias se encuentra el nivel de arenas terciarias, hasta una profundidad explorada de 36 metros, con alternancia de capas de arenas terciarias con un espesor máximo de 0,4 - 2,0 metros. El túnel se ha planificado también en los depósitos terciarios. De acuerdo con los registros realizados durante los estudios, el nivel freático se encuentra a aproximadamente 21 m por debajo de la superficie. Asimismo, se han planificado 3 pozos de control de agua subterránea en las proximidades de la Casa Milà. Los parámetros del suelo estudiados por Intecsa-Inarsa son los mismos que para la Sagrada Familia.

Aparentemente, Intemac realizó un programa adicional de investigación en las proximidades de Casa Milà, incluyendo la ejecución de 7 perforaciones, sondeos de orificios transversales y análisis de laboratorio con las muestras obtenidas. El informe definitivo de los estudios adicionales debería publicarse a finales de mayo de 2010.

## **6.2 MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL Y TECNOLOGÍA ESCOGIDA**

En principio, hay varios métodos distintos para construir el túnel. Una posibilidad consiste en construir el túnel del AVE con una construcción de tipo falso túnel, como se hizo durante la construcción de los túneles y estaciones de metro existentes, en combinación con un descenso temporal del agua subterránea. Otra solución posible es la construcción del túnel mediante el método del hormigón lanzado, conocido como Nuevo método austríaco de construcción de túneles, junto con aire comprimido o en combinación con un descenso temporal del agua subterránea.

Debido a los amplios efectos del descenso del agua subterránea, y con respecto a los asentamientos relacionados que tienen lugar debido a la aplicación de estos métodos, se eligió la construcción del túnel con una tuneladora (TBM, por sus siglas en inglés) para el proyecto del AVE. En lo que respecta a las condiciones geológicas e hidrogeológicas del área del proyecto, se pueden considerar dos tipos de TBM para la construcción del túnel: un escudo equilibrado de presión de tierra (EPB, por sus siglas en inglés) y un Hidroescudo.

Los escudos de presión de tierra mantienen la presión sobre el frente de excavación mediante los materiales excavados con aditivos. El Hidroescudo presuriza la cámara de excavación mediante una suspensión de bentonita. Teniendo en cuenta las condiciones del suelo y toda la experiencia obtenida con Escudos EPB en Barcelona con otros proyectos (por ejemplo, la construcción de la línea 9 del metro), se eligió un escudo EPB para el proyecto. El Escudo EPB para el túnel del AVE, tramo Sants-La Sagrera, tiene un diámetro exterior de 11,55 m. Las obras de la tuneladora se realizarán durante 24 horas diarias.

El Escudo EPB aplicado utiliza técnicas avanzadas para mitigar el impacto sobre el subsuelo y sus movimientos consecuentes:

- presión de tierras dentro de la cámara de excavación, lo que equilibra la presión de tierras existente;
- inyección de bentonita con una presión correspondiente a los estratos de sobrecarga de la coraza de la TBM;
- inyección de mortero en el espacio existente igual a la presión de los estratos de sobrecarga en el hueco de cola, entre el revestimiento del túnel y la superficie exterior de la sección transversal del túnel excavado.

Debido a estos planteamientos técnicamente avanzados, el impacto sobre el suelo y las estructuras circundantes es mucho menor que con la aplicación de otros métodos de construcción del túnel. El control de los asentamientos y de la prevención de situaciones imprevistas puede lograrse con la supervisión constante del proceso de construcción del túnel, la auscultación geotécnica y las mediciones de los desplazamientos de la superficie en las proximidades del área del proyecto.

### 6.3 DISEÑO DEL REVESTIMIENTO DEL TÚNEL

El diseño estructural del revestimiento del túnel fue realizado por Intacsa-Inarsa. El diseño estructural de los tramos correspondientes a la acción del suelo sobrecargado se basó en el diseño del km 4 + 780, punto de máxima sobrecarga del túnel. El nivel freático se consideró en la cota 20,24 m sobre el eje del túnel. Para comparar las dimensiones de los tubos de revestimiento, Intacsa-Inarsa calculó las fuerzas internas resultantes de la acción impuesta sobre el revestimiento en las proximidades de la Sagrada Familia, y se compararon con las fuerzas internas de la sección transversal del diseño en la cota 4 + 780, teniendo en cuenta la protección de la pantalla de pilotes. De acuerdo con los cálculos, las cargas en el interior del revestimiento de los tubos resultantes de la Sagrada Familia son inferiores a las impuestas por el caso del diseño en la cota 4 + 780. Por consiguiente, el caso del diseño en la cota 4 + 780 satisface los requisitos del caso del diseño con las cargas de la Sagrada Familia. En el Anexo 7 se incluye una descripción detallada del diseño del revestimiento del túnel.

### 6.4 ESTUDIO DE ASENTAMIENTOS

En lo que respecta al tramo del túnel que se encuentra junto a la Sagrada Familia, Adif encargó tres estudios independientes a Intacsa-Inarsa, Intemac y a la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), y a Buxadé, Margarit, Ferrando, SLP a cargo de la Junta de Construcción de la Sagrada Familia. En el Anexo 8 se incluye una comparación detallada de los estudios.

En la siguiente tabla se presenta la comparación de los valores máximos de los asentamientos debido a la construcción del túnel, según los cálculos realizados por los estudios llevados a cabo.

	Intacsa-Inarsa	Intemac	UPC	Buxadé, Margarit, Ferrando, S.L.P.
Fachada de la Gloria	0,20 cm	0,40 cm	0,20cm	0,85 cm
La parte más próxima a la estructura original del monumento de Gaudí, de conformidad con el plano de planta en la Declaración de 2005	0,10 cm	0,30 cm	0,10 cm	0,50 cm

Los estudios de asentamientos de las cargas finales transmitidas desde la estructura finalizada de la Sagrada Familia al suelo fueron ejecutados por Intecsa-Inarsa, Intemac en nombre de Adif, y Buxadé, Margarit, Ferrando, S.L.P. en nombre de la Junta de Construcción de la Sagrada Familia. La UPC verificó los cálculos de Intecsa-Inarsa mediante cálculos comparativos.

Para obtener las cargas precisas, los equipos de consultores de la Sagrada Familia y Adif analizaron diversas maquetas del templo en 3D. Los resultados principales se resumen en el informe elaborado por Carles Buxadé Ribot en febrero de 2010. Las cargas obtenidas se utilizaron para hacer una estimación de los asentamientos.

El cálculo de asentamientos que se aplican a las cargas reales, obtenidos por Buxadé, Margarit, Ferrando, S.L.P., proporciona los valores de asentamientos experimentados de 2,3 - 3,0 cm en la Fachada de la Gloria, y de 3,4 - 4,0 cm debajo de la parte del templo construida originalmente por Gaudí. Según el estudio anteriormente mencionado, las cargas aplicadas en el futuro provocarán unos asentamientos adicionales de 2,0 - 2,3 cm en la Fachada de la Gloria y de 1,5 - 3,0 cm en la parte protegida del Patrimonio de la Humanidad. La totalidad de los asentamientos debidos a todas las cargas aplicadas calculadas por Buxadé, Margarit, Ferrando, S.L.P. debajo de la parte del Patrimonio de la Humanidad de la Unesco de la Sagrada Familia son de 5,0 - 7,0 cm, casi iguales a las provenientes de las cargas propias de la Sagrada Familia.

Los asentamientos calculados por Buxadé, Margarit, Ferrando, S.L.P. en la parte del templo construida originalmente por Gaudí debido a la construcción del túnel se estiman en 0,06 - 0,50 cm. Los asentamientos de la Sagrada Familia provocados por el túnel del AVE se encuentran en el rango del 1% al 10% de los asentamientos finales del templo.

Para mitigar cualquier tipo de riesgos de daños para toda la estructura de la Sagrada Familia en relación con los desplazamientos del suelo, se ha instalado un muro de protección consistente en una pantalla de pilotes perforados.

Los asentamientos previstos en la Fachada de la Gloria se han estimado en 0,85 cm por Buxadé, Margarit, Ferrando, S.L.P., y en 0,20 - 0,40 cm por el resto de consultores. Según la evaluación de los asentamientos, no se producirían daños en la Fachada de la Gloria ni en la parte original de Gaudí.

Los estudios sobre los asentamientos en las proximidades de la Casa Milà, situados cerca del tramo de la línea del túnel entre el km 2+160 y el km 2+220 fueron realizados por Intecsa-Inarsa. El análisis se realizó en el tramo 2+140, en las proximidades de la Casa Milà, en la conexión con el túnel existente de la línea 3 del metro y cerca del aparcamiento subterráneo existente. El muro exterior de la Casa Milà se encuentra aproximadamente a 10 m del eje del túnel planificado.

En la tabla siguiente se indican los resultados obtenidos de los cálculos.

	Distancia desde el eje del túnel	Asentamientos	Inclinación
La parte más próxima a la estructura original del monumento de Gaudí, de conformidad con el plan establecido en la Declaración de 1984	10 m	1,3 cm	1/1350

El estudio de los asentamientos realizado por Intecsa-Inarsa se basa en los resultados de la investigación realizada dentro del ámbito del diseño del proyecto. El diseño del proyecto contiene una cantidad limitada de investigaciones in situ. Por consiguiente, Intemac ha realizado recientemente unas investigaciones ilimitadas. Los resultados de dichas investigaciones estarán disponibles a finales de mayo de 2010. Tras la revisión de los resultados de las investigaciones adicionales y los valores de las mediciones obtenidos durante la auscultación independiente de la tuneladora, para obtener las cargas del análisis estructural, deberán ajustarse los cálculos para la Casa Milà.

Como ya se ha dicho en la mayoría de los estudios realizados, incluyendo el estudio de Iscarsah, pueden preverse unos valores realistas de asentamientos y puede llevarse a cabo el ajuste permanente del modelo de cálculo, únicamente si se aplica el Método de observación según el Eurocódigo 7, y se realiza el análisis de los valores obtenidos permanentemente, de forma planificada, independiente y cualificada.

Por consiguiente, es inevitable una supervisión y un control permanentes del progreso de la tuneladora por parte de grupos de trabajo independientes. Además, se recomienda la creación de un comité de supervisión que incluya a expertos de distintas especialidades, para comprobar y garantizar el funcionamiento normal de la tuneladora.

## 6.5 MEDIDAS DE PROTECCIÓN PARA EL PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD DE LA UNESCO EN LA SAGRADA FAMILIA

De acuerdo con los estudios descritos anteriormente, se han planificado y aplicado las medidas de protección en las proximidades de la Sagrada Familia. Las medidas de protección contienen las actividades siguientes:

- Muro de pilotes perforados
- Viga de apuntalamiento que conecta los pilotes
- Inyección de lechada por debajo del bloque de hormigón
- Bloque de hormigón

En la imagen siguiente se indican las medidas de protección planificadas en la Sagrada Familia.

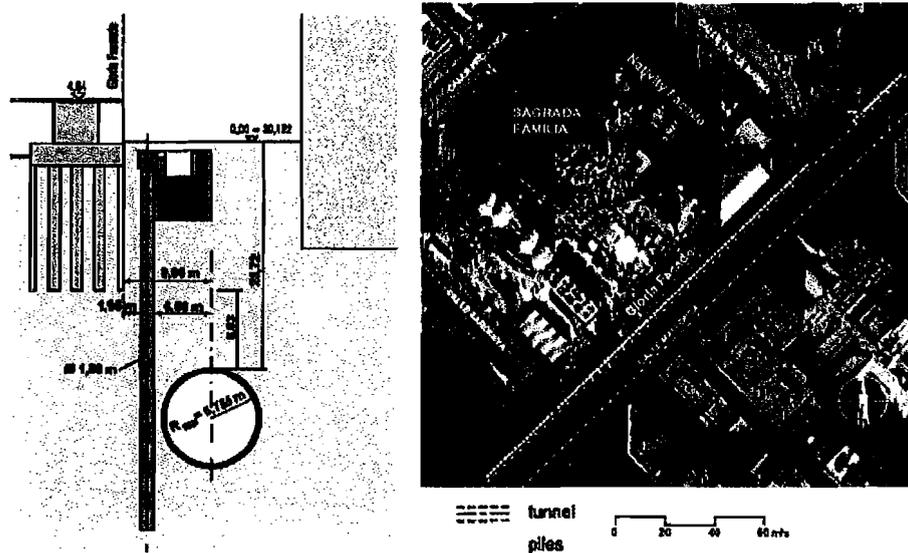


Fig. 5 - Medidas de protección junto a la Sagrada Familia

En total, se construirán 104 pilotes perforados a lo largo del eje del túnel en las proximidades de la Sagrada Familia. 70 pilotes están situados a lo largo de la Fachada de la Gloria, 20 pilotes se sitúan desde el Oeste a la Fachada de la Gloria, y 14 pilotes en el Este.

Los pilotes tienen una profundidad de 41 m, con un diámetro de 1,5 m. La distancia entre el eje del pilote es de 2,0 m. En la parte superior de los pilotes se encuentra una viga de apuntalamiento que conecta los pilotes, con unas dimensiones de 2 m x 2 m. A lo largo de todo el muro de pilotes, por encima del túnel, se proporciona una inyección de lechada de una profundidad aproximada de 8,0 m. La inyección de lechada se ejecuta con una presión de 1-2 bar. Por encima del área de la lechada hay un bloque de hormigón con unas dimensiones de 3 m x 3 m. El bloque de hormigón está unido a la viga de apuntalamiento con una viga de hormigón de 1 m de ancho. Toda la estructura se ha diseñado para minimizar los asentamientos de la Sagrada Familia.

Según el documento T6, elaborado por Intecsa-Inarsa, no se necesitan medidas de protección para la Casa Milà.

## 6.6 ESTUDIO HIDROLÓGICO

Durante el siglo XIX se explotaron varios acuíferos subterráneos en la ciudad de Barcelona. Esta explotación aumentó durante el siglo XX, principalmente por motivos industriales y de abastecimiento. La tendencia seguida por los niveles piezométricos de la ciudad de Barcelona muestra la evolución típica de una ciudad industrial. La extracción de agua subterránea por motivos industriales y de abastecimiento aumentó de forma significativa desde principios del siglo XX hasta su máximo nivel a principios de la década de los setenta. Una operación fuerte y continuada provocó una disminución significativa de los niveles piezométricos. La reducción en diversas partes de la ciudad varió desde unos metros a más de 15 m. En algunas áreas, los niveles permanecieron de forma permanente por debajo del nivel del mar, lo que condujo a una intrusión de agua del mar y la consiguiente pérdida de calidad del agua. Durante los años setenta, la crisis económica y la presión urbana provocaron que muchas industrias cerraran o se mudaran a distintas áreas fuera de la ciudad. A partir de ese momento, las extracciones fueron disminuyendo rápidamente debido a la contaminación del agua, la pérdida de industria, la mejora de los sistemas de producción, etc. Debido a estas razones, durante los últimos 35 años se ha reducido la explotación de agua subterránea. Esto ha llevado a una recuperación gradual de los niveles de aguas subterráneas y, por consiguiente, una disminución de la intrusión marina y, por lo tanto, a una mejora de la calidad del agua subterránea. En la actualidad, los niveles han recuperado, en la mayoría de las áreas, unos niveles similares a los de principios del siglo XX.

El estudio hidrológico fue realizado por la ACA (Agencia Catalana del Agua) en la totalidad de la ruta del túnel planificado. El aumento máximo del nivel freático provocado por la construcción del túnel se ha estimado en 0,6 m y la caída máxima se ha calculado en 0,62 m. En las proximidades de la Sagrada Familia, teniendo en cuenta el efecto de la pantalla de pilotes, se ha previsto un aumento del agua subterránea en el noroeste (lado de la Sagrada Familia) desde el eje del túnel de menos de 0,35 m. La caída del nivel freático desde el lado sudeste del túnel se ha previsto en menos de 0,2 m. Además, Intemac realizó el estudio hidrológico adicional para evaluar el efecto de la pantalla de pilotes en el nivel freático en las proximidades de la Sagrada Familia. Este modelo fue comprobado por el Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua. Según Intemac y el Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA), la media del aumento y la caída del nivel freático son inferior a 0,05 m.

En este caso, el efecto barrera del túnel y las medidas de protección en las proximidades de la Sagrada Familia es prácticamente inexistente, ya que el cambio estacional del nivel freático durante el año se supone en 1,0 m. El aumento de la velocidad debido a la construcción de la pantalla de pilotes es demasiado pequeño para que provoque arrastre.

Además, según los datos piezométricos disponibles, durante los últimos 40 años la variación del nivel freático en las proximidades de la Sagrada Familia se ha registrado en 6 m en la Calle Mallorca y 10 m en la Calle Provença, ambas con una tendencia ascendente desde los años sesenta. Por consiguiente, la Sagrada Familia ya ha experimentado un cambio significativo del nivel freático. Los cambios previstos del nivel freático debido a la construcción del túnel y la pantalla de pilotes son inferiores al 1% de las variaciones del nivel freático ya experimentadas en el pasado. La influencia de la pantalla de pilotes y el túnel en el nivel freático y el impacto hidrológico en la Sagrada Familia y sus cimientos es prácticamente inexistente. Este hecho también se confirma con las últimas mediciones del nivel freático, realizadas y distribuidas por la Junta de Construcción de la Sagrada Familia el 06.05.2010.

El aumento previsto del nivel freático debido a la construcción del túnel en las proximidades de la Casa Milà, situado a más de 15 m por encima del nivel freático real, se encuentra entre 0,35 y 0,6 m. La caída del nivel freático desde el lado sudeste del túnel en las proximidades de la Casa Milà se ha previsto en menos de 0,45 m. Teniendo en cuenta la evaluación del nivel piezométrico en Barcelona y la variación estacional del nivel freático de 1,0 m, así como el hecho de que la planta subterránea de la Casa Milà se encuentra a más de 15 m por encima del nivel freático, la influencia en el nivel freático es prácticamente inexistente en las cercanías de la Casa Milà y para la estructura de ésta.

## 6.7 ESTUDIO DE VIBRACIONES

Intacsa-Inarsa y la Universidad de Oviedo llevaron a cabo los estudios de vibraciones. El estudio de Intacsa-Inarsa se realizó dentro del contexto de la evaluación del impacto ambiental de todo el proyecto. El estudio contiene modelos de elementos finitos teniendo en cuenta la interacción de la estructura del suelo, la rigidez del suelo y la propagación de ondas vibratorias a los edificios y las estructuras adyacentes. La evaluación tuvo en cuenta el impacto de las vibraciones en las estructuras y las personas. Además del estudio por ordenador, se realizó una campaña de mediciones a lo largo de la ruta.

Como resultado del estudio, se suministraron dispositivos de reducción de las vibraciones en el diseño de algunos tramos de la ruta. Los tramos que necesitan mediciones adicionales para reducir las vibraciones se encuentran cerca de la superficie. No obstante, a lo largo de toda la ruta del túnel se proporciona una banda elastomérica para reducir las vibraciones y el ruido.

La Universidad de Oviedo llevó a cabo el estudio en las proximidades de la Sagrada Familia. Los valores obtenidos se estimaron dentro de los límites definidos. No obstante, en las proximidades de la Sagrada Familia la velocidad del tren de alta velocidad se redujo a 70 km/h debido a la curva de la línea del túnel, lo que mitiga el impacto de las vibraciones.

## 7 AUSCULTACIÓN

### 7.1 AUSCULTACIÓN GEOTÉCNICA

El programa planificado de auscultación consiste en mediciones geodésicas de edificios, infraestructuras y superficie del terreno junto a la línea del túnel, dispositivos de medición geotécnica y auscultación de las vibraciones causadas por los trabajos de construcción.

El equipo de auscultación para las mediciones geotécnicas se encuentra en el interior de 48 secciones transversales de auscultación planificadas a lo largo de la totalidad de la línea entre las estaciones de Sants y La Sagrera. A lo largo de toda la línea hay varios puntos geodésicos de medición. Algunos de los puntos de medición se han construido para medir los desplazamientos en dirección horizontal y los asentamientos, y los puntos restantes son puntos de medición de los asentamientos. Los edificios existentes a lo largo de la línea están equipados con dispositivos prismáticos que permiten la medición automática de los desplazamientos con un taquímetro vinculado (ciclopes). Con estas mediciones de los asentamientos, se pueden medir los movimientos horizontales y se puede observar la inclinación de los edificios.

En lo que respecta a la auscultación geotécnica, se han planificado los dispositivos siguientes:

- piezómetro con sensores de cables vibradores y pozos de auscultación del agua subterránea para medir las condiciones del agua subterránea;
- extensómetro de barra, extensómetro por incrementos y micrómetros deslizantes para medir los desplazamientos verticales subterráneos;
- inclinómetro para medir los desplazamientos horizontales subterráneos;
- medidores de grietas para medir las deformaciones diferenciales entre los dos lados de las grietas existentes;
- sensores de presión total para auscultar la presión de tierras que actúa sobre los elementos de construcción del túnel;
- dispositivos de medición de convergencia para medir la deformación del revestimiento del túnel;
- calibres de tensión para medir la tensión en los elementos de construcción hechos de hormigón armado; e
- inclinómetros horizontales para medir el desplazamiento vertical a lo largo de una línea horizontal; por ejemplo, dentro de los túneles existentes que cruzan los trabajos de construcción del túnel.

Para auscultar el impacto de las vibraciones, se ha planificado la colocación de 20 dispositivos de auscultación de vibraciones a lo largo de la línea. Estos dispositivos miden la aceleración en 3 direcciones ortogonales y la frecuencia de las vibraciones. Hay tres dispositivos de auscultación de vibraciones en el área en el que el túnel se encuentra junto a la Sagrada Familia.

Los límites de los umbrales se basan en la norma alemana DIN 4150: Efectos sobre las estructuras. En esta norma, los valores permitidos dependen del tipo de construcción. Los edificios objeto de este estudio, que reaccionan de forma muy sensible a las vibraciones, se clasifican como edificios de tipo 3. Los umbrales utilizados satisfacen los límites establecidos para los edificios de tipo 3.

Según el concepto de auscultación geotécnica, se han planificado cinco tramos de control junto a la Sagrada Familia, en los puntos kilométricos 3+540, 3+570, 3+600, 3+630, 3+650.

Un tramo de control consiste en dos extensómetros colocados simétricamente, inclinómetros y pozos de auscultación de aguas subterráneas fuera del cuerpo del túnel. Estos dispositivos de auscultación se colocan a dos metros del borde exterior del túnel en lo que respecta a los inclinómetros y a 3,5 m en lo que respecta a los extensómetros. Además, se montan 6 extensómetros y 6 sensores de presión con cuerda vibrante dentro y fuera del túnel. También se instalan 3 pernos anclados de convergencia dentro del tramo del túnel, cada tres puntos, en forma radial del túnel por encima de las vías. Hay otros elementos de control, como los extensómetros colocados por encima del eje del túnel, a una distancia aproximada de 25 m y 13 m hacia abajo, desde la superficie del suelo.

Por último, se han colocado 7 puntos de auscultación, simétricamente y sobre la superficie del suelo, para controlar los asentamientos.

Se ha instalado un equipo de auscultación que se encarga de la obtención e interpretación de los datos y las mediciones. La frecuencia de las lecturas se basa principalmente en la distancia entre el cabezal de la tuneladora y la ubicación del punto de medición. Según los resultados de las mediciones en relación con los valores previstos, el equipo de auscultación ha clasificado los resultados de las mediciones en tres niveles de riesgo: verde, amarillo y rojo. Y, en caso necesario, aplicará las acciones predefinidas.

En general, el concepto de auscultación cubre las necesidades del método de observación, de acuerdo con el Eurocódigo EC 7. En algunos tramos especiales se ha sugerido un ajuste del concepto de auscultación.

## **7.2 AUSCULTACIÓN DE LA TUNELADORA**

Los parámetros principales para controlar el rendimiento de la tuneladora en relación con los desplazamientos del subsuelo y en la superficie son los siguientes:

Presión de tierras sobre la cámara de excavación;

Presión y volumen de la bentonita inyectada para reducir la fuerza de fricción en el escudo;

Presión y volumen del mortero inyectado en el hueco del anillo entre el suelo y el revestimiento de los tubos.

Otro valor importante que se ha medido es el peso del material excavado. Se han predefinido los límites superiores e inferiores para el volumen del mortero inyectado, el material excavado y la presión de tierras en la cámara de excavación. Durante la ejecución del túnel no se observaron valores fuera de los rangos predefinidos.

## **7.3 AUSCULTACIÓN DE LOS BIENES DE PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD**

En lo que respecta a la Sagrada Familia, en la actualidad se lleva a cabo una auscultación automática de la parte sur del templo (Fachada de la Gloria y claustro del sudeste, partes pequeñas de la Fachada del Nacimiento) y en el interior (nuevas construcción), mediante 4 estaciones Cyclop automáticas. Hay 2 estaciones Cyclop automáticas en el interior del templo y 2 en el exterior. Mediante las estaciones Cyclop se pueden medir los desplazamientos (movimientos horizontal y vertical) de la superficie de los elementos de construcción. El contenido y los primeros resultados se describen en el informe de Soldata: "Simulaciones de auscultación de la Sagrada Familia", febrero de 2010.

Además, Intemac ha realizado un estudio de las grietas en el interior y el exterior. Los resultados se han publicado en un conjunto de dibujos que se incluyen en el Anexo 9.

En lo que respecta a la auscultación de la Casa Milà, Soldata también elaboró un plan de auscultación, en el que las deformaciones de la estructura se miden con estaciones Cyclop de la misma forma que en la Sagrada Familia.

## **8 ESTADO REAL DEL PROYECTO DEL AVE**

### **8.1 ESTADO DE LOS TRABAJOS DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN EN LA SAGRADA FAMILIA**

La ejecución de los pilotes de prueba empezó el 30 de julio de 2009 y finalizó el 26 de agosto de 2009. La experiencia obtenida durante esta fase se aplicó a la construcción siguiente de los pilotes a lo largo de la Fachada de la Gloria y otros pilotes en las proximidades de la Sagrada Familia. Según la última información de la zona, los trabajos de aplicación de las medidas de protección en las proximidades de la Sagrada Familia están casi terminados. La mayoría de los pilotes, con la excepción de 20 pilotes aproximadamente, ya se han colocado. La inyección de lechada a lo largo de la Sagrada Familia ya se ha completado y la inyección de hormigón en el bloque y la viga de apuntalamiento están en curso. Los trabajos se están ejecutando de conformidad con el proyecto y el calendario establecidos.

### **8.2 RESULTADO DE LA AUSCULTACIÓN EN LOS TRABAJOS DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN EN LA SAGRADA FAMILIA**

Para garantizar que no se produzca un impacto negativo en el templo debido a la construcción de los pilotes, se han realizado 10 pruebas con pilotes en la parte más alejada de la pantalla de pilotes. Durante la construcción de los pilotes con respecto a las cuestiones planteadas por la Junta de Construcción de la Sagrada Familia, se instalaron las siguientes medidas de auscultación y control:

- Medición Koden para obtener la verticalidad del orificio de todos los pilotes
- Medición transversal de orificios para conseguir la integridad de todos los pilotes
- Mediciones de las vibraciones provocadas por la construcción de pilotes sobre los pilotes de prueba
- Mediciones del inclinómetro con respecto a los pilotes de prueba

- Todos los medios comunes de control de la obra (necesidad de bentonita, calidad del hormigón) para todos los pilotes
- Inspecciones de control de todos los pilotes

Durante todo el periodo de construcción, todos los valores obtenidos en la medición se encontraron dentro de los umbrales establecidos.

Especialmente las mediciones de vibraciones han estado dentro de los umbrales definidos en la norma DIN 4150/3 para edificios monumentales, norma que se aplica internacionalmente para el cálculo de los impactos de las vibraciones.

### 8.3 ESTADO DE LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL

Hasta ahora la tuneladora ha recorrido ya la distancia entre el pozo de ataque en el punto kilométrico 5+385 y el bloque de sellado del primer pozo de ventilación con salida de emergencia. La parte delantera del escudo se encuentra en el citado pozo de ventilación en el punto kilométrico 5+120. Durante los trabajos de tunelación se han colocado 138 anillos de segmentos tubulares. La mayoría del túnel aparentemente excavado se encuentra protegido por un marco, compuesto de pilotes excavados o micropilotes colocados a ambos lados del túnel y un sistema de arriostramiento conectado a los cabezales de los pilotes. Dentro de la distancia excavada, el túnel se ha efectuado sin ninguna consecuencia imprevista.

### 8.4 RESULTADO DE LA AUSCULTACIÓN DURANTE LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL

Durante la excavación del túnel se efectuaron pruebas de auscultación en las secciones transversales ST 38 en el km 5+364, ST 38 bis en el km 5+310, ST 37 en el km 5+265 y ST 37 bis en el km 5+210. Los desplazamientos verticales máximos en las secciones transversales ST 38 y ST 38 bis se encuentran en un intervalo entre 0,1 cm de ascenso y 0,1 cm de asentamiento. Los desplazamientos verticales medidos son muy pequeños y no se alejan de la precisión de las mediciones. Se había estimado un asentamiento máximo aproximado de 0,8 cm de la superficie del suelo por medio del cálculo numérico de predicción de los desplazamientos máximos debidos a la excavación del túnel. Entre el pozo de ataque de la tuneladora y el pozo de ventilación en el p.k. 5+120, el avance de la tuneladora estuvo protegido por el marco descrito anteriormente. Con esa estructura se predijeron asentamientos significativos de la superficie del suelo únicamente en la zona por encima del túnel.

La comparación de los asentamientos teóricos y los medidos muestra que los valores medidos son mucho menores dentro del área por encima del túnel y son aproximadamente los calculados a los lados del túnel.

## 9 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

A continuación presentamos los resultados de las pruebas considerando los casos recogidos en el capítulo 5.

**Caso 1:** Asentamiento y daños relativos de los bienes Patrimonio de la Humanidad debidos a la construcción del túnel, asumiendo un funcionamiento normal de la tuneladora.

Los parámetros del terreno empleados por Intecsa-Inarsa para el diseño del túnel y el estudio de asentamientos son exhaustivos y conservadores.

Como se puede observar en varios estudios de asentamiento incluyendo el estudio realizado en nombre de la Sagrada Familia, los desplazamientos estimados del terreno debajo del bien Patrimonio de la Humanidad de la Sagrada Familia, que está a más de 33 m del eje del túnel, son tan insignificantes que no se producirá daño alguno debido a este desplazamiento. Las medidas de protección adoptadas reducen los movimientos del suelo de forma eficaz. Esta evaluación coincide con nuestra experiencia acumulada anteriormente con otros proyectos de túneles y nuestros cálculos comparativos con un modelo independiente.

Teniendo en cuenta los resultados de auscultación reales de los primeros 265 m de avance de la tuneladora, en que los resultados de asentamiento fueron significativamente inferiores a los valores previstos, puede afirmarse que el relleno del hueco, que es la principal forma de prevenir con éxito los asentamientos en superficie, fue efectuado muy bien y profesionalmente, con un éxito del 100%.

Los asentamientos pronosticados inducidos por la excavación del túnel por debajo del bien Patrimonio de la Humanidad del templo fueron estimados en todos los estudios en menos del 10% de los asentamientos debidos a la posterior construcción de la propia Sagrada Familia.

En los alrededores de la Casa Milá, Intecsa-Inarsa efectuó un estudio de asentamientos, según el cual no era necesario adoptar medidas de protección de la Casa Milá. No obstante, cuando esté finalizado el informe correspondiente a nuevas investigaciones actualmente en marcha, habrá que ajustar el análisis del modelo informatizado teniendo en cuenta los resultados de la auscultación de la tuneladora.

Resumiendo todos los resultados, se concluye que no se producirán asentamientos debido al túnel del AVE, y que en los lugares donde podría producirse un mayor daño a los bienes Patrimonio de la Humanidad, los asentamientos serán solo de unos pocos milímetros y no serán críticos.

**Caso 2:** Daños a los bienes Patrimonio de la Humanidad en el caso de producirse accidentes durante la excavación del túnel (situación catastrófica): peligro de derrumbamiento.

El estudio de asentamientos llevado a cabo por Intemac considera distintas situaciones posibles. De acuerdo con esos cálculos, no ocurrirían daños graves al templo de la Sagrada Familia debido a las diferentes posibles situaciones por accidentes, siempre que se ejecuten las medidas de protección cerca de la Sagrada Familia.

No obstante, los esfuerzos de la organización y la auscultación técnica profesional deberán prevenir que se produzcan esas situaciones de accidentes, de forma que se pueda garantizar que no se va a producir ningún derrumbamiento.

**Caso 3:** Daños debidos a la interacción del túnel y de la Sagrada Familia en la estado final (asentamientos adicionales del túnel debido a las cargas finales del templo de la Sagrada Familia y viceversa)

La repercusión de la aplicación de las cargas finales sobre el túnel ha sido estudiada por Intecsa-Inarsa e Intemac. Los resultados de esos estudios se han tenido en cuenta en el diseño. En los modelos informatizados posteriores deben estudiarse los efectos de una posible demolición de la estructura enfrente de la Sagrada Familia y las cargas transmitidas por las columnas previstas de la fachada de la Gloria, para garantizar que se han tenido en cuenta todos los casos posibles de diseño.

**Caso 4:** Impacto negativo sobre las cimentaciones de la Sagrada Familia debido al incremento del nivel freático por la construcción del túnel (aumento del nivel de aguas subterráneas) y por la colocación de pilotes cerca de la Sagrada Familia como medida de protección (dragado).

Este caso fue estudiado por la Agencia Catalana de Agua, Intemac y el Instituto de Evaluaciones ambientales y estudios sobre el agua (IDAEA). Todos los estudios han mostrado que el incremento en el nivel de agua subterránea es inferior al cambio estacional de ese nivel freático. Este hecho concuerda con la experiencia internacional y nuestra experiencia e investigación en otros proyectos de túneles. Es más, teniendo en cuenta la evolución de los niveles freáticos en Barcelona y que su alternancia estacional supera los 6 metros en los alrededores de la Sagrada Familia, el así llamado "efecto barrera" del túnel y de los muros de pilotes es despreciable o no existe respectivamente.

**Caso 5:** Efecto negativo de las vibraciones sobre la estructura de la Sagrada Familia causado por la construcción de los pilotes de protección, por la excavación o por la explotación del túnel.

Al evaluar los resultados de la auscultación realizada en las obras de construcción cerca de La Sagrada Familia, no se observó repercusión adversa alguna sobre la estructura del Templo debido a las vibraciones o cualquier otro efecto. Las vibraciones que se pudieran causar en la construcción del túnel con la tuneladora son de una magnitud insignificante. Esto ha sido demostrado muchas veces en diversos proyectos.

Habrá que evitar las vibraciones debidas a la explotación del túnel tomando medidas técnicas con los aparatos antivibratorios que se han empleado con éxito en varios proyectos de trenes de alta velocidad. Es más, la velocidad de los trenes se reduce a 70 Km/hora en las proximidades de los monumentos Patrimonio de la Humanidad, debido al radio del túnel en la Avenida Diagonal.

Algunas ONGs han informado de daños ocurridos en los alrededores de la línea del túnel proyectado.

**Hecho 1:** Grietas en el edificio en la Calle Trinxant debido a la construcción de un pozo de Ventilación.

Las grietas observadas en los edificios de la calle Trinxant fueron debidas a la construcción del pozo de ventilación con excavación abierta. Debido a este método de construcción, se produjeron desplazamientos más grandes en el subsuelo y se observaron mayores deformaciones en la superficie del terreno y dentro de los edificios al lado del pozo. Las deformaciones provienen de la expansión del suelo, que se produce durante la instalación de las pantallas y la extracción de la tierra dentro del pozo. Este proceso de construcción no es comparable con el proceso de una tuneladora. Durante la construcción de un túnel con tuneladora, la presión in-situ se mantiene, lo cual lleva a una reducción al mínimo de la influencia sobre los alrededores del terreno excavado. Por lo tanto, la circunstancia que causara los asentamientos no puede ser achacada a la excavación del túnel con tuneladora.

**Hecho 2:** Daños en el pavimento cerca de la calle Mallorca.

El 3 de marzo de 2010 se comunicó la existencia de desperfectos en el pavimento de la calle Mallorca, al otro lado de La Sagrada Familia. La construcción del túnel con tuneladora no había sido iniciada todavía en esa fecha, luego estaban colocándose las medidas de protección que incluyen la construcción de la pantalla de pilotes. El bache detectado en superficie no era profundo. En la figura siguiente se indica la posición del bache y del muro de pilotes.

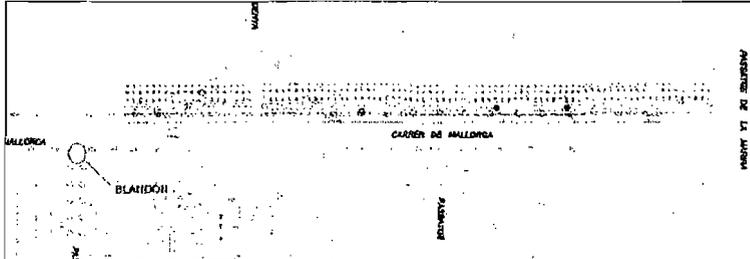


Fig. 6 Emplazamiento de los desperfectos del pavimento cerca de la calle de Mallorca

El bache no fue originado por los pilotes y la distancia al pilote nº 1, que era el más cercano era superior a 10 metros. El pilote nº 1 se colocó el 1 de agosto de 2009. Todos los demás pilotes que formaban parte de la zona más cercana al muro de pilotes estaban terminados en septiembre del 2009. No se puede relacionar el bache mencionado con la construcción de los pilotes. La razón del bache fue el desvío del tráfico. Especialmente de los autobuses en esta calle cuyo pavimento no estaba preparado para tales cargas. El bache fue reparado sin ninguna consecuencia para ninguna de las estructuras adyacentes.

## 10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.

Resumiendo el análisis efectuado del diseño se puede decir que hasta ahora el túnel y las medidas adicionales han sido diseñados desde luego de acuerdo con la normativa nacional y europea y ha tenido en cuenta todas las cuestiones importantes mencionadas anteriormente.

Con el fin de adoptar un margen de seguridad aún mayor en el trazado del túnel para recogida permanente e interpretación de los resultados del control de la tuneladora y de tener en cuenta los valores destacados arquitectónicos y culturales de los Monumentos Patrimonio de la Humanidad, se exige el establecimiento de un comité de control formado por expertos que reúnan diferentes conocimientos, de acuerdo con el Eurocode 7 y con el método observacional

Sin pretender que sea exhaustiva, la relación de tareas del Comité de control debe definirse de la forma siguiente:

- Recolección permanente de datos e interpretación de los resultados de la monitorización de la tuneladora y de los asentamientos en superficie, teniendo en consideración las diferentes peculiaridades geotécnicas a lo largo del trazado.
- Creación de un modelo independiente para el estudio de los asentamientos en los alrededores de la Sagrada Familia, ajustado en función de los resultados del control.
- Creación de un modelo independiente para el estudio de los asentamientos en los alrededores de la Casa Milá, ajustándose a las conclusiones del informe sobre las investigaciones geotécnicas adicionales y en función de los resultados de las investigaciones geotécnicas adicionales adaptado en función de los resultados del control
- Ajuste permanente del modelo matemático informatizado, de acuerdo con las mediciones y pronósticos de los movimientos del suelo en etapas sucesivas de las obras, y definición de medidas adicionales, si fuera necesario
- Realización de un control a largo plazo del aumento de la presión del terreno sobre el túnel durante las obras posteriores en el templo de la Sagrada Familia, incluyendo el control de la estructura construida inicialmente por Gaudí a largo plazo
- Informes transparentes sobre el avance de las obras a la UNESCO, ICOMOS y otras partes involucradas.

2.

Deberá investigarse con especial precisión las interacciones entre el túnel y el templo de La Sagrada Familia respecto a deformaciones en su estado final. Este estudio deberá incluir una evaluación independiente de los asentamientos en La Sagrada Familia en su estado final, incluyendo el estudio de viabilidad de las medidas de mitigación de asentamientos del templo debidos a su propio peso. En cualquier caso el templo de la Sagrada Familia y el túnel del Ave se construirán de acuerdo con todas las recomendaciones de seguridad y evitando cualquier posibilidad de riesgos de daños.

3.

Deberá tratarse con los ingenieros responsables de la explotación del ferrocarril el efecto de las vibraciones causadas por los trenes dentro del túnel y sus repercusiones sobre el bien Patrimonio de la Humanidad y se comprobará si son necesarias medidas adicionales, por ejemplo la instalación de aparatos absorbentes de vibraciones dentro del túnel. Resultará beneficioso efectuar mediciones similares a las realizadas en otras estructuras de túneles similares que están funcionando con éxito por el momento para compararlas con las mediciones de vibraciones existentes cerca de los bienes del Patrimonio de la Humanidad. No existen riesgos de daños debidos a vibraciones inducidas por el túnel del AVE.

4.

Durante una inspección visual de la antigua estructura existente de La Sagrada Familia se observaron numerosas grietas, que correspondían principalmente a un incremento de las cargas. Deberá establecerse el plano detallado de las grietas de la fachada de la Natividad y de otras partes del bien Patrimonio de la Humanidad de La Sagrada Familia. En el futuro deberá establecerse e implementarse una propuesta técnica para el control de las grietas, incluyendo el plano de las grietas, para toda la estructura de los monumentos Patrimonio de la Humanidad. Deberá centrarse en la medición a largo plazo de la anchura de las grietas y se llevará su registro permanentemente. Deberá aplicarse un control a largo plazo de los monumentos históricos más importantes, de acuerdo con las prácticas internacionales actuales, especialmente dado que actualmente continúan las obras en la Sagrada Familia.

5.

Consideración de la realización de un análisis estructural independiente del proceso de las obras en La Sagrada Familia:

a) estado actual.

b) estado final.

Debe efectuarse para valorar los riesgos de agrietamiento de La Sagrada Familia teniendo en cuenta las diferentes épocas de su construcción y las tecnologías empleadas, y el enorme aumento de las cargas debido a la carga de la propia Sagrada Familia por un valor del orden de los 500.000 kN.

6.

Tiene que efectuarse un análisis estructural de la Casa Milá teniendo en cuenta el envejecimiento de la estructura.

7.

Debe realizarse un análisis de la vibración natural de los monumentos Patrimonio de la Humanidad, de acuerdo con los códigos y las buenas prácticas internacionales, especialmente para las torres altas y cargas horizontales debidas al viento. Este estudio deben comprobarlo expertos independientes.

8.

Debe continuar el proceso de inspecciones independientes del avance del proyecto.

## **11 ANEXOS**

- Anexo 1 Acciones relativas a la interacción entre la Sagrada Familia, Patrimonio de la Humanidad y el túnel del AVE.
- Anexo 2 Documentos y literatura
- Anexo 3 Programa de la visita del comité de expertos al lugar
- Anexo 4 Cronología del proyecto del Ave y debate sobre los trazados alternativos
- Anexo 5 Planos y bocetos de la localización de la Sagrada Familia, Patrimonio de la Humanidad y Casa Milà en relación con el Túnel del Ave
- Anexo 6 Investigaciones geotécnicas
- Anexo 7 Diseño del revestimiento del túnel
- Anexo 8 Comparación con los asentamientos previstos
- Anexo 9 Documentos de la auscultación de las grietas actuales realizado por Intemac en el Patrimonio de la Humanidad, la Sagrada Familia

## **Acciones relativas a la interacción entre la Sagrada Familia, Patrimonio de la Humanidad y el túnel del AVE.**

*El 18 de junio del 2008, se plantearon las preocupaciones motivadas por la construcción del túnel en la agenda provisional para la 32ª sesión del Comité de Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO. A continuación se citan las descripciones de los riesgos identificados por ICOMOS:*

*"A ICOMOS le preocupa que la construcción del túnel y la pantalla de protección de pilotes amenacen la integridad de la estructura del Templo como resultado, inter alia, de los movimientos diferenciales mayores que los previstos en el proyecto de construcción del Templo y de los posibles movimientos geológicos. ICOMOS apunta que cuando se construyeron las torres de la Natividad, éstas se asentaron unos centímetros debido a su peso y a las características de su piedra y las cimentaciones de mortero causando fisuras en la fachada y las ventanas adyacentes.*

*Además, ICOMOS señala posibles amenazas para la frágil estructura del Templo por el impacto de las vibraciones que produce el paso de los trenes. El paso de los trenes de alta velocidad de carga superior a 80 toneladas producirán ondas de vibraciones que se transmitirán al terreno tanto por el aire como a través de los raíles. Las vibraciones se propagarán a través del terreno hacia las cimentaciones y desde éstas hasta la estructura del edificio. La pantalla de pilotes actualmente propuesta, no se considera una medida suficiente contra este tipo de impacto.*

*La preocupación de ICOMOS se basa, entre otras razones, en la falta de evaluación del impacto dinámico que provocarán las vibraciones producidas en la frágil estructura y cimentaciones del Templo y en la pantalla de pilotes. Adicionalmente, falta un estudio de cómo estas vibraciones pueden afectar a la durabilidad del Templo, tanto en las bóvedas como en el resto de estructuras del edificio.*

*ICOMOS señala también que, además de los posibles daños irreparables a la estructura del Templo, existe un riesgo de lesiones físicas a las personas por posibles caídas de objetos."*

*"[. . .] El Centro del Patrimonio de la Humanidad e ICOMOS no están convencidos de que el Templo sea 100% seguro a causa de los impactos adversos, ni durante la construcción del túnel ni en su uso futuro. Bajo su punto de vista, la solución más prudente, y la que más sigue las obligaciones del Estado hacia la propiedad del Patrimonio de la Humanidad, sería redirigir el trazado de este tramo del túnel a una mayor distancia del monumento y de cualquier otra propiedad Patrimonio de la Humanidad situado en sus inmediaciones"*

*La decisión de la 32ª sesión del Comité de Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO, dice lo siguiente: "[. . .]"*

*Solicita al Estado Miembro para la construcción del tramo del túnel en las inmediaciones del Templo de la Sagrada Familia y que considere el cambio de trazado propuesto para el túnel del tren de alta velocidad de manera que evite cualquier posible impacto adverso en la estabilidad de la estructura del Templo;*

*También solicita al Estado presentar al Centro del Patrimonio de la Humanidad, antes del 1 de febrero de 2009, un informe detallado de las medidas realizadas para asegurar la protección del bien Patrimonio de la Humanidad para que lo evalúe Comité del Patrimonio de la Humanidad en su 33ª sesión en 2009"*

*El 11 de mayo del 2009 se trataron otros temas en la agenda provisional para la 33ª sesión del Comité de Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO:*

*"[. . .]"*

*El informe no hace mención alguna sobre la responsabilidad acerca de parar la construcción del túnel en las inmediaciones del Templo, o sobre la posibilidad de redirigir el túnel alejado del mismo.*

*Dos miembros del Centro del Patrimonio de la Humanidad tuvieron la ocasión de visitar el Templo junto al arquitecto jefe y personal responsable del patrimonio cultural del Centro de la UNESCO en Cataluña durante su misión del Congreso de Conservación Mundial (Barcelona, octubre 2008) y fueron informados de las graves preocupaciones del arquitecto jefe del Templo sobre los posibles impactos a causa de las vibraciones y la inestabilidad del suelo.*

---

*El Centro del Patrimonio de la Humanidad y el Equipo de asesores consideran que aunque los estudios informatizados muestran la posibilidad de construcción mediante tuneladora en este lugar, debería de ser un principio de precaución evitar cualquier posible amenaza a los bienes Patrimonio de la Humanidad. Animan al Estado a considerar alternativas y debatir con las autoridades responsables del proyecto para evitar daños irreversibles al monumento y cualquier impacto en el Valor Excepcional Universal y la integridad de los bienes.*

*El Centro del Patrimonio de la Humanidad y el Equipo de asesores señalan además que no se facilitaron planos de situación o planos de conjunto de todo el túnel atravesando la ciudad de Barcelona.*

*Los expertos de ICOMOS revisaron el material técnico proporcionado en el informe del Estado como informe de despacho. Las técnicas de construcción usadas por Gaudí en La Sagrada Familia, reflejan la tecnología casi olvidada de la época: El Método de Suspensión utilizando cuerdas. Se sabe que dichas estructuras son muy sensibles en caso de asentamientos diferenciales por los cambios de geometría, y por eso las reservas de la estructura son muy limitadas. No se espera que La Sagrada Familia, siendo una estructura única, sea segura cuando se produzcan las vibraciones dentro de los límites de tolerancia establecidas para las estructuras contemporáneas. Una vez más, dichas tolerancias no deberían someterse únicamente a simulaciones por ordenador: también son necesarias pruebas in situ. Se han enviado al Estado conclusiones detalladas del análisis de despacho.*

*El único modo de salvaguardar La Sagrada Familia de cualquier grado de incertidumbre es cambiar la localización del túnel. Asumiendo, sin embargo, que dicha recomendación no es viable debido a la planificación y el capital que hasta ahora se ha invertido, es esencial que la propuesta del Método de Excavación mediante tuneladora de tipo EPB (Escudo de Presión de Tierras) se describa de un modo más detallado, y debido a que la construcción de la pantalla de protección de pilotes propuesta podría ocasionar vibraciones perjudiciales por si misma, esta parte del proyecto debería revisarse y auscultarse con el mismo detalle que la construcción del túnel.*

*En conjunto, sería deseable que los expertos en túneles realizaran una comprobación independiente de la solución propuesta".*

*En la decisión de la 32ª sesión del Comité de Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO, se establece lo siguiente:*

[...]

*Lamenta que no se haya considerado parar la construcción del túnel o cambiar el trazado alejándolo del Templo de la Sagrada Familia;*

*Urge al Estado a que permita un análisis exhaustivo de los posibles impactos adversos y de medidas mitigadoras en el diseño e implantación del túnel y sistemas de evaluación relevantes para que el Equipo de asesores pueda evaluarlo;*

*Anima al Estado a que invite a visitar el bien en 2009 a una Comisión de Expertos Independientes para que revise el proyecto, sus posibles impactos adversos y los posibles daños irreversibles a la estructura del Templo de la Sagrada Familia;*

*Solicita al Estado que proporcione al Centro del Patrimonio de la Humanidad antes del 1 de febrero de 2010 un informe actualizado y detallado del proyecto para su evaluación durante la 34ª sesión del Comité de Patrimonio de la Humanidad en 2010"*

*El 7 de octubre de 2009, la UNESCO invitó al profesor Jaeger y al profesor Katzenbach para desempeñar la misión relativa a las obras, Patrimonio de Humanidad de Gaudí.*

*Considerando estos antecedentes, se tomó la decisión de desempeñar del 7 al 11 de febrero, una misión con técnicos expertos independientes en las obras, Patrimonio de Humanidad de Antoni Gaudí.*

## **Documentos y literatura**

### **Documentos aportados antes y durante la misión de expertos**

**[D1]**

#### **Organización Educativa, Científica y Cultural de las Naciones Unidas**

##### **Comité del Patrimonio de la Humanidad (WHC)**

1. Propuesta como Patrimonio de la Humanidad de las obras de Antoni Gaudí, escaneado. Fecha de la inspección 1984/15 de julio de 2005, nombre del archivo: 320bis, (Incluye la propuesta 1984; Valoración del ICOMOS 1984, Nombramiento 2005; Valoración del ICOMOS 2005), Idioma: inglés / francés
2. Informe del estado de conservación de los bienes Patrimonio de la Humanidad en Europa, Sección II, 1984-2005. Idioma: Inglés
3. Documento de evaluación técnica de WHC Unidad 2005, resumen, obras de Antoni Gaudí, Nr. C320 Bis, Registro de lista provisional Núm. 1054, recibida el 28/01/2004, nombre Del archivo: 320bisjnv-364.doc, Idioma: inglés
4. Inventario retrospectivo de WHC – Evaluación técnica, obras de Antoni Gaudí, Nr. C320 Bis, recibido: 30/12/1983, 31/03/03, 28/01/2004, nombre del archivo: es-320-inv.doc, Idioma: inglés
5. Directrices operacionales para la aplicación de la Convención del Patrimonio de la Humanidad, Comité Intergubernamental para la Protección del Patrimonio Cultural y Natural de la Humanidad, WHC 08/01, enero de 2008, nombre del archivo: opguide08\_en.pdf, Idioma: inglés
6. Convención para la Protección del Patrimonio Cultural y Natural de la Humanidad, Comité del Patrimonio de la Humanidad, 8ª sesión ordinaria, Buenos Aires, Argentina, 29 de octubre -2 de noviembre de 1984, Informe del reportero, nombre del archivo: Limited\_Distribution.doc, Idioma: Inglés
7. Convención para la Protección del Patrimonio Cultural y Natural de la Humanidad, Comité del Patrimonio de la Humanidad, 29ª sesión ordinaria, Durban, Sudáfrica, 10 al 17 de Julio de 2005, Punto 8 del orden del día provisional: Convención para establecer la lista de Patrimonio de la Humanidad y la lista del Patrimonio de la Humanidad en peligro, WHC-05/29.COM/8B, París, 15 de junio de 2005, nombre del archivo: whc05-29com-08Be.pdf, Idioma: inglés
8. Convención para la Protección del Patrimonio Cultural y Natural de la Humanidad, Comité del Patrimonio de la Humanidad, 29ª sesión ordinaria, Durban, Sudáfrica, 10 al 17 de Julio de 2005, Decisiones de la 29ª sesión del Comité del Patrimonio de la Humanidad, (Durban, 2005), WHC-05/29.COM/22, París, 9 de septiembre de 2005, nombre del archivo: whc05-29com-22e.pdf, Idioma: inglés
9. Convención para la Protección del Patrimonio Cultural y Natural de la Humanidad, Comité del Patrimonio de la Humanidad, 32ª sesión ordinaria, Ciudad de Quebec, Canadá, 2 al 10 de julio de 2008, Punto 7B del orden del día provisional: Estado de conservación de los bienes Patrimonio de la Humanidad enumerados en la Lista del Patrimonio de la Humanidad, WHC-08/32.COM/7B.Add, París, 18 de junio de 2008, nombre del archivo: whc08-32com-7B.pdf, Idioma: inglés
10. Convención para la Protección del Patrimonio Cultural y Natural de la Humanidad, Comité del Patrimonio de la Humanidad, 32ª sesión ordinaria, Ciudad de Quebec, Canadá, 2 al 10 de julio de 2008, Decisiones adoptadas en la 32ª sesión del Comité del Patrimonio de la Humanidad (Ciudad de Quebec, 2008), WHC08/32.COM/24.Rev, París, 31 de marzo 2008, nombre del archivo: whc08-32com-24reve.pdf, Idioma: inglés
11. Convención para la Protección del Patrimonio Cultural y Natural de la Humanidad, Comité del Patrimonio de la Humanidad, 33ª sesión ordinaria, Sevilla, España, 22 al 30 de junio de 2009, Punto 78 del orden del día provisional: Estado de conservación de los bienes Patrimonio de la Humanidad enumerados en la Lista del Patrimonio de la Humanidad, WHC-09/33.COM/7B.Add, París, 11 de mayo de 2008, nombre del archivo: whc09-33com-7Be.pdf, Idioma: inglés
12. Convención para la Protección del Patrimonio Cultural y Natural de la Humanidad, Comité del Patrimonio de la Humanidad, 33ª sesión ordinaria, Sevilla, España, 22 al 30 de junio de 2009, Informe de decisión, WHC09/33.COM/20, Sevilla, 20 de julio de 2009, nombre del archivo: whc09-33com-20e.pdf, Idioma: inglés
13. Términos de referencia, misión de técnicos expertos independientes en las obras Patrimonio de la Humanidad de Antoni Gaudí (España), 6 al 11 de febrero de 2010, y borrador del informe de la misión, recibido el 03/02/2010, nombre del archivo: TOR.doc, Idioma: inglés

[02]

**Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS)**

- 1 Lista del Patrimonio de la Humanidad Núm. 320, Evaluación de las obras de Gaudí 1984, 2005; incluido en [U1.1], nombre del archivo: 320bis\_a, Idioma: inglés
- 2 Comité español, Informe sobre el posible impacto del tren de alta velocidad español (AVE) en el Templo de La Sagrada Familia en Barcelona, 1/02/2007, nombre del archivo: ICOMOS Spain\_Informe\_AVE Sagrada Familia Gaudi -2007, Idioma: inglés
- 3 Comité español, Informe sobre el posible impacto del tren de alta velocidad español (AVE) en el Templo de La Sagrada Familia en Barcelona, mayo de 2008, nombre del archivo: ICOMOS Sagrada Familia Gaudi 2008, Idioma: español

[D3]

**Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (adif)**

- 1 Descripción de la solución técnica para el tramo del túnel Sants-La Sagrera en las proximidades del Templo de La Sagrada Familia, enero de 2009, Nota aclaratoria p. 1-15, Idioma: inglés, Adjunto 1: Mapas faltantes, Adjunto 2: Mapas de localización de pozos de sondeo y perfil geológico (faltante), p. 20 -46, Idioma: español, nombre del archivo: Spain\_Workspdf
- 2 Programa borrador, misión de supervisión de los bienes Patrimonio de la Humanidad "Obras de Antoni Gaudí" (España) (Programa visita de la comisión de representación de la UNESCO), febrero de 2010, recibido el 04/02/2010, nombre de los archivos: 2010-02-04 PRIGRAMME GAUDI-EN.doc, 2010-02-04 PROGRAMA DEFINITIVO.pdf, Idioma: inglés/español
- 3 Visita del Comité del Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO. Línea de alta velocidad noroeste, 8 de febrero de 2010. Gobierno de España. Ministerio de Fomento. Idioma: inglés (21 Páginas), Presentación de PowerPoint.
- 4 Estudio de la interacción entre las obras del túnel de Sants-Sagrera y el Templo Expiatorio de La Sagrada Familia. ADIF. Alberto Reguero (Dirección de Calidad, Seguridad y Supervisión). Dirección general de grandes proyectos de la línea de alta velocidad. Lunes 8 de febrero de 2010. Idioma: español (12 páginas), Presentación de PowerPoint
- 5 CD con todas las presentaciones realizadas el 8 de febrero de 2010
- 6 LAV. Sección Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera francesa: Conexión del túnel Sants -La Sagrera (Barcelona). Enero de 2010, Idioma: inglés

[04]

**Comité Científico para el Análisis y la Restauración de Estructuras del Patrimonio Arquitectónico (Iscarsah)**

- 1 Carta sobre la revisión de la descripción de la solución técnica para el tramo del túnel Sants-La Sagrera en las proximidades del Templo de la Sagrada Familia (en Barcelona, España), de fecha enero de 2009, preparado por el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) [U3.1], 3 páginas, desde el 17 abril 2009, Idioma: Inglés, nombre del archivo:G11-09-Iscarsah\_Anmerkungen\_K2009-04-16.pdf

[D5]

**Ministerio de Cultura, España**

- 1 Carta a la UNESCO, 25 de enero de 2008, 27 páginas incluyendo anexos, Idioma: español, nombre del archivo: Report Ministereo de Fomento 2006.pdf
- 2 Carta enviada a Josep Manuel Rueda i Torres (Subdirector general de patrimonio arquitectónico, arqueológico y paleontológico) por Dña. Angeles Alastrué (Subdirectora general para la protección del patrimonio histórico), Ministerio de Cultura. Madrid 2 de noviembre de 2009. Idioma: español (1 página).
- 3 Carta enviada a Dña. Angeles Alastrué (Subdirectora general para la protección del patrimonio histórico), Ministerio de Cultura, por Josep Manuel Rueda i Torres (Subdirector general de patrimonio arquitectónico, arqueológico y paleontológico), Barcelona, 30 de noviembre de 2009. Idioma: español (2 páginas).

**[D6]**

**Oficina Técnica Obra Temple Expiatori SAGRADA FAMILIA**

Correo electrónico a la UNESCO incluyendo declaración técnica sobre el túnel cerca de la Sagrada Familia, 12 de enero de 2007, 11 páginas incluyendo anexos, Idioma: Español, nombre del archivo: Report Ministerio de Fomento 2006.pdf,

**[D7]**

**Anónimo**

Listado de documentos: Obras de Gaudí (España), nombre del archivo: documents.doc, Idioma: Inglés

**[D8]**

Technische Universität Oarmstadt, Alemania

- 1 Opinión experta Núm.11/09-1, Sagrada Familia, Barcelona, España · Túnel del AVE bajo la Calle Mallorca, del 16/04/2009, nombre del archivo: Expert\_Opinion No 01\_2009-04-16.pdf y Stellungnahme Katzenbach\_2009-04-16\_neu.doc, Idioma: Inglés
- 2 Carta de presentación al Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jager para la opinión experta Núm.11/09-1, Sagrada Familia, Barcelona, España · Túnel del AVE bajo la Calle Mallorca, del 16/04/2009, nombre del archivo:G1109\_Anschreiben Prof Jager\_2009-04-16.pdf, Idioma: alemán

**[D9]**

**IDAEA (Instituto de diagnostico ambiental y estudios del agua),**

Agua subterránea cerca de "La sagrada familia". Estanis Pujades, Enric Vázquez, Jesús Carrera. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA). Consejo Nacional de Investigación (CSIC). Barcelona, España. Febrero de 2010. Idioma: inglés. (23 páginas).

**[D10]**

**UPC (Universidad Politécnica de Cataluña)**

Nuevo túnel para el tren de alta velocidad en Barcelona. El proyecto y el Templo de "La Sagrada familia". Una perspectiva geotécnica. Eduardo Alonso y Alberto Ledesma. Departamento de Ingeniería Geotécnica Y Ciencias de la Tierra. UPC (Universidad Politécnica de Cataluña). Febrero de 2010. Idioma: inglés - español. (63 páginas).

**[D11]**

**Sol Data Iberia (Mediciones)**

- 1 Plan: Plan de auscultación del puente "Bac de Roda" - "Meridiana". Sol Data Iberia. 28 de enero de 2009.
- 2 Auscultación del Templo de "Sagrada Familia" con el sistema Cyclops. Sol Data. Declaración del método. Febrero de 2009. Idioma: inglés (4 páginas).
- 3 Hitos de nivelación profunda. Sol Data. Sin fecha. Idioma: español (20 páginas).

**[D12]**

**CSIC (Consejo nacional de investigación)**

- 1 Control de la tuneladora. José Gomez. Lunes 8 de febrero de 2010. Idioma: español. (34 páginas).
- 2 Descripción de los contenidos de la construcción del tramo túnel Sants-La Sagrera en la sección que pasa junto a la Sagrada Familia. Miguel Gonzales (Dirección general de grandes proyectos de alta velocidad), Dirección de estudios y proyectos. Barcelona, 8 de febrero de 2010. Idioma: español. (24 páginas).

**[D13]**

**Ministerio de Fomento de España**

PEIT (*plan estratégico de infraestructura y transporte*), Línea de alta velocidad Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera francesa. Tramo Sants-La Sagrera. Sin fecha. Ministerio de Fomento de España (31 *páginas*).

**[D14]**

**Generalitat de Cataluña**

1. Ley 9/1993 de 30 de septiembre del Patrimonio cultural catalán. Generalitat de Cataluña, Departamento de Cultura y Medios de Comunicación. Dirección General del Patrimonio Cultural.
2. Obra de Gaudí en "La Sagrada Familia". Planimetría antigua incluida en el expediente de la UNESCO. Sin fecha. Generalitat de Cataluña, Departamento de Cultura y Medios de Comunicación. Dirección General del Patrimonio Cultural.
3. Templo de "La Sagrada Familia". Obra de Gaudí. Sin fecha. Generalitat de Cataluña. Idioma: español.
4. Sagrada Familia. Zona de amortiguamiento del Plan Especial de Protección del Patrimonio arquitectónico e histórico del Ayuntamiento de Barcelona. Generalitat de Cataluña. Fuente: Ayuntamiento de Barcelona, Sección de urbanismo. Septiembre de 2003. (1 *página*).
5. Sagrada Familia. Zona de amortiguamiento del Plan Especial de Protección del Patrimonio arquitectónico e histórico del Ayuntamiento de Barcelona. Generalitat de Cataluña. Modificado en febrero de 2010. Fuente: Ayuntamiento de Barcelona, Sección de urbanismo. Septiembre de 2003. (1 *página*).
6. Explicación Del Trazado de Límites en la Zona de Amortiguamiento del Monumento de "La Sagrada Familia", incluido en la Lista del Patrimonio de la Humanidad del año 2004. Generalitat de Cataluña. Ayuntamiento de Barcelona. Elsa Ibar Torres y Jordi Rogent Albiol. Barcelona, 11 de febrero de 2009. Idioma: Español (2 *páginas*)
7. Nuevo Túnel Ferroviario de Alta Velocidad en Barcelona (PTOP) Generalitat de Cataluña, Departamento de Política Territorial y de Obras Públicas. Febrero 2010. Idioma: inglés. (32 *páginas*).
8. Obras de la "LAV" y la ciudad. Ayuntamiento de Barcelona. Sin fecha. Idioma: español (25 *páginas*).
9. Apuntes de la delegación de ICOMOS / Visita a Barcelona. 8 al 11 de febrero de 2010. Ramón García Bragado Acin (Cuarto Teniente de Alcalde – Planificación urbanística) Ayuntamiento de Barcelona y Jordi Roca (Director de Patrimonio – Departamento de Cultura y Medios) Generalitat de Cataluña. Barcelona, 8 de febrero de 2010. Idioma: español. (3 *páginas*).
10. CD con fotografías y archivos sobre "La Sagrada Familia". Archivo UNESCO.

**[D15]**

**INTEMAC (Instituto técnico de materiales y construcciones):**

1. Informe sobre la interacción entre el Túnel Ferroviario de la Línea de Alta Velocidad desde la estación de Sants hasta la estación de La Sagrera y el Templo Expiatorio de la Sagrada Familia. INTEMAC. Prof. Enrique Gonzales Valle. Profesor Catedrático y Doctorado en Ingeniería Civil. Universidad Politécnica de Madrid. Presidente de INTEMAC. Lunes, 8 de febrero de 2010. Idioma: inglés. (111 *páginas*), presentación en PowerPoint
2. Informe sobre la seguridad del túnel entre las estaciones de Sants y La Sagrera en Barcelona, tras la finalización del Templo Expiatorio de La Sagrada Familia. 12 de febrero de 2010. Idioma: Inglés
3. Nave principal del Templo Expiatorio de la Sagrada Familia. Nota sobre los pilares del sótano (Elevación -4.84) de la fachada este. 12 de febrero de 2010. Idioma: Inglés
4. Respuestas a las preguntas planteadas por la Comisión de la UNESCO para el Templo Expiatorio de la Sagrada Familia. 18 de febrero de 2010. Idioma: Inglés
5. Estudios sobre las afecciones al Templo Expiatorio de la Sagrada Familia. INTEMAC (Instituto técnico de materiales y construcciones). 30 de octubre de 2009. Idioma: español  
Anexo 1. Acta de las reuniones.  
Anexo 2. Documentación técnica  
Anexo 3. Plan de auscultación.  
Anexo 4. Plan de exploración geotécnica.  
Anexo 5. Campaña de auscultación y vibraciones.

Anexo 6. Pantalla de pilotes.

Anexo 7. Informe sobre los Resultados de la auscultación realizada en la fachada de "La Gloria" y la nave principal del Templo Expiatorio de la Sagrada Familia.

Anexo 8. Informe sobre el Reconocimiento y caracterización del terreno y análisis geotécnico para el Estudio de la interacción entre las obras del túnel de conexión Sants-La Sagrera y del Templo Expiatorio de "La Sagrada Familia".

Anexo 9. Informe sobre ensayo de pilotes.

Anexo 10. Informe de estructuras.

Anexo 11. Recomendaciones de EPB.

6. Informes **INTECSA -INARSA**

- Apuntes técnicos sobre del encamisado de los pilotes en la zona de la Sagrada Familia. 3 de agosto de 2009. Idioma: inglés.

- Notas técnicas para el descabezado de los Pilotes. Sin fecha. Idioma: inglés.

- Análisis de los aspectos técnicos en referencia a las cargas transmitidas por el Templo Expiatorio de la Sagrada Familia contenido en el documento enviado a la Sala de lo Contencioso Administrativo de la Audiencia Nacional por la Junta Constructora del Templo Expiatorio de la Sagrada Familia de fecha 16 de enero de 2009. Idioma: Inglés.

- Análisis del trazado de la calle Mallorca y de su relación con el trazado del túnel de conexión de las estaciones de Sants y La Sagrera. Idioma: Inglés.

- Análisis de los efectos que generan los asentamientos en el incremento de la distancia entre el Túnel Sants-La Sagrera y la pantalla de pilotes ubicada en frente de la Sagrada Familia. Octubre de 2009. Idioma: Español.

- Procedimiento técnico para la ejecución de pilotes "in situ" que componen el tratamiento del terreno de "La Sagrada Familia". Julio de 2009. Idioma: Español.

Anexo 1. Documentación del Proyecto sobre la Sagrada Familia:

- Extracto del informe general. Sin fecha. Anónimo. Idioma: español.

- Tramos de auscultación. Miguel Gonzales Fabre. Julio de 2007. (42 Planes).

- Plan de instrumentación en el terreno. Miguel Gonzales Fabre. Julio de 2007. (17 Planes).

Anexo 2:

- Resultados del ensayo de hormigón. Emilio Tellez Garcia. GEOTEX. 25 de agosto de 2009. Idioma: español.

- Resultados obtenidos. GEOTEX. 9 de octubre de 2009. Idioma: español.

- Actas de reuniones hasta 56 días. Última fecha: 22 de enero de 2010. Idioma: español.

- Estado de construcción actual. ADIF. Sin fecha. Idioma: español.

[D16]

**Patronato de la Sagrada Familia**

- 1 Informe comparativo sobre el Análisis de Modelo de Asentamientos que ocurrirán en las cimentaciones del Templo Expiatorio de la Sagrada Familia en Barcelona, debido a la construcción del Túnel Ferroviario de Alta Velocidad de la calle Mallorca. Anónimo. Diciembre de 2009. Idioma: español.(33 páginas).
- 2 Informes correspondientes a los riesgos que pueden ocurrir al Templo Expiatorio de la Sagrada Familia en Barcelona, debido a la construcción del túnel ferroviario de alta velocidad en la calle Mallorca. Carles Buxadé Robot (Dr. Arquitecto, Profesor de Estructuras jubilado de la Universidad Politécnica de Cataluña). Noviembre de 2009. Idioma: español.(57 páginas).
- 3 Visita de la UNESCO del 8 de febrero de 2010. Jordi Bonet Armengol (Dr. Architect). Idioma: inglés - español. (4 páginas).
- 4 Informe sobre los aspectos geomorfológicos en el entorno de "La Sagrada Familia" afectados por el tramo Túnel Sants-La Sagrera de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Barcelona-Frontera francesa. David Serrat Congost. Barcelona, 10 de noviembre de 2009. Idioma: español. (3 páginas).
- 5 Informe sobre el paso del tren "AVE" por la calle Mallorca, cercano al Templo Expiatorio de la Sagrada Familia. Jordi Bonet Armengol, Carles Buxadé i Robot, Joan Margarit i Cansarnau, Josep Gómez i Serrano, Jordi Fauli i Oller. (Dirección facultativa de las obras en el Templo Expiatorio de "La Sagrada Familia"). Barcelona, 13 de junio de 2006. Idioma: español. (3 páginas)

- 6 Ley 9/1993 de 30 de septiembre del Patrimonio cultural catalán. ("DOGC núm. 1807, de 11 de octubre de 1993"). Artículo 35. Anónimo. Idioma: catalán. (2 páginas).
- 7 "Expertos de todo el mundo ven en peligro "La Sagrada Familia". Periódico La Vanguardia. Domingo, 6 de mayo de 2007. Idioma: español-catalán: (2 páginas).
- 8 CD con una presentación del Templo Expiatorio de "La Sagrada familia". Reunión de constructores de La Sagrada Familia.

**[017]**

**Junta Permanente de vecinos en defense del patrimonio cultural catalán:**

1. Conferencia sobre efectos del Túnel Sants-La Sagrera en el Templo Expiatorio de la Sagrada Familia, por Mariano Ribon Sánchez (Ingeniero Civil). Barcelona, 24 de marzo de 2009. Idioma: Español (32 páginas).
2. Boletín informativo Núm. 245. Colegio Oficial de Ingenieros Industriales. Diciembre de 2009 Idioma: español (47 páginas).
3. Plano núm. 6. Proyecto de Construcción de Plataforma del Tramo Túnel de Conexión Sants-La Sagrera (Barcelona) de la Línea de Alta Velocidad M-Zaragoza-Barcelona-Frontera francesa. SACYR, CAVOSA, SCRINSER (ADIF). Marzo de 2009.
4. Mapa hidrográfico de Barcelona. Plano del Ayuntamiento de Barcelona incluido en la página 467 del estudio complementario Sants-La Sagrera (Barcelona). Sin fecha.
5. Carta dirigida a Jordi Bonet Armengol (Director arquitecto y coordinador de La Sagrada Familia). Barcelona, 18 de noviembre. Idioma: español. (1 página).
6. Carta dirigida a Rafael Rodriguez Gutierrez (Director de infraestructuras de ADIF). Barcelona, 25 de noviembre de 2008 por Jordi Bonet Armengol (Director arquitecto y coordinador de La Sagrada Familia). Idioma: español. (1 página).
7. Conversaciones entre ingenieros de ADIF y el Patronato de la "Sagrada Familia" respecto a la necesidad del cambio de trazado del Túnel del AVE Sants-La Sagrera. Mariano Ribon (Ingeniero Civil). Sin fecha. Idioma: Español.
8. Objeciones al informe de INTEMAC sobre las interacciones entre el túnel del "AVE" y "La Sagrada Familia". Sin fecha. Idioma: español.
9. Edificio residencial de la calle Mallorca 615-617-619. Opinión sobre las fisuras existentes. Mariano Ribon Sánchez (Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos), número de colegiado 1734. 8 de diciembre de 2009. Idioma: Español.
10. AVE / TGV a través de Barcelona. Expediente Núm 2. Cuatro itinerarios posibles entre las estaciones de Sants y La Sagrera. Barcelona, 9 de febrero de 2010. Anónimo. Idioma: inglés-español.
11. Advertencias sobre el trazado del AVE. Anónimo. Sin fecha.
12. Proyecto del AVE Sants-La Sagrera engañando a la UNESCO. JV Costa. Barcelona, 27 de julio de 2009 (3 páginas). Idioma: español.
13. Notas de trabajo de Obras Profesionales de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos con gestión a través del Colegio de Ingenieros. Francisco Lopez Martínez y Mariano Ribón Sánchez. Barcelona, 19 de noviembre de 2009. Idioma: español. (3 páginas).
14. Línea de Alta Velocidad Madrid - Zaragoza - Barcelona - Frontera francesa, tramo Sants - La Sagrera. Informe resumen sobre las fisuras aparecidas en el edificio residencial de la calle Mallorca 615. Gonzalo Ramos y Alberto Ledesma (Profesores de la Universidad Politécnica de Cataluña). Barcelona, 27 de octubre de 2009. Idioma: español. (8 páginas).
15. Informe sobre las afectaciones al Patrimonio Cultural por las Obras remitido al Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental, en la Información Complementaria sobre modificaciones del trazado del tramo Sants - La Sagrera (Barcelona) de la línea de alta velocidad Madrid - Barcelona - Zaragoza - Frontera francesa. Josep i Girabal Ríos. Arquitecto. Departamento de protección del Patrimonio Cultural. Área de actuación y Ordenación del Territorio. Barcelona, 15 de marzo de 2007. Generalitat de Cataluña. Dirección General del Patrimonio Cultural. Idioma: español. (23 páginas).
16. SOS, llamada de emergencia a la comunidad internacional, de "La Sagrada Familia", la obra maestra de Gaudí en peligro. Nota de prensa. Diciembre de 2009. Rubén Novoa i Arranz (Coordinador).

17. "La Sagrada Familia" y el túnel del AVE a través de Barcelona. Marta Xargayó. Junta permanente para la defensa del patrimonio cultural de Cataluña. Barcelona 9 de febrero 2010. Idioma: Español (2 páginas).
18. Pruebas de perforación. Pedro Vallejo. Junta permanente para la defensa del patrimonio cultural de Cataluña. Sin fecha. Idioma: Español (6 páginas).
19. Adaptación al ancho de vía de ferrocarril internacional. Sin fecha. Sin autor. (2 páginas).
20. Plan de estudio del impacto medioambiental en el patrimonio cultural. Censa. Septiembre 2003.
21. Datos de afectaciones del trazado. Sin autor. Sin fecha. Idioma: Catalán. (1 página).
22. Conclusiones del estudio económico del posible trazado del TGV (AVE) por Barcelona (Comisión: Eco Seniors) Documento 15. Cámara de Comercio de Cataluña. 12 de abril 2007. Idioma: Español. (2 páginas).
23. Grietas en la calle Mallorca 619. Anónimo. Sin fecha.
24. Plenos municipales 20/7/07; 26/10/07 y 30/11/07. (23 votos a favor y 18 votos en contra). El Parlamento de Cataluña el 7/02/08 expresa 84 votos para su cancelación y 49 votos en contra. "La Vanguardia" Julio 2009. Idioma: Español. (2 páginas)
25. Debate para la aprobación final del borrador del trazado del TAV cerca de La Sagrada Familia. Sección de Ciencia y Tecnología del Instituto de Estudios de Cataluña. Anónimo. Idioma: Catalán. (20 páginas).
26. Nota sobre la urgencia del peligro que amenaza al Templo de La Sagrada Familia. Jordi Bonet Armengol. (Arquitecto Director y Coordinador de la Sagrada Familia). Sin fecha. Idioma: Español (1 página).
27. INTEMAC (Instituto Técnico y Materiales de Construcción). Supervisión de las obras. INTEMAC. Sin fecha. Idioma: Español. (9 páginas).
28. Cómo será el templo de la Sagrada Familia. Sin autor. Sin fecha. Idioma: Alemán - Inglés (1 página).
29. Trazado por el litoral. Tramo frontera francesa – Plaza de las Glorias. 3 vías (más de 2 Km.). Anónimo. Sin fecha. (3 páginas).
30. Trazado por el Vallés. Plan urbanístico para el establecimiento de una red de vías de alta velocidad en Cataluña en la zona del Vallés y Bajo Llobregat y el consiguiente ajuste de la planificación general afectada. Aprobación final. Generalitat de Cataluña. Julio 1998. Idioma: catalán (6 páginas).
31. Planes del trazado por el Vallés. Plan urbanístico para el establecimiento de una red de alta velocidad en Cataluña en la zona del Vallés y Bajo Llobregat y el consiguiente ajuste de la planificación general afectada. Aprobación final. Generalitat de Cataluña. Julio 1998. Idioma: catalán (9 planos).
32. Planos del perfil longitudinal del trazado por el Vallés. Plan urbanístico para el establecimiento de una red de alta velocidad en Cataluña en la zona del Vallés y Bajo Llobregat y el consiguiente ajuste de la planificación general afectada. Aprobación final. Generalitat de Cataluña. Julio de 1998 (6 planos)
33. Memoria del trazado por el Vallés. Plan urbanístico para el establecimiento de una red de alta velocidad en Cataluña en la zona del Vallés y Bajo Llobregat y el consiguiente ajuste de la planificación general afectada. Aprobación final. Generalitat de Cataluña. Julio de 1998. Idioma: Catalán (46 páginas).
34. Plano: pozo y anexo. Estudio de los niveles freáticos. Anónimo. Sin fecha.
35. Plano de la alternativa por el Litoral (cancelado). Tramo aeropuerto – Sagrera. Plan de distribución. Infraes SA 2000.
36. Plano de situación. Alternativas de modelos ferroviarios para Barcelona. Ministerio de Fomento. Infraes S.A. 2000.
37. Plano de la alternativa por el Litoral. Tramo Aeropuerto-Sagrera. Plan de distribución. Ministerio de Fomento. Infraes S.A. 2000.
38. Planos (22 planos). Anónimo. Sin fecha. Sin información.
39. Comentarios a la nota de prensa de "Europa Press" sobre el informe de interacción entre el túnel del AVE y el templo de la Sagrada familia. Sin fecha. Idioma: español.
40. Artículo de prensa. Expansión Cataluña. 8 de abril 2008. Idioma: español.
41. Artículo de prensa. El Punt. Miércoles 9 de junio 2009. Idioma: catalán.

42. Artículo de prensa. La Vanguardia. 10 de octubre 2009. Idioma: español.
43. Artículo de prensa. El Mundo. Miércoles 15 de abril 2009. Idioma: español.
44. Artículo de prensa. La Vanguardia. Sin fecha. Idioma: español.
45. Artículo de prensa. Avui. 24 de octubre 2009. Idioma: catalán.
46. Artículo de prensa. El Periódico. 22 de octubre 2009. Idioma: español.
47. Artículo de prensa. La Vanguardia. 22 de octubre 2009. Idioma: español.
48. Artículo de prensa. Avui. 14 de octubre 2009. Idioma: catalán.
49. Artículo de prensa. El País (10-10-2000), Cataluña (10-10-2000), El Periódico (15-10-2000). Idioma: español. (1 página).
50. Artículo del foro en Internet en [www.forumlibertas.com](http://www.forumlibertas.com). La Sagrada familia amenazada por el AVE. Sin autor. 4 de noviembre 2009.
51. Dr. Oriol Riba Arderiu. Sin fecha. Sin autor.

## **Documentos solicitados y recibidos después de la Comisión del 08.02.2010 - 11.02.2010**

### **Documentación del Templo Catedral de la Sagrada Familia (S)**

- S.1 Documentos originales sobre los cimientos de la Sagrada Familia, que se han utilizado para los cálculos de los asentamientos, especialmente los planos de cargas sobre los cimientos de la Sagrada Familia
- S.2 Sección transversal del túnel y de los pilotes existentes de la Sagrada Familia
- S.3 Documentación, dibujos y planos de la superestructura de la Sagrada Familia, que indican especialmente la distribución de cualquier junta de deformación, en su caso
- S.4 Documentación, dibujos y planos de los cimientos de la Sagrada Familia
- S.5 Aclaración de los períodos de construcción de la Catedral, incluyendo los datos sobre el material utilizado (hormigón armado especial u hormigón no armado, porcentaje de refuerzo)
- S.6 Cálculo estructural de la estructura de la Sagrada Familia y el factor de seguridad aplicada de la estructura
- S.7 Mediciones de los asentamientos de la Sagrada Familia en el pasado
- S.8 Plan de obra de los trabajos de construcción en la Fachada de la Gloria en el momento en que la tuneladora pasa junto a la Sagrada Familia
- S.9 Dibujos de la sección transversal de las estaciones de Sants, Calle Provença y Calle Mallorca

### **Túnel (T)**

- T.1 Diseño y análisis estructural del túnel, cálculos y cargas aplicadas a la estructura de construcción del túnel. En especial, ¿cómo se tuvo en cuenta la carga asimétrica de la Fachada de la Gloria?
- T.2 Dibujos técnicos del túnel
- T.3 Informes del Prof. Ingeniero y/o comprobación independiente de los cálculos del túnel
- T.4 Estudios de resonancia de la Sagrada Familia con las vibraciones del túnel
- T.5 Documentación de las medidas aplicadas para reducir el impacto de las vibraciones del tren de alta velocidad
- T.6 Documento existente sobre las medidas de protección de la Casa Milà
- T.7 Sección transversal del túnel en las proximidades de Sants, incluyendo otros túneles e indicando los puntos fijos del diseño
- T.8 Análisis estructural de la pantalla de pilotes excavados a lo largo de la Sagrada Familia
- T.9 Referencias del contratista principal en proyectos similares
- T.10 Organigrama del equipo de construcción, incluyendo su experiencia en proyectos similares
- T.11 Descripción del método de construcción del túnel
- T.12 Descripción del método y la auscultación aplicados durante la inyección de lechada para proteger la pantalla de pilotes en las proximidades de la Sagrada Familia
- T.13 Planes de acción y medidas de construcción en caso de emergencia
- T.14 Información sobre la tuneladora (TBM)
- T.15 Especificaciones funcionales del cliente sobre la tuneladora (TBM)

### **Experiencia en proyectos similares y proyectos en las inmediaciones (P)**

- P.1 Estudios geotécnicos y valores de diseño del suelo de las líneas de metro L2 y L5 de las inmediaciones
- P.2 Publicaciones relativas a la construcción de las líneas de metro L2 y L5 e informes de otras experiencias
- P.3 Mediciones de deformaciones del muro de retención durante la construcción y los asentamientos o movimientos horizontales de los edificios circundantes
- P.4 Valores máximos de medición del nivel freático en los piezómetros / calibres de nivel freático existentes después de la finalización de L2 y L5 para evaluar el efecto barrera in situ
- P.5 Mediciones de los asentamientos y vibraciones debido a la construcción de otros túneles en Barcelona y con la misma tecnología que en el ámbito del proyecto

- P.6 Información sobre todos los túneles que se estén construyendo en Barcelona en este momento.  
Asentamientos y deformaciones máximos y mínimos, documentación en casos de daños con un tipo similar de construcción de túneles de la tuneladora que construye la línea de metro L9
- P.7 Leyes o normas legales similares que no permitan la construcción de túneles debajo de estructuras habitadas

## **Bibliografía**

- [L1] Balthaus, H., Dorgarlen, H.-W., Billig, B.:  
Tunnelsicherung und Tunnelausbau.  
Betonkalender 2005, Kapitel IV,  
Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2005
- [L2] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT):  
Empfehlungen des Arbeitskreises "Tunnelbau" ETB.  
Ernst & Sohn Verlag, Berlin 1995
- [L3] Girmscheid, G.:  
Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau.  
Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2008
- [L4] Katzenbach, R., Strüber, S.:  
Schwierige Tunnelvorliebe im Locker-und Festgestein -Anforderungen an  
Erkundung, Planung und Ausführung.  
Geotechnik, Heft Nr. 4, 2003, Seite 224-229,  
Verlag GIOckauf GmbH, Essen 2003
- [L5] Katzenbach, R., Arslan, U., Festag, G., Rückert, A. (1998)  
Soil structure interaction influenced by shallow tunneling in urban areas.  
International Conference on Soil-Structure Interaction in Urban Civil Engineering  
8.19. Oct. 1998. Darmstadt Geotechnics, No. 4, Vol. 1, 97-111
- [L6] Katzenbach, R., Weidle, A., Ramm, H. (2003)  
Geotechnical basics in modelling of the soil-structure-interaction due to the sustainable re-  
use of historical foundations and structures.  
Int. Conf. On Reconstruction of Historical Cities and Geotechnical Engineering,  
Saint Petersburg, 17.-19.9.2003, Volume 1, 85-94
- [L7] Katzenbach, R., Ittershagen, M. (2004)  
New Developments in Soil Improvement under Railway Lines on very soft Soil.  
57th Canadian Geotechnical Conference - GeoQuebec 2004  
Quebec, Canadá, 24.-27.10. 2004
- [L8] Katzenbach, R., Bachmann, G., Gutberlet Ch. (2007)  
Soil-structure-interaction of deep foundations and the ULS design philosophy.  
XIV European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering,  
Madrid, 24.27.09.2007,55-62
- [L9] Katzenbach, R., Bachmann, G. (2007)  
Continuous monitoring of deep excavation pits for damage prevention.  
7th International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, ASCE  
23-27.09.2007, Boston, EE UU

- [L10] Katzenbach, R, Hoffmann, H., Dunaevskiy, R., Giegerich, G. (2008)  
Design of a New Seaport in a very Soft Soil.  
11th Baltic Sea Geotechnical Conference, Gdansk, Polonia, 15.-18.9.2008
- [L11] Katzenbach, R, Weidle, A, Hoffmann, H. (2004)  
Tilting of a historic façade during construction works -geotechnical cause and effect on the stiffening system.  
5th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering,  
Nueva York, 13.-17.4.2004
- [L12] Katzenbach, R, Ramm, H. (2006)  
Reuse of historical foundations.  
International Conference on Re-use of Foundations for Urban Sites: RuFUS 2006, BRE,  
Watford, Reino Unido, 19.-20.10.2006, 395-403
- [L13] Katzenbach, R, Ramm, H., Werner, A. (2006)  
Re-use of foundations in course of the reconstruction of the Hessian parliament complex -  
A case study.  
International Conference on Re-use of Foundations for Urban Sites: RuFUS 2006, BRE,  
Watford, Reino Unido, 19.-20.10.2006,385-394
- [L14] Katzenbach, R, Arslan, U., Festag, G., Rückert, A. (1998)  
Soil structure interaction influenced by shallow tunneling in urban areas.  
International Conference on Soil-Structure Interaction in Urban Civil Engineering  
8.19. Oct. 1998. Darmstadt Geotechnics, No. 4, Vol. 1, 97-111
- [L15] Katzenbach, R, Rückert, A. (1999)  
Niedernhausen Tunnel, Solution of Ground-water Problems  
Proc. 12. European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering  
(ECSMGE),  
Amsterdam, 7.-10.6.1999, Vol. 3, 2053-2058
- [L16] Katzenbach, R, Arslan, U., Festag, G., Rückert, A. (1999)  
High-speed railway tunnelling in soft granular Frankfurt ground.  
International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in  
Soft Ground, Tokio, Japón, July 19-21,1999
- [L17] Ribeiro e Sousa, L., Arslan, U., Katzenbach, R, Festag, G., D61z, K. (2001)  
Numerical analysis of a shield driven tunnel in Lisbon.  
Proc. of the International Symposium Modern Tunnelling Science and Technology, Kyoto,  
Japón, 30.10.-1.11.2001
- [L18] Kolybas, D.:  
Geotechnik -Tunnelbau und Tunnelmechanik.  
Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1998
- [L19] Maidl, B.:  
Handbuch des Tunnel-und Stollenbaus, Band I und II.  
Verlag Glückauf GmbH, Essen 2004
- [L20] Maidl, T.:

- Die Bestimmung der Vortriebsklassen beim Spritzbetonverfahren im Tunnelbau.  
NZBau, Heft Nr. 2, 2004,  
Verlag CH Beck, Munich 2004
- [L21] Pottler, R., Spiegl, A., Volkmann, G., Leitner, R.:  
Lastabtragung an der Ortsbrust unter Berücksichtigung der Ortsbruststabilität und  
vorausseilenden Sicherung.  
Veröffentlichungen des Institutes für Geotechnik der TU Bergakademie Freiberg,  
Heft Nr. 2004-4, Seite 179-200,  
Freiberg 2004
- [L22] Prinz, H.:  
Abriss der Ingenieurgeologie.  
Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1991
- [L23] Schikora, K., Bretz, H., Eierle, B.:  
Technisch-wirtschaftlicher Vergleich van ausgeführten Rohr-und SpieP..schirmen  
am Beispiel des Tunnels Farchant.  
Forschung + Praxis, U-Verkehr und unterirdisches Bauen -Unterirdisches Bauen  
2000 Herausforderungen und Entwicklungspotentiale, Band 38,  
Düsseldorf 2000
- [L24] Shin, J.-H., Choi, Y.-K., Kwon, O.-Y., Lee, S.-D.:  
Model testing pipe-reinforced tunnel heading in a granular soil.  
Tunnelling an Underground Space Technology Vol. 23, No.3, pp. 241-250,  
Elsevier Ltd, Kidlington, Oxford, Reino Unido 2008

Bibliografía sobre normativa:

EUROCÓDIGO 7: Diseño geotécnico

DIN 1054	Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
DIN 4020	Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke
DS 853	Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten; Tunnelbauvorschrift der Deutschen Bahn AG, Ausgabe 01.05.1996
RIL 853	Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten; Richtlinie der Deutschen Bahn AG; Ausgabe 01.10.1998

### **Programa de la visita in situ de la Comisión de Expertos**

El programa de la comisión fue preparado por el Estado y se ajustó parcialmente durante la comisión, debido a las cuestiones planteadas. A continuación se presenta el programa definitivo que se llevó a cabo.

6 de febrero de 2010	Vuelo a Barcelona
7 de febrero de 2010 10:00 - 18:00 h	Estudio de la documentación disponible sobre la Sagrada Familia.
8 de febrero de 2010 09:00 - 10:30h	Bienvenida a la Comisión por parte del Gobierno de Cataluña, Ayuntamiento de Barcelona, Ministerio de Fomento, Ministerio de Cultura y Representantes de Adif
10:30 - 14:00 h	Presentaciones técnicas de los resultados de los estudios realizados por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), INTEMAC, Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA) y José Gómez (Persona responsable de la tuneladora).
14:00 - 15:30 h	Comida
15:30 - 18:00 h	Reunión con la Junta de Construcción y Consejo Directivo de la Sagrada Familia
9 de febrero de 2010 09:00 - 10:30 h	Reunión con la Parroquia de la Sagrada Familia
10:00 - 11:00 h	Reunión con el Comité Conjunto Permanente en Defensa del Patrimonio de Cataluña
11:00 - 13:30 h	Reunión con la Plataforma AVE Pel Litoral
13:30 - 15:30 h	Comida
15:30 - 19:00 h	Reunión con el Gobierno de Cataluña y el Ayuntamiento de Barcelona
10 de febrero de 2010 09:00 - 10:00 h	Reunión con Manifiesto Gaudí Alerta Roja
10:00 - 13:30 h	Reunión con representantes del Ministerio de Fomento
13:30 - 15:30 h	Comida
15:30 - 20:00 h	Debate sobre las cuestiones abiertas con Adif, UPC, INTEMAC e IDAEA
11 de febrero de 2010 08:45 - 10:00 h	Visita al área de construcción de las medidas de protección (pilotes) cerca de la Sagrada Familia
10:00 - 12:00	Visita de parte de la Sagrada Familia y construcción de la Fachada de la Gloria
12:00 - 14:30 h	Visita al eje en la Calle Trinxant
15:30 h	Debate sobre las cuestiones abiertas con Adif, UPC, INTEMAC e IDAEA

Durante la comisión se escuchó a todas las partes implicadas en el proyecto y se tuvieron en cuenta todos sus puntos de vista. Se revisaron las medidas técnicas y organizativas para mitigar el riesgo que el equipo del proyecto ha aplicado.

### Cronología del Proyecto del AVE y Debate sobre rutas alternativas

La toma de decisiones de la ruta fue examinada con precisión. Los resultados del análisis y las alternativas consideradas se indican a continuación en orden cronológico.

**1999** Entrega a las instituciones públicas del borrador del "Estudio informativo sobre el Proyecto de la línea de tren de alta velocidad, Madrid - Barcelona - Frontera de Francia, Tramo. Aeropuerto de Barcelona - L'Hospitalet - Calle Mallorca".

Durante el estudio informativo se debatieron diversas alternativas de la ruta. Finalmente se tomó la decisión de conectar las estaciones de tren de Sants y La Sagrera, para asegurar el desarrollo sostenible de la ciudad de Barcelona. Las posibilidades de conexión entre Sants y La Sagrera se indican en la Fig. 1.



Fig. 1 - Vista de las rutas alternativas

Aunque las rutas exteriores de Barcelona afectarían menos al interior de la ciudad que la conexión directa entre Sants y La Sagrera, hay muchas desventajas claras de la ruta costera y de la ruta Corredor del Vallés fuera de Barcelona. Las desventajas principales de las rutas mencionadas anteriormente son un impacto medioambiental significativamente mayor debido a la mayor distancia de las rutas y la mala conexión con otros tipos de transporte públicos e individuales. Además, la interconexión ferroviaria de Sants, que cubre el sur de España, y La Sagrera, que cubre el norte de España, no sería posible de manera efectiva. Asimismo, serían necesarias vías adicionales y una ampliación de las estaciones. La ruta costera estaría por debajo de edificios habitados en más de 400 m.

Por consiguiente, se tomó la decisión de conectar Sants y La Sagrera mediante una conexión directa, lo que significa la construcción del túnel por debajo de las calles del centro de Barcelona.



Fig. 2 - Vista de las rutas alternativas en el interior de la ciudad de Barcelona

**2000** En este momento se estudiaron 2 alternativas, ambas en las proximidades de la Sagrada Familia, como se indica en la Fig. 2. Estas conexiones permiten conectar dos nodos principales de ferrocarril y nodos de transporte de la ciudad de Barcelona, y presentan un impacto negativo menor para el medio ambiente que las rutas mencionadas del exterior del centro urbano de Barcelona.

**2003** Proyecto básico de una Plataforma y un Estudio de impacto ambiental de la Calle Mallorca (Barcelona). Se creó la nueva ruta, tramo Sants - La Sagrera.

La ventaja de esta alternativa es que no afectaría a las proximidades del Patrimonio de la Humanidad de la Unesco, pero también cruza por debajo de viviendas.

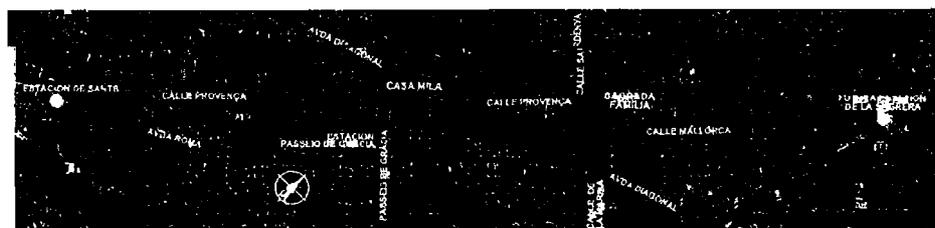


Fig. 3 - Vista de las rutas alternativas cruzando por debajo de viviendas

**2004** Finaliza la declaración pública de información para el proyecto actual.

**25.01.2005**

Sucede un accidente en la zona de construcción del túnel del Carmel. Como consecuencia, se toma una decisión política: no se construirá el túnel directamente por debajo de viviendas habitadas debido al riesgo para la vida de las personas y posibles daños debido a los asentamientos.

Además, habría que instalar una lechada de compensación debajo de las viviendas, algo que también se asocia a riesgos adicionales.

No se utilizó tecnología de tuneladora (TBM) en la zona del Carmel.

**2005** Se finaliza y se presenta al público el "Estudio informativo complementario sobre las modificaciones de la ruta planificada en la sección Sants - La Sagrera (Barcelona), L.A.V. Madrid - Zaragoza - Barcelona - Frontera de Francia".

**Mayo de 2007**

Se elabora y presenta al público la declaración de impacto ambiental.

**Julio de 2007**

Finalización del "Proyecto de construcción de la Plataforma y línea de ferrocarril: Línea de alta velocidad Madrid - Zaragoza - Barcelona - Frontera de Francia. Tramo: Túnel de conexión Sants - La Sagrera".

**27.07.2007**

Se abre el período de licitación del proyecto de construcción.

**18.03.2008**

Se inicia la construcción de conformidad con el diseño existente.

**Febrero de 2009**

Se inician estudios adicionales en las proximidades de la Sagrada Familia, realizados por Intemac.

**27.03.2010**

La tuneladora empieza a trabajar en la estación de La Sagrera.

Como se puede ver en las explicaciones aportadas anteriormente, se llevó a cabo un largo proceso de decisión antes de tomar la decisión definitiva sobre la ruta final. El proceso de planificación, al igual que en todos los países democráticos de Europa, incluye la participación del público durante el período de consideración de las alternativas. La decisión política tras el accidente del Carmel para reducir al mínimo el riesgo para la vida de las personas también debe tenerse en cuenta.

No obstante, en el momento de la participación de los expertos técnicos de ICOMOS y UNESCO en 2009, se había tomado la decisión definitiva sobre la ruta y había empezado la construcción.

Planos y esbozos de la ubicación de los bienes del Patrimonio de la Humanidad, la Sagrada Familia y la Casa Milà, en relación con el túnel del AVE

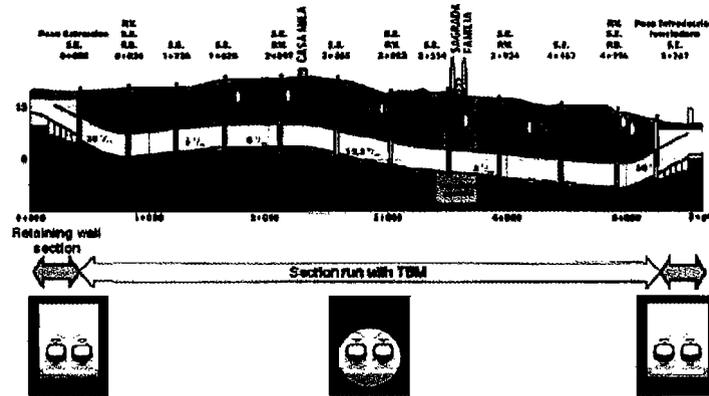


Fig. 1 - Corte transversal del proyecto del túnel

De conformidad con los planos incluidos en la evaluación de ICOMOS, en la Fig. 2 aparece la distribución del túnel AVE planificado con respecto a la parte de la Sagrada Familia declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO. La distancia mínima entre el monumento de Gaudí y el eje del túnel es de 33 metros (Fig. 2)

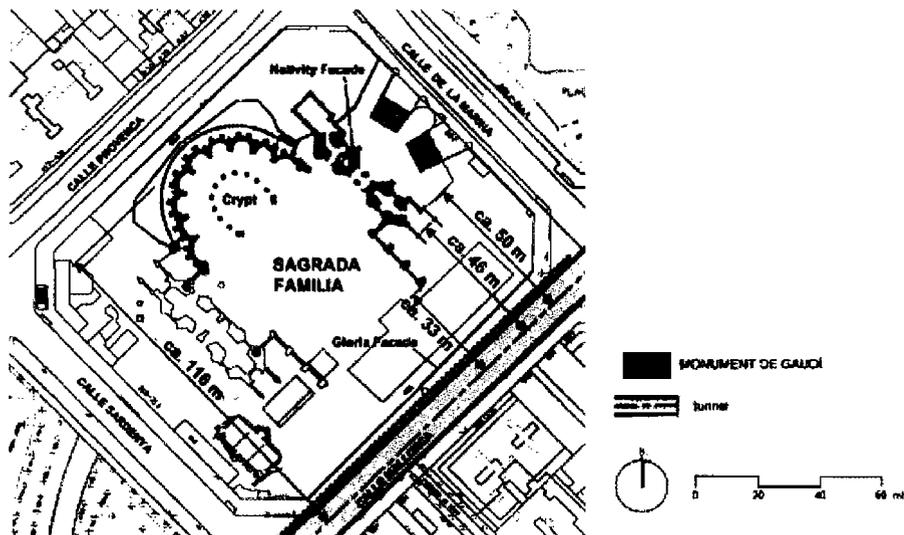
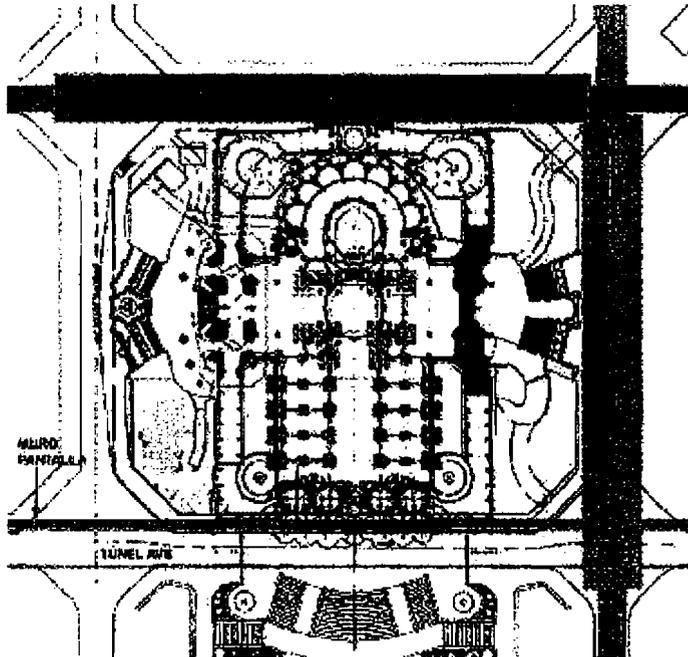
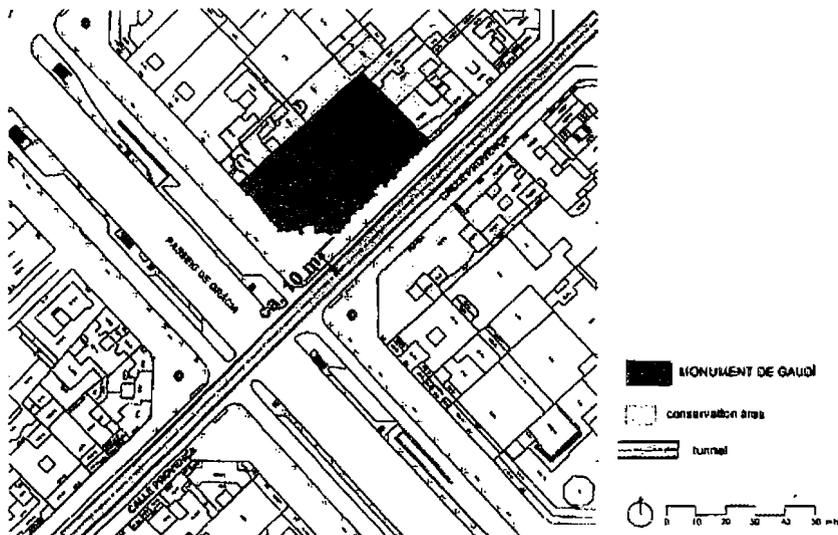


Fig. 2 - Distancias entre la parte de la Sagrada Familia declarada Patrimonio de la Humanidad y el proyecto del túnel del AVE

Fig. 3 Emplazamiento del Patrimonio de la Humanidad Sagrada Familia, líneas de metro y estaciones y túnel del AVE



El emplazamiento del túnel del AVE cerca del bien Patrimonio de la Humanidad Casa Milá se muestra en la Fig. 4.



MONUMENTO DE GAUDÍ	MONUMENTO DE GAUDÍ
conservation area	área de conservación
tunnel	túnel

Fig. 4 Distancias entre el bien Patrimonio de la Humanidad Casa Milá y el proyecto del túnel del AVE

### Estudios geotécnicos para el Túnel del AVE, sección Sants – Sagrera, de Intecsa-Inarsa

El estudio geotécnico para el proyecto del Túnel del AVE, sección Sants – Sagrera, fue efectuada por Intecsa-Inarsa. El alcance de los estudios incluyó la ejecución de 109 perforaciones cilíndricas e incluyeron las pruebas de laboratorio de las muestras obtenidas, prueba de permeabilidad, pruebas de medición de presiones, instalación de pozos para controlar las aguas subterráneas, etc.

En las cercanías de La Sagrada Familia se efectuaron más de 10 perforaciones cilíndricas y otras pruebas en obra que fueron efectuados por Losan para la ampliación del templo desde 1986 hasta 2008, y también parte dentro del templo, y que han sido utilizadas para valorar las condiciones del subsuelo a lo largo del trazado del túnel en los alrededores de La Sagrada Familia. Además se conocían los resultados de otros estudios para otros proyectos en esta zona. Dentro del alcance del proyecto 3 del AVE, Intecsa-Inarsa efectuó más perforaciones cilíndricas cerca de la Sagrada Familia.

Las capas del terreno en las cercanías de La Sagrada Familia figuran a continuación. Relleno artificial hasta una profundidad de 2 m. Por debajo, seguidamente, relleno cuaternario de limos arenosos cuaternarios en capas alternas, habiéndose encontrado limos arenosos con un espesor de total de capa de 4 a 10 m. Se encontraron arenas terciarias más abajo hasta la profundidad explorada de 60 m. Capas terciarias de arcillas de diversos espesores entre 0,4 m y 2,0 m se encuentran enclavadas en las arenas terciarias. La excavación del túnel está prevista en los depósitos terciarios.

Intecsa-Inarsa, basándose en los resultados de los estudios y en análisis anteriores, consideró las siguientes propiedades del terreno en sus cálculos:

Unidad geotécnica	Descripción	Peso bruto unitario Y(kN/m <sup>3</sup> )	Ángulo de fricción interna f [°]	Cohesión c[kN/m <sup>2</sup> ]	Módulo de Young MN/m <sup>2</sup>	Coefficiente de Poisson u [-]
Antropogénica	Relleno	17,00	25	0	10	0,30
Cuaternaria	Arcilla marrón rojiza	17,20	29	5	50	0,35
	Limo arenoso	17,00	29	3	40	0,30
	Arena de limo	17,80	34	1	30	0,30
	Grava	18,30	35	0	45	0,30
Terciaria	Arena	17,00	32	1	45	0,30
	Arcilla margosa verdosa	17,25	29	6	50	0,30
	Arcilla margosa grisácea	17,25	29	6	50	0,30

### Estudios geotécnicos por Intemac, sección cercana a La Sagrada Familia

Se han efectuado numerosos estudios geotécnicos cerca de La Sagrada Familia, en concreto por Losan, Intecsa-Inarsa e Intemac. Intemac ha resumido todas las perforaciones cilíndricas efectuadas en la Fig. 1.

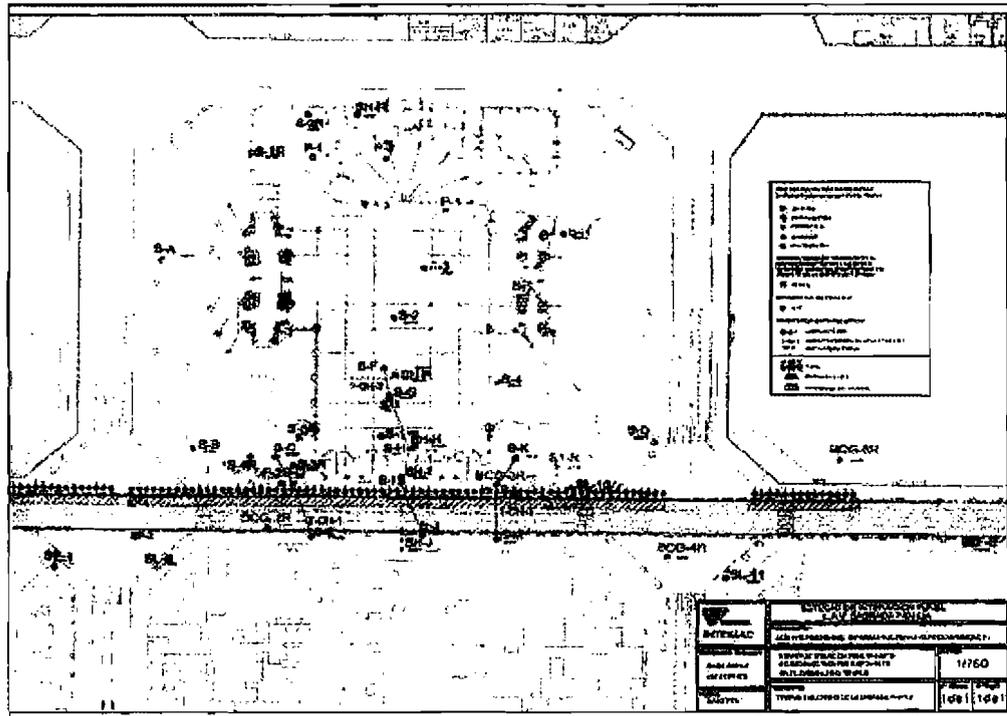


Fig. 1 Situación de los estudios del terreno cerca de La Sagrada Familia

Intemac efectuó una campaña de estudios geológicos adicionales con 24 perforaciones cilíndricas, incluyendo pruebas de laboratorio con muestras de las perforaciones, 48 ensayos de medición de presión, pruebas con el dilatómetro de Marchetti, pruebas de permeabilidad de Lefranc y Gilg-Gavard sobre el terreno, estudio geofísico (8 perforaciones transversales y 2 líneas sísmicas pasivas). La empresa APPLUS recibió el encargo por parte de la Sagrada Familia para efectuar estudios con el fin de hacer la comprobación del informe efectuado por Intemac sobre las interacciones entre la obra del túnel para el tren de alta velocidad cerca del templo de La Sagrada Familia, y los llevó a cabo en los meses de marzo y abril de 2009, hasta una profundidad máxima de 51 m. En total se han estudiado más de 40 puntos, hasta una profundidad máxima de 60 m, cerca de la Sagrada Familia.

Intemac confirmó las capas del terreno indicadas por Intecsa-Inarsa.

De los resultados de los estudios efectuados, Intemac considera las siguientes propiedades del suelo para establecer posteriormente un modelo:

Unidad geotécnica	Descripción	Peso bruto unitario o [kN/m <sup>3</sup> ]	Ángulo de fricción interna $\phi$ [°]	Cohesión c [kN/m <sup>2</sup> ]	Módulo de Young E [MN/m <sup>2</sup> ]	Módulo de recarga Eur [MN/m <sup>2</sup> ]	Módulo de deformación al estiramiento Esubs [MN/m <sup>2</sup> ]	Coefficiente de Poisson $\nu$ [-]
R	Relleno (hormigón o arcilla y arena)	18,5	25	0	5	15	-	0,30
Q1	Arcilla cn grava	21,3	26	40	40	200	30	0,35
Q2/Q4	Arcilla y grava/arenas arcillosas	21,3	27	35	55	275	55	0,35
Q3	Corteza carbonatada	21,0	27	40	55	275	50	0,35
T1	Arcilla arenosa	20,6	29	40	40	120	35	0,30
T2	Arenas arcillosas/ arcilla	20,1	34	5	50	200	37	0,30
T3	Arcilla y arena por capas alternas	20,3	32	25	45	158	35	0,30

**Parámetros geotécnicos empleados por Buxadé, Margarit, Ferrando, S.L.P para La Sagrada Familia**

De acuerdo con los resultados de los estudios disponibles, Buxadé, Margarit, Ferrando S.L.P consideró las siguientes propiedades del suelo para sus cálculos para el recinto de la Sagrada Familia:

Unidad geotécnica	Descripción	Peso bruto unitario Y(kN/m3)	Ángulo de fricción interna f [°]	Cohesión c[kN/m <sup>2</sup> ]	Módulo de Young MN/m <sup>2</sup>	Coefficiente de Poisson u [-]
Cuaternaria	Arcilla	17,2	29	50	50	0,30
Tertiaria	Grava	17,0	32	10	45	0,30
Terciaria por debajo de la capa freática	Grava por debajo de la capa freática	11,2	32	10	79,7	0,40
	Grava por debajo de la capa freática	11,2	32	10	142	0,40

Como puede verse en las tablas anteriores, las propiedades del suelo varían en cada modelo, lo cuál tiene influencia sin duda alguna en los resultados de los cálculos.

### Diseño del revestimiento del túnel

El diseño estructural del revestimiento del túnel fue efectuado por Intecsa-Inarsa.

El revestimiento diseñado tiene las dimensiones siguientes:

- Diámetro interior 10,40 m
- Segmentos de revestimiento de 1,8 m de longitud
- Espesor del revestimiento: 380 mm

Cada anillo de revestimiento está compuesto por 7 segmentos.

El diseño toma en cuenta los siguientes casos de diseño:

1. Acción de la sobrecarga del terreno
2. Empuje de la herramienta
3. Colocación del segmento
4. Retirada del molde durante la fabricación del segmento
5. Almacenamiento de los segmentos.

Ninguno de estos casos de diseño coincide en el tiempo con los demás.

El diseño estructural de los segmentos correspondiente a la sobrecarga del terreno se basó en el caso del proyecto en el p.k. 4 + 780, en el que el túnel tiene la mayor sobrecarga. La capa freática se considera a 20,24 m respecto al eje del túnel. La densidad saturada media del terreno se toma en  $2,1 \text{ t/m}^3$ . El módulo de reacción de subrasante se tomó como  $1.000 \text{ t/m}^3 = 10 \text{ MN/m}^3$ . El  $K_0$  de diseño utilizado se consideró igual a 0,5.

Los cálculos se llevaron a cabo en Estado límite de servicio y en Estado límite último.

En la siguiente tabla figura el resumen de los resultados del diseño estructural tal como figuran en el informe de Intecsa-Inarsa [T1].

Caso de diseño	Esfuerzo axial $N_d$ [t/m]	Momento de flexión $M_d$	Esfuerzo cortante $U_s$ [t]	Refuerzo necesario [mm <sup>2</sup> ]	Redondos de Refuerzo y diámetro
Acción de la sobrecarga del suelo	280,12	23,03 [tm/m]	---	---	---
Retirada de moldes	---	11,156 [tm]	36,514	840	8 d12
Almacenamiento	---	11,156 [tm]	37,480	863	8 d12
Refuerzo mínimo	---	13,296 [tm]	44,09	1014	9 d12
Acción de la sobrecarga del suelo	---	---	---	1231	12 d12

Los resultados del caso de diseño debido a la sobrecarga del suelo están en metros. Para conseguir las cargas por elemento de revestimiento, hay que multiplicar la carga por la longitud del segmento, que es de aproximadamente 1,80 m.

El caso de diseño de empuje de la herramienta lleva a un refuerzo adicional de los bordes de los segmentos.

Considerando todos los casos de diseño se eligieron los siguientes refuerzos y hormigones en todos los anillos del revestimiento (a continuación se indican los datos para 1 anillo del revestimiento):

Hormigón:: HA-40  
Refuerzo principal: 12 d12  
Varillas: d8/20 cm  
Refuerzo: 125 kg/m'

Intecsa-Inarsa calculó también los esfuerzos internos debidos a las cargas de la Sagrada Familia y los comparó con los esfuerzos internos en el diseño de la sección transversal en el p.k. 4 + 780.

El cálculo para el diseño del revestimiento del túnel se llevó a cabo aplicando las cargas de las estructuras alrededor y de la sagrada Familia sobre la superficie. Se tuvo en cuenta el muro pantalla de pilotes.

A continuación se indican los resultados de los cálculos efectuados por Intecsa-Inarsa.

Caso de diseño	Esfuerzo axial $N_a$ [t/m]	Momento de flexión $M_a$ [tm/m]	Esfuerzo cortante $U_s$ [t/m]
Caso de diseño Km 4 + 780	280,12	23,03	28,74*
Estudio informativo, cargas actuales de la Sagrada Familia	210,75	2,888	16,027
Estudio informativo, cargas finales de la Sagrada Familia	224,70	2,83	16,10
Modelo de comprobación del proyecto de construcción	235,4	3,045	12,61

Intemac comprobó los resultados por el cálculo, obteniendo resultados similares. Las cargas que resultan de La Sagrada Familia se estiman inferiores a las impuestas por el caso de diseño en el p.k. 4 + 780. Por lo tanto, Intecsa-Inarsa e Intemac consideran suficiente el refuerzo indicado para el caso de diseño de La Sagrada Familia.

Según Intemac, las cargas debidas al edificio frente a la fachada de la Gloria fueron tenidas en cuenta en los cálculos. Los resultados de los cálculos llevaron a Intemac al mismo rango de los valores hallados por Intecsa-Inarsa.

## Comparación de los asentamientos previstos

### Estudio de los asentamientos en superficie debidos a la excavación del túnel

Para el tramo del túnel cerca de La Sagrada Familia, se llevaron a cabo 3 estudios independientes por los consultores de Adif. Además, Buxadé, Margarit, Ferrando, S.L.P llevó a cabo otro estudio en nombre del Comité de Construcción de la Sagrada Familia. A continuación se exponen y comparan los resultados de los estudios.

El primer estudio fue realizado por Intecsa-Inarsa dentro del alcance de la totalidad del proyecto del túnel. El estudio se efectuó para dos hipótesis:

- "estudio verde" sin tener en cuenta el muro pantalla de pilotes, como hipótesis conservadora
- Estudio teniendo en cuenta el efecto pantalla del muro de pilotes

Los resultados del estudio figuran en la siguiente tabla.

De acuerdo con el análisis de asentamientos efectuado, Intecsa-Inarsa obtuvo los siguientes valores de asentamientos:

	Distancia al eje del túnel [m]	Asentamientos según el "estudio verde" [cm]	Asentamientos según el estudio que tiene en cuenta el muro pantalla de pilotes [cm]	Deformaciones horizontales según el "estudio verde" (perpendicular al eje del túnel) [cm]	Deformaciones horizontales según el estudio que tiene en cuenta el muro pantalla de pilotes (perpendicular al eje del túnel) [cm]
Eje del túnel	0m	1,3cm	0,8cm	0,0cm	0,4cm
Fachada de la Gloria	10m	1,1cm	0,2cm	0,5cm	0,3cm
Parte más cercana de la estructura monumento original de Gaudí de acuerdo con el plan de la UNESCO	33m	0,3cm	0,1cm	0,5cm	0,3cm

La hipótesis verde es un enfoque totalmente teórico para hacer una estimación de los asentamientos máximos, a guisa de hipótesis más conservadora. La hipótesis real indica unos valores de asentamiento en la Fachada de La Gloria inferiores a 0,2 cm y unos desplazamientos horizontales inferiores a 0,3 mm. El ángulo máximo de inclinación (distorsión angular) calculado por Intecsa-Inarsa es del orden de 1/6000 (es decir, 0,166 mm/m). La deformación horizontal máxima está calculada en <0,01 %.

Tras el estudio Intecsa-Inarsa, Intemac llevó a cabo un estudio extensor sobre los asentamientos cerca de La Sagrada Familia. Este estudio contiene las siguientes hipótesis de diseño:

- Nominal, condiciones normales
- Tipo 1 accidental:
  - Sin inyección en el cabezal de corte a lo largo de todo el tramo
- Tipo 2 accidental:
  - Problemas de ajuste en el mortero de relleno en los segmentos prefabricados
  - Desviación de la presión de diseño de la cámara
  - Pérdida total de presión en el cabezal

- Combinación de las hipótesis nominal y accidentales 1 y 2.

El hueco en la cola se tomó en 29 cm para el cálculo, lo cual es un enfoque de diseño conservador. Por lo tanto el cálculo de asentamientos es también conservador.

Se efectuaron en primer lugar estudios "simplificados" teniendo en cuenta la teoría "verde" y la que tiene en cuenta la protección de la pantalla de pilotes, combinando esas teorías con la hipótesis de 0% de inyección de mortero en todo el tramo cerca de La Sagrada Familia (hipótesis accidental).

En los siguientes estudios se subdividió el método de excavación del túnel cerca de La Sagrada Familia en varios cortes, examinando las hipótesis de 100 % de inyección de mortero (hipótesis normal) y 0% de inyección de mortero (hipótesis accidental). Los resultados del asentamiento máximo obtenido teniendo en cuenta todos los cortes figuran en la tabla siguiente:

	Distancia al eje del túnel [m]	Asentamientos según el "estudio verde simplificado" Inyección de mortero 0% [cm]	Asentamientos según el estudio que tiene en cuenta el muro pantalla de pilotes "simplificado" Inyección de mortero 0% [cm]	Asentamientos según el estudio que tiene en cuenta el muro pantalla de pilotes (corte 70) Inyección 100%	Asentamientos según el estudio que tiene en cuenta el muro pantalla de pilotes (corte 85) Inyección 0%	Deformaciones horizontales según el "estudio verde simplificado" (perpendicular al eje del túnel) Inyección 0% [cm]	Deformaciones horizontales según el estudio que tiene en cuenta el muro pantalla de pilotes (perpendicular al eje del túnel) Inyección 100% [cm]	Deformaciones horizontales según el estudio que tiene en cuenta el muro pantalla de pilotes (perpendicular al eje del túnel) Inyección 0% [cm]
Eje del túnel	0m	2,2cm	1,5cm	0,3cm	1,6cm	1,4cm	<0,4cm	<0,6cm
Fachada de la Gloria	10m	1,7cm	0,2cm	0,2cm	0,4cm	0,4cm	<0,5cm	<0,6cm
Parte más cercana de la estructura monument	33m	0,5cm	0,1cm	0,1cm	0,3cm	<0,3cm	<0,5cm	<0,4cm

El ángulo máximo de inclinación calculado por Intemac es del orden de 1/8.000 (o sea 0,125 mm/m). Los asentamientos correspondientes a todos los restantes tipos de impactos resultan por el cálculo inferiores a 0,5 cm de asentamiento.

Los asentamientos obtenidos han sido comprobados por el modelo matemático informatizado realizado por la UPC, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería Geotécnica y Geociencias. Los resultados obtenidos para los valores de asentamiento figuran en la tabla siguiente:

	Distancia al eje del túnel	Asentamientos según el "estudio verde"	Asentamientos según el estudio que tiene en cuenta el muro pantalla de pilotes
Eje del túnel	0m	1,2cm	1,2cm
Fachada de la Gloria	10m	0,9cm	0,2cm
Parte más cercana de la estructura monumento original de Gaudí de acuerdo con el plan de la UNESCO	33m	0,1cm	0,1cm

La inclinación con la hipótesis conservadora que considera una pérdida de suelo del orden de 0,3 % resulta por el cálculo del orden de 1/5.000 (o sea 0,2 mm/m).

Buxade, Margarit, Ferrando, S.L.P efectuó un estudio de asentamientos posteriormente en nombre de La Sagrada Familia obteniendo los resultados siguientes:

	Distancia al eje del túnel	Asentamientos de acuerdo con el estudio que tiene en cuenta el muro pantalla de pilotes
Eje del túnel	0m	1.30cm
Fachada de la Gloria	10m	0.85cm
Parte más cercana de la estructura monumento original de Gaudí de acuerdo con el plan de la UNESCO	33m	0.50cm

La inclinación obtenida por Buxade, Margarit, Ferrando, S.L.P. en nombre de la Sagrada Familia, es del orden de 1/6.500 (es decir, 0,15 mm/m).

La comparación de los valores de los asentamientos máximos calculados según los diferentes estudios efectuados, teniendo en cuenta la construcción del muro pantalla de pilotes figura en la tabla siguiente:

	Intecsa-Inarsa	Intemac	UPC	Buxade, Margarit, Ferrando. S.L.P.
Fachada de la Gloria	0,2 cm	0,4 cm	0,2 cm	0,85 cm
Parte más cercana de la estructura monumento original de Gaudí de	0,1 cm	0,3 cm	0,1 cm	0,5 cm

#### Criterios de diseño y cálculo de los asentamientos cerca de La Sagrada Familia

Para hacer la estimación de los daños debidos a los asentamientos, a la inclinación y a los esfuerzos horizontales obtenidos en los análisis efectuados se han aplicado los siguientes criterios, establecidos de acuerdo con las prácticas de diseño geotécnico y estructural:

Criterios Boscardin-Cording (parámetros: inclinación y empujes horizontales)

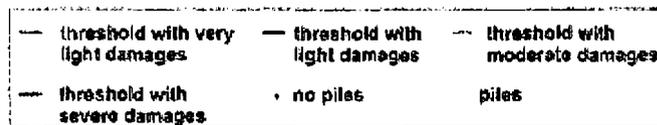
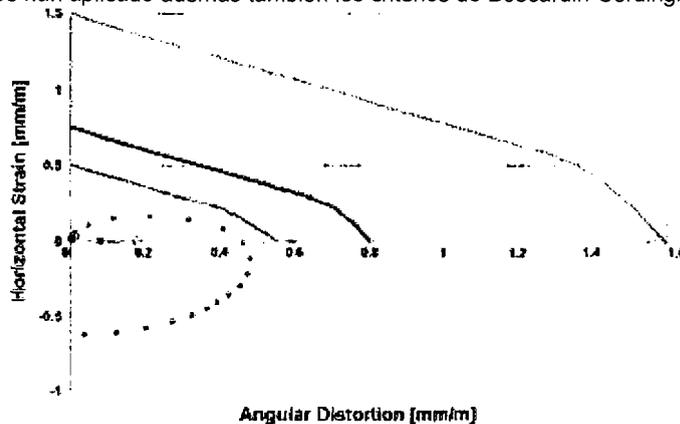
Criterios MINTRA (parámetros: asentamientos, inclinación y empujes horizontales)

Los criterios del MINTRA a aplicar para estructuras especiales como es la Sagrada Familia figuran en la tabla siguiente:

Umbral de control	Asentamiento aceptable (mm)			Inclinación (mm/m)			Deformación horizontal (%)		
	Verde	Amarillo	Rojo	Verde	Amarillo	Rojo	Verde	Amarillo	Rojo
Zonas sin edificios.	<50	50 a 100	>100	<10,0	10,0 a 20,0	>20,0	<1,50	1,50 a 2,00	>2,0
Edificio con cimentación profunda o de losa, en buen estado. Tuberías, pero ninguna de gas.	<20	20 a 30	>30	<1,0	1,0 a 2,0	>2,0	<0,15	0,15 a 0,20	>2,0
Estructuras subterráneas o túneles existentes.	<15	15 a 25	>25	<0,5	0,5 a 1,0	>1,0	<0,15	0,15 a 0,20	>2,0
Edificios con cimentaciones en superficie, sin daños aparentes.	<10	10 a 15	>15	<0,5	0,5 a 1,0	>1,0	<0,15	0,15 a 0,20	>2,0
Edificios con cimentaciones en superficie, dañadas. Edificios de monumentos. Edificios de más de 10 pisos. Tuberías de gas.	<5	5 a 10	>10	<0,33	0,33 a 0,5	>0,5	<0,05	0,05 a 0,10	>0,10
Túneles existentes.	Hundimiento o pandeo: 10 mm/10 m								

Los resultados de todos los cálculos muestran que todos los valores de todos los parámetros obtenidos para la Fachada de La Gloria y para la parte original de Gaudí están en la zona "verde", lo cual significa la no existencia de daños debido al túnel del AVE.

Se han aplicado además también los criterios de Boscardin-Cording. Los resultados figuran en la Fig.1.



Horizontal strain (mm/m)	Deformación horizontal (mm/m)
Angular distorsion (mm/m)	Distorsión angular (mm/m)
threshold with very light damages	umbral de daños muy ligeros
threshold with light damages	umbral de daños ligeros
threshold with moderate damages	umbral de daños moderados
threshold with severe damages	umbral de daños graves
no piles	sin pilares
piles	pilares

Fig. 1 Distorsión angular en función de los esfuerzos horizontales

De acuerdo con estos criterios y con los resultados obtenidos de los diferentes estudios, no son previsibles daños a la Sagrada Familia debido al túnel del AVE.

Asentamientos de la Sagrada Familia debido a la construcción

Estudios de asentamientos con las cargas finales transmitidas por la estructura acabada de la Sagrada Familia han sido realizados por Intecsa-Inarsa, Intemac en nombre de Adif y por Buxade, Margarit, Ferrando, S.L.P en nombre del Comité de Construcción de la Sagrada Familia. UPC comprobó los cálculos de Intecsa-Inarsa por medio de cálculos comparativos.

Los asentamientos calculados que corresponden a las cargas adicionales de La Sagrada Familia son del orden de 2,3 a 3,0 cm en la fachada de La Gloria, y son entre 3 y 10 veces mayores que los asentamientos inducidos por la excavación del túnel.

El cálculo de asentamientos aplicando las cargas reales efectuado por Buxade, Margarit, Ferrando, S.L.P indica unos valores de asentamiento acaecidos de 2,3 cm a 3,0 cm en la fachada de La Gloria y de 3,4 cm a 4,0 cm bajo la parte del templo construido originalmente por Gaudí. De acuerdo con ese estudio mencionado, las cargas que se van a aplicar en el futuro originarán asentamientos entre 2,0 y 2,3 cm bajo la fachada de La Gloria y entre 2,5 y 3,0 cm bajo la parte protegida como Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO.

Como conclusión del análisis de asentamientos efectuado por todos los consultores involucrados, puede afirmarse que los asentamientos previstos para la parte protegida como Patrimonio de la Humanidad de La Sagrada Familia son despreciables y no causarían problema alguno.

#### Estudio de asentamientos cerca de la Casa Milá

El estudio de asentamientos cerca de la Casa Milá, situada en la sección del trazado del túnel entre el p.k. 2 + 140 y el p.k. 2+220, ha sido efectuado por Intecsa-Inarsa. El análisis fue realizado en la sección p.k. 2+140 en las proximidades de la Casa Milá. En la unión del túnel existente de la Línea de Metro 3 y cerca del aparcamiento ya existente. El muro externo de la Casa Milá está a unos 10 m de distancia del eje del túnel planificado.

Los resultados de los cálculos efectuados figuran en la tabla siguiente.

	Distancia al eje del túnel [m]	Asentamientos	deformación horizontal	Inclinación
Parte más cercana a la estructura original del monumento de Gaudí de acuerdo con el plan de la UNESCO	10 m	1,3cm	0,03%	1/1350 (= 0,74 mm/m)

En el estudio se han aplicado los criterios del MINTRA y los criterios de Burland para la valoración de los resultados. Los criterios del MINTRA se han aplicado para edificio con cimentaciones en superficie sin daños aparentes.

Umbral de Control	Asentamiento aceptable (mm)			Inclinación (mm/m)			Deformación horizontal (%)		
	Verde	Amarillo	Rojos	Verde	Amarillo	Rojos	Verde	Amarillo	Rojos
Zonas sin edificios.	<50	50 a 100	>100	<10,0	10,0 a 20,0	>20,0	<1,50	1,50 a 2,00	>2,0
Edificio con cimentación profunda o de losa, en buen estado. Tuberías, pero ninguna de gas.	<20	20 a 30	>30	<1,0	1,0 a 2,0	>2,0	<0,15	0,15 a 0,20	>2,0
Estructuras subterráneas o túneles existentes.	<15	15 a 25	>25	<0,5	0,5 a 1,0	>1,0	<0,15	0,15 a 0,20	>2,0
Edificios con cimentaciones en superficie, sin daños aparentes.	<10	10 a 15	>15	<0,5	0,5 a 1,0	>1,0	<0,15	0,15 a 0,20	>2,0
Edificios con cimentaciones en superficie, dañadas. Edificios de monumentos. Edificios de más de 10 pisos. Tuberías de gas.	<5	5 a 10	>10	<0,33	0,33 a 0,5	>0,5	<0,05	0,15 a 0,10	>1,0
Túneles existentes.	Hundimiento o pandeo: 10 mm/10 m								

Aplicando estos criterio y en comparación con los valores previstos, Casa Milá estaría en la zona "Amarilla" debido a los parámetros de asentamiento e inclinación, y en la zona "verde" debido al parámetro de la deformación horizontal.

Además, los resultados obtenidos han sido evaluados de acuerdo con los criterios de Burland, que se indican en la tabla siguiente.

Valores de $\epsilon_{max}$ (%)	zonas con daños
< 0,05	despreciable
0,05 -0,075	muy ligeros
0,075-0,15	ligeros
0,15-0,3	moderados
> 0,3	graves o muy graves

Como se aprecia en la tabla, los criterios de Burland tienen en cuenta únicamente el criterio de la deformación horizontal. De acuerdo con esa evaluación, los posibles daños son despreciables.

El estudio de asentamientos de Intecsa-Inarsa está basado en los resultados de los estudios efectuados dentro del alcance del diseño del proyecto. El diseño del proyecto contiene una cantidad limitada en cuanto a estudios in situ. Por lo tanto, los estudios adicionales fueron realizados recientemente por Intemac. Los resultados de esos estudios estarán disponibles a finales de mayo de 2010. Una vez que se revisen los estudios adicionales y las mediciones de los valores que se obtengan durante las operaciones de control de la tuneladora, deberán ajustarse los cálculos para Casa Milá y deberán valorarse de acuerdo con los criterios apropiados.

Documentos sobre la auscultación de grietas por Intemac referentes a las grietas existentes en el bien Patrimonio de la Humanidad de la Sagrada Familia

ANEXO No. 7: "Informe de resultados de las inspecciones realizadas en la fachada de La Gloria y a la nave principal del Templo de La Sagrada Familia (Barcelona), con los anexos siguientes:

- Apéndice nº.1 -"Resultados de la inspección realizada a las torres de la fachada de La Gloria", -
- Apéndice nº.2: Resultados de la Inspección realizada en el jube (nivel de la cota +8,50),
- Apéndice nº.3: Resultados de la inspección realizada en el coro (nivel de la cota +15 -+20,00).
- Apéndice nº.4: Resultados de la inspección realizada en el nivel de la cota de la calle Mallorca y forjado de la cota +0,00,
- Apéndice nº.5: Resultados de la inspección realizada en las cubiertas de las naves laterales (nivel de la cota +30,00),
- Apéndice nº.6: Resultados de la inspección realizada en las cubiertas de la nave central (nivel de la cota +45,00),
- Apéndice nº.7: Resultados de la inspección realizada en las bóvedas sobre la cubierta de la nave central (nivel de la cota +54,00),
- Apéndice nº.8: Resultados de la inspección realizada en las fachadas de las naves laterales.