

¿APROVECHAR O NO APROVECHAR ESTRUCTURAS EXISTENTES?

REMODELACIÓN DE LA ESTACIÓN DE SANTS

David SANZ CID

Ingeniero de CCyP

CESMA Ingenieros
Madrid

cesma@cesmaing.com

Jacobo COTELO FERREIRO

Ingeniero de CCyP

I84 Oficina Consultora
Barcelona

Jacobo.i84@ciccp.es

Peter TANNER

Ing. ETHZ/SIA; Ingeniero CCyP

CESMA Ingenieros
Madrid

cesma@cesmaing.com

Resumen

Dentro de las infraestructuras necesarias para la llegada de la alta velocidad ferroviaria (AVE) a la ciudad de Barcelona, se incluye la remodelación de la estación de Sants, donde ha sido necesario, entre otras actuaciones, acondicionar la antigua losa de vestíbulo para dar cabida a nuevos elementos de comunicación vestíbulo - andén, exigiendo para este propósito la ejecución de grandes huecos.

La tipología de esta estructura, losa de hormigón aligerada y pretensada en ambos sentidos, implica, para la ejecución de estos huecos, un complejo proceso, tanto de cálculo como de ejecución, para asegurar el correcto comportamiento y seguridad estructural durante todas las fases de construcción, así como durante su posterior explotación.

Palabras Clave: rehabilitación, grandes huecos, refuerzo, conexión, retesado, no lineal, coste económico.

1. Introducción

Las acciones previstas para la remodelación de la estación de Sants, cuya función es dar servicio al nuevo acceso ferroviario de alta velocidad (AVE) a la ciudad de Barcelona, incluían el aprovechamiento de la losa de vestíbulo existente. Para ello se debían establecer nuevas vías de comunicación vertical vestíbulo-andenes mediante escaleras y rampas mecánicas, ascensores y escaleras convencionales, exigibles para el correcto tránsito de pasajeros, y adaptadas a la vigente normativa de accesibilidad.

La remodelación requería la ejecución de grandes huecos en la losa existente, de hasta 100 m², haciendo necesario un complejo sistema de refuerzo, respaldado por un proceso de cálculo que considerara con exactitud los cambios de rigidez en la estructura.

La ejecución de los refuerzos debía ser especialmente cuidadosa, con un control intenso para asegurar tanto la capacidad resistente como la funcionalidad de la estructura.

La losa tiene un canto total de 1.40 m, con aligeramientos en forma de casetones rectangulares de tamaño variable y dispone de armadura activa postensada en ambos sentidos, conectándose los distintos módulos entre sí, con apoyos a media madera que materializan las juntas de dilatación.

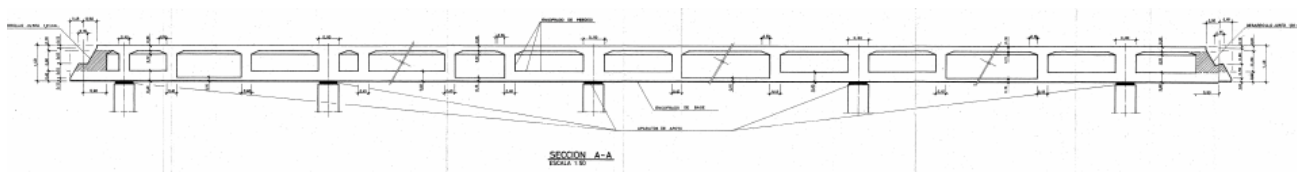


Fig. 1 Sección tipo de la losa tomada de los planos del proyecto "as built"

Los pilares forman una cuadrícula irregular de hasta 22 x 18 m, existiendo distintas configuraciones de apoyo sobre los mismos, pilares pasantes por huecos en la losa, apoyo sobre neoprenos y pilares empotrados en la losa.

2. Tipología de los refuerzos

Para definir los refuerzos necesarios en la losa no sólo hay que considerar el aporte de resistencia de los mismos, si no que es necesario compatibilizar su disposición, colocación y puesta en carga, con unas fases de ejecución en las que se mezclan gran diversidad de trabajos especializados (demoliciones de precisión, soldaduras, rellenos con "grout", armadura pasiva, encofrados,...).

Debido a las grandes dimensiones de los huecos y su disposición, normalmente junto a grandes pilares produciendo un corte en el flujo de transmisión de cargas hacia los apoyos de la losa, es necesario disponer pilares metálicos adicionales alrededor de los huecos. Estos pilares están formados por la unión de dos UPN 300 y cimentados con micropilotes de 180 mm de diámetro con armadura TM-80 de 114x9 mm y barra interior de acero corrugado y 40 mm de diámetro.

Los nervios existentes de la losa se refuerzan a flexión mediante chapas de acero estructural y con barras corrugadas pasantes para complementar la resistencia cortante, siendo el punto más delicado para la correcta ejecución de la conexión refuerzo-estructura existente, el relleno con "grout" de estos taladros pasantes, puesto que, además de cómo refuerzo a cortante, estas barras han de materializar la conexión entre el acero de nueva ejecución y el hormigón existente sirviendo como elemento transmisor del esfuerzo rasante.

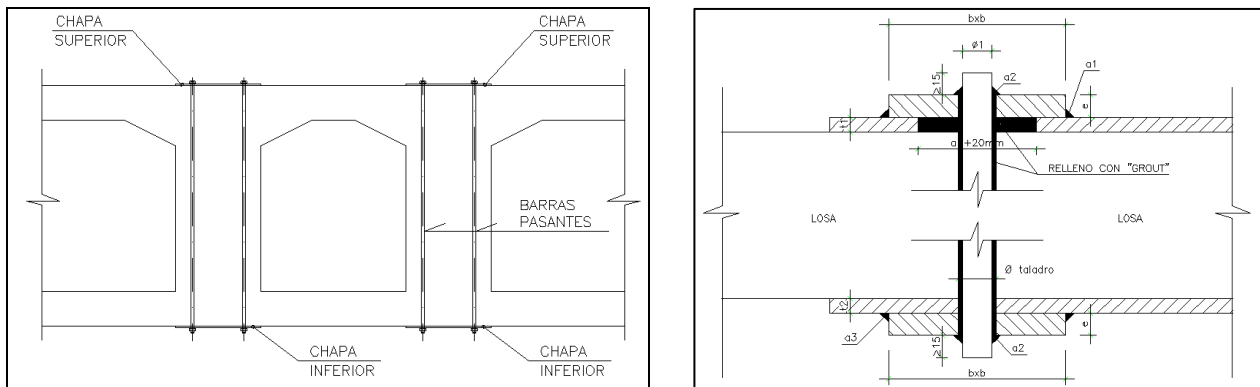


Fig. 2 Esquema del refuerzo y detalle de conexión

Una vez ejecutados los refuerzos y dispuestos los pilares auxiliares se procede a la demolición del hueco y al corte del los tendones de pretensado existentes para, finalmente, a pesar de tratarse de tendones adherentes y como medida de seguridad, retesar los tendones disponiendo nuevos anclajes.

El refuerzo de cada hueco se remata ejecutando un nervio mixto (acero-hormigón) interior al hueco, para recoger las torsiones producidas en los bordes de huecos y que sirve de apoyo a las escaleras, rampas y ascensores.

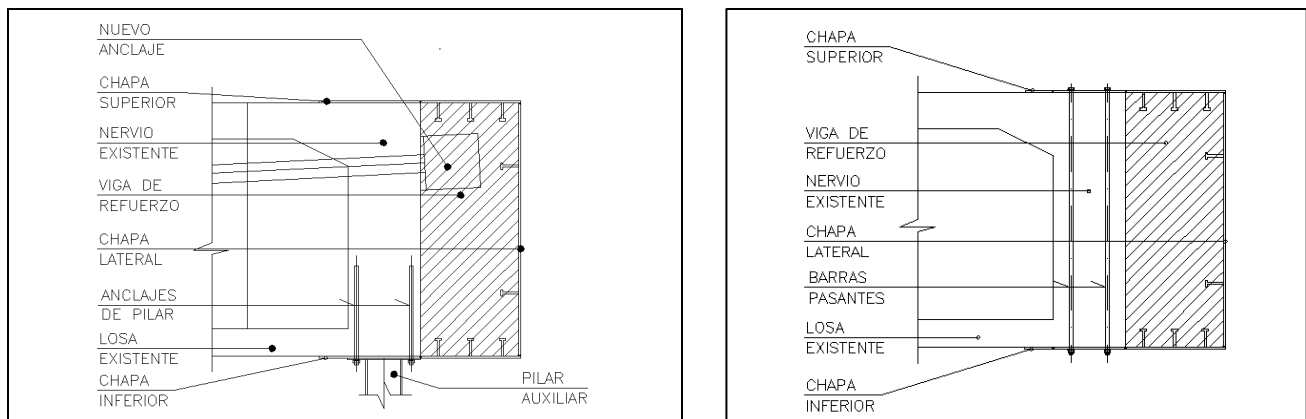


Fig. 3 Esquema del anclaje de retesado y nervios interior

3. Dimensionamiento del refuerzo

3.1 Metodología de cálculo

El dimensionado de los refuerzos se basa en la teoría de la plasticidad. A estos efectos se debe adoptar el teorema elástico de la teoría de las plasticidad:

“Se selecciona un campo de tensiones que cumpla con las condiciones de equilibrio y con las condiciones de borde. Dadas la geometría y la armadura existentes, se debe proporcionar un refuerzo de tal forma que la resistencia supere o iguale las correspondientes fuerzas actuantes en todos los puntos.”

Para que este teorema sea válido, el comportamiento estructural debe ser dúctil. En otras palabras, la plastificación del acero estructural del refuerzo se debe producir durante la plastificación de acero de armar existente y antes del fallo del hormigón. El modo de fallo deseado se puede asegurar limitando las deformaciones unitarias del hormigón comprimido ($\epsilon_0 > -3,5 \text{‰}$). Además, la conexión entre el refuerzo y el acero y la estructura existente deberá ser total.

El valor de cálculo de la resistencia del elemento reforzado se determina según la siguiente relación, utilizando las dimensiones y armados de las secciones según los planos “as built” existentes:

$$R_d = R \left\{ \frac{\eta_c \cdot f_{ck}}{\gamma_c}; \frac{f_{sk}}{\gamma_s}; \frac{f_{pk}}{\gamma_s}; \frac{f_{y, \text{str}}}{\gamma_{s, \text{str}}} \right\} \quad (1)$$

f_{ck} → Valor característico de la resistencia a compresión del hormigón existente

f_{sk} → Valor característico del límite elástico aparente de la armadura existente

f_{pk} → Valor característico de la resistencia del acero de pretensar

$f_{y, \text{str}}$ → Valor característico del límite elástico del acero del refuerzo

η_c → Coeficiente de corrección.

El valor de cálculo de la resistencia de los dispositivos de conexión refuerzo-hormigón se determina de acuerdo con la relación:

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} \quad (2)$$

P_{Rk} → Valor característico de la resistencia de la conexión

3.2 Requisitos necesarios para el cálculo

Los trabajos propuestos para la ejecución de los refuerzos implican grandes cambios en la losa existente, ya que, además de los cambios que se producen en las acciones externas que solicitan la estructura, se producen grandes variaciones en la rigidez de la misma, con redistribuciones importantes de esfuerzos provocadas por las modificaciones impuestas, tanto en las condiciones de apoyo como en la propia geometría de la losa.

Puesto que no es posible una superposición lineal de estados de carga, para obtener los esfuerzos solicitantes, tanto en las distintas fases de ejecución como en el estado final, se debe plantear un proceso de cálculo evolutivo y no lineal, considerando los cambios en la rigidez del sistema estructural y las cargas actuantes en cada fase, incluyendo el corte y retesado de tendones, tomando como dato de partida la matriz de rigidez de la estructura en su estado original antes de las obras.

3.3 Fases de cálculo

Para realizar el cálculo de los refuerzos para la abertura de huecos en la losa es necesario considerar el proceso constructivo siguiente:

- Estado inicial (0)
Se estudian las cargas de diseño de la losa actual
- Fases de construcción (1)
Se disminuye la sobrecarga hasta un valor mínimo compatible con las obras.
- Refuerzo de nervios (2)

Se refuerzan los nervios existentes de forma que sean capaces de resistir los esfuerzos a los que serán sometidos durante el proceso de ejecución de huecos, ya que la colocación de los pilares auxiliares puede provocar un cambio de signo en los esfuerzos solicitantes.

- Colocación de pilares auxiliares (3)

Se colocan los pilares auxiliares metálicos para la ejecución de los huecos.

- Ejecución de huecos (4)

Se realizan la demolición de casetones y nervios necesarios para la materialización de los huecos.

- Retesado de tendones y ejecución de vigas de borde (5)

Se disponen los nuevos anclajes retesando la armadura activa y se ejecutan las vigas de borde interiores.

- Ejecución de elementos no estructurales (6)

Se colocan las escaleras mecánicas, ascensores y demás elementos.

- Estado definitivo de servicio (7)

La sobrecarga puede tomar de nuevo el valor máximo de proyecto.

3.4 Modelo de cálculo

Para el cálculo se utiliza un modelo de elementos finitos tipo emparillado, que modeliza los nervios de la losa en ambos sentidos, y en el que se incluye el pretensado como una acción equivalente a partir de la geometría de los tendones y la fuerza de tesado evaluada en cada punto.

Se utiliza un proceso evolutivo de cálculo en el que el programa considera automáticamente los cambios producidos en la matriz de rigidez por la aparición o desaparición de los elementos finitos tipo barra que modelizan cada una de los nervios y refuerzos de la losa.

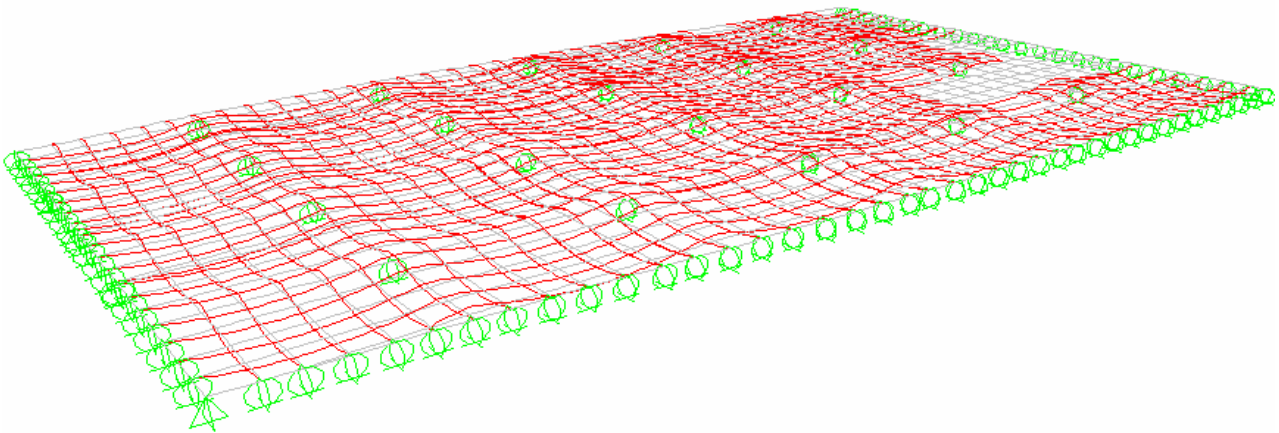


Fig. 4 Modelo de cálculo

Las fases estudiadas en el modelo de cálculo se corresponden con los estados de carga que es necesario evaluar para obtener la envolvente de los esfuerzos solicitantes de cada elemento a lo largo de todo el proceso de refuerzo y para su estado definitivo de explotación de la estructura.

- Fase (1) → Estado inicial de la estructura

Se considera la geometría actual de la estructura. Esta fase se introduce en el cálculo para poder estimar el orden de magnitud de la sollicitación de diseño del proyecto original

- Fase (2) → Reducción de la sobrecarga
- Fase (3) → Colocación de apoyos auxiliares
- Fase (4) → Ejecución de huecos

Se eliminan los elementos a demoler manteniendo los pilares auxiliares. Debido a que el pretensado se introduce como cargas equivalentes es necesario contrarrestar estas cargas en los tendones que se cortan e introducir de nuevo las cargas para considerar la colocación de los nuevos anclajes.

- Fase (5) → Estado definitivo

Se considera la geometría definitiva con los huecos y se eliminan los pilares auxiliares no necesarios definitivamente.

3.5 Obtención de esfuerzos para el dimensionamiento del refuerzo

A partir de las fases de cálculo descritas anteriormente se pueden obtener los esfuerzos solicitantes de cada sección en cada una de las situaciones de cálculo, realizando las comprobaciones necesarias y obteniendo el dimensionamiento de los refuerzos necesarios.

Durante las fases 1, 2 y 3 los esfuerzos solicitantes deberán ser siempre inferiores a los esfuerzos resistentes de la losa, ya que en ningún momento se excede la carga de proyecto ni se cambia la geometría.

La fases 4 y 5 permite obtener la envolvente de esfuerzos para el dimensionamiento de los refuerzos en los nervios existentes, que, en caso de ser necesarios, se realizaran con chapas superiores e inferiores de acero estructural conectadas al hormigón existente para los esfuerzos de flexión, y con barras de acero corrugado pasantes para los esfuerzos cortantes.

La fase 5 permite además obtener los esfuerzos máximos sobre las vigas de borde interiores a los huecos y los esfuerzos de diseño de los pilares metálicos añadidos que tengan carácter de permanentes, ya que será en este momento cuando estén sometidos a los esfuerzos pésimos.

3.6 Comprobación de esfuerzos

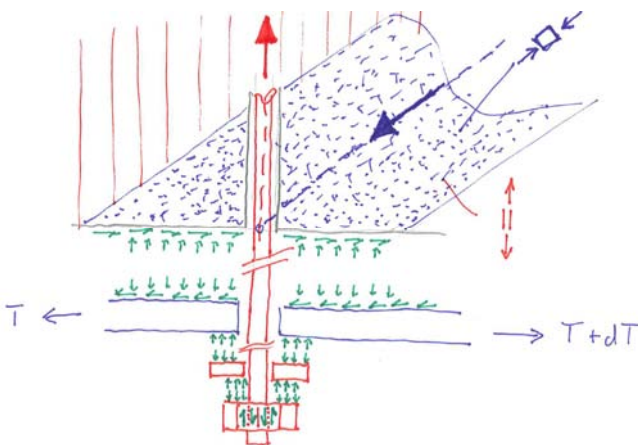
Para la comprobación y dimensionamiento frente a esfuerzos flectores se realiza una doble comprobación, del lado de la seguridad, por la incertidumbre en la posición y fuerza de tesado de la armadura activa. Con la información disponible se realiza la comprobación suponiendo el pretensado como una fuerza exterior, considerando un incremento en la tensión del acero activo de 100 N/mm² para el ELU (armadura no adherente), y suponiendo el pretensado para ELU como una armadura, considerando en este caso tan sólo los esfuerzos hiperestáticos producidos por el tesado de la armadura en la combinación de cargas.

Para la comprobación frente a esfuerzos cortantes se considera la armadura pasiva recogida en el proyecto “as built” teniendo en cuenta una reducción en la resistencia de la armadura a cortante puesto que las longitudes de solape no cumplen con los requisitos exigidos en la EHE.

3.7 Conexión

Se estudiaron dos maneras de materializar la conexión entre los refuerzos y la estructura existente, cada una de ellas basada en un sistema resistente distinto y, por tanto, diferentes ventajas y desventajas, tanto desde el punto de vista del dimensionamiento de la conexión como desde el punto de vista constructivo y de ejecución de los mismos.

- ADHERENCIA REFUERZO-HORMIGÓN EXISTENTE.



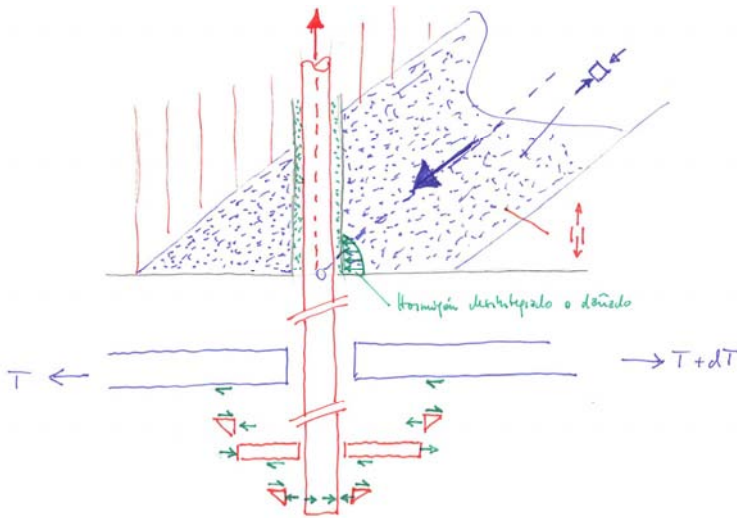
Debido a que el hormigón no es capaz de transmitir el esfuerzo rasante necesario, se plantea pretensar las barras utilizadas como refuerzo a cortante, de modo que se introduce una tensión normal a la superficie de contacto que aumente la resistencia del hormigón en contacto con el refuerzo.

Las barras pretensadas se pueden tratar como barras pasivas con límite elástico reducido:

$$f_{ys,red} = f_{ys} - \sigma_{Pb} \begin{cases} f_{ys} & \text{límite elástico de la barra} \\ \sigma_{Pb} & \text{tensión de pretensado} \end{cases}$$

Fig. 5 Esquema de trabajo de la conexión por adherencia

- PRESIÓN DE CONTACTO PASADOR-HORMIGÓN EXISTENTE.



En este caso las barras, además de resistir los esfuerzos como refuerzo a cortante global y los esfuerzos locales de contacto pasador-hormigón, deben resistir los esfuerzos de flexión local derivados del efecto pasador por la holgura del taladro en la chapa, que limitan la capacidad resistente de la conexión.

Puesto que esta solución era más ventajosa desde el punto de vista constructivo, se planteó la necesidad de eliminar esos efectos locales indeseables.

Para que la conexión alcanzase el nivel de resistencia requerido, fue necesario rellenar todos los huecos con "grout", definiendo y poniendo en práctica un adecuado procedimiento de puesta en obra, así como un eficaz sistema de control de calidad.

Fig. 6 Esquema de trabajo de la conexión por presión de contacto

3.8 Comparación de la metodología expuesta con un cálculo simplificado

Para asegurar la necesidad de emplear una metodología de cálculo compleja se realizó la comparación de los esfuerzos obtenidos como se ha descrito anteriormente, y los esfuerzos obtenidos a partir de un cálculo simplificado en el que se considera tan sólo el estado final de la estructura sin tener en cuenta el proceso constructivo.

El cálculo simplificado considerando tan sólo el estado final de estructura y cargas, no resulta del todo adecuado para dimensionar los refuerzos necesarios para la apertura de huecos, ya que los esfuerzos obtenidos difieren mucho de los resultantes del cálculo evolutivo, siendo además inferiores en todos los casos.

Lo anterior es debido fundamentalmente a la existencia de la armadura activa y al proceso de ejecución considerado, en el que se plantea la no adherencia de esta armadura dando como resultado esfuerzos importantes de retesado. Si se observa el gráfico en el que se muestran los momentos flectores sin considerar la acción del pretensado, las diferencias, aunque importantes en cuanto a su magnitud, resultan mucho más uniformes en todo el nervio, quedando además la ley de esfuerzos del cálculo evolutivo entre la ley inicial y la simplificada, pudiéndose admitir una posible posterior distribución de las cargas a otros nervios.

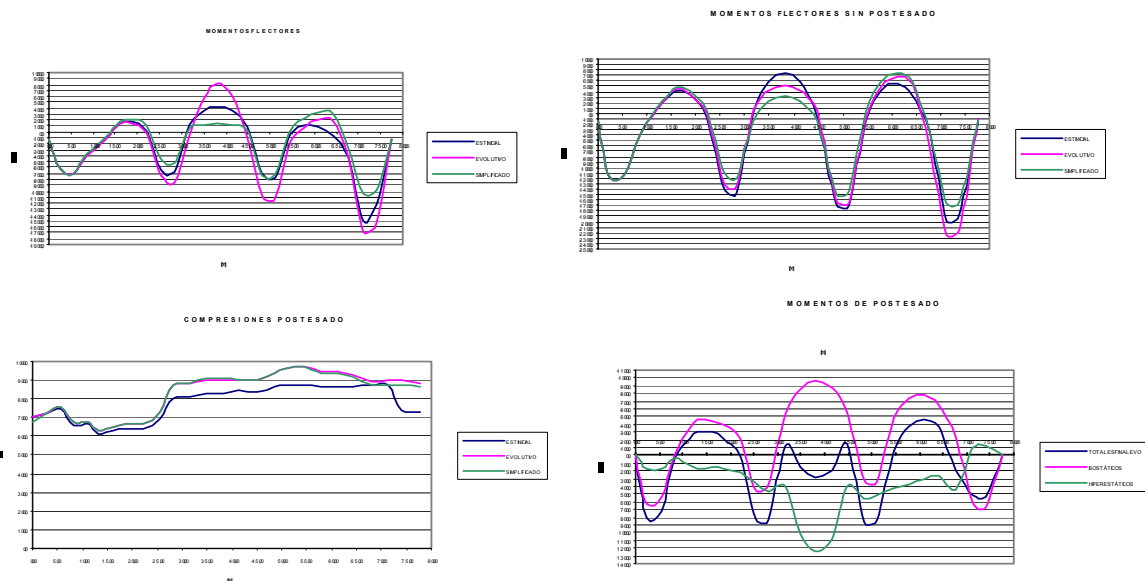


Fig. 7 Comparación de los esfuerzos obtenidos con un método simplificado

Por tanto no resulta aconsejable realizar el dimensionamiento de los refuerzos mediante un cálculo simplificado considerando el estado final de la estructura en una sola fase, ya que al tratarse de una estructura en dos dimensiones, en la que interactúa el pretensado en ambas direcciones, se producen efectos locales no deseados, que es necesario considerar y que no se ponen debidamente de manifiesto en el cálculo simplificado, siendo necesario asumir una elevada capacidad de redistribución de esfuerzos en la losa, lo que, por las incertidumbres que se plantean ante la estructura ya ejecutada, es excesivamente poco conservador, pudiendo dar como resultado problemas importantes de fisuración, llegando incluso al no cumplimiento de los criterios mínimos necesarios en servicio de la estructura.

4. Ejecución de huecos

La Estación de Sants se compone en su origen de 21 losas reticuladas de 1,4 m de canto, estando sus nervios pretensados en su gran mayoría. Las dimensiones de los nervios, así como el armado, tanto pasivo como activo, son muy heterogéneas, siendo las losas poco simétricas, tanto en su contorno como en la posición de los pilares sobre los que se sustentan.

La problemática que se esboza en el párrafo anterior viene agudizada por la incertidumbre en los parámetros de partida de los que se dispone, bien sean geométricos o de armado. La única documentación de referencia para la definición y realización de los huecos fue el proyecto de liquidación de la Estación, realizado en la década de los 70. Dichos planos, facilitados por el archivo de ADIF, recogen de una manera muy esquemática la estructura que posteriormente se ha modificado. Los principales inconvenientes detectados debido a este hecho han sido:

- Incertidumbre en la geometría final de las losas: Las dimensiones que se reflejan en los planos de liquidación se han revelado muy aproximadas. Por esta razón ha sido necesario la realización de un exhaustivo trabajo de digitalización y encaje en coordenadas de las mismas. Dicho trabajo una vez trasladado al terreno se ha revelado excesivamente inexacto para la ejecución de los refuerzos proyectados. Este hecho ha conllevado la necesidad de la realización de numerosas catas en la losa para el encaje adecuado de los refuerzos.

El hecho de que el encofrado perdido con el que se ejecutaron en su día los aligeramientos, se hubiera, en un gran número de casos, desplazado, ha supuesto una dificultad añadida a la hora de la localización de los nervios ya que la alineación de los mismos era realmente sinuosa.

También se han detectado discrepancias en las dimensiones de los nervios (ancho de los nervios) y en menor medida existen zonas en las que la geometría global de los nervios (número de nervios y orientación) no eran en absoluto coincidentes con la realidad.

- Incertidumbre en el armado activo de la losa: Los tendones definidos en los planos de liquidación son de una extraordinaria variedad en lo que al número de tendones que conforman los tendones se refiere, estando la mayor parte de ellos entre los 50 y los 70 tendones. Durante el proceso de corte de nervios y armadura activa se ha revelado también, una profunda discrepancia en el número de tendones entre el plano y la realidad.

Otro aspecto que no se reflejaba en los planos de liquidación ha sido el modo de ejecución de los empalmes entre tendones. En la época de construcción de la estación, no se había desarrollado la tecnología de los acopladores de armaduras activas por lo que se utilizaron dos técnicas para el acople de los mismos:

- Inicialmente se pensó en un “solape” de tendones. Para ello, uno de los dos tendones se dividía en dos, pasando entre estos dos “nuevos” tendones, el tendón con el cual se solapaban.
- La idea final que se acabó imponiendo en la mayor parte de la losa fue la de disponer las dos cabezas de anclaje de los tendones que se solapaban, dentro del mismo nervio, realizando en el mismo un refuerzo de armadura de gran calibre, capaz de soportar las tensiones de tracción que se originaban en las zonas de anclaje.

En cualquier caso, en los planos de liquidación no se refleja ninguna de estas soluciones, habiendo sido detectadas en la obra durante la ejecución, y en base a las descripciones hechas por los propios operarios de la obra original.

4.1 Volumen de obra

Debido a la necesidad de adecuar las instalaciones de la estación de Sants a las nuevas normativas de evacuación, ha sido necesaria la ejecución de nuevos huecos en las losas de la propia Estación, dichos huecos responden a las siguientes tipologías:

1. Huecos de escaleras fijas; con dimensiones aproximadas de 11,60x2,20

2. Huecos de escaleras mecánicas; con dimensiones de 11,20x1,75
3. Huecos de rampas mecánicas; con dimensiones de 25,00x1,75
4. Huecos de salidas de emergencia; cuyas dimensiones son de 9,20x2,20
5. Huecos de ascensor; rectángulos de 2,00 por 2,20
6. Huecos para desenfumaje y ventilación; con una variedad de medidas.
7. Finalmente existía un macrohueco de 9,70 por 10,70 para la ejecución del acceso desde vestíbulo a las instalaciones del Metro bajo la Estación.



	LOSA F	LOSA I	LOSA M	LOSA E	LOSA G	LOSA H	LOSA L	LOSA M	LOSA P	LOSA R	LOSA S
ESCALERA MECANICA		3	6		1	6	6	3			
ESCALERA FIJA		1	2		1	2	2				
RANPA						2		3			
ASCENSOR		2	2		1	2	2				
DESENFUMAJE									4		
SALIDA DE EMERGENCIA	2			3						2	3

Fig 8. Esquema de losas y actuaciones realizadas.

En total 61 huecos. Para todos ellos se han diseñado refuerzos de losa mediante chapas y anclaje de barras corrugadas, llegando el número total de taladros a 30000.

4.2 Metodología de ejecución

La ejecución de un volumen semejante de refuerzos ha sido abordada a través de una sistematización del trabajo mediante grupos especializados en la realización de tareas simples:

- a) Mediante replanteo topográfico se sitúa la posición teórica, tanto de refuerzo como de taladro. Se posicionan de igual manera los soportes necesarios en cada hueco.
- b) Comprobación mediante testigos en los aligeramientos de la posición real del nervio y de la bondad del replanteo teórico.
- c) Colocación de los soportes definitivos.
- d) Ejecución de los taladros para el anclaje de chapas o refuerzo a cortante.
- e) Colocación de las chapas de refuerzo e introducción de los anclajes previstos.
- f) Relleno de los taladros y contacto de las chapas con la losa con grout.
- g) Soldeo de las barras a las chapas.
- h) Corte de los nervios y demolición de la zona de hueco.
- i) Retesado de los tendones existentes.
- j) Ejecución del refuerzo de borde de los nervios.

4.3 Ejecución de los taladros

Para la ejecución de los taladros se emplearon taladros de corona circular de diamante con agua. Se adoptó un diámetro de perforación único para todos los diámetros existentes, siendo este de 30 mm, de manera que el intersticio entre la barra y el paramento del hueco fuera el mínimo necesario para la correcta colocación del "grout".

Debido a la elevada longitud de la perforación, de 1,40 m teóricos, es necesario el anclaje de la perforadora a la losa para controlar el posible esvíaje durante la ejecución del taladro, y el empalme de brocas durante la ejecución.

Los rendimientos de las perforadoras resultaron muy variables por la existencia de gran cantidad de armadura pasiva. Existían zonas de refuerzos con dobles capas de barras del diámetro $\varnothing 32$ y estribos de igual diámetro, siendo el corte del acero extremadamente pecaminoso para los rendimientos.

Otra de las grandes dificultades de la ejecución de los taladros es el control del agua producida durante la ejecución de los mismos. Dicha agua tiene, en este caso, una doble procedencia, una es la producida por la propia perforadora para la ejecución del taladro, y la otra procedencia es la de la existencia de numerosos aligeramientos de la losa llenos de agua, procedente de filtraciones a lo largo de los años. La ejecución de dichos taladros con dependencias en servicio bajo los mismos supone una dificultad añadida que se ha minimizado mediante el uso de aspiradores durante la ejecución, y el vaciado controlado de los aligeradores.

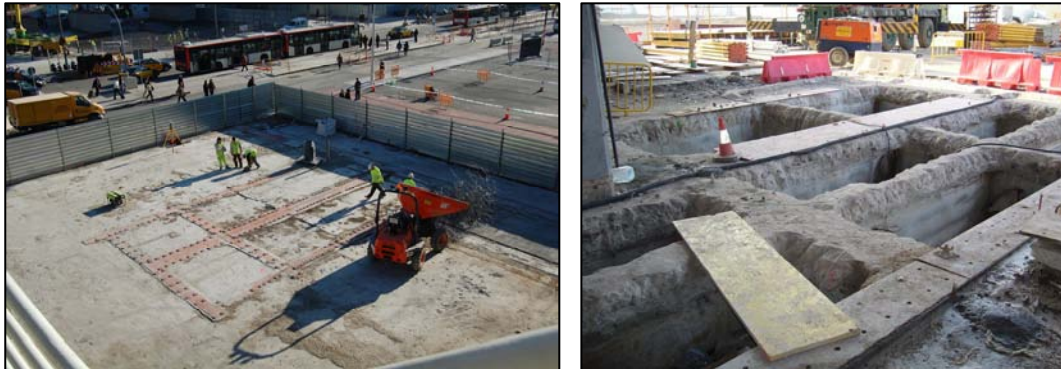


Fig. 9. Refuerzos de nervios y demolición de la capa superior de la losa y colocación de plantillas para la ejecución de los taladros

4.4 Relleno de los taladros

Para el relleno de los taladros se barajaron dos opciones: resinas y "grout".

Finalmente se desestimó el uso de las primeras debido a la falta de manejabilidad de las mismas cuando el tiempo de colocación del refuerzo es alto. En las pruebas realizadas, el fraguado de las resinas utilizadas no permitía la adecuada colocación de las barras de refuerzo en su posición.

Con el grout se evitaba el inconveniente anterior y se consigue una mejora consistente en el relleno del taladro posteriormente a la colocación de la barra de refuerzo. Con este sistema, junto con el control volumétrico del grout necesario para rellenar el taladro, se consigue un correcto aseguramiento del contacto entre barra y losa.

Adicionalmente, con este mismo material se consigue el relleno del contacto entre chapas de refuerzo y losa.

4.5 Corte de los nervios y tendones

El corte de los nervios se realiza una vez ejecutados los refuerzos sin necesidad de apeos adicionales. Para la ejecución de la demolición se realiza un corte inicial en el nervio mediante lanza térmica, a una distancia mínima de 1,50 metros al borde donde se realizará el retesado (longitud mínima para dicho retesado) Una vez realizado el corte se demuele el hormigón y armadura pasiva que recubre el tendón hasta la posición teórica de la cabeza de tesado, procediéndose finalmente al corte del acero activo.



Fig. 9 Varios momentos del proceso de corte de los nervios y tendones

4.6 Retesado de los tendones

Una vez realizada la demolición del hueco se procede al retesado de los tendones cortados. En obra se observa como en la mayor parte de los casos, la lechada dentro de la vaina se encuentra intacta, obteniéndose elongaciones muy reducidas que nos indican que la longitud de tendón retesado es corta, de manera que más allá de esta longitud, la lechada sigue manteniendo la tensión en los tendones. Dichos resultados garantizan, en gran medida, que durante las operaciones de corte y retesado, la mayor parte de los tendones no pierden su tensión por la acción de la lechada.



Fig. 11 Colocación de cabezas de retesado

4.7 Aspectos económicos

Los elementos claves en el coste de la ejecución de los huecos en las losas son la realización de los taladros, el acero necesario para el refuerzo de la losa y el soldeo de barras y empalme de chapas

Estos tres aspectos suponen el grueso de los costes de la ejecución de los refuerzos, siendo el resto de actuaciones (retesado, demolición...) un porcentaje menor de los mismos.

El coste aproximado por taladro ejecutado es de 100 euros, teniendo un coste la hora de soldador en torno a los 20 euros, mientras que el precio del acero sigue al alza en los mercados internacionales.

En cualquier caso, el control de los taladros realizados resulta casi imposible debido a la gran cantidad de los mismos (sobre los 30000) y los rendimientos tan heterogéneos. En función de la máquina y el operador se han llegado a obtener rendimientos entre los 5 y los 20 taladros/día.

Debido a la falta de alineación en la mayor parte de los nervios, y a la incertidumbre de su situación, son incontables las soldaduras de unión realizadas entre chapas, así como el retaladrado de las mismas para su adaptación a la posición final de las barras de refuerzo.

Para la ejecución de todos los refuerzos de los huecos mencionados fueron necesarios cerca de 18 meses con turnos cubriendo las 24 horas del día y equipos de hasta 30 operadores de taladro, 5 soldadores y diversos equipos para el relleno con "grout".

5. Conclusión

A la vista de la complejidad del proceso, de las dificultades encontradas en la ejecución, así como del coste económico y en tiempo de la obra, surge la duda sobre posibles limitaciones prácticas en el aprovechamiento para nuevos usos de ciertas estructuras existentes. Una vez ejecutada la obra, encontrar una respuesta inequívoca a esta cuestión resulta fundamental para la adopción de decisiones correctas, relacionadas con aplicaciones similares en el futuro.

6. Ficha del edificio

Propiedad:	Ministerio de Fomento. ADIF
Arquitectura:	TIFSA
Estructura:	CESMA Ingenieros e I84 Oficina Consultora
Empresa constructora:	UTE DRAGADOS-TECSA