

Modificación estructural del subsuelo de las instalaciones de Roland Garros para la creación del museo del Tenis y de un auditorio

Structural modifications of the basement of installations of Roland Garros in order to create the Tennis museum and an auditorium

Miquel Peiro Sendra^a, Anna Maria Bordas Geli^b, Bastian Ninino^c

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arquitecto. Profesor Titular de Universidad (construcción) – Escuela de Arquitectura de Bretagne. Socio fundador bordas+peiro. miquel_peiro@ciccp.es

^b Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Arquitecta. Catedrática de Universidad (proyectos) – Escuela de Arquitectura de Paris Val de Seine. Socia fundadora bordas+peiro. bp@bordaspeiro.eu

^c Civil Engineer. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées Paristech. Jefe de Proyecto bordas+peiro. ninino@bordaspeiro.eu

RESUMEN

El nuevo museo del Tenis y auditorio situado en las instalaciones de Roland Garros está localizado debajo de lo que fue en un principio un estadio de Tenis y que se convirtió más tarde en la explanada de la entrada principal al complejo deportivo. Para crear el auditorio en el subsuelo era necesario suprimir uno de los pilares de hormigón de 80 cm de diámetro soportando las vigas de hormigón armado sobre las que se apoya la losa de la explanada. Esta comunicación explicita y analiza las razones que nos llevaron a la solución construida de vigas de hormigón postensado.

ABSTRACT

The new museum of Tennis and auditorium situated in the installations of Roland Garros is located below what was a Tennis court in the first place and then converted in the esplanade of the main entrance to the sports complex. In order to create the auditorium in the basement it was necessary to remove one of the concrete pillars with a diameter 80 cm supporting the reinforced concrete beam on which the esplanade slab is based. This communication explains and studies the reasons that led to the built solution with prestressed post-tensioned concrete beams.

PALABRAS CLAVE: recalce, renovación, hormigón postensado, pretensado

KEYWORDS: underpinning, renovation, post-tension prestressed concrete

1. Introducción

A finales de la década de 2010, la Federación Francesa de Tenis inició importantes obras de reestructuración a escala de todo el complejo Roland Garros en Paris, siendo el proyecto principal la renovación de la pista central Philippe Chatrier. Esta obra supuso también la

demolición de un antiguo estadio que dejó sitio a la explanada de la nueva entrada principal al complejo deportivo.

Esta antigua pista de tenis albergaba en el sótano un museo dedicado al Tenis cuya actividad había sido abandonada. Por lo tanto,

este espacio sirvió como almacén y la Federación Francesa de Tenis decidió revalorizar el espacio con un proyecto de auditorio y relanzar la actividad museística a menor escala.



Figura 1. Estado inicial del espacio del auditorio, ocupado como almacén.

La creación de un auditorio no era posible con la configuración existente del espacio, y era necesario la supresión de un pilar de 80 cm de diámetro para obtener suficiente volumen libre para albergar el auditorio.

La obra se dividió en dos fases, condicionado por el calendario del torneo (las obras debían parar durante la competición) la primera consistió en el vaciado del edificio y la supresión del pilar a través de un sistema de transferencia de cargas, y la segunda consistió en el acondicionamiento de los nuevos espacios. La mayoría de las intervenciones estructurales se llevaron a cabo durante la primera fase.

2. Condicionantes del diseño

Este proyecto de renovación estuvo sujeto a numerosas restricciones de diferente naturaleza: en primer lugar de carácter técnico, con la necesidad de adaptarse a la configuración estructural de lo existente respetando al mismo tiempo el gálibo arquitectónico requerido por el programa del auditorio, pero también cuestiones organizativas, dada la dificultad de acceso al sótano, el plazo corto y la necesidad de mantener la explanada en funcionamiento durante las semanas que se desarrolla el torneo.

2.1 Estructura existente

Toda la estructura existente es de hormigón armado, con muros periféricos enterrados y una estructura interior formada por muros, pilares, vigas y losas.

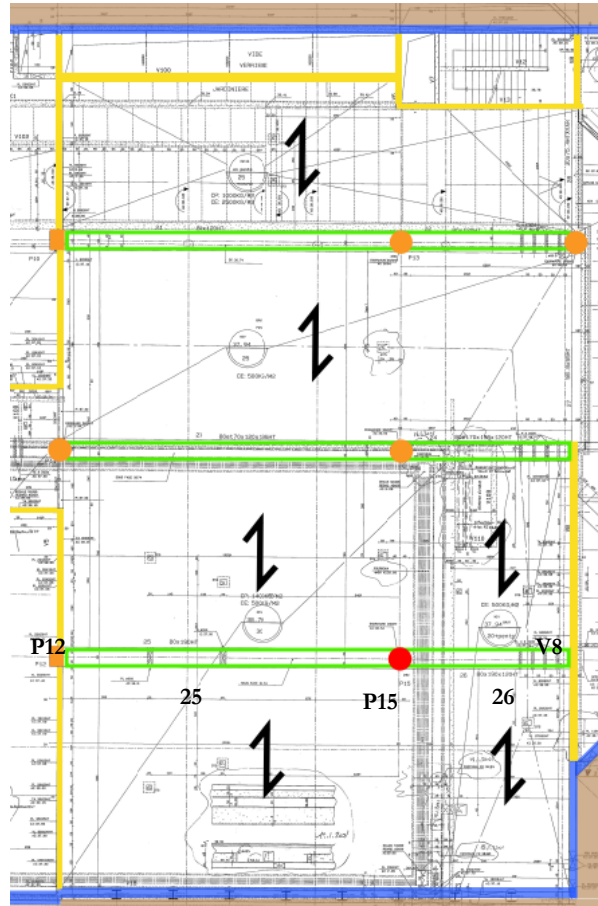


Figura 2. Extracto del plano de encofrados de la construcción inicial. En azul: muros enterrados, amarillo: muros, naranja: pilares, rojo: pilar a quitar, verde: vigas de hormigón, negro: dirección de la luz de las losas

El pilar a suprimir (P15) soporta las vigas de hormigón armado 25 y 26. La viga 25 tiene una sección de 80x196 y la viga 26 tiene una sección de 80x120. El conjunto está armado como viga continua sobre tres apoyos, respectivamente el pilar P12, el pilar P15 y el muro V8. El pilar P15 soportaba una carga de unos 280 toneladas.

Para eliminar el pilar P15 era, por lo tanto, necesario crear una estructura complementaria permitiendo así la redistribución de las cargas fuera del área del auditorio.

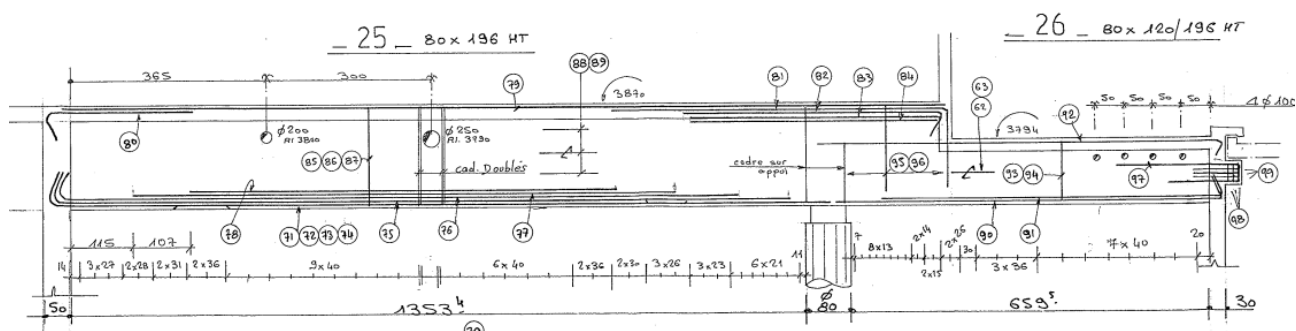


Figura 3. Vigas de hormigón armado 25 y 26. Armado original.

2.2 Geometría del auditorio

El plano del auditorio fue diseñado para integrarse en el volumen existente una vez suprimido el pilar P15.

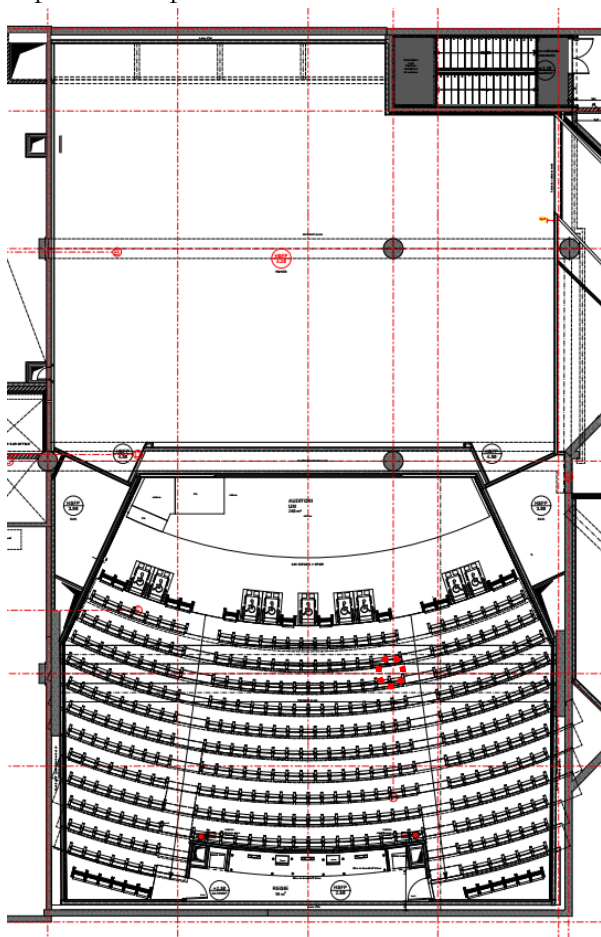


Figura 4. Plano del auditorio.

Se debe liberar el espacio requerido para el buen funcionamiento de la sala y por lo tanto solo se pueden disponer elementos verticales

fuera de la sala del auditorio, por lo tanto, a lo largo de los muros periféricos.

Además, la altura mínima libre para el susodicho programa condiciona el canto de las vigas que se pueden disponer. Se pueden conservar las vigas existentes, pero los elementos estructurales de refuerzo no deben tener un canto mayor que el existente.

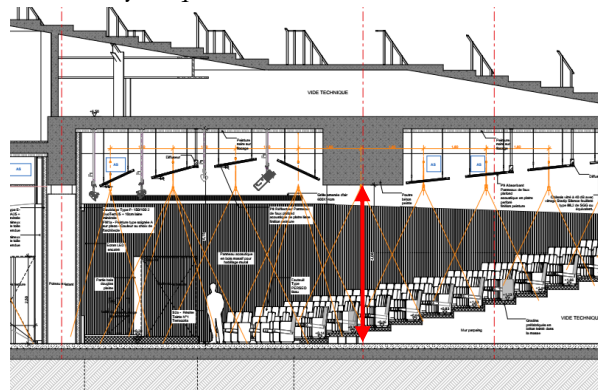


Figura 5. Altura mínima a mantener: 4,60m.

2.3 Planificación de las obras

La fecha de finalización de las obras era una obligación fundamental, dado que cada año transcurre el torneo de Roland Garros a finales de mayo. Por esa razón, las obras solo pueden tener lugar durante pocos meses. La fase de obra dedicada a la modificación estructural solo podía durar cinco meses, porque había que desocupar suficientemente pronto el sótano que sirvió de almacén durante el torneo 2023.

2.4 Mantenimiento en servicio de la explanada

La ubicación elegida en el subsuelo para crear el auditorio se sitúa bajo la explanada de la nueva entrada principal al recinto de Roland Garros. Esta plaza tiene dos niveles conectados por escaleras. La superposición del subsuelo y de la explanada permite ubicar el pilar P15 con respecto a las instalaciones de superficie.

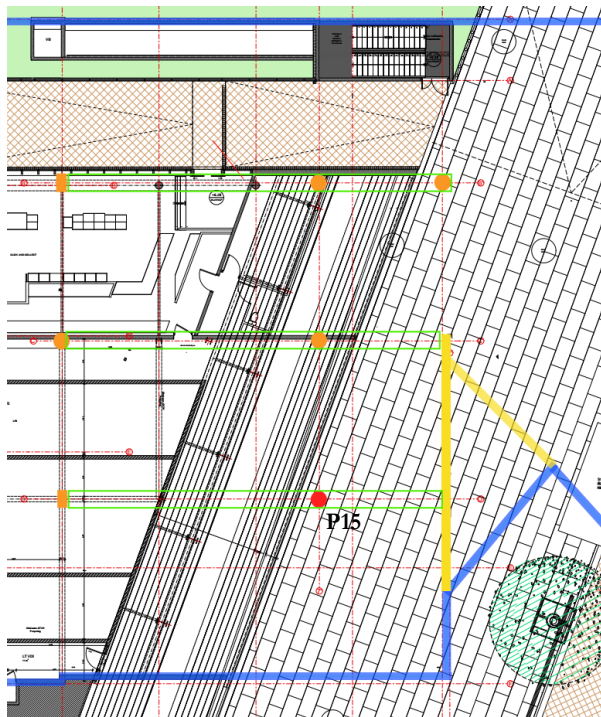


Figura 6. Superposición del plano del subsuelo sobre la explanada.

Toda la superficie pavimentada al pie de las escaleras es utilizada durante todo el año por vehículos ligeros, y soporta importantes cargas de la multitud de espectadores durante el torneo. También es una vía de acceso para los bomberos, por lo que debe permanecer transitable en todo momento para permitir el acceso a los vehículos de emergencia.

Esta limitación lleva a la necesidad de limitar la extensión de las obras en la explanada y, por tanto, de maximizar las obras de recalce en el interior del edificio. También hace falta que la explanada esté en perfectas condiciones durante el torneo anual.



Figura 7. Vista de la explanada.

2.5 Acceso al sótano

Los medios de acceso al subsuelo son muy limitados y no permiten el uso de grúas de grandes dimensiones. Para bajar elementos estructurales o equipos al subsuelo, se debe utilizar el hueco del techo de vidrio, que es el único hueco suficientemente grande. Además, este hueco cuenta con tres elementos estructurales cargados a compresión que deben ser conservados o sustituidos.

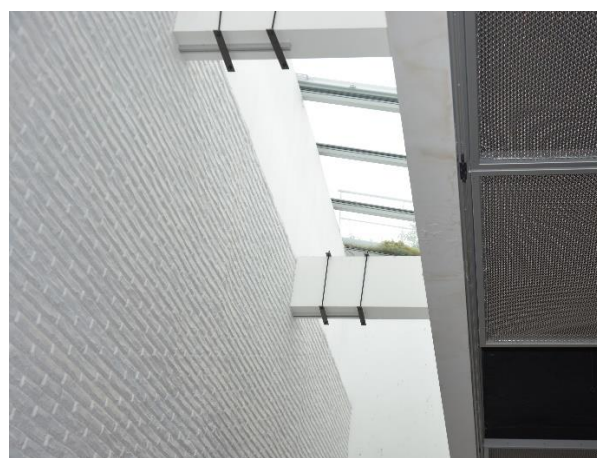


Figura 8. Hueco del techo de vidrio.

Una opción alternativa sería demoler parte de la losa para crear un hueco de acceso desde la explanada, pero esto debe hacerse garantizando el funcionamiento de la explanada y restaurando la integridad de la losa para el torneo. Esta idea fue rechazada por varias razones:

- La ubicación que sería óptima está en medio de la vía de acceso para los bomberos.
- Durante las obras iniciales de creación de la explanada se añadió una losa de 30 cm para

nivelar toda la plataforma, por lo que ahora hay una losa de 30 cm y luego otra de 25 cm que habría que perforar con las dificultades que esto implica.

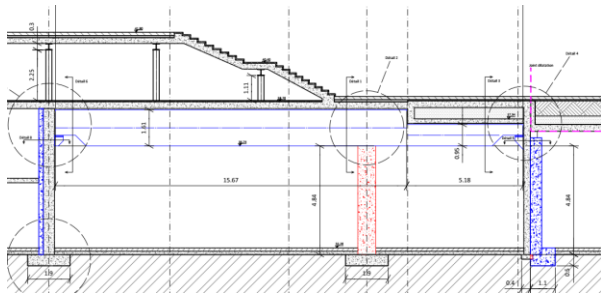


Figura 9. Sección mostrando los diferentes complejos de suelo y la zona de doble losa.

Finalmente, la única superficie posible y potencialmente útil de demoler parcialmente es la losa de la sala adyacente al auditorio. En la sección también observamos el desnivel de las caras inferiores de las losas, herencia de la geometría inicial de la pista de tenis y sus gradas. Tenemos por tanto una altura libre para la estructura de 1.66 m excepto bajo la doble losa donde la altura libre se reduce a 0.95 m salvo que se considere una demolición de la losa baja desde el interior.

2.6 Cimentaciones

El edificio está construido sobre cimentaciones superficiales: zapatas aisladas para los pilares y zapatas corridas bajo los muros. La capacidad portante del suelo es significativa (0.5 MPa los estados límite de servicio)

El problema relacionado con las cimentaciones es que la transferencia de cargas necesariamente inducirá una mayor carga en las áreas de nueva cimentación, por lo que es necesario:

- Ampliar la superficie de cimentación o crear nuevas zapatas para absorber las cargas.
- Controlar los asentamientos diferenciales causados por la nueva carga puntual

2.7 Deformaciones

La supresión del pilar y la transferencia de cargas mediante otro sistema estructural adyacente

implicará una deformación diferenciada de las dos estructuras con módulos de Young diferentes. Con el objetivo de evitar fisuras en las estructuras existentes, se deberá dimensionar teniendo en cuenta las deformaciones en fase construcción y en fase definitiva.

3. Principios del diseño

Todos los condicionantes técnicos expuestos nos llevaron a descartar cualquier otra solución que no fuera dos vigas dispuestas de cada lado de la viga existente. La luz de dichas vigas debe ser de 21 m, con un canto limitado y cargas importantes nos llevaron a descartar la solución en hormigón armado. Dos soluciones se podían estudiar como factibles: perfiles reconstituídos en acero o vigas de hormigón pretensado in situ. Vamos en este capítulo a exponer las dos soluciones, analizando los pros y los contras.

3.1 Solución en acero

La primera opción considerada es utilizar dos vigas de acero. El principio estructural es tener un apoyo puntual sobre las vigas al nivel de la columna para que las vigas soporten directamente la carga que traen las vigas existentes sobre el pilar P15.

Esta solución evita alterar el sistema estático existente y minimiza el riesgo vinculado a la deformación. La puesta en carga de las vigas de acero debe realizarse antes de retirar la columna para evitar deformación posterior.

Si calculamos el momento y la deformación de la viga sometida a la carga que en el edificio existente es soportado por el pilar P15 obtendríamos un momento flector de unos 7 MN.m a resistir para cada viga, y una flecha de unos 5cm para la sección máxima permitida por el gálibo del espacio, a saber, una sección en cajón. Esa flecha era demasiado importante.

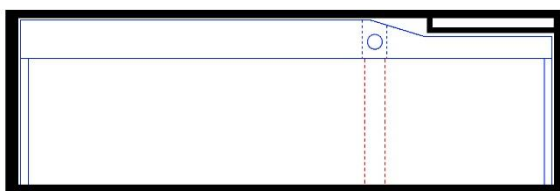


Figura 10. Sección mostrando la opción de viga en acero.

Por lo tanto, era necesario encontrar una estrategia de construcción para que fuera factible. Para ello, se propuso el sistema de construcción siguiente: las vigas se conectan a las vigas existentes al nivel del pilar P15 y se apoyan en un lado, mientras que en el otro lado un gato hidráulico permite pretensar la viga y alcanzar la deformación final. De esta manera se descarga progresivamente la columna.

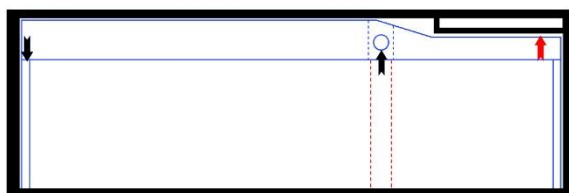


Figura 11. Principio de puesta en carga de las vigas de acero .

Los perfiles de la estructura metálica se fabrican en el taller. Por lo tanto, era necesario encontrar una solución constructiva para el suministro de los elementos de viga al subsuelo. Se propuso subdividir la viga en tres elementos, permitiendo así el transporte de los elementos que pesan aproximadamente 5 toneladas a través del hueco del techo de vidrio.

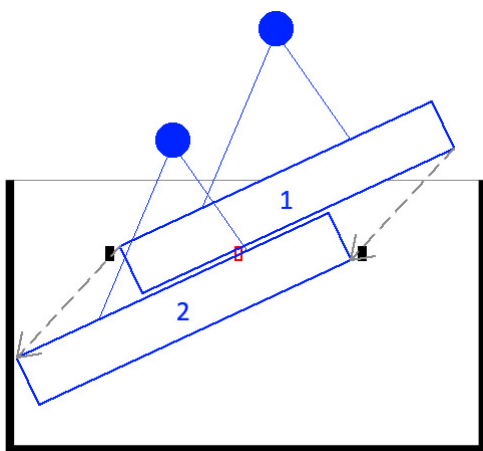


Figura 12. Estrategia de suministro de los elementos de viga.

Esta solución implicaba también importantes trabajos de soldadura en el lugar de la obra para reconstruir las vigas y una complejidad adicional para levantar las vigas de 15 t.

3.2 Solución en hormigón pretensado

La otra opción considerada es el uso de vigas de hormigón pretensado. Esta opción requiere una altura de sección de 1,6 m en toda la longitud de la viga, por lo que implica la demolición parcial de la losa inferior en la zona de doble losa.

Dadas las limitaciones de acceso al lugar, la única posibilidad era el pretensado in situ mediante postensado. Por tanto, era necesario poder acceder a las dos extremidades de las vigas para poder instalar los anclajes por un lado y realizar el tesado por el otro. Por un lado, el acceso era fácil desde una sala técnica, pero por el otro, el acceso desde la explanada requería demoliciones parciales.

Asimismo, el funcionamiento estático del sistema es diferente de la solución en acero, ya que las losas se apoyan sobre toda la longitud de la viga. Por lo tanto, tenemos una carga más cercana a una distribución uniforme y un momento flector de diseño alrededor de 5 MN.m. Respecto a las deformaciones, el pretensado crea intrínsecamente una contra flecha, directamente compensada por el peso propio.

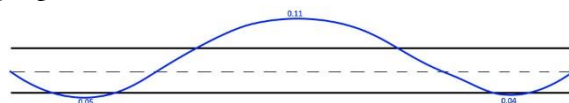


Figura 13. Flecha debida al peso propio al momento de la puesta en carga [cm].

Calculando la flecha en el momento de la puesta en carga de la viga se obtiene una elevación de alrededor de 1mm. A largo plazo, al integrar la fluencia y la retracción del hormigón, tenemos una flecha en combinación casi permanente de 21.6 mm, o $L/958$.

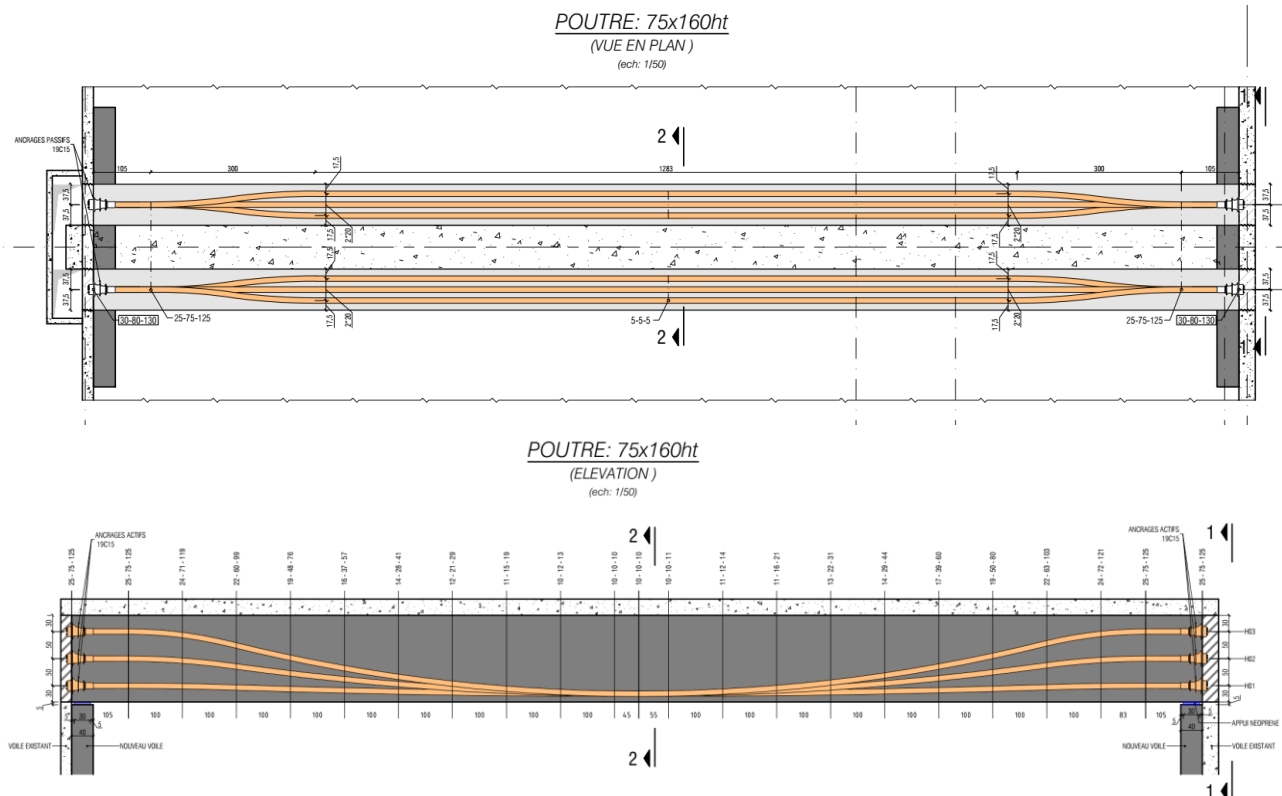


Figura 14. Plano y sección longitudinal de las vigas pretensadas.

El ancho de las vigas viene impuesto por el número de cables necesarios, y también por el cálculo del anclaje en las extremidades que requiere ancho suficiente. Por tanto, con la solución de hormigón pretensado tenemos vigas más anchas que con la solución de acero.

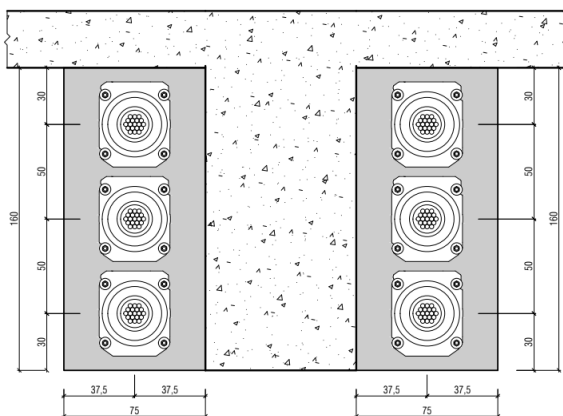


Figura 15. Anclajes a la extremidad de la viga.

3.3 Resumen comparativo

Podemos establecer la siguiente comparación entre ambas soluciones:

3.3.1. Acero

Ventaja:

- Sin impacto en la estructura de hormigón existente.

- Vigas más estrechas

Inconvenientes:

- Suministro complejo de elementos de viga.

- Soldadura y levantamiento in situ

- Dependencia de la planificación de proveedores de acero

3.3.2. Hormigón pretensado

Ventaja:

- Fácil de suministrar

Inconvenientes:

- Requiere demoliciones parciales

- Deformaciones a largo plazo

Cada solución tenía ventajas y desventajas. Al final, fue el criterio de planificación el decisivo en la elección de la solución estructural adoptada, ya que con la solución de acero implicaba ser subsidiario del taller, mientras que la solución pretensada dependía solo de los equipos de la obra.

4. Fases constructivas

La obra se desarrolló en las siguientes etapas:

4.1 Cimentaciones

Para evitar cualquier desorden, las nuevas vigas se apoyan en nuevos soportes verticales, a su vez basados en nuevas cimentaciones. En el lado del muro V8, la creación de nuevas zapatas no planteó ningún problema particular, pero en el lado del pilar P12 fue necesario pasar por encima de los cimientos existentes del pilar mediante dos zapatas aisladas que soportan un muro armado como una viga en la parte inferior.



Figura 16. Zapatas de cada lado de la zapata del pilar P12.

4.2 Soportes verticales

Antes de hormigonar las vigas, se construyeron los nuevos soportes verticales. Esos muros se

anclan también en la losa superior por razones de estabilidad.

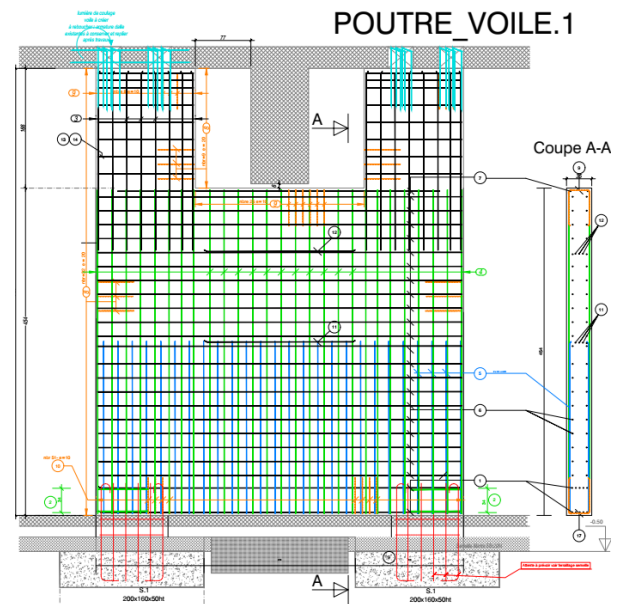


Figura 17. Muro portante del lado del pilar P12.

Las vigas se apoyan en estos muros mediante soportes de neopreno para permitir la rotación en el apoyo y evitar la transmisión de flexión a los muros.

4.3 Hormigonado de las vigas

Las vigas de hormigón se hormigonaron in situ, por lo que el primer paso era la instalación de una plataforma de trabajo para realizar el encofrado y los refuerzos.

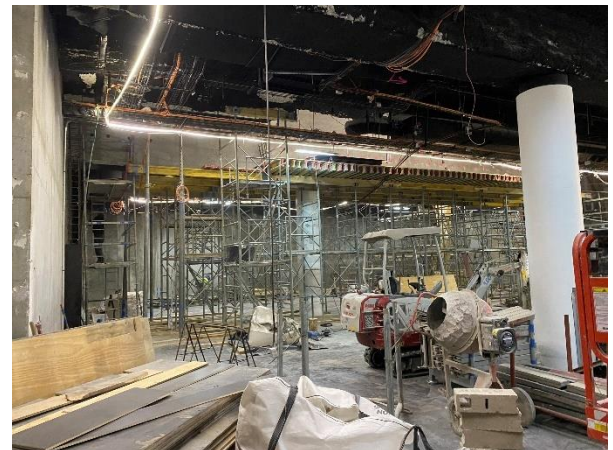


Figura 18. Plataforma de trabajo.

Como el transporte de las armaduras prefabricadas habría sido complicado, todas las armaduras se fabricaron in situ y se instalaron progresivamente.



Figura 19. Colocación de las armaduras desde la plataforma de trabajo.



Figura 20. Vainas para los cables de pretensado.

El hormigonado de las vigas se realizó desde la explanada, vertiendo el hormigón a través de orificios practicados a intervalos regulares.

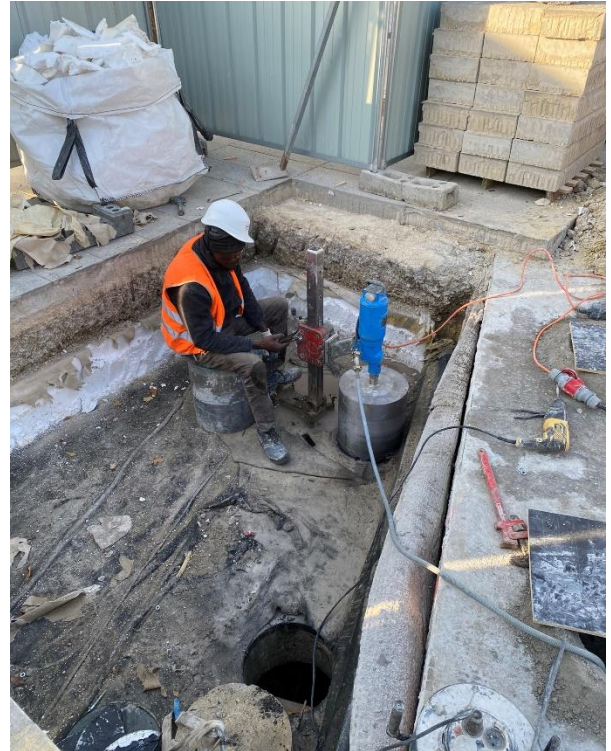


Figura 21. Aberturas para verter el hormigón.

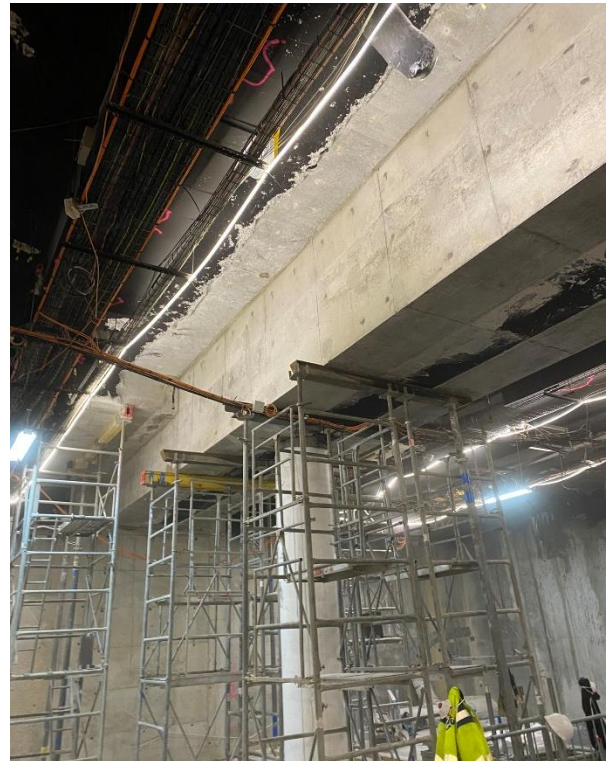


Figura 22. Vigas listas para la puesta en carga antes de la demolición del pilar.

4.4 Postensado y demolición del pilar

El postensado de las vigas se realizó desde el extremo accesible a través de un hueco realizado en la explanada.



Figura 23. Gato hidráulico de postensado.

Durante todo el proceso de pretensado, las deformaciones se controlaron mediante sensores colocados a lo largo de las vigas, cuya posición se registra periódicamente a cada fase constructiva. Como era de esperar dado el cálculo de la flecha debida al peso propio, las medidas no revelaron ninguna deformación.

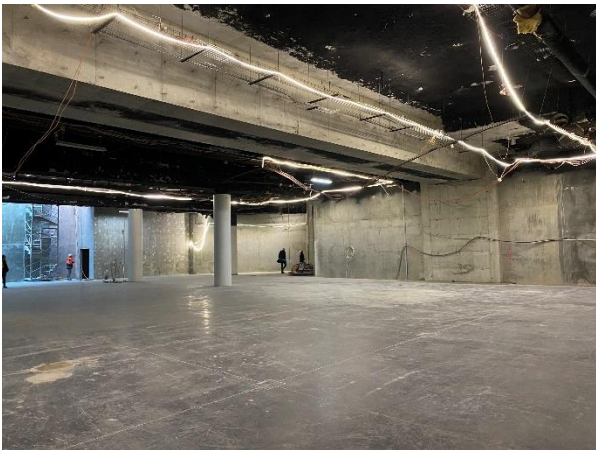


Figura 24. Subsuelo después de la demolición del pilar.

4.5 Fases posteriores

El derribo del pilar permitió iniciar la segunda fase de las obras dedicadas al acondicionamiento del auditorio. A continuación, se muestran algunas imágenes del proyecto finalizado.



Figura 25. Auditorio finalizado.

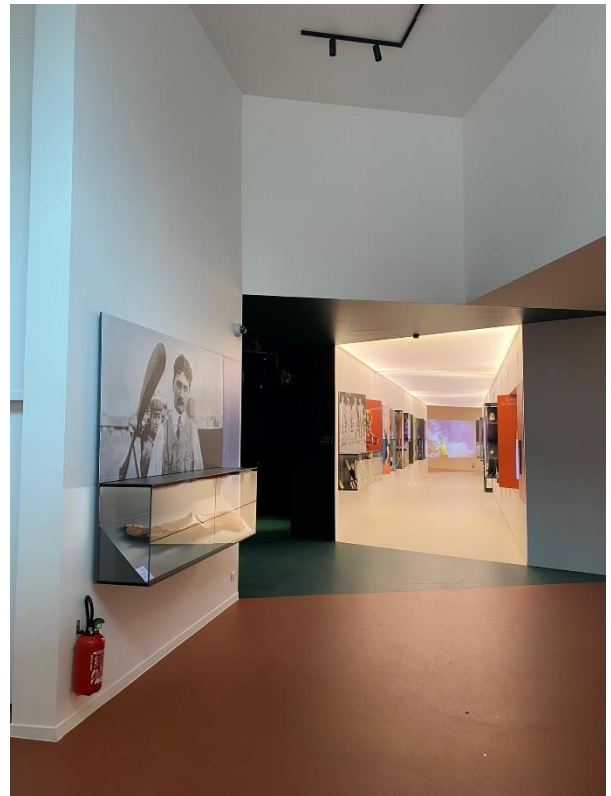


Figura 26. Museo del Tenis finalizado.

Agradecimientos

Agradecemos la confianza que la Federación Francesa de Tenis (Cliente del proyecto) tuvo en nuestra oficina, y, en particular, a Sophie Vessi re, que fue responsable del proyecto de la propiedad. Muchas gracias también al despacho de arquitectura y en particular a Sylvain Lerays y Julie Velilla. Finalmente, gracias a la empresa LBC que acometió los trabajos de hormigón pretensado.