

NUEVO POLIDEPORTIVO Y RESIDENCIA EN EL COLEGIO DEL BUEN CONSEJO EN MADRID

Susana JAREÑO COBO

Ingeniero de CCyP
DRAGADOS.

sjarenoc@dragados.com

Fabiola PIERANTONI SILVA

Ingeniero de CCyP
DRAGADOS

fpierantonsi@dragados.com

Javier Leyva

Ingeniero de CCyP
VALLADARES Ingeniería.

jleyva@i-valladares.com

Javier Castellano Paniza

Arquitecto Técnico
VALLADARES Ingeniería.

jcpaniza@i-valladares.com

M^a Mercedes MADRID RAMOS

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Dirección Técnica. DRAGADOS
Jefe Servicio de Estructuras de Edificación

mmadridr@dragados.com

RESUMEN

Las actuaciones realizadas en el Colegio Nuestra Señora del Buen Consejo en Madrid comprendieron la ejecución de un nuevo Polideportivo y un Edificio para albergar un auditorio y una residencia. La parcela del Colegio, entre las calles Beatriz de Bobadilla y Juan Montalvo de Madrid, queda parcialmente encima de la estación de Metro Guzmán el Bueno de la línea 7. Esta interferencia condicionó las soluciones estructurales de cimentación y contención.

ABSTRACT

The Works performed at the Nuestra Señora del Buen Consejo School in Madrid, consisted of the construction of a new Sports Centre, and a new building to house Classrooms, an Auditorium and a Residence. The School is located in a plot between Beatriz de Bobadilla and Juan Montalvo streets, and it partially stands above the Line 7 Guzman el Bueno Metro Station. This interference conditioned the structural solutions of the foundations and containments walls.

PALABRAS CLAVE:vigas postesadas, losa pilotada, pantalla de pilotes, vibraciones.

KEYWORDS:Postensioned-beams, piloted slab, piles screen, vibrations.

1. Descripción general de la estructuras

1.1. Polideportivo

El nuevo Pabellón Polideportivo del Colegio Nuestra Señora del Buen Consejo se ubica en el patio del colegio, en la parcela entre las calles de Juan Montalvo y Beatriz de Bobadilla.

Con el objeto de no perder en el futuro espacio de recreo para los alumnos del centro educativo, la estructura se proyectó enterrada en el terreno aproximadamente 10 m. De esta manera su cubierta

continuaba sirviendo como patio de juegos. Exclusivamente en la linde con la calle Beatriz de Bobadilla, la rasante es muy inclinada, permitiendo el acceso al interior del edificio a cotas intermedias.

La contención del terreno se realizó mediante una pantalla de pilotes. Sólo aquellos pilotes que servían de apoyo a las grandes vigas de cubierta debían ser empotrados en el terreno natural mientras que el resto tenían la longitud mínima para equilibrar empujes. Dentro del recinto, la cimentación de los graderíos queda resuelta mediante micropilotes.

La cubierta se resolvió mediante vigas postesadas de 45 m de luz, y canto y ancho variables. El forjado de cubierta, que sirve de nuevo patio, se ejecutó con prelosas apoyadas en las grandes vigas.



Figura 1. Vista interior del polideportivo.

1.2. Edificio para Residencia

Posteriormente a la ejecución del nuevo Polideportivo, y adosado a él, se levantó un edificio de nueva planta. Este edificio consta de un bloque de Aulas con dos plantas de sótano, y un bloque de dos sótanos y cuatro niveles sobre rasante, destinado a aparcamiento y Residencia. En la Planta baja de éste último se dispuso un Auditorio, que consigue un espacio libre de pilares gracias a unas vigas postesadas de 22 m de luz, que apean a los pilares que soportan las plantas superiores.

Las características del terreno obligaron a una solución de cimentación profunda mediante pilotes de diámetros 45 a 85 cm, con longitud de más de 20 m de profundidad, y arriostrados en cabeza mediante una losa de 30 cm.

En la zona de afección a la estación de Metro, se recurre a una solución de losa de 75 cm de espesor apoyada en pilotes de 55 cm de diámetro, situados según una malla de 2,5x2,5 m, con el fin de conseguir el máximo reparto de la carga y que los pilotes se quedaran a una distancia de seguridad de las estructuras del metro.



Figura 2. Sección por polideportivo y nuevo Edificio.

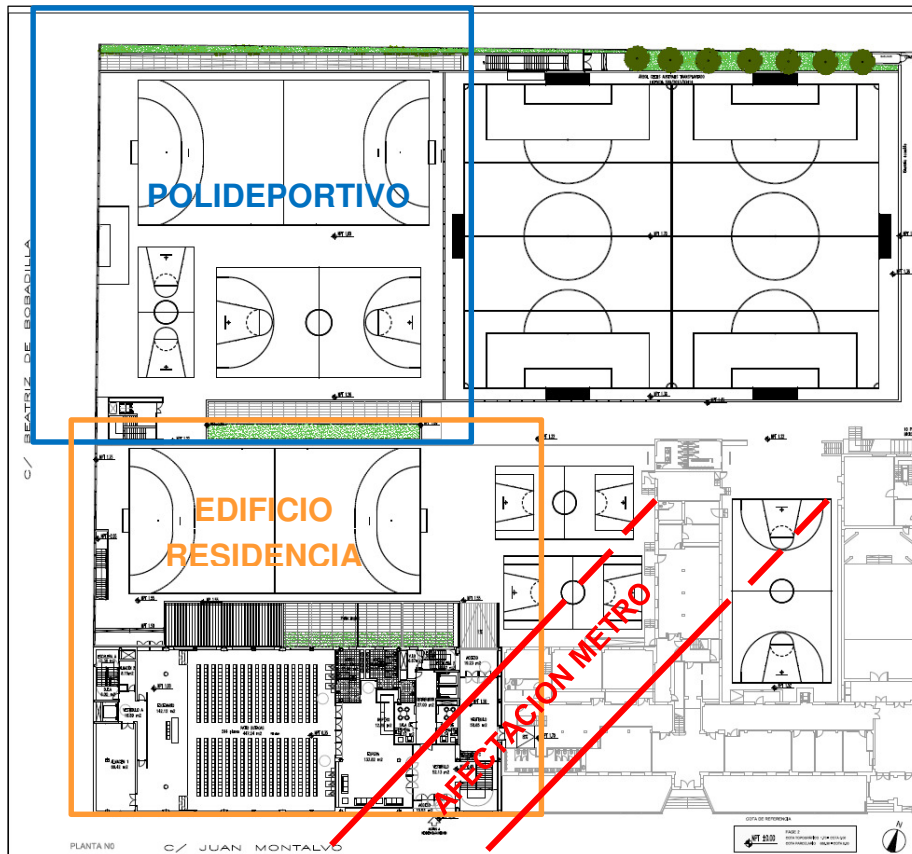


Figura 3. Planta General con afectación del Metro.

2. Sistema descendente del polideportivo

Las pantallas de contención del perímetro del Polideportivo tienen un empuje descompensado del terreno. En el lateral Oeste, donde la rasante está a una cota inferior y se excava un máximo de 5,4 m bajo la cota existente, la pantalla de pilotes se dimensionó en voladizo. En el resto de laterales, Norte, Este y Sur de la obra, los pilotes se apoyaban en el forjado de la cubierta de la estructura. Este forjado se ejecutaba antes de realizar el vaciado dentro del recinto de manera que las pantallas no necesitaban ningún tipo de arriostramiento provisional. Es decir, la obra se realizó con un procedimiento descendente, tal y como se describe a continuación:

1. Ejecución de las pantallas de pilotes en el perímetro de la parcela. Las pantallas Norte y Sur incluyen dos tipos de pilotes, en primer lugar los pilotes más largos (longitud total aproximada: 30-38 metros) empotrados en el firme y sobre los cuales se apoyan las vigas de canto de la cubierta, están dimensionados para resistir los empujes del terreno y los

momentos flectores negativos transmitidos por las vigas a efectos de la sobrecarga, para lo que se ejecutaba el nudo de conexión entre vigas y pilotes una vez tesadas las vigas. Cada dos pilotes largos se ejecuta un pilote corto (longitud total aproximada: 17 metros), o pilote flotante en los rellenos, que solo está dimensionado para resistir los empujes del terreno.

2. Ejecución de las vigas. Con el encofrado apoyado directamente sobre el terreno y con una contraflecha de 10 cm (Fig.2). El hormigonado de la cabeza de la viga se realizaba en dos fases. En una primera fase la viga tiene un apoyo simple en la viga de coronación de la pantalla, mediante apoyos de teflón; de esta manera, durante el tesado no se introducían esfuerzos horizontales en la pantalla.

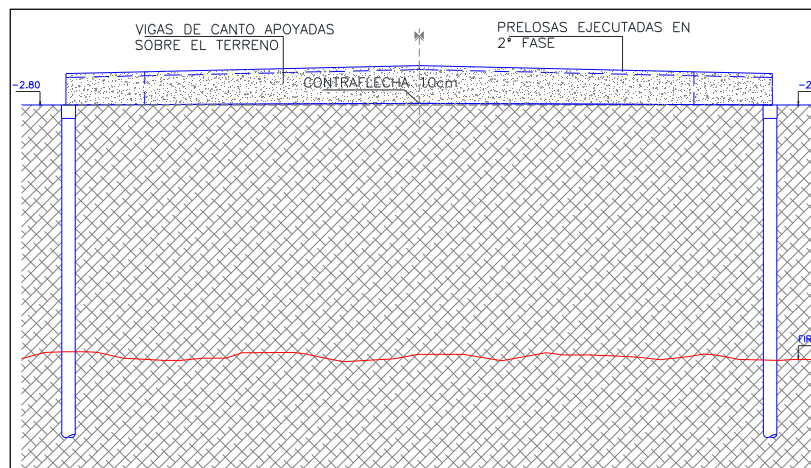


Figura 4. Fase hormigonado de viga.

3. Ejecución del forjado de prelosas a excepción de la última banda con la calle Beatriz de Bovadilla por dónde se sacaban las tierras.
4. Ejecución del tesado de las vigas. Las vigas se dimensionaron como biapoyadas y solo se empotraban en las pantallas a efectos de la sobrecarga. De este modo se controlaban las vibraciones sobre la cubierta del edificio.
5. Colocación del resto de la carga muerta y pavimento sobre las prelosas. Se dejaba sin colocar el pavimento en los 5 primeros metros a cada lado de la cubierta (Fig.3) para permitir el paso de camiones durante las operaciones de hormigonado de las cabezas de tesado.
6. Disposición del armado de las cabezas de las vigas para completar el hormigonado de las mismas. A partir de este momento la viga era capaz de transmitir el empuje de tierras sobre la pantalla y soportar el momento flector de negativos por efecto de la sobrecarga.
7. A continuación se comenzó con el proceso de excavación en mina hasta alcanzar el fondo de excavación.

Excepcionalmente, para poder simultanear las últimas tres actividades se permitió comenzar la excavación antes de completar la colocación de la carga muerta (Fig. 4), siempre y cuando ésta se realizase centrada entre los dos apoyos de la viga para un ancho máximo de excavación de 1/3 de la luz total.

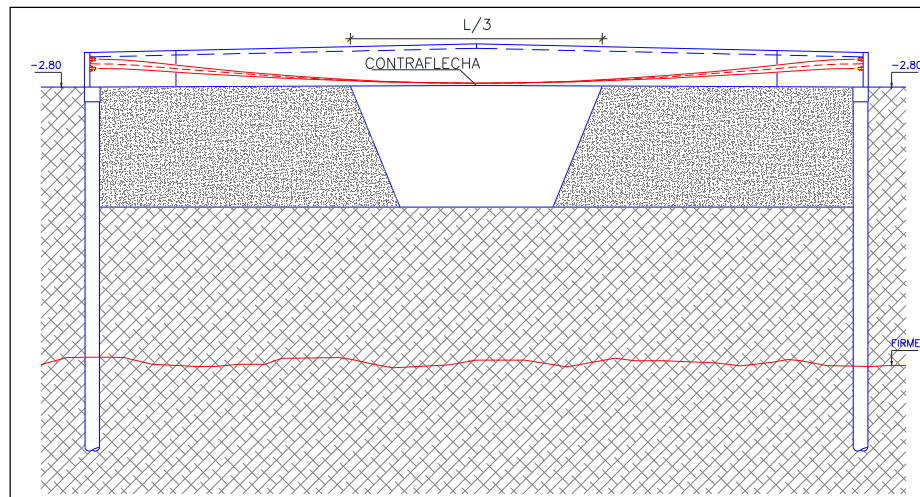


Figura 5. Excavación en mina.

Para proceder a la excavación completa en el ancho total de vano, era preciso tener completamente ejecutadas las actuaciones “5.” y “6.” habiendo alcanzado el hormigón de la cabeza pretensada de la viga, una resistencia característica de al menos 20 MPa.

3. Vigas postesadas cubierta polideportivo

La estructura horizontal de la cubierta se realizó con vigas pretensadas con sección en T, de canto total variable de 200 a 240 cm y contraflecha de 10 cm en el centro de vano, dispuestas cada 5.67 metros para una luz de cálculo de 44.5 metros. Cada viga tiene 4 tendones con 27 cables de 0,6” cada uno, resultando una carga de tesado total de 2160 t.

La prelosa que gravita sobre estas vigas no tiene aligeramiento y la capa de compresión de hormigón armado in situ es de 25 cm de espesor total.

Las vigas se hormigonaron sobre el terreno apoyando en los muros perimetrales de pilotes ejecutados para contención del terreno (Fig. 6). En el armado del forjado de prelosas se ha tenido en cuenta el efecto del desplazamiento vertical diferencial de la primera viga respecto al muro pantalla, que se produce por las cargas a plazo infinito que actúan sobre la viga una vez que se ejecuta el hormigonado en segunda fase de las banda previstas en los extremos del forjado. Estas bandas se hormigonan en segunda fase para minimizar este efecto.



Figura 6. Hormigonado de vigas contra el terreno

Las vigas tiene una ancho de 90 cm, con sobre ancho en los apoyos para llegar hasta los 110cm en los 5 primeros metros, para permitir la disposición de las cabezas de tesado.

El vaciado se ejecuta en mina bajo según queda descrito en el apartado 2 del presente documento.

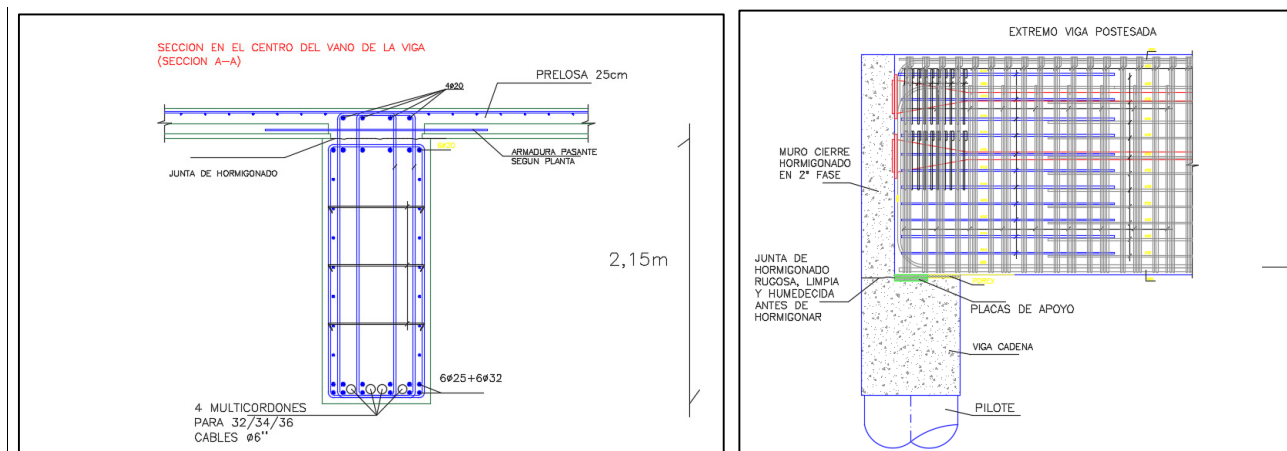


Figura 7. Sección de vigas y detalle apoyo en pantalla de pilotes.

Para el análisis de las deformaciones de las vigas de cubierta se ha calculado la viga tipo con dos programas, el PT de ADAPT y el CYPE METAL 3D. Estos dos cálculos permiten delimitar la posible horquilla de desplazamientos en el centro de vano de las vigas. En el cálculo del pretensado se ha tenido en cuenta la reducción de canto útil del pretensado por efecto de la contra flecha con la que se ejecutan las vigas pretensadas. Las secciones de las vigas con el 100 % de la sobrecarga no fisuran, por lo que se puede considerar la sección bruta de hormigón.

Desarrollamos un análisis del drenaje de aguas tomando en cuenta el proceso de ejecución de las vigas pretensadas, que se resume en lo siguiente:

1. Ejecutar las vigas pretensadas con contra flecha de 10 cm.
2. Las vigas pretensadas son de canto variable de 200cm en el apoyo a 245cm en el centro de vano.

3. Las vigas se tesarán con la prelosa hormigonada y sin disponer el pavimento.
4. Disponer el pavimento de espesor variable, de forma que tenga una pendiente máxima de 1,5 %, con 33,75 cm de desnivel entre apoyo y centro de la viga.
5. De esta forma se prevé que con toda la sobre carga actuando a plazo infinito, en el centro de viga descienda 10,4 cm. Con lo que la pendiente final sería de $33,75-10,4=23.4$ cm 1.04 %.
6. Sin ninguna sobrecarga de uso a plazo infinito, el centro de la viga asciende 2,6 cm con lo que la pendiente final será $33,75+2,60 = 36.4$ cm 1,61 %.

Se determinó la frecuencia propia de vibración de la cubierta, obteniendo un valor admisible al ser un pórtico de nudos rígidos en las conexiones con los pilotes y no una viga biapoyada.

4. Afecciones de la cimentación y contención edificio de aulas y residencia a METRO

Se detectaron espesores de rellenos variables de entre 7 y 12 metros, por lo que el informe geotécnico recomendaba llegar al sustrato competente formado por arenas limosas y limos arcillosos-arenosos y/o arcillas limo-arenosas.

La planta del edificio de Residencia se ubica parcialmente sobre la estación de Metro de Guzmán el Bueno.

En esta zona el espesor de relleno bajo la losa de cimentación es del orden de 8 m a 10 m, mientras que la bóveda de la estación se localiza a unos 13 m de profundidad con respecto a ese nivel.

Para homogeneizar la transmisión de cargas en esta zona en la que el edificio gravita sobre la estación de METRO, se adoptó como solución de cimentación una losa pilotada con separaciones entre pilotes que son función de las cargas transmitidas por la estructura del edificio. Inicialmente, se consideró para los pilotes una penetración en el sustrato de 1,5 m; con lo que los pilotes más próximos a la estación de METRO se localizan a una distancia de la bóveda de unos 2,5 m a 3 m.

METRO estableció como premisa que los elementos de cimentación del edificio debían quedar a una distancia mínima de 5 m respecto de la estructura de la estación, por lo que en algunos pilotes, no se alcanzaría el nivel del sustrato competente.

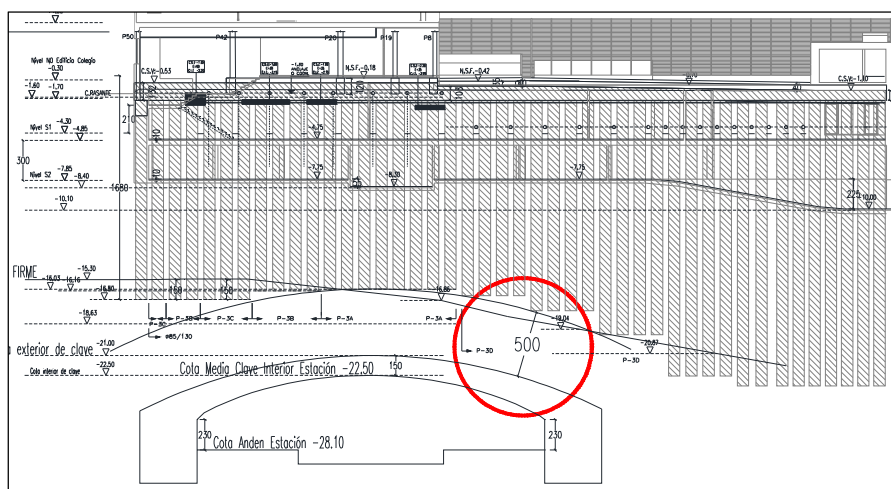


Figura 8. Sección cimentación y bóveda de metro, limitación 5m METRO

Debido a este requerimiento se debieron revisar y adaptar las cimentaciones inicialmente previstas para mantener la distancia mínima exigida por METRO.

Se barajaron dos alternativas para cumplir el requerimiento:

- 1) Mejora del relleno mediante inyecciones en aquellas zonas donde los pilotes no alcanzasen una penetración mínima en el sustrato.
- 2) Añadir pilotes complementarios para reducir la carga por pilote.

Tras analizar el posible tratamiento con inyecciones y debido a los condicionantes que presenta y la dificultad de garantizar plenamente las resistencias unitarias necesarias en hundimiento, se decidió desarrollar la solución de aumentar el número de pilotes.

Para el diseño y ubicación de los pilotes complementarios, se desarrolló un plano en el que se representaban las isobatas del sustrato obtenidas de una campaña de investigación complementaria más detallada, la penetración máxima del pilote en el sustrato y la carga de servicio transmitida por la estructura del edificio con la configuración de pilotes inicial.

En algunos pilotes de la zona localizada sobre la estación de METRO las cargas de servicio resultan próximas a 600 kN.

La carga admisible estimada para pilotes de 55 cm de diámetro y longitud mínima de 8 m en el relleno es de 400 kN.

En base al criterio indicado se añadieron 36 pilotes complementarios (figura 8). El diámetro para los pilotes complementarios es igual al de los pilotes de cimentación previstos inicialmente, 55 cm.

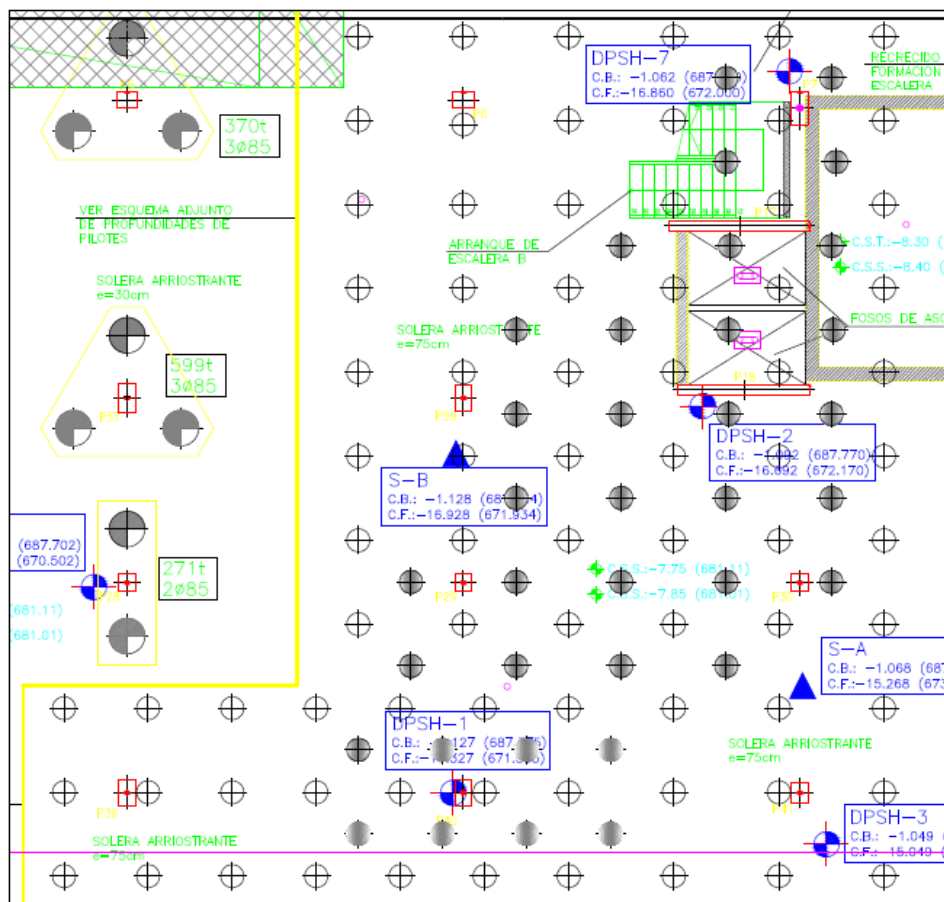


Figura 9. Situación pilotes complementarios

Al disponer pilotes complementarios se obtienen condiciones de apoyo prácticamente homogéneas, al tener en algunas zonas una separación entre pilotes de 1 m (1,55 m entre ejes), y se consigue

que las cargas máximas en servicio de los pilotes resulten inferiores a la carga admisible estimada para los pilotes que no alcanzan el sustrato resistente.

Se dispusieron algunos pilotes adicionales a los estrictamente necesarios para dar continuidad a las zonas donde este refuerzo era más conveniente.

5 .Edificio de Aulas y Residencia con Auditorio

El Bloque de Aulas es un edificio enterrado con dos sótanos que queda colindante al polideportivo. Los pilares son rectangulares de hormigón y los forjados de las dos plantas son reticulares de canto 30+10 cm, nervios de 12 cm de ancho y casetones perdidos. Las sobrecargas de cálculo para las dos plantas son de 5 kN/m², correspondiente a la categoría C3 del CTE [1]: zonas de acceso público, libres de obstáculos que impidan el libre movimiento de personas, y de ésta manera dotar a todas las zonas de un carácter multiuso. La resistencia a fuego exigida es de 120 minutos por tratarse de planta sótano y uso docente, la cual se consigue disponiendo bloques perdidos de hormigón, y revestimiento inferior. El canto de 40 cm viene justificado por una luz máxima en vano interior de 9,6 m.

El Edificio de Residencia cuenta con dos plantas de sótano, y cuatro plantas sobre rasante. Las plantas de sótano, al igual que ocurría en el otro bloque, requieren un R-120. En éste caso, por tratarse de plantas de aparcamiento situadas bajo un Edificio de distinto uso, se recurrió a un forjado reticular con casetón recuperable, lo que obligó a un ancho de nervio de 16 cm y una capa de compresión de 10 cm, la cual sumada al solado cumplía con el espesor mínimo exigible.

La planta baja del Edificio de Residencia alberga un auditorio, por lo que se habilita un espacio con una luz libre de 22,7 m, lo cual se consigue resolviendo el forjado de techo de baja mediante unas vigas postesadas en T de 1,8 m de canto, que apean a los pilares de las plantas sobre rasante, (figura 9). Se trata en total de 3 vigas, cada una de las cuales recibe dos pilares con una carga aproximada de 2000 kN cada uno. Cada viga tiene 4 tendones con 22 cables de 0,6" cada uno, resultando una carga de tesado total de 17600 kN. Dado el canto y longitud de las vigas, en las fases de hormigonado se producirían unas presiones muy altas sobre los encofrados, por lo que se optó por un hormigonado en dos fases. Para ello, y dado que los cables de postesado atraviesan las juntas, se analiza de manera conservadora el comportamiento del conjunto. Se obtienen por un lado los rasantes que solicitan la junta a partir de los esfuerzos de la viga, incluyendo el incremento de rasante producido por las compresiones del postesado. Por otro lado se calcula la resistencia a esfuerzo rasante de la junta aplicando la formulación del artículo 47 de la Instrucción EHE-08 [2], pero sin considerar el factor favorable del engranamiento βf_{cd} , en caso de que existiesen tensiones perpendiculares a la junta que eviten éste efecto. Tampoco se consideró la colaboración de los cercos, y como resultado de la comprobación se dispusieron 2 conectores $\phi 20$ cada 12 cm para garantizar el correcto funcionamiento de la viga como conjunto.

En cuanto al procedimiento constructivo de éstas vigas, el tesado se realiza en dos fases, de manera que las fuerzas de desvío producto del tesado queden siempre compensadas por el peso propio de la estructura construida sobre las mismas. De ésta manera, la primera fase de tesado al 50% de la carga total, se realiza con la carga del propio forjado y el forjado de techo de planta primera sobre las vigas; y el tesado final, ya con toda la estructura construida. Así, se consiguió optimizar el sistema de cimbrado [3]. El hormigonado de los extremos de las vigas, donde se sitúan las cabezas de anclajes, y por tanto gran densidad de armaduras para resistir la concentración de tensiones, se realizó prestando especial atención al vibrado para evitar la aparición de coqueas.

Las plantas sobre éstas vigas, ya con una distancia máxima entre pilares de 8 m, se resuelven con forjado reticular de bloques perdidos y canto total 37 cm. Existen también una serie de pilares de cubierta apeados, pero al tratarse de la última planta las cargas no son importantes y por tanto el apeo se resuelve con vigas de canto armadas.

Los pilares de las dos zonas, Aulas y Residencia, son de hormigón y sección rectangular, salvo dos pilares con sección circular que quedan en las zonas extremas del escenario del Auditorio. Por razones arquitectónicas existen en fachada una serie de pilares metálicos, resueltos con perfiles laminados UPN en cajón cerrado, que reciben las cargas del forjado mediante placas de 30 mm de espesor.

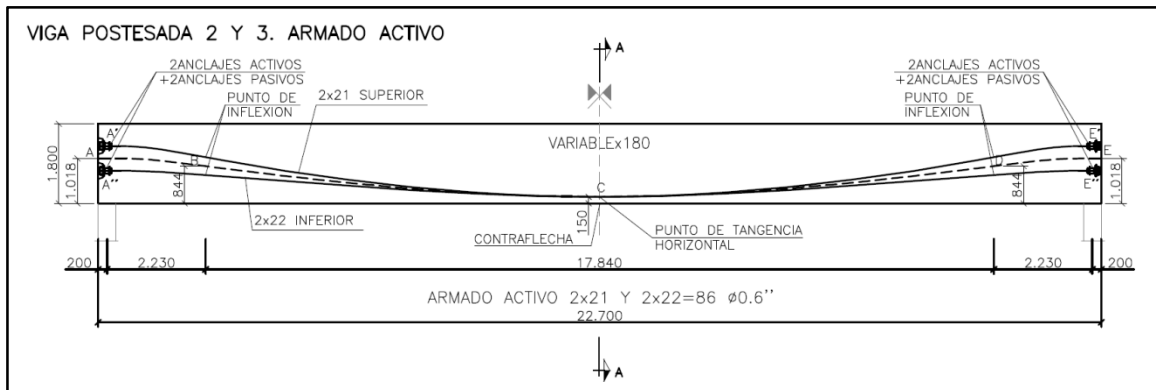


Figura 10. Viga postesada auditorio.

Agradecimientos

Desde estas páginas queremos destacar la colaboración y dedicación realizada a lo largo de la redacción del proyecto de otros profesionales como Juan Antonio Cea y Ángel Arcones de Ingeniería del Suelo, y de Javier García Calvo de Valladares Ingeniería. Igualmente resaltar la actuación durante la fase de ejecución de las obras del personal de Dragados, en particular de Arturo Forcat, Jose Antonio Alonso y Rodrigo Rincón.

Referencias

- [1] Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio. Ministerio de Fomento. Febrero 2010
- [2] Comisión Permanente del Hormigón, Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008, Ministerio de Fomento, Madrid, 2008.
- [3] LEONHARDT "Hormigón Pretensado" 1967