

Colegio Diocesano María Inmaculada en la Calle Madre Celeste N° 1 de Madrid.

Madres Redentoras Convent in Celeste Street in Madrid.

Fabiola Pierantoni Silva^a, Javier Castellanos Paniza^b, Mercedes Madrid Ramos^c, Javier de Leyva^d

^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. gGravity Engineering.Madrid.

^bArquitecto Técnico .Valladares Ingeniería .Madrid

^cProf Escuela de Caminos.Ingeniero de Caminos Canales y Puertos.Jefe de Servicio Estructuras Edificación gGravity . Madrid.

^dIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Valladares Ingeniería.Madrid.

RESUMEN

La ampliación del Convento de las Madres Redentoras y su edificio Anexo en la calle Celeste de Madrid, albergará el Colegio Diocesano María Inmaculada y comprende una variedad de soluciones estructurales. Destacan la Capilla, el Auditorio y la Pista de Baloncesto, que al requerir espacios diáfanos de hasta 17x30 m², fueron resueltas con losas postesadas que además apeaban pilares. La tipología del postesado, monocordón adherente, permitió adaptarse a la cantidad de huecos necesarios por instalaciones. Para los recintos con luces más convencionales se recurrió a pórticos de hormigón y viguetas, ó losas macizas armadas

ABSTRACT

The expansion of the Madres Redentoras Convent in Celeste Street in Madrid, will house the Colegio Diocesano María Inmaculada, and comprises a variety of structural solutions. Among them, the Chapell, the Auditorium and the Basketball Court, were solved with post-tensioned concrete slab due to the length of the spans, up to 17x30 m². In some cases these slabs also resist the upper columns. The bonded monochord post-tensioned system, has a good performance when the amount of openings for facilities are important. For the more regular spans the structural solutions are concrete frames and precast joist, or concrete solid slabs.

PALABRAS CLAVE: postesado monocordón adherente, apeo de pilares, procedimientos constructivos.

KEYWORDS: bonded monochord post-tensioned system, construction procedures, suspended columns.

1. Descripción general del Edificio.

El nuevo Edificio, obra del arquitecto Antonio Ábalos Culebras, se construye donde hasta el momento se situaba el convento de las Madres Redentoras, en la calle Madre Celeste N° 1ª del barrio de Carabanchel de Madrid. Es decir

que dicho convento fue demolido para permitir la nueva construcción, que ocupa en planta un área mayor en la parcela. La Actividad a desempeñarse en la nueva construcción es Educativa, como centro de Educación Infantil,

Primaria, ESO y Bachillerato. El conjunto se compone de una planta sótano, y tres niveles sobrerasante, y está organizado en tres módulos separados por dos juntas de dilatación. El módulo A comprende en Planta Baja la pista de



Figura 1. Planta General.

baloncesto, cuyo techo apea los pilares de las dos plantas superiores de aulas.

El módulo B es un bloque rectangular con un patio interior central a modo de Claustro, tres niveles sobre-rasante y un sótano. La última planta, no ocupan toda la superficie por lo que tienen la planta a modo de L, aunque en el cálculo de la estructura se considera una posible ampliación de la última planta. Finalmente el módulo C, con sólo dos plantas, es un recinto diáfano para albergar la Capilla y sobre ésta el Salón de Actos.

La estructura es de hormigón, con pilares rectangulares y diversas tipologías de forjados: forjados autoportantes, forjados de viguetas, losas macizas armadas y losas postesadas. Éstas últimas se sitúan en las zonas de capilla, auditorio y polideportivo. Para la capilla y el auditorio el postesado responde a la necesidad de salvar una distancia entre pilares de 15x18 m. En el caso del polideportivo, además de permitir un espacio de 16,7x30 m, se apean pilares que soportan las dos plantas superiores

El diseño de la envolvente responde al carácter funcional del Edificio y quedó resuelto mediante fachada de ladrillo perforado apoyado

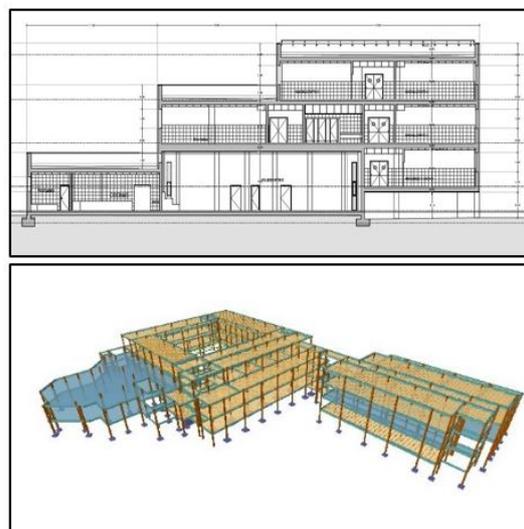


Figura 2. Sección por polideportivo y vista 3D.

2. Cimentación

La parcela donde se ubica el nuevo colegio tenía una construcción correspondiente al antiguo convento, que hubo de ser demolido antes del comienzo de la nueva construcción.

En cuanto al perfil geotécnico, hay un primer nivel de Rellenos, con una potencia de entre 1,4 y 1,8 m de espesor, y bajo éste se situarían ya la arenas limo arcillosas con capacidad suficiente para soportar una cimentación superficial trabajando a 3 Kg/cm². Los ensayos realizados demuestran que los materiales no presentan riesgo de expansividad. En aquellos casos en los que la cota inferior de zapata quedaba por encima del estrato portante se realizaron pozos de hormigón pobre hasta alcanzar dicho estrato y empotrar en él.

En las zonas de Aulas y Capilla se dispuso forjados sanitarios apoyados sobre muretes, y para el resto soleras sobre encachado.



Figura 3. Vista trazado tendones monocordón en losa de 60cm para apeo de pilares sobre polideportivo.

La solera de la pista de baloncesto, que estará sometida a impactos dinámicos durante toda la vida útil se proyecta con doble mallazo, mientras que para el resto se dispone un mallazo simple.

3. Forjados unidireccionales.

Los forjados unidireccionales con canto 30+5 se emplean en todas las zonas con luces comprendidas entre 5 y 7 m. El hecho de que los pilares estén dispuestos en alineaciones hace posible la disposición de pórticos rectos en las dos direcciones principales, y por tanto la solución de forjado unidireccional resulta la más competitiva.

Se trata de forjado de viguetas pretensadas simples, salvo en los casos de vano de 6 m aislado ó de 7m con continuidad, en los que se disponía doble vigueta. De ésta manera se conseguía limitar las deformaciones y en consecuencia las posibles afecciones a las tabiquerías.

Los pórticos que soportan dichos forjados son vigas planas de 35 cm de canto con luces entre 5 y 7m, predominando aquellas que rondan los 6m. Las luces anteriores, y el hecho de tratarse de viguetas pretensadas en vez de in situ, evitan posibles problemas de fisuración por flexión transversal. No obstante, adicionalmente se disponían zunchos corta-vanos, situadas perpendicularmente a las viguetas y en centro de vano, para aquellos paños con luces de más de 4,5m.

Las resistencias al fuego exigidas son de R120 en aparcamiento y R90 en el resto. Para los forjados de viguetas, al tener enlucido de yeso inferior y bovedillas de hormigón, se exigen un canto total del forjado y unos recubrimientos mínimos, que se cumplen en todos los casos.

4. Losas postesada en cubierta de Polideportivo para apeo de pilares

La cubierta del polideportivo es un rectángulo de 16,7x 30 m, apoyada en pilares perimetrales y que apea a los 12 pilares que soportan las dos plantas superiores. Se trata de una losa maciza postesada de 60 cm de canto, con un reparto uniforme de tendones monocordón en las dos direcciones perpendiculares. Esta losa tiene continuidad con una losa de 35 cm por el lado largo, la cual queda postesada con la prolongación de los tendones de la losa de 60cm.

En primer lugar se plantea una solución aligerada, pero ante la necesidad de mantener macizas las cuatro alineaciones de pilares apeados y los perímetros, el ahorro de volumen de hormigón no era significativa. La solución con vigas de canto quedó desechada para no reducir la altura libre del polideportivo.

La carga máxima mayorada de los pilares apeados es de $N=72t$, y el conjunto de todos ellos suman una carga a apeo de $N= 525 t$.

Al ser una losa rectangular, la flexión principal es en la menor dirección, por lo que en principio se plantea el postesado sólo en esa dirección. El postesado en la dirección

perpendicular, con una menor densidad de tendones, consigue reducir la deformación en 1 cm, consiguiéndose así no superar la limitación de deformaciones una vez construido el elemento, que son las que podrían provocar afecciones en la tabiquería. En éste caso, los tabiques sobre dicha losa son los de separación de aulas y pasillos que son de pladur, y por tanto menos sensibles a las deformaciones.

Las vigas de los pórticos cuyos pilares arrancan de la losa pos-tesada tienen una ley de momentos acorde al descenso de los pilares de apoyo. De ahí que el modelo 3D completo de la estructura incluyéndose los efectos del postesado sea en éste caso imprescindible. Tal como se observa en la Figura 4 las flexiones negativas sobre pilares apeados se ven muy reducidas incrementándose los esfuerzos de flexión positiva.



Figura 4. Flexión pórticos pilares apeados.

5. Losas Postesadas en techos Capilla y Auditorio.

La Capilla del Colegio se encuentra en el que hemos denominado Módulo C, y sobre ella se sitúa el Auditorio. Ambos recintos requieren una gran sala libre de pilares, con luces máximas de 14x18m, que se resuelve con losas postesadas de 35 cm. El canto es 1/40 de la luz menor y se corresponde con los cantos recomendados en el Post Tensioning Manual (6th edition PTT).

Al igual que en el caso de la losa de polideportivo, se trata de tendones monocordón adherente dispuestos de manera uniforme en

ambas direcciones perpendiculares. En éste caso los tendones monocordón se disponen en bandas de 4 ó 6 unidades, separadas entre sí dos metros, tal como se ve en la imagen de la Figura 5. Las bandas de 6 unidades trabajan en la dirección de los 14m, que es la que tiene los mayores esfuerzos por ser la más corta.

En cuanto al estudio de alternativas, la solución de losa maciza postesada resultó claramente la más efectiva. Cualquier solución postesada aligerada hubiera reducido peso a costa de un canto ligeramente superior, rondando los 40 cm, que en éste caso no era viable. La forma semi-hexagonal dificultaba cualquier solución de placa alveolar trabajando en la dirección de los 14m.

En cuanto a las deformaciones se estima una flecha una vez construido el elemento y con los efectos diferidos inferior a $L/400$, lo que manifiesta la efectividad de la solución para una luz de 14m. Ninguna solución con acero únicamente pasivo podría encajarse en un canto razonable.

En cuanto a las resistencias a fuego, se deben de cumplir el espesor mínimo de losa y los recubrimientos especificados, sin que tenga que hacerse ninguna distinción especial por tratarse de una losa postesada.

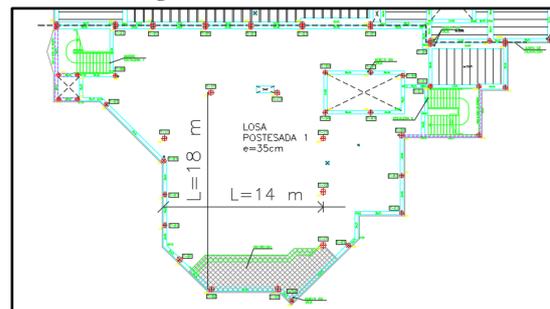


Figura 5. Planta techo capilla

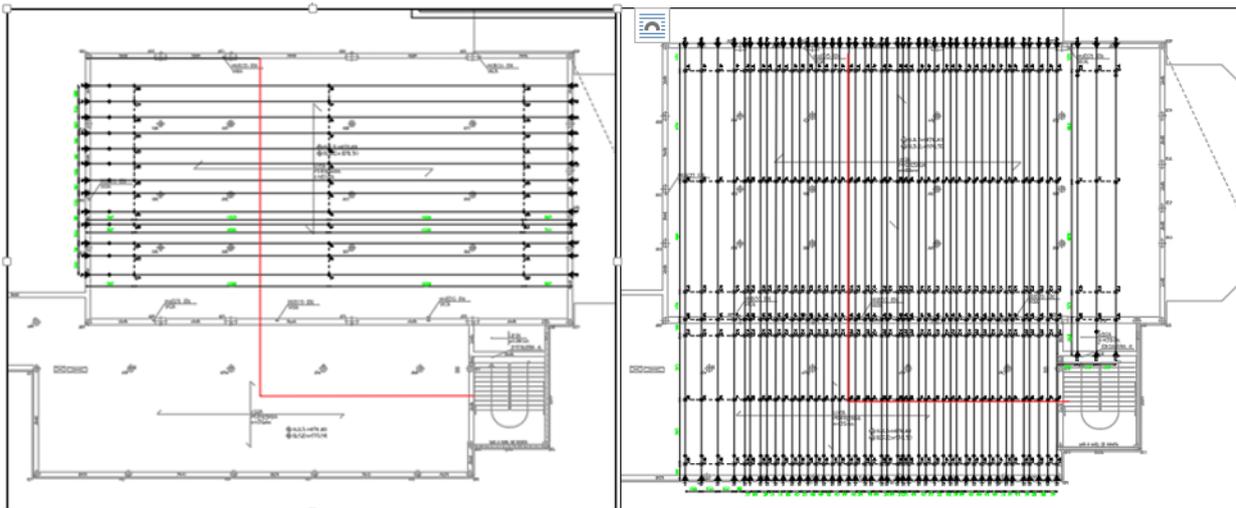


Figura 6. Afeción de junta a cables.

6. Procedimientos Constructivos.

Como en todas las losas en construcciones de edificación existían una serie de huecos para instalaciones cuya posición suele ser necesaria e inamovible. Con éste condicionante, la solución de tendones monocordón repartidos es la más adecuada ya que permite adaptar el trazado únicamente de los tendones afectados. Adicionalmente en obra podían realizarse ajustes de replanteo desviando horizontalmente los cables hasta una inclinación de $1/6$ permitida por el sistema.

Otra ventaja importante de los tendones monocordón repartidos es que en el caso de ser necesario ejecutar una bajante a posteriori, es factible situarla de manera que quede entre cables, ó que la afeción sea de un único cable. Si además se trata de cordones adherentes la afeción es sólo local ya que se desarrolla nuevamente un anclaje desde el punto de corte. Es decir que en cuanto a la apertura de huecos a posteriori la afeción en un forjado con postesado monocordón adherente viene a ser

similar al de una losa armada, necesitándose un estudio justificativo de la pérdida local del postesado. No obstante, se trate de un forjado postesado ó no, la apertura de bajantes a posteriori debe evitarse siempre.

Las dimensiones de la losa de cubierta de polideportivo con unos 440 m^3 obligaban a una junta de construcción que dividiera el conjunto en dos pastillas de unos 220 m^3 de hormigón cada una. El criterio para la ubicación de la junta constructiva, además de los criterios de una losa armada, pretendía afectar al menor número de cables, por lo que la junta se dispuso finalmente paralela al lado más corto, interrumpiendo el hormigón de los cables más largos. Se trató de una junta no pretensada, es decir que los cables transversales atravesaban la junta sin interrupción, y por tanto sin acopladores. Para evitar el uso de acopladores, que por la cantidad de cables lo harían económicamente inviable, no se realizó el tesado hasta que todo el conjunto estuviese hormigonado y con la resistencia necesaria para el tesado (40 Mpa).

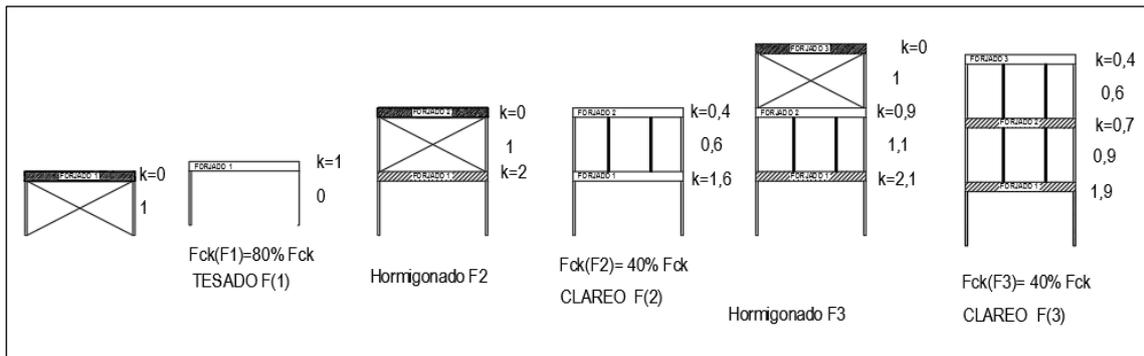


Figura 7. Procedimiento constructivo zona Polideportivo

Los tendones paralelos a la junta y a ambos lados de ésta se tesaban simultáneamente para evitar las tensiones diferenciales entre ambos lados, y la consiguiente aparición de pequeñas fisuras en la zona.

Se recurre en toda la obra a un sistema 1+2, es decir una planta encofrada sobre dos plantas apuntaladas, pero con salvedades y consideraciones especiales en las zonas de losa postesada.

Las dos plantas bajo la planta hormigonada estaban clareadas. La técnica del clareo consiste en que una vez el hormigón haya alcanzado una resistencia del 40% se recupera parte de los puntales de manera que el forjado resiste parte de la carga y colabora en cierta medida con las cargas del nuevo forjado hormigonado. Se trata de una solución intermedia, en cuanto a comportamiento, entre dejar la planta inferior apuntalada y re-apuntalar la planta inferior. Para el forjado sanitario, ya que no puede ser apuntalado es importante comprobar que resiste las cargas del apuntalamiento durante el hormigonado de las plantas superiores. En los casos de forjados unidireccionales, el forjado sanitario resiste las cargas de hormigonado de la planta superior y las posteriores fases del sistema 1+2.

En la zona de la Capilla y Auditorio, la planta baja está resuelta con un forjado sanitario

dimensionado para una sobrecarga adicional de $5,5 \text{ KN/m}^2$ y por tanto no soportaría la carga del hormigonado de la losa postesada de 35 cm, cuyo peso es de $8,75 \text{ KN/m}^2$. Como resultado de lo anterior se sustituye el forjado sanitario en ésta zona por una solera resistente. Una vez tesada la planta de techo de Baja, ésta es reapuntalada para soportar el hormigonado de la losa postesada superior de 35cm de espesor, ya que ésta pesa más que las sobrecargas de cálculo previstas.

Es decir que el hecho de que la losa sea postesada implica únicamente dos diferencias frente al sistema constructivo de una losa armada: La losa se mantiene cimbrada hasta que se adquiera la resistencia necesaria para el tesado, y una vez tesada queda automáticamente descimbrada. En caso de que sea necesario un recimbrado éste se acomete a continuación.

La losa postesada de cubierta de pista de baloncesto tiene un espesor de 60cm. En éste caso el sistema de apuntalamiento apoyaba sobre una solera, disponiéndose una serie de torres de cimbra interiores para estabilizar el sistema frente a las fuerzas horizontales generadas por el hormigonado de una losa de este espesor. Al tratarse de un recinto diáfano de $16,7\text{m} \times 30 \text{ m}$ sin pilares interiores, para dar estabilidad al sistema de puntales las torres de estabilización se hacían imprescindibles.

En éste caso, una vez tesada la losa, ya no era necesario ningún tipo de re-apuntalamiento para soportar el peso del hormigonado de las plantas

superiores que apeaba, las cuales estaban resueltas con forjados de viguetas.

6.3 Tesado en una fase.

En el caso de vigas de apeo de pilares es habitual recurrir a un tesado por fases según va entrando la carga en el elemento, evitando que la situación de vacío con el tesado completo y sin la carga de pilares penalice la solución. En el caso de la losa de 60cm de techo de polideportivo el postesado es mediante tendones monocordón repartidos en ambas direcciones, por lo que el tesado por fases penalizaba en exceso el plazo de ejecución. De ésta manera se analizan los estados tensionales para las diversas fases de carga de la losa con el postesado en una fase, comprobándose su viabilidad.

En el caso de las losas postesadas de cubierta de Capilla y Auditorio, de 35cm de canto y sin apeo de pilares, se procede de la manera habitual en los casos de tendones monocordón repartidos, con una única fase de tesado. El posible beneficio de un tesado inicial al 25% para mitigar los efectos de la retracción inicial es sustituido por una mayor cuantía mínima, lo que para éste tipo de soluciones suele ser más económico.

Las longitudes máximas de los cables, 25m en el módulo de Auditorio y 30m en el polideportivo se encontraban en el límite de requerir un tesado por ambos extremos

Agradecimientos

Desde estas páginas queremos destacar la colaboración y dedicación realizada a lo largo de la redacción del proyecto de otros profesionales como Vicente Martín Dávila, y Juan Carlos Rodríguez Fernández de Dragados; la empresa VSL suministradora del Postesado. Igualmente nos gustaría agradecer la colaboración de Cristian Manzanal Gómez, ingeniero calculista, Aitana Pérez Azpiroz, ingeniero calculista y a Javier García Calvo, Jefe de proyecto Valladares.

Referencias

- [1] Post Tensioning Manual (6th edition PTI).
- [2] LEONHARDT “ Hormigón Pretensado” 1967
- [3] BIJAN O. AALAMI “ Layout of Post-tensioning and passive Reinforcement in Floor slabs “ PCI Technical Notes. April 2000.
- [4] EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural