

Refuerzo de estructura de cubierta en centro comercial frente a inestabilidad por acumulación de agua de lluvia en la ciudad de Buenos Aires (Argentina)

Strengthening against ponding instability of a shopping mall roof supporting structure, Buenos Aires (Argentina)

Jorge HERRERA

Ingeniero Civil
Freyssinet S.A.
Ingeniero Departamento Técnico
jorge.herrera@fta.pe

Andrés BRANDO

Ingeniero Civil
Freyssinet Tierra Armada Argentina
Gerente Técnico
a_brando@freyssinet.com.ar

Pablo VILCHEZ

Ingeniero Industrial
Freyssinet S.A.
Director Técnico
pablo_v@freyssinet-es.com

Ángel ROZAS

Ingeniero Industrial
Freyssinet S.A.
Ingeniero Departamento Técnico
angel_r@freyssinet-es.com

Javier OLIVO

Ingeniero Civil
Freyssinet Tierra Armada Argentina
Director General
j_olivo@freyssinet.com.ar

RESUMEN

La estructura de estudio es un centro comercial cuya cubierta (19500 m²) presentaba alta deformabilidad y escasa pendiente (1%), lo cual conllevaba riesgo de inestabilidad por acumulación de agua ("ponding" según terminología local). Adicionalmente, las vigas secundarias y principales sobre las que descansa presentaban deficiencias de resistencia. La propuesta de refuerzo no debía afectar el uso del local y las soluciones debían ser ligeras, prefabricables y de alta calidad; minorando el impacto visual y reduciendo plazos. La solución dispuesta redujo las deformaciones existentes (recuperando la capacidad de drenaje y controlando el encharcamiento) y suplió las deficiencias a cortante y flexión.

ABSTRACT

The object of this study is a shopping mall roof (19500 m²), which deformability issues and minimum pitch (1%) increased the risk of ponding (instability caused by rainfall accumulation). Additionally, the secondary and primary beams that supported the roof revealed certain structural resistance deficiencies. The strengthening solution could not interfere with the mall activity and should be lightweight, easy to prefabricate and of great quality; decreasing visual impact and reducing execution times. The proposed solution reduced the existing deflections (recovering drainage capability and controlling ponding) and achieved flexural and shear strengthening.

PALABRAS CLAVE: Refuerzo, hormigón, pretensado exterior, fibra de carbono, encharcamiento.

KEYWORDS: reinforcement, concrete, external post-tensioning, FRP carbon fiber, ponding.

1. Descripción de la problemática y el proyecto

La estructura de cubierta objeto de estudio pertenece a un centro comercial en la ciudad de Buenos Aires y ocupa un área de 19500 m². La estructura presentaba antecedentes de deformabilidad así como escasa pendiente (1%), por lo que era vulnerable a la aparición del fenómeno de inestabilidad por acumulación de agua (“ponding”), como se aprecia en la figura 1.



Figura 1. Vista exterior de la cubierta.

La estructura portante de la cubierta está compuesta por una chapa galvanizada (sobre la que se dispone un compuesto de aislamiento y membrana asfáltica) fijada a 816 vigas “T” secundarias de hormigón armado de 10 m de luz, apoyadas sobre 146 vigas principales “doble T” de hormigón pretensado de 15 m de luz. Las vigas principales transmiten la carga a la cimentación mediante columnas (pilares) de hormigón de sección cuadrada de 40 cm de lado (figuras 2 y 3).

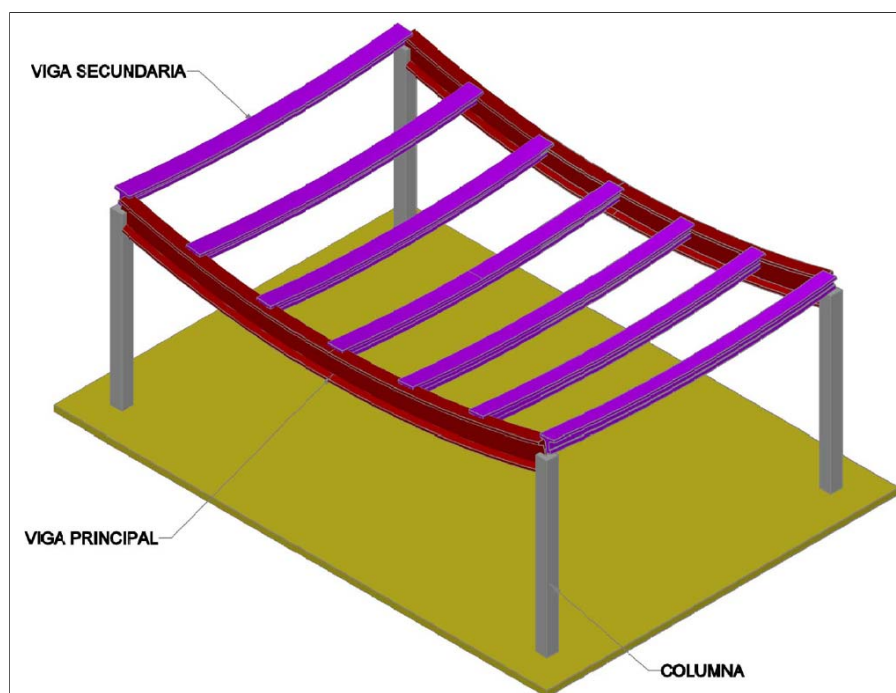


Figura 2. Esquema básico del sistema portante de la cubierta.

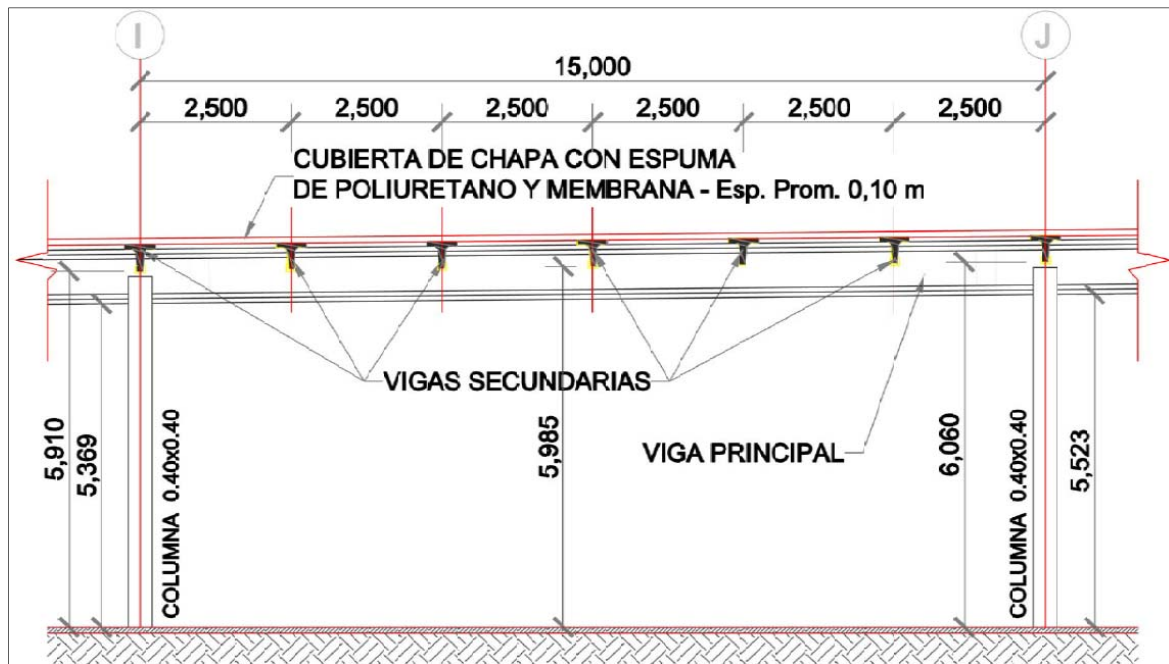


Figura 3. Sección tipo de la cubierta de estudio.

Los alcances del proyecto incluían el desarrollo y ejecución de un plan de inspección exhaustivo de la estructura en estudio que permitiese verificar y completar las inspecciones desarrolladas en fases de estudio anteriores. Esta inspección incluyó el desarrollo de los ensayos requeridos para establecer las propiedades de los materiales. Una vez concluida la fase de inspección, y tras la aprobación del proyecto, se procedía al desarrollo de la propuesta de refuerzo y su ejecución.

2. Antecedentes

En las fases preliminares de estudio se realizaron dos informes e inspecciones básicas sobre la estructura, de los que se extrajeron las siguientes conclusiones:

- Existencia de una deficiencia en la capacidad resistente de las vigas principales, tanto a cortante como a flexión.
- Existencia de una deficiencia en la capacidad resistente de las vigas secundarias a flexión.
- Identificación de un escenario de riesgo frente al fenómeno de embalsamiento de agua debido a la deformabilidad de la cubierta y la consecuente sobrecarga por acumulación de agua.
- Identificación de 2 tipos de vigas principales y 2 tipos de vigas secundarias, distinguidas en ambos casos por razón de capacidad, dado que algunas de ellas soportaban cargas especiales (equipos de aire acondicionado).

El hallazgo de estas deficiencias estableció la necesidad de un proyecto de refuerzo que incluyese una inspección detallada de la estructura.

3. Inspección

Como primera parte del proyecto se definió y ejecutó un plan de inspección detallado, el cual tenía como objetivo confirmar y completar las conclusiones de las inspecciones anteriores.

Producto de la inspección se establecieron las siguientes conclusiones:

- Se detectó el empleo de cascote de ladrillo como árido para la fabricación de vigas y columnas (ver figura 4). No obstante, la resistencia a la compresión conforme a ensayos se estableció en 35 MPa.



Figura 4. Inspección de vigas secundarias.

- Confirmación de las deficiencias en la capacidad resistente de las vigas principales a cortante y a flexión.
- Confirmación de la deficiencia en la capacidad resistente de las vigas secundarias a flexión.
- Confirmación de la existencia de flechas por encima del valor admisible según norma, como consecuencia de la sobrecarga creciente por acumulación de agua.
- Identificación de 2 tipos de vigas principales y 4 tipos de vigas secundarias, distinguidas por su geometría y capacidad de carga.

4. Estudio de Cubierta

Para precisar cómo afectan las flechas en vigas principales y secundarias al flujo del agua de lluvia sobre la cubierta se partió del estudio topográfico de la misma (ver figura 5).

Sobre las curvas de nivel de la cubierta se generaron perfiles longitudinales tanto en un eje de vigas principales (1-1) como en el centro de un vano de las vigas secundarias (2-2).

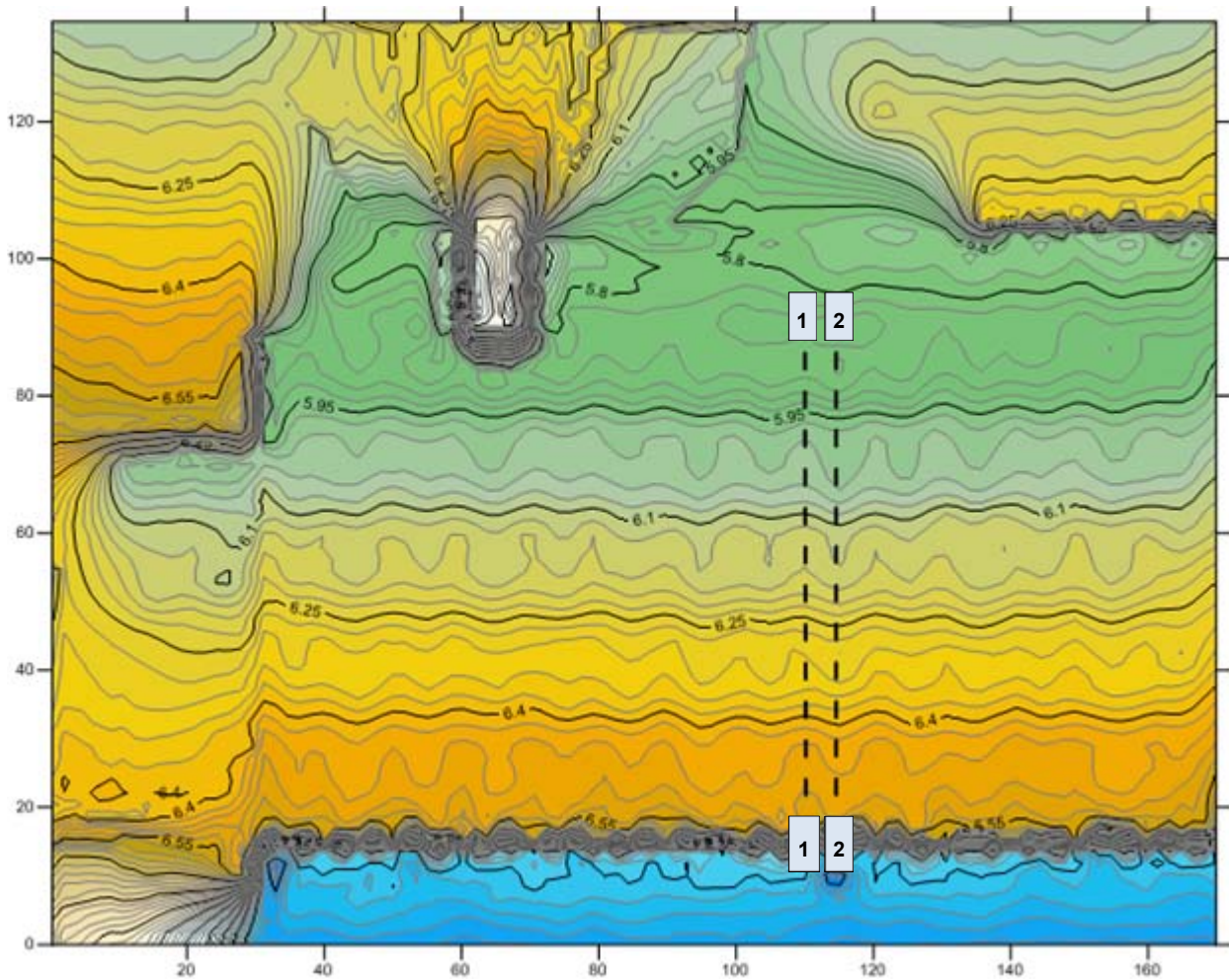


Figura 5. Curvas de nivel y ubicación de perfiles longitudinales en cubierta

En el perfil correspondiente a las vigas principales que se define en la figura 6, se observa cómo la pendiente de flujo del agua de lluvia está afectada por la flecha de las vigas principales, existiendo unos “picos” en la zona de apoyo en pilares. Adicionalmente en la zona final se produce una zona de encharcamiento.

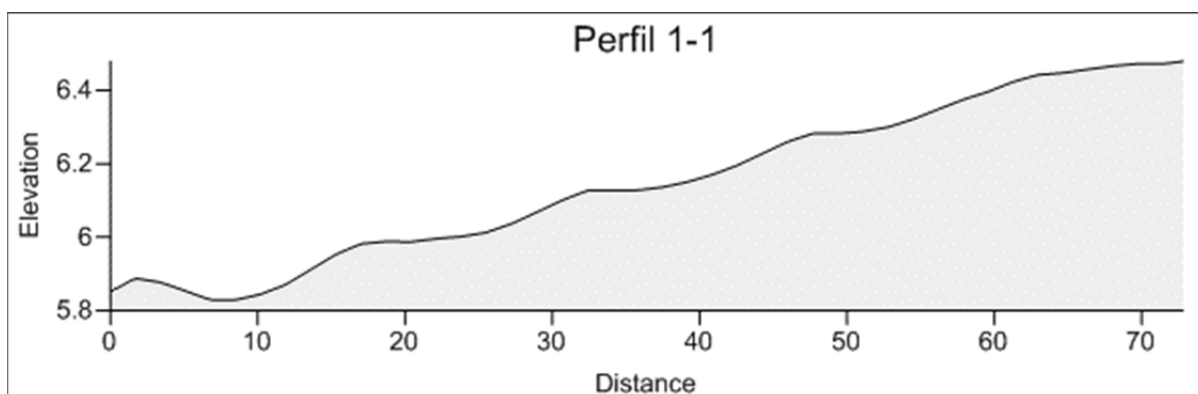


Figura 6. Perfil Longitudinal en eje de Vigas Principales

En el perfil correspondiente al centro de vano de las vigas secundarias que se muestra en la figura 7, se observa cómo la pendiente de flujo del agua de lluvia está relacionada directamente con la flecha de las vigas principales, y en todo caso el efecto que generan las flechas existentes en las vigas secundarias es el de “suavizar” la línea de pendiente (al no existir los picos en la zona de apoyo en pilares que sí existen en las vigas principales).

Al igual que en el perfil anterior, en la zona final se produce una zona de encharcamiento.

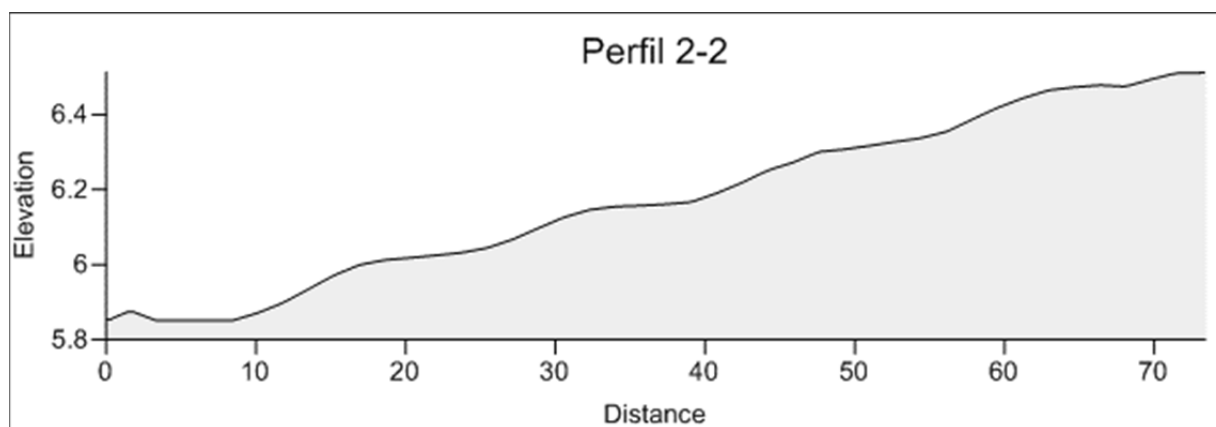


Figura 7. Perfil Longitudinal en centro de vano de Vigas Secundarias

Dado que el sistema de vigas en toda la cubierta es sensiblemente uniforme, los perfiles longitudinales presentados en las figuras anteriores pudieron considerarse, salvo excepciones, representativos del comportamiento de toda la cubierta.

Por tanto se concluyó que el fenómeno de acumulación de agua de lluvia está asociado principalmente al comportamiento y deformación de las vigas principales.

5. Condicionantes del Refuerzo

Una de las principales restricciones en la propuesta de refuerzo era la solicitud del cliente en cuanto a que la solución propuesta debía cumplir con las siguientes premisas:

- La ejecución del refuerzo no debía interferir con las instalaciones ni la actividad del local.
- Se debía realizar el refuerzo estructural trabajando solo en el interior del supermercado, sin interferencia o afección alguna al sistema actual de cobertura. Su objeto era:
 - No dejar las instalaciones del supermercado expuestas a la intemperie.
 - Trabajar al abrigo de la lluvia de modo que ésta no fuera causa de interrupciones.
- La fase elástica de las flechas debía recuperarse en valor necesario para garantizar la estabilidad de la cubierta en caso de lluvia.
- Los nuevos elementos de refuerzo no debían interferir con las instalaciones del supermercado.
- Los pesos de los elementos necesarios para los trabajos de refuerzo debía ser compatibles con las pequeñas grúas que podían operar dentro del supermercado.
- La metodología de trabajo debía ser simple y repetitiva, a fin de optimizar los ciclos de producción.
- Se debían elegir materiales y soluciones con un alto grado de calidad y de prefabricación, con objeto de reducir los plazos y minimizar problemas de calidad.
- Aplicación de la normativa vigente argentina y americana [1-4].

6. Propuesta de Refuerzo

Con los datos de partida se desarrolló la propuesta de refuerzo de los elementos estructurales complementada con el estudio de inestabilidad por lluvia.

Para las vigas secundarias, se determinó que las flechas no condicionaban la evacuación del agua de lluvia y presentaban valores dentro de norma. Para la merma en la resistencia a flexión se propuso la aplicación de un refuerzo pasivo con tejido de fibra de carbono.

Para las vigas principales, el requerimiento de control de flecha y las deficiencias a flexión y cortante condicionaron el refuerzo. Se propuso un refuerzo activo consistente en 4 cordones de pretensado exterior ($\varnothing 15.2$ mm) dispuestos en anclajes 1R15 en cada extremo de viga. Con esta solución se conseguía recuperar la flecha (controlando la acumulación de agua), corrigiendo a la vez las deficiencias de resistencia.

El estudio de la inestabilidad por acumulación de agua permitió comprobar que la estructura reforzada permitiría la correcta evacuación de la lluvia, y que admitiría los esfuerzos producidos por el valor máximo de cargas una vez estabilizadas las flechas progresivas.

7. Comprobación

Con los datos y resultados obtenidos de la inspección y ensayos, se efectuó la comprobación estructural de los elementos existentes para verificar que cumplían los requisitos establecidos por norma tanto de resistencia de diseño como de comportamiento bajo cargas de servicio.

7.1. Vigas Principales

Se identificó un total de 146 vigas principales (131 vigas del tipo 1 y 15 del tipo 2).

Los resultados obtenidos en las comprobaciones corroboraron las deficiencias a flexión y cortante detectadas en fase de anteproyecto. En cuanto a las flechas, los valores obtenidos promedio fueron de 32.7 mm, cercanos a los 41.5 mm considerados en fase de anteproyecto.

En base a esta información se validó y desarrolló la propuesta preliminar de refuerzo definida en anteproyecto y que consistía en la instalación de 4 tendones de pretensado exterior por viga, colocados mediante el sistema de refuerzo 1R15 de Freyssinet (ver figura 8).

Este refuerzo subsana las deficiencias a flexión y cortante y, en cuanto al control de flechas, el pretensado exterior recupera parcialmente la flecha existente, y refuerza y equilibra el comportamiento de la viga frente a la inestabilidad causada por la acumulación o encharcamiento de agua, como pudo concluirse del estudio del drenaje del agua de lluvia.

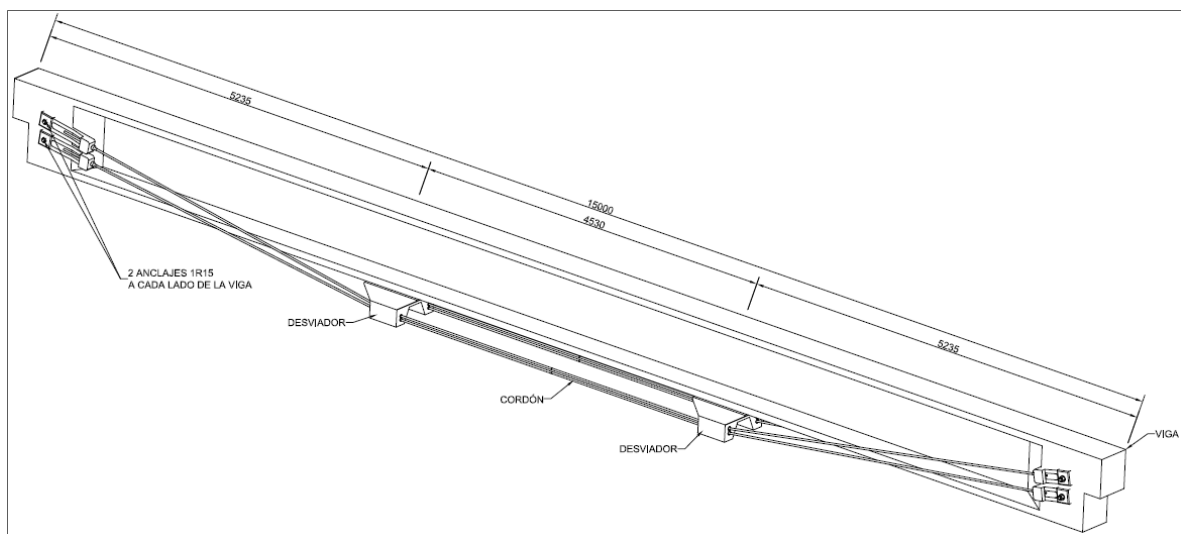


Figura 8. Refuerzo de viga principal.

7.2. Vigas Secundarias

Se identificó un total de 816 vigas secundarias (648 vigas del tipo 1, 108 del tipo 2, 54 del tipo 3 y 6 del tipo 4). La diferenciación radicaba en geometría y/o armado y/o composición del material (árido del hormigón).

Además, las vigas de los tipos 2 y 4 soportaban “cargas especiales”, como era el caso del peso de los equipos de aire acondicionado.

En general para todos los tipos de vigas secundarias los resultados obtenidos corroboraron la deficiencia a flexión frente a las sobrecargas de norma (cargas vivas), descartando la necesidad de un refuerzo frente al cortante y al corte por fricción al haberse encontrado en catas armaduras dispuestas a dicho fin, que no habían sido localizadas en inspecciones previas.

En este caso las flechas promedio obtenidas en el estudio para estas vigas secundarias fueron de solo 18 mm, muy inferiores a los 52 mm considerados en anteproyecto para la definición del refuerzo.

De acuerdo con la inspección efectuada, valores de flecha superiores a 40mm se corresponden con casos puntuales de vigas secundarias sometidas a cargas excepcionales (principalmente equipos de aire acondicionado).

Teniendo en cuenta esta información y los resultados del estudio de inestabilidad por acumulación de agua de lluvia o encharcamiento, se concluyó que tras la actuación sobre las vigas principales, la deformabilidad de las vigas secundarias era irrelevante en lo que al flujo de agua de lluvia se refiere, y por tanto no requerían de ninguna actuación.

La inmensa mayoría de las vigas secundarias, sometidas a cargas estándar de diseño y que presentaban flechas reducidas o moderadas, fueron objeto de un refuerzo tipo cuyo objetivo era subsanar la deficiencia a flexión sin incrementar el peso sobre las vigas, y cuya ejecución afectase mínimamente a la actividad del supermercado.

La solución consistió en la aplicación de un refuerzo a flexión positiva de TFC (Tejido de Fibra de Carbono) formado por láminas FOREVA TFC 300 mm, en cuantía variable dependiendo de la merma en capacidad resistente a flexión presente en cada caso, y calculada conforme a la normativa de aplicación [4] y a la especificación del producto [5] (ver figura 9).



Figura 9. Refuerzo tipo de viga secundaria con TFC.

El resto de los casos, que suponían el 2% del total, correspondía a vigas sometidas a sobrecargas excepcionales (principalmente equipos de aire acondicionado u otros) y que por tanto presentan

flechas significativas. En estos casos se prescribió la misma solución con TFC, combinada con un refuerzo activo adicional.

8. Estudio de Inestabilidad por Acumulación de Agua

Tal como prescribe la normativa CIRSOC [1, 2] para cubiertas con pendientes menores a 3%, fue necesario estudiar el fenómeno de inestabilidad por acumulación de agua encharcada.

Se basa en la flecha progresiva causada por la acumulación de agua de lluvia sobre la cubierta, por lo que considera la sobrecarga adicional creciente causada por aquélla.

Se desarrolló un modelo de cálculo compuesto por 9 paños completos de 10 m x 15 m, suficientemente extenso como para poder verificar el comportamiento de la cubierta ante este fenómeno de embalsamiento de aguas de lluvia comparando varias amplitudes (ver figura 10).

Se trata de un modelo de cálculo evolutivo o por etapas de carga creciente, que parte de un estado que considera, además de las cargas permanentes, una sobrecarga inicial correspondiente a una lámina de agua constante de 5 cm. Así, se estableció la flecha de partida para el estudio.

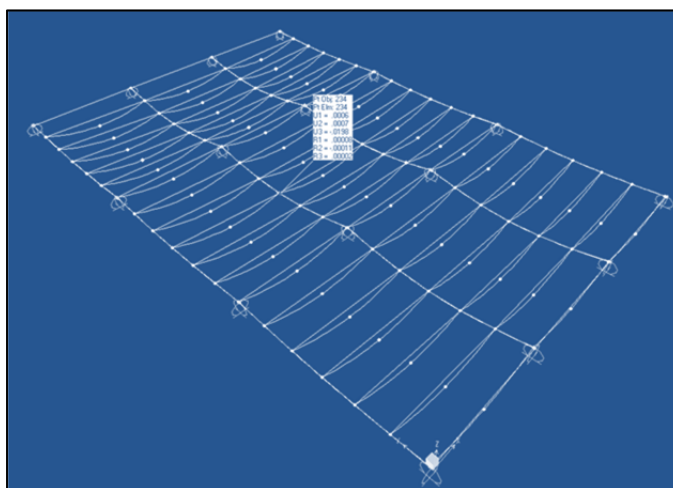


Figura 10. Modelo de cálculo para estudio de inestabilidad por acumulación de agua.

A partir de esta situación inicial, toda sobrecarga de agua que afecte a la cubierta se traducía en la flecha relativa que surgía respecto de la máxima experimentada por las vigas principales. La sobrecarga de agua se obtiene en función del volumen de agua acumulada que supone la diferencia de flechas entre las vigas principales y secundarias hasta que se produzca la estabilización total.

En la Tabla 1 se puede observar el desarrollo de la iteración hasta estabilización de la flecha que es función de la sobrecarga que supone el incremento de la lámina de agua en cada etapa.

Etapa	ΔF (kN/m ²)	δ_{total} (mm)	δ_{relat} (mm)
0	0.490	55.4	24.6
1	0.232	64.1	28.0
2	0.032	65.4	28.6
3	0.006	65.6	28.7
4	0.001	65.6	28.7
5	0.001	65.6	28.7

Tabla 1. Resultados del análisis de carga.

Donde:

ΔF = Incremento parcial en sobrecarga uniforme por acumulación de agua.

δ_{total} = Flecha total en centro de viga secundaria respecto a posición sin deformación.

δ_{relat} = Flecha relativa en centro de viga secundaria respecto a apoyos.

Se observa que la última etapa no supone un incremento respecto de la etapa anterior, por lo que se considera estabilizada la flecha.

Se muestra también a continuación (ver figura 11) la deformada obtenida tras la Etapa 5 para 3 módulos tipo. La línea de referencia se corresponde al perfil de la cubierta sin deformación alguna.

A la vista de los resultados se confirma que, tras la estabilización de flechas, el perfil de cubierta resultante garantizaba el flujo descendente de la lámina de agua sin encharcamientos, pues como puede comprobarse, la geometría deformada final siempre presenta pendiente negativa, o lo que es lo mismo, la deformada de cualquier vano no tiene ningún punto por debajo del más bajo de sus extremos.

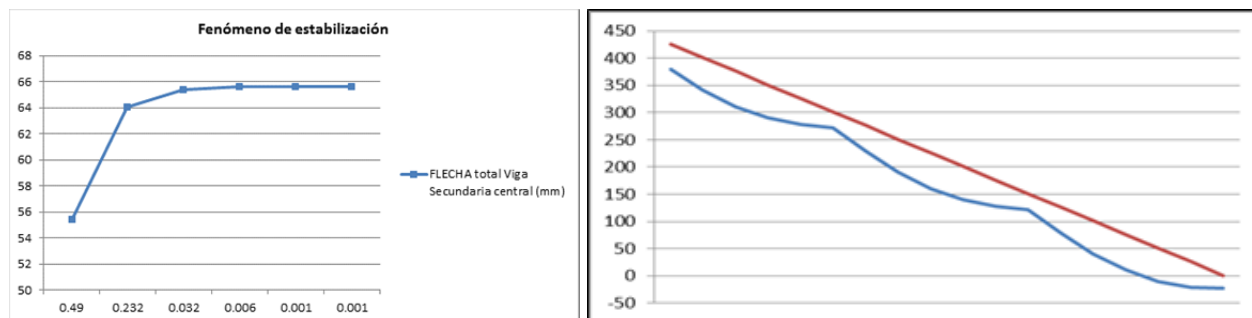


Figura 11. Gráfica de estabilización y perfiles de cubierta.

Agradecimientos

A Carrefour San Isidro, por la confianza depositada en Freyssinet para la ejecución de la obra.

A BG Ingenieros, en particular a los Ing. Jorge Bonifazi y Ing. Gustavo Göldy por su colaboración y seguimiento.

Referencias

- [1] CIRSOC 101, Reglamento Argentino de Cargas Permanentes y Sobrecargas Mínimas de Diseño para Edificios, 2005.
- [2] CIRSOC 201, Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, 2005.
- [3] ACI 318 – 14, Building Code Requirements for Structural Concrete, 2014.
- [4] ACI 440.2R-08, Guide for Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems, 2008.
- [5] FOREVA TFC, Avis Technique 3-07-540 de Freyssinet, 2012.