# EDIFICIO ACUEDUCTO EN MEXICO: SISTEMA BI-DIRECCIONAL SEMI-PREFABRICADO DE PRELOSAS PRETENSADAS



**Colaboración:** Luis Bozzo Estructuras y Proyectos S.L.
www.luisbozzo.com

Palabras Clave: prefabricados, semi-prefabricados, prefabricado sismorresistente, prelosas, prelosas bi-direccionales.

## 1. Introduccion

Se presenta un edificio de gran altura en construcción en la ciudad de Guadalajara en México empleando un innovador sistema de losa plana aligerada apoyada en vigas de cuelgue convencionales. El sistema es bi-direccional, semi-prefabricado y pretensado, desarrollado en Europa por el Dr. Ing. Luis M. Bozzo a partir del año 2010. Se basa en el empleo de prelosas pretensadas completadas “in situ” con un sistema reticular o encasetonado (el cual no se ve dado que está oculto por las prelosas). Por debajo se tiene, por tanto, un sistema plano con alta resistencia al fuego. En este sentido, es interesante recordar que dados los altos recubrimientos exigidos a los sistemas encasetonados o “losa waffle” por fuego este sistema ha venido claramente a menos en Europa donde se continúa empleando básicamente por la inercia de muchos años y por la crisis actual que obliga a una optimización de los sistemas constructivos.

El sistema propuesto reparte las cargas en ambas direcciones lo cual permite empleo de vigas de cantos reducidos (típicamente 70-80-90 cm para luces de 10 m x 10 m) lo cual es doblemente ventajoso en construcciones sismorresistentes. En zonas de alta sismicidad es obligatorio el empleo de vigas peraltadas en ambas direcciones lo que da lugar, al usar sistemas de losa unidireccionales, tales como los populares aligerados en el Perú a tener “pórticos principales” y “pórticos secundarios”. En el caso de un sismo severo muchos de estos pórticos secundarios son dañados, según muestra la experiencia. En el sistema propuesto, al ser bi-direccional, desaparece esta ficticia división entre pórticos, lo cual permite que todas las vigas tengan en conjunto un menor peralte o que se puedan separar más las columnas. En este sentido, el separar más las columnas, hasta luces de 8 m a 12 m por ejemplo, se repercute en un menor número de elementos y menor costo global, adicional a la calidad visual de no disponer de columnas intermedias.

El sistema de piso es donde se realiza la innovación principal planteándose prelosas con nervios en ambas direcciones con una separación entre ellos de 120 cm, lo cual baja considerablemente su peso propio en comparación a una losa postensada similar. Se puede entender que el sistema propuesto es una continuación natural al sistema reconocido por el ACI Americano [1] aunque en lugar de aplicarse en obra civil lo desarrollamos para edificios en altura en zonas sísmicas.

El proyecto que se describe en este artículo se denomina “Proyecto Acueducto” y es un edificio corporativo de oficinas que consta de 18 niveles desde la cimentación. El área de construcción es de 44,000 m² empleándose el sistema bi-direccional de prelosas en casi la totalidad del proyecto. Las luces en las plantas superiores de oficinas son de 9 m x 10 m con un peralte de la losa aligerada de 30 cm y vigas de 90 cm con lo cual el cuelgue es de 60 cm en ambas direcciones. El peralte de las vigas pudo ser menor pero dado que no había restricción significativa del mismo se consideró un valor alto para disminuir los refuerzos corrugados. A continuación se muestran imágenes del edificio:





## 2. Descripcion del proyecto y del sistema de piso

Existen muchas variables de forjados “in situ” uni-direccionales tales como los aligerados, los pretensados y los mixtos que se emplean en la industria de la construcción. Con trabajo bi-direccional en la actualidad y siempre en el contexto de forjados “in situ” se emplean básicamente tres sistemas estructurales para techos de concreto: losas macizas, losas postensadas y losas “waffle” o “reticulares”, además de dos sistemas formados por una malla espacial de barras corrugadas o de perfiles soldados y una o dos losas delgadas de hormigón [2] denominados en Perú como “Tridilosas”. En el contexto de los forjados prefabricados la situación es similar en relación a los forjados uni-direccionales, pero muy distinta en relación a los bi-direccionales. Dada la limitación de las piezas a transportar no existen, prácticamente, en la industria de la construcción forjados bi-direccionales prefabricados. Los elementos prefabricados, sean placas alveolares, o la gran variedad de jácenas disponibles (Pi, Delta, entre muchas otras), son elementos de trabajo unidireccional contando como máximo con una capa de compresión que une los diversos elementos y que solo permite cierta bi-direccionalidad. Dada esta necesidad se ha desarrollado el sistema descrito en este artículo que, aún siendo semi-prefabricado, permite trabajo bi-direccional manteniendo las ventajas de la prefabricación: alta calidad final del elemento, concreto y acero de alta resistencia fabricado en condiciones de alto control industrial, rapidez de ejecución, eliminación de encofrado, menor peralte, entre otras.

## Descripción del proyecto

Tal como se ha indicado este proyecto consta de 44,000 m²en 18 niveles desde la cimentación con luces tipo de 9 m x 10 m para uso de parqueo y de oficinas. Los muros de los cinco sótanos se ejecutaron con el sistema de construcción de “ascendente-descendente” mediante damas ancladas de espesores variables entre 20 cm en el primer sótano y 30 cm en el quinto. Un alto porcentaje del volumen de concreto en un proyecto va destinado a muros por lo que es siempre muy ventajoso optimizar su espesor para reducir el volumen global de concreto. La imagen siguiente muestra la “huella” de proyecto y la ejecución de los muros:

La cimentación se ejecuta también con un sistema innovador de contratrabes invertidas con un ligero postensado que permite redistribuir mejor la carga concentrada del edificio. El peralte total de la contratrabe en forma de T invertida es de 1,4 m con ancho del ala en contacto con el terreno 3 m y espesor del ala de 0,6 m y del alma de 0,7 m.

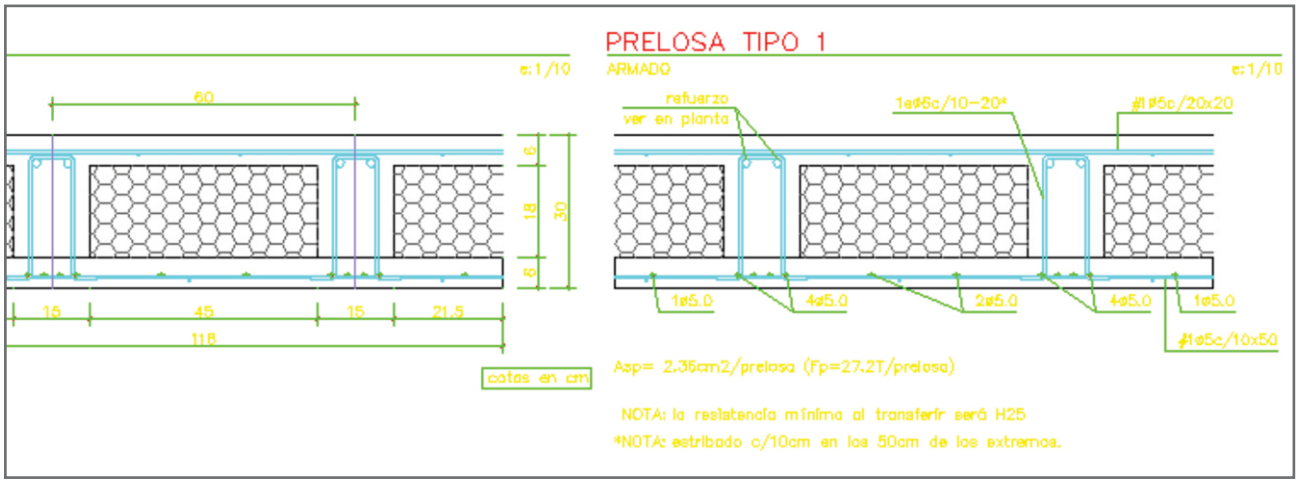
El sistema de columnas y vigas es convencional y correspondientes a los pórticos de ductilidad intermedia recomendados por el ACI. Las vigas son de 90 cm con un cuelgue de 60 cm en ambas direcciones.

Las cargas en las zonas de oficina son:
- Peso propio sistema de piso 420 kg/m²
- Cargas permanentes de 200 kg/m²
- Cargas de uso de 250 kg/m²

## Sistema bi-direccional:

Las prelosas son de 6 cm de espesor con nervios, en este caso, dispuestos cada 60 cm y de 15 cm de espesor. La capa de compresión también es de 6 cm con nervios “in situ” en la dirección perpendicular de 20 cm de espesor y cada 1,2 m. El peralte total es de 30 cm, por lo que se dispone de un aligeramiento interior mediante porex de 18 cm x 45 cm x 100 cm. El pretensado en las prelosas es mediante alambres de 5 mm con cuantías típicas de 12 alambres por placa (ver prelosa tipo 1). Este refuerzo equivale a solo 1,54 kg/m²de pretensado.






Las prelosas se fabrican industrialmente en la planta de la empresa Anteus (ver imagen a continuación) y se transportan a la obra debidamente numeradas. Previa a su colocación en obra se apuntala cada 1 m (es decir apuntalamiento fuerte) y se disponen niveladas para evitar su fisuración por un potencial apoyo esviado. Una vez que se arma la capa de compresión se vierte el concreto "in situ" y cuando se alcance una resistencia típicamente de solo el 70%, de la de proyecto, se retiran los puntales. Este proceso se realiza en sólo una semana por planta, dejando un acabado liso por debajo de las prelosas.

## 3. Conclusiones

• Se presenta un sistema de semi-prefabricación de losas con el cual se construye actualmente un proyecto de 44,000 m² en México.

• El sistema es bi-direccional, lo cual tiene significativas ventajas sismo-resistentes en cuanto al reparto de cargas en todos los pórticos del edificio, eliminando los "pórticos principales" y los "pórticos secundarios" dado que en este sistema todos trabajan de forma similar.

• Al ser semi-prefabricado se permite incorporar detalles dúctiles necesarios en zonas de alta sismicidad tales como eliminar fallo por razante, conectores en los apoyos, entre otros.

• El peso propio es de solo 420 kg/m²muy inferior al de una losa maciza equivalente, que sería de 720 kg/m², pudiendo variar este valor en función de la disposición de los nervios dispuesta. Actualmente, la tendencia es a separar más los nervios de las prelosas hasta 1,2 m (es decir un nervio por placa) con nervios transversales cada 2,4 m, lo cual permite una reducción aún mayor de peso propio hasta solo 380 kg/m² con un peralte de 30 cm.

• Para las losas las cuantías globales de pretensado son de sólo 1,6 kg/m² y para el refuerzo corrugado de solo 6 kg/m² con luces de 9 m x 10 m.

• El peralte tipo para esta losa sería de sólo L/30 considerablemente inferior al de una losa maciza convencional que sería de L/22.

## Referencias

[1] BOZZO LUIS, A Prestressed partically precast system. Concrete International 2008. pp 43-46.

[2] BOZZO MIGUEL y BOZZO LUIS, Losas Reticulares Mixtas. Proyecto, Análisis y dimensionamiento. Barcelona: Editorial Reverte 2003. 219 p.