

ADECUACION DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PREFABRICADOS EN BOLIVIA

Juan José Villarroel Salinas¹

Resumen

El uso de nuevas tecnologías y métodos de construcción en Bolivia generalmente es descartado, optando siempre por utilizar métodos tradicionales que implican mayor tiempo de ejecución de las obras y no optimizan los materiales, esto ocasiona pérdidas injustificadas de dinero.

La tecnología adoptada es la del hormigón prefabricado pretensado, el sistema que se propone se ha estudiado de acuerdo a las condiciones y materiales del medio, los elementos que componen el sistema tienen una ingeniería similar entre ellos, la única variación son los tipos de secciones que son más efectivos en cuanto a resistencia y costo. El sistema estructural de soporte propuesto es un esqueleto, que se basa en tener piezas largas de pequeña sección transversal que deben estar convenientemente armadas, sobre estos se conforma un entrepiso de secciones prefabricadas pretensadas y, según la forma de las piezas se determina el tipo de unión a ser utilizado.

Palabras-clave: prefabricado; pretensado; sistema estructural.

¹ Licenciado en Ingeniería Civil por la Universidad Privada Boliviana y Profesor de la Carrera de Ing. Civil de la Universidad Privada Boliviana, juanjvs@gmail.com

1 INTRODUCCION

La tecnología del hormigón pretensado ya es muy conocida en nuestro medio, pero no es correctamente utilizada por el desconocimiento técnico y la falta de investigación sobre este.

El sistema más efectivo para las condiciones de nuestro medio, son los entrepisos de elementos prefabricados pretensados, el más conocido es el sistema con viguetas pretensadas, la comercialización de este producto es efectiva en edificaciones de bajas alturas pero cuando se supera el tercer nivel de losa, el transporte de la vigueta hasta el lugar donde conformara el entrepiso puede llegar a ser más costoso que la losa tradicional vaciada in situ, por tanto, las viguetas dejan de ser efectivas y es por eso que la utilización de grúas es indispensable para este tipo de sistemas.

La ingeniería de los proyectos debe plantear soluciones menos costosas para justificar el alquiler o adquisición de una grúa. Para este caso se plantea secciones más livianas y efectivas que permitan llegar a optimizar los materiales y bajar el costo global de los entrepisos. La única desventaja de estos sistemas son las uniones entre elementos, estas deben estar correctamente diseñadas para resistir todas las solicitaciones de la estructura.

2 METODOLOGIA

Para el diseño de las vigas de entrepiso pretensadas, se adoptó los criterios de la norma ACI y se utilizó el Hand Book de la PCI, (Instituto encargado de regular y certificar los Prefabricados Pretensados de Hormigón en los Estados Unidos). El cálculo manual fue detallado y se sistematizó con un programa para diseñar y calcular elementos estructurales pretensados, también fue llevado a una planilla de Excel para el caso en que se necesitaran diseñar plantas con diferentes luces, en el cual un modelo sería de gran ayuda.

Se utilizo el programa Concise Beam, Copyright 2002-2005 Black Mint Software, Inc., está basado en las formulas de la ingeniería normales y en los procedimientos del CPCI Design Manual 3ª edición, PCI Design Handbook 5ª edición, y NPCAA Precast Concrete Handbook 1ª edición. Muchas de las técnicas y ejemplos ilustrados en estas publicaciones se simplifican para que el cálculo manual se realice solo para las secciones críticas. Este programa se aprovecha del poder de la computadora para realizar los cálculos en muchas secciones a lo largo de la viga, también usa algunas técnicas que son más sofisticadas o involucran un grado mayor de iteración. El programa tiene en su biblioteca varios códigos pero se pueden personalizar criterios propios.

3 DESENVOLVIMIENTO

Después de analizar las diferentes opciones, se elije el sistema TT-L de secciones pretensadas para realizar la comparación de costos, este sistema consta de vigas de entrepiso de sección doble te “TT”, que se apoyan en una viga maestra de sección “L”, a su vez la “L”, se apoya sobre ménsulas cortas de hormigón armado que sobresalen de las columnas vaciadas

en obra. La sección “TT”, puede ser reemplazada por cualquier tipo de sección de acuerdo a las sobrecargas y luces requeridas de un proyecto, es decir, que la sección del entrepiso puede ser modificada obteniendo una menor cantidad de material para su fabricación. Posteriormente se vacía la carpeta de compresión sobre el entrepiso.

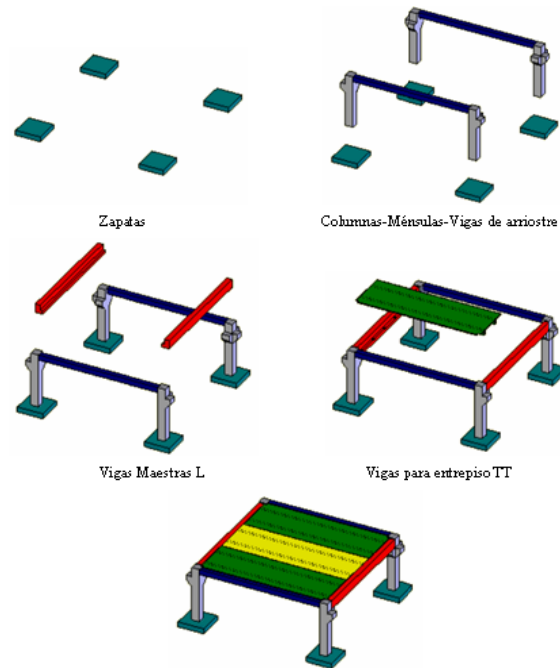


Fig.1- Sistema propuesto.

a. Dimensiones y materiales de la viga pretensada TT

La Fig. 2 ilustra las dimensiones de la sección escogidas para la edificación tipo analizada.

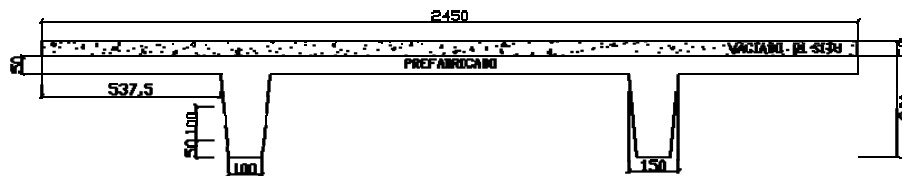


Fig. 2- Dimensiones en mm de la viga pretensada TT

Para los elementos prefabricados pretensados la resistencia característica del hormigón a los 28 días f_c es de 35 N/mm^2 , y para los cordones o torones se utiliza los de siete alambres de baja relajación producidos por ACINDAR, que cumplen con las normas IRAM-IAS U 500-03, ASTM A 416, tal como lo especifica el código ACI 318-02.

b. Cargas

- Sobrecarga de uso, adoptada de la ASCE 7-02, de:
 - 1,92 kN/m² para vivienda.
 - 2,4 kN/m² para oficinas.
 - 3,83 kN/m² para zonas comunes o pasillos.
- Cargas muertas sobrepuestas de:
 - 1,0 kN/m² para muros con ladrillo hueco.
 - 0,8 kN/m² del contrapiso, esta carga puede ser descartada por que encima de la sección TT se vaciará una losa de 50 mm.
 - 0,4 kN/m² de revestimiento.
 - 0,1 kN/m² de cielo falso.
 - 5,0 kN/m² para escaleras.

La suma aproximada de la sobrecarga y cargas muertas sobrepuestas para un caso es de 4,0 kN/m².

c. Diseño y verificación de la viga pretensada TT

Se determino las dimensiones y cantidad de cables de pretensado que requiere para soportar la sobrecarga y las cargas muertas sobrepuestas.

Una vez realizada la determinación de las cargas, y habiendo introducido los datos al programa se realiza las verificaciones correspondientes de la siguiente manera.

En las condiciones más generales, la viga es analizada dividiendo su longitud en divisiones igualmente espaciadas. El programa agrega las divisiones automáticamente a los puntos específicos, como los puntos de aplicación de carga, los cambios en la geometría de la viga en los apoyos y a medio tramo. El número de divisiones puede especificarse por el usuario entre 100 y 200. El programa usa 200 divisiones por defecto. Los cálculos para el cortante, momento, tensión y deflexión se realizan en cada uno de los puntos. El agrietamiento se verifica en los puntos de tensión máxima. Las verificaciones mas importantes se ilustran en las siguientes figuras.

$$\phi * Mn \geq Mu$$

$$158,11 \geq 134,82 \text{ kN*m CUMPLE}$$

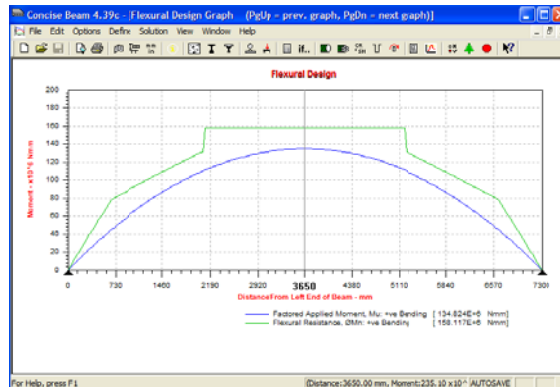


Fig. 3 - Diseño a flexión de la viga TT-Concise Beam

Para la verificación del momento de agrietamiento se debe revisar los reportes, para este caso el valor calculado por el programa en “ $l / 2$ ” es de 122,132 kN/m, entonces:

$$\phi * Mn \geq 1,2 * Mcr$$

$$158,11 \geq 122,132 \text{ kN*m CUMPLE}$$

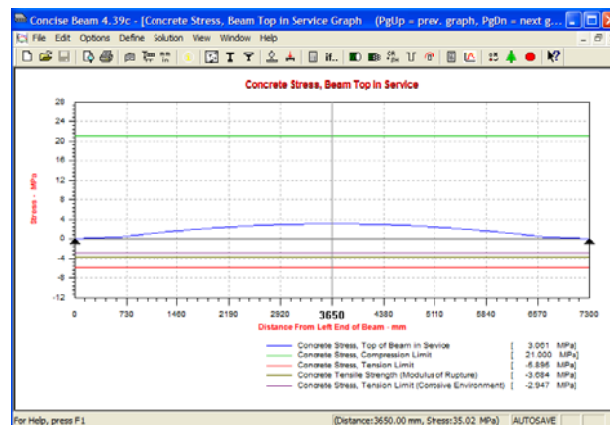


Fig. 4 - Esfuerzo en etapa de servicio-sección no compuesta-fibra superior de la viga TT-Concise Beam

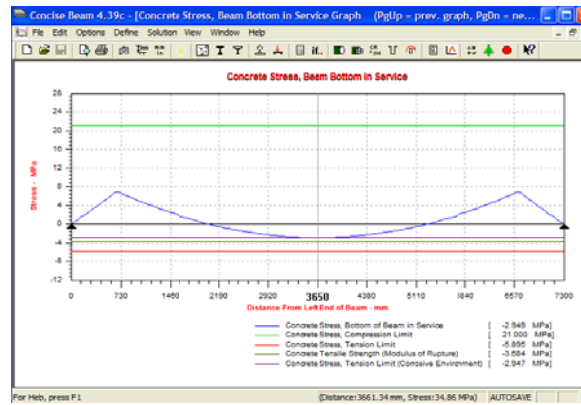


Fig. 5 - Esfuerzo en etapa de servicio-sección no compuesta-fibra inferior de la viga TT-Concise Beam

El esfuerzo en la fibra inferior de la sección no compuesta, es decir sin tomar en cuenta la losa vaciada in situ de 50 mm, en la etapa de servicio, está dentro de los límites permitidos por la norma, por tanto, la sección verifica.

Para esta etapa el valor más importante a verificar es el esfuerzo en la fibra inferior en etapa de servicio por que se partió de ese criterio para determinar la sobrecarga máxima que soporta la viga, en este caso el valor es igual a $-2,949 \text{ N/mm}^2$ y el esfuerzo admisible que se adoptó es de $-2,947 \text{ N/mm}^2$ que es el valor límite proporcionado por la norma, por tanto, como los valores son iguales con una pequeña discrepancia, se puede concluir que los resultados son correctos.

Para terminar con la verificación de esfuerzos se ilustra el esfuerzo en la fibra superior con la losa de 50 mm vaciada en obra que forma la sección compuesta.

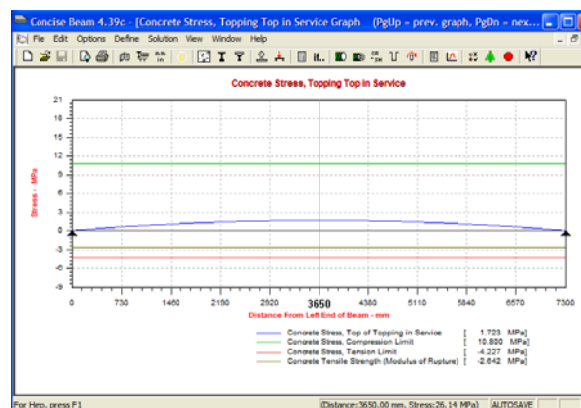


Fig. 6 - Esfuerzo en etapa de servicio-sección compuesta-fibra superior de la viga TT-Concise Beam

El esfuerzo en la fibra superior de la sección compuesta, es decir tomando en cuenta la losa vaciada in situ de 50 mm, en la etapa de servicio, está dentro de los límites permitidos por la norma, por tanto, la sección verifica.

La verificación de las deflexiones se realiza en cada etapa de vida del elemento, para este caso se utiliza la inercia total y no la de la sección agrietada por que el esfuerzo de tracción en la fibra inferior es menor al módulo de ruptura. Las deflexiones son:

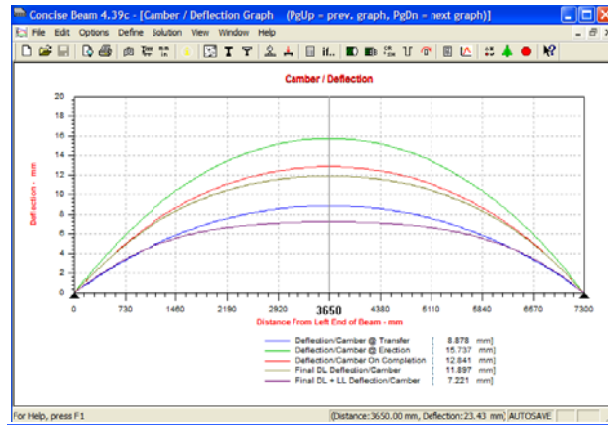


Fig. 7- Deflexiones y curvatura de la viga TT-Concise Beam

La deflexión es menor a la permitida, la sección verifica.

Por último, se grafica el diagrama de cortante y se verifica los criterios de la norma:

$$\phi * V_n \geq V_u$$

$$112106 > 70182,3 \text{ N CUMPLE}$$

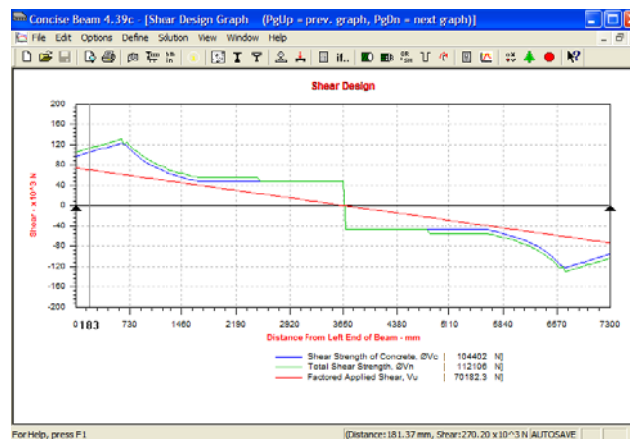


Fig. 8 - Diseño a cortante de la viga TT-Concise Beam

4 RESULTADOS OBTENIDOS O ESPERADOS

La verificación realizada muestra que todos los resultados han sido correctamente calculados por el programa al compararlos con una planilla de Excel.

En cuanto al sistema, permite alivianar muchísimo el peso de la estructura, ocasionando que las cargas que se transmiten a las columnas y zapatas sean menores que con hormigón armado vaciado in situ.

Las cargas que pueden soportar este tipo de entrepisos y, las luces que se pueden alcanzar con las secciones, son casi ilimitadas para cualquier tipo de estructura ya sea de edificación, puentes, pasos a desnivel u otras con distintas características. El uso de la viga TT aliviana las estructuras por su sección particular, lo cual, provoca una reducción del material. La viga L resulta ser un poco pesada pero esto es debido a que el sistema trabaja en 1 dirección y distribuye la carga de esa manera, además, como la carga actúa sobre el pie o diente tiende a provocar un momento torsor que podría significar bastante armadura, por tanto, las grandes dimensiones adoptadas para esta sección se justifican.

5 CONCLUSIONES

Para las condiciones analizadas que son las más comunes de adoptar en nuestro medio, la reducción del costo en comparación a la estructura con losa encasetonada en dos direcciones para oficinas es de aproximadamente 3% más económica, en cuanto al tiempo de ejecución de la obra gruesa en general, se puede concluir la obra 30% más rápido.

En la actualidad, en Bolivia se puede observar un incremento considerable de nuevas edificaciones que por su particularidad soportan las mismas cargas y los ambientes se encuentran estandarizados, por este motivo ya existen empresas con la capacidad de adquirir grúas para la utilización de prefabricados, lo cual, conduciría a dichas empresas a obtener una mayor utilidad que la estimada para una sola edificación.

El adecuar, sistematizar mediante programas y estandarizar las secciones utilizadas conduce a una gran reducción de materiales ya sea para los elementos estructurales como para los mecanismos que se utilizan en la unión de estos. La elección de realizar una estructura tipo con secciones modulares simplificó mucho el trabajo y condujo a mejores resultados.

El utilizar y adecuar sistemas utilizados en otros países como el propuesto, provoca un desarrollo en la construcción debido a la necesidad de estudiar y ensayar las estructuras en nuestro país, además conduce a realizar nuevos estudios con resultados novedosos.

6 REFERENCIAS

EUGENE P. HOLLAND, LAURENCE E. SVAB. (1975). **Design Considerations for a Precast, Prestressed Apartment Building**, Publicaciones PCI (Precast/Prestressed Concrete Institute), Chicago, Estados Unidos 1975.

JIMÉNEZ, M. P., GARCÍA, M. A., MORÁN, C. F. (2000). **Hormigón Armado**, 14ª Edición, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, España.

NILSON, A. H. (1982). **Diseño de Estructuras de Concreto Pretensado**, Editorial Limusa, México.

PRECAST AND PRESTRESSED CONCRETE. (1992). **PCI DESIGN HANDBOOK**, Publicaciones PCI (Precast/Prestressed Concrete Institute), 4ª Edición, Chicago, Estados Unidos.

PRECAST CONCRETE INSTITUTE. (1988). **DESIGN AND TYPICAL DETAILS OF CONNECTIONS FOR PRECAST AND PRESTRESSED CONCRETE**, Publicaciones PCI (Precast/Prestressed Concrete Institute), 2ª Edición, Chicago, Estados Unidos.

PRECAST CONCRETE INSTITUTE. (2005). **PCI JOURNAL**, Publicaciones PCI (Precast/Prestressed Concrete Institute), noviembre/diciembre 2005, Chicago, Estados Unidos.

PRECAST CONCRETE INSTITUTE. (2006). **PCI JOURNAL**, Publicaciones PCI (Precast/Prestressed Concrete Institute), enero/febrero 2006, Chicago, Estados Unidos.

PRECAST CONCRETE INSTITUTE. (2006). **PCI JOURNAL**, Publicaciones PCI (Precast/Prestressed Concrete Institute), mayo/junio 2006, Chicago, Estados Unidos.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Buildings Code Requirements for Structural Concrete – (ACI 318-02)**, Farmington Hills, Estados Unidos 2002.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures– (ASCE 7-02)**, Virginia, Estados Unidos 2002.