

# Muros estructurales prefabricados Tilt-Up para naves industriales (Parte I)

**Raúl Jean Perrilliat  
y Carlos Humberto  
Huerta Carpizo**

**A**unque en México no existen especificaciones ni códigos para el análisis y diseño de muros prefabricados de carga tipo Tilt-Up, en la actualidad se construyen muchas naves industriales con este tipo de sistema. En este escrito se describe el sistema, sus orígenes, así como las diferencias, ventajas y desventajas con respecto a los sistemas tradicionales. En la segunda parte del documento se definirá de manera general el proceso para la construcción e izaje de los muros Tilt-Up.

Dada la gran popularidad que el sistema de muros Tilt-Up está adquiriendo como sistema constructivo de naves industriales en México y debido a la ausencia de normas locales para su diseño, se presentan algunas inquietudes sobre la conveniencia de su aplicación, las cuales se deben principalmente a que este sistema al ser desarrollado en los Estados Unidos emplea una serie de técnicas y especificaciones particulares de diseño y construcción y en algunos casos existe la posibilidad de que no sean congruentes con las demandas de carga y efectos locales como sismicidad, tipos de suelo y empujes debido al viento de nuestro país. Lo que daría como resultado diseños que podrían ser demasiado conservadores o inadecuados para las demandas a las que estaría sometida la estructura.

La principal característica de estos muros es su alta relación de esbeltez debida a que su altura, por lo regular entre 9 y 12 metros y su espesor entre 12 y 22 cm dependiendo de las solicitaciones (relación altura/ancho entre 40 y 60), por lo cual es necesario considerar efectos de segundo orden en el diseño. A su vez, existe incertidumbre tanto en la longitud libre de pandeo, la cual es delimitada por los elementos



Figura 1



Figura 2

Iglesia metodista en Monte Sión, IL.



**Fuente:** <http://lakecountyhistory.blogspot.mx/2013/11/robert-h-aiken-tilt-up-construction.html>

Nave industrial construida con "Tilt Up".



**Fuente:** Jean Perrilliat R. (2010).

del sistema de techo y de la cimentación, así como en la parte del desempeño sísmico, pues no se cuenta con estudios suficientes que involucren tanto las condiciones de apoyo, como los niveles de carga, para definir su comportamiento y capacidad de disipación de energía y por consiguiente su ductilidad.

Otro punto que causa inquietudes es el factor económico en la construcción de naves con este sistema. En estudios realizados en Norteamérica y en diversos manuales de fabricantes de este tipo de muros se destacan sus bondades económicas. Sin embargo, tales documentos se refieren a naves cuyos muros son fabricados por empresas especializadas que cuentan con la infraestructura suficiente para realizar la producción en serie permitiendo reducir significativamente los costos, contrario a lo que sucede en México, donde se construyen por lo general en obra, además el costo de la mano de obra es diferente.

## DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE MUROS TIPO TILT-UP

El término Tilt-Up se aplica a un sistema destinado a construir muros delgados de concreto hechos en obra que han de dividirse en secciones, llamadas paneles, los cuales son colados directamente sobre la losa del piso de la estructura o sobre una plataforma de trabajo para que una vez alcanzada su resistencia de proyecto sean izados con una grúa y colocados sobre los cimientos, formándose así la fachada de la nave.

El Tilt-Up es un concepto sencillo que ha evolucionado desde la antigüedad pasando por la Edad Media, época en la cual se tiene conocimiento de un método utilizado muy similar al actual, dicha técnica, de acuerdo a la referencia 2, se describe a continuación: "En Bassora, donde no se tenían maderos... hacían marcos sin entramados. El albañil, con un clavo y un trozo de hilo, marca un semicírculo en la tierra, acomoda sus ladrillos, los junta con cemento de yeso sobre las líneas trazadas y habiendo formado así su arco, lo iza cuidadosamente..."

Haciendo referencia a registros más recientes, se le da crédito a Robert Aiken por ser uno de los primeros constructores en utilizar muros precolados en el sitio de la obra con concreto reforzado, que se coló horizontalmente y luego se izó por medio de gatos y grúas, construyendo así un almacén de dos pisos en Camp Logan (Illinois, 1908) y una iglesia metodista en Monte Sión (Illinois, 1912).



Figura 3

Fachada estéticamente muy agradable en nave industrial construida con "Tilt Up".



Fuente: Jean Perrilliat R. (2010).

Figura 4



Ausencia de columnas en el perímetro de una nave industrial en construcción, con perímetro concebido a base de muros Tilt Up.



Fuente: Jean Perrilliat R. (2010).

Sin embargo, fue a partir de 1950 que la técnica del Tilt-Up se empezó a desarrollar de manera importante en Estados Unidos, principalmente en la zona de California, debido en parte a los avances en la tecnología así como por diseños arquitectónicos aplicados a naves industriales (Fig. 2), almacenes, centros de distribución, edificios para oficinas, centros comerciales, escuelas, hoteles, estacionamientos, terminales de transporte, teatros y bibliotecas.

Existen diferencias entre el proceso constructivo de naves industriales tradicionales construidas a base de muros de lámina y/o mampostería, con respecto a los fabricados a base de muros Tilt-Up. Por un lado se tiene que para naves industriales construidas con muros de lámina y/o mampostería la estructura metálica se coloca después de construida la cimentación, más tarde se colocan los muros de fachada con lo cual es posible instalar posteriormente la lámina de cubierta y fachada, construyendo el piso industrial hasta el final.

Por otro lado, para naves industriales construidas a base de muros Tilt-Up, primero se construye la cimentación, que dado el mayor peso de los muros deberá tener una mayor capacidad, y luego se cuela el piso. Más tarde y de manera independiente, se prepara el armado y se cuelan los muros prefabricados. Una vez que los muros alcanzan suficiente resistencia para ser izados, éstos se montan, para proceder a la colocación de la estructura metálica del interior. Por último se procede a la fijación de las conexiones entre los muros y la estructura, para finalmente colocar la lámina de cubierta.

En cuanto al aspecto económico, el sistema de Tilt-Up es aproximadamente un 10% más costoso que el sistema a base de muros de lámina y/o mampostería. Existen varias razones que justifican lo anterior, entre las que pueden mencionarse: la pintura de los muros y su constante mantenimiento, el proceso constructivo es más lento requiriéndose apuntalamientos provisionales y no pudiéndose hacer varias actividades simultáneas. Aunado a esto, el proceso constructivo es más especializado ya que durante el montaje se requiere un doble proceso para los muros y para la estructura metálica, mientras que para las conexiones de elementos de fachada se requiere precisión en la colocación de placas embebidas al muro para la conexión entre piezas y las colocadas en la cimentación.

En lo que respecta a los sistemas de muros de lámina y/o mampostería, éste resulta ser más económico, pues únicamente se requiere aplicar un sellador en los muros de mampostería; el proceso de montaje para muros y estructura metálica es uno solo y se pueden abrir varios frentes de trabajo con actividades simultáneas durante el proceso constructivo. El grado de especialización en las conexiones de los elementos



Figura 5



Fuente: Jean Perrilliat R. (2010).



Figura 6



Fuente: Jean Perrilliat R. (2010).

de soporte de la fachada es sencillo si se realizan con soldadura; lo que no sucede si se trata de conexiones atornilladas, en donde se necesita mucha precisión.

En cuanto a las propiedades físicas de estos sistemas, los muros Tilt-Up son más resistentes al fuego y generan un mejor aislamiento térmico, en comparación con el sistema a base de muros de lámina y/o mampostería, en el cual la lámina de fachada tiene un mal aislamiento térmico, pudiéndose resolver con la colocación de una "colchoneta", semejante a la que se suele utilizar en la cubierta. El sistema de Tilt-Up requiere de un proceso de análisis y diseño estructural detallado y complejo, que como antes se comentó, no está reglamentado en México.

Aunque cabe mencionar que desde el punto de vista arquitectónico las naves industriales con muros Tilt-Up son más estéticas que las que se conciben de lámina y/o mampostería. Algunas ventajas y desventajas del sistema de éste tipo de sistemas frente a los tradicionales son:

- 1) Generalmente se logran fachadas más estéticas (Fig. 2 y 3).
- 2) Estructuralmente se eliminan las columnas del perímetro (Fig. 4).
- 3) Se logran mejores propiedades de aislamiento térmico, así como una mayor resistencia al fuego, sobre todo a partir del perímetro.

Entre las desventajas más significativas se encuentra el hecho de que los muros Tilt Up son susceptibles a agrietarse en las primeras edades debido al fenómeno de las contracciones en el concreto; requieren de un mantenimiento continuo de la pintura de los muros tanto interiores, como exteriores; adicionalmente, se ha calculado, que en naves industriales relativamente cuadradas, aumenta el costo de un 7 a un 10 % respecto al sistema de lámina y/o mampostería, mientras que en naves rectangulares aumenta hasta en un 12 %. Bajo estos costos se tienen que realizar los colados de estos muros sobre el piso definitivo de la nave, y en caso de realizar camas de colado (casting slab) fuera del piso de la nave el costo aumenta en un 5 %, aproximadamente.

El hecho de que el piso industrial se cuele antes de la fabricación de los muros tiene dos importantes desventajas, la primera es que se cuele sin que exista protección alguna contra los agentes del medio ambiente, que suelen incidir de manera importante en el desarrollo de agrietamientos debido al efecto de las contracciones. Por otra parte, ese mismo piso se suele usar como superficie de rodamiento de los equipos de montaje, que en ocasiones suelen provocar daños, debido a los esfuerzos generados durante el proceso de montaje tanto de los muros Tilt-Up, como de los elementos de cubierta (Fig. 5).

En general se trata de un proceso de construcción que toma más tiempo y se complica aún más en lo que respecta a la fabricación e izaje de los muros. Por otra parte el perímetro exterior debe dejarse libre de excavaciones aledañas, para el paso de la grúa durante el proceso de montaje, lo que impide, entre otras cosas, la construcción de obras de infraestructura como drenajes. Otra posible desventaja es el manejo de las aberturas a futuro (knockouts), para adecuaciones futuras o para el paso de instalaciones (Fig. 6).

En general el acabado final al muro se prolonga debido a los resanes de las zonas en donde se colocan los insertos, y el proceso de montaje es muy especializado, en el que se requiere experiencia y dos grupos de especialistas, uno para el montaje de la estructura metálica y otro para el de los muros de la fachada. En los muros Tilt-Up es difícil hacer ampliaciones con grandes aberturas, si no se han concebido de inicio; tampoco, se podrán concebir instalaciones subterráneas, si no se han tenido en cuenta desde el principio. **C**

## REFERENCIAS:

1. American Concrete Institute; (2005); "Requisitos del código de construcción para concreto reforzado (ACI 318-05)"; ACI, Estados Unidos.

2. Brooks; H; (2002); "Ingeniería de Muros Tilt Up"; Manual TCA; Segunda Edición; Estados Unidos.

3. Carter J., Neil M.; "Seismic Response of Tilt-Up Construction"; Departamento de Ingeniería Civil universidad de Illinois; Estados Unidos.

4. Forsythe, G. E.; (1954); "Generation and use of orthogonal polynomials for data-fitting with a digital computer", Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, Vol 5, No 2; p 74-88.

5. Huerta Carpizo C., Jean Perrilliat R. Rivero Peña B., Treviño Treviño A.; (2008); "Comparativa en el desempeño estructural y de costos de naves construidas con sistemas de marcos y con muros Tilt-Up"; Memorias del XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Veracruz, Veracruz.

6. Huerta Carpizo C., Jean Perrilliat R.; (2009); "Diseño de naves industriales con muros Tilt-up en zona sísmica"; Memorias del XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Puebla, Puebla.

7. Jean Perrilliat R.; (2010); "Muros estructurales prefabricados Tilt-up para naves industriales" (Presentación ppt.); curso: "Análisis y Diseño de Estructuras Prefabricadas" en el marco del 3er Simposio de Edificios y Sistemas Presforzados, Tuxtla Gutierrez, Chiapas.

8. Tilt Up Concrete Association, "Manual de diseño y construcción Tilt-Up"; TCA; Segunda Edición; Estados Unidos.