



*Sede “Camilo Cienfuegos”
Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de Construcciones*

Empleo del sistema constructivo *Tilt-Up* para el uso en Naves Industriales en Cuba.

Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil

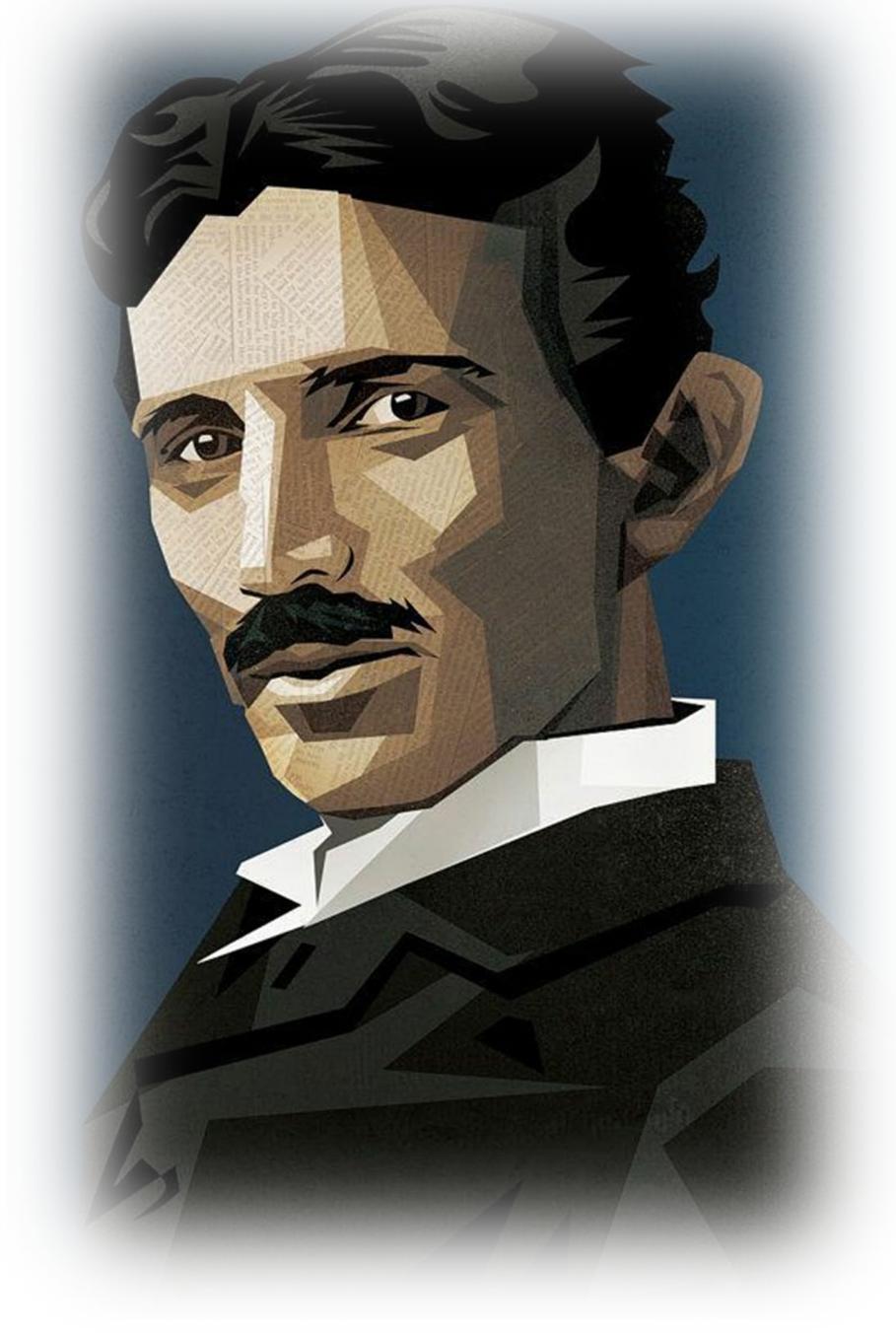
Autor: José Leonardo Pérez Fragela

Tutores: Lic. Ing. Pedro A. Hernández Delgado.

MSc. Ing. Orlando Santos Pérez.

Matanzas, 2019

PENSAMIENTO



“El futuro mostrará los resultados y juzgará a cada uno de acuerdo a sus logros”

Nikola Tesla.

DEDICATORIA

A mi madre por ser mi roca en los momentos difíciles, por sacar lo mejor de mí.

A mi tía, por su dedicación y entrega.

A mi abuela Ana Perla por apoyarme y estar siempre presente en mi vida.

A mi hermana por su amor incondicional.

A mi abuelo por todas sus enseñanzas.

A mi bisabuela de 100 años por enseñarme la fortaleza del ser humano.

A mi padre y a mi abuela Ada.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por estar siempre presente en todos los instantes de mi vida.

A mis tutores Ing. Pedro A. Hernández Delgado y MSc. Ing. Orlando Santos Pérez por guiarme a lo largo de este trayecto.

A el Arq. Rogelio Castillo y a la Lic. Deykis García Mesa por su entrega y ayuda.

A mis tías Ing. María Elena Tavío y Arq. Maira Altamirano por todo su apoyo.

A Raúl Ramírez y Daysi Gómez por contribuir a mi educación.

Al Ing. Carlos A. Prado por transmitirme tan valiosos conocimientos.

A todo el claustro de profesores que dedicaron su valioso tiempo en mi formación profesional.

A todos mis amigos por todo el apoyo, en especial a Leo, Duniesky, Miguel, Leonel y Orelsis.

A todas las personas han creído en mí y han hecho este trabajo posible.

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente, José Leonardo Pérez Fragela, declaro que soy el único autor del presente trabajo de Diploma y, en tal calidad, autorizo a la Universidad de Matanzas a emplearlo como material de consulta.

Y para que así conste, firmo el presente a los _____ días del mes de _____ de 2019.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

RESUMEN

Debido al considerable avance en la modernización de la industria de la construcción se hace necesario darle entrada a nuevos sistemas y técnicas constructivas al país. El sistema constructivo *Tilt-Up* es una de esas técnicas avanzadas a nivel mundial que necesita ser implantada en Cuba por sus ventajas y facilidad de uso. *Tilt-Up* corresponde a la técnica de moldear en la obra los paneles de hormigón para los muros sobre una superficie horizontal y luego levantarlos hasta su lugar definitivo. La característica principal de este tipo de construcción es utilizar menos material para el encofrado que la construcción tradicional y minimizar el uso de equipos pesados, con la consecuente reducción del tiempo, equipo y mano de obra. Este método constructivo es utilizado desde el año 1909 en los Estados Unidos. pero es en la actualidad que gracias a desarrollado ha conseguido extenderse hasta llegar a manos de países como Holanda, Australia y México.

Palabras claves: *Tilt-Up*; muros; hormigón; sistema constructivo.

ABSTRACT

Due to the considerable advancement in the modernization of the building industry it becomes necessary to admit him new systems and constructive techniques to the country. The constructive system *Tilt-Up* is one of those advanced worldwide techniques that needs to be established in Cuba by his advantages and user-friendliness. *Tilt-Up* corresponds to the technician of molding in the work the concrete panels for the walls on a horizontal surface and next to raise them to his definite place. The main characteristic of this type of construction is using less material for the formwork than the traditional construction and minimizing the use of teams weighed, with the consistent reduction of time, equipment and work force. This constructive method is used since the year 1909 in the United States but it is at the present time than thanks to developed he has managed to extend himself to arrive under the hands of countries like Holland, Australia and Mexico.

Keywords: *Tilt-Up*; walls; concrete; constructive system.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	1
CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE Y LA PRÁCTICA DE LA EJECUCIÓN DE MUROS <i>TILT-UP</i>	6
1.1- Construcción Prefabricada.....	6
1.1.1- Evolución histórica de la construcción prefabricada.....	7
1.1.2- Marco actual mundial.....	10
1.1.3- La prefabricación en el contexto cubano.....	10
1.2- Definición de <i>Tilt-Up</i>	13
1.2.1- Historia del <i>Tilt-Up</i>	13
1.2.2- <i>Tilt-Up</i> en la actualidad.....	14
1.2.3- Características del sistema.....	15
1.2.4- Conveniencias del sistema <i>Tilt-Up</i>	18
1.2.4.1- Ventajas del sistema <i>Tilt-Up</i>	19
1.2.5- Uso del <i>Tilt-Up</i> para naves industriales.....	19
1.2.6- <i>Tilt-Up</i> en Cuba.....	20
1.2.7- Conexiones para muros <i>Tilt-Up</i>	20
1.2.8- Apuntalamiento de los paneles.....	21
1.2.9- Dispositivos para el levantamiento.....	22
CAPÍTULO II: PLANIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN.....	24
2.1- Elementos organizativos del sistema <i>Tilt-Up</i>	24
2.1.1- Acceso al lugar y condiciones de la obra.....	24
2.1.2- Acceso de las grúas.....	25
2.1.3- Elementos subterráneos.....	25
2.1.4- Elementos aéreos.....	25
2.2- Coordinación.....	25
2.3- Secuencia de construcción.....	25
2.4- Plataforma de trabajo.....	27
2.4.1- Losa de piso.....	27
2.4.2- Juntas.....	27
2.4.3- Instalaciones de alcantarillado, eléctrico y gas.....	27
2.4.4- Las cavidades de las columnas.....	27
2.5- Compuestos de curado y desmoldante.....	27
2.6- Representación gráfica.....	28
2.7- Ubicación de los paneles para el moldeo.....	28
2.7.1- Planificación del trazado de los paneles.....	28
2.7.2- Secuencia de izaje.....	29
2.8- Izaje.....	29
2.8.1- Accesorios.....	29
2.8.2- Selección de la grúa.....	29
2.8.3- Izaje desde el exterior.....	29
2.8.4- Acceso al lugar.....	30
2.9- Análisis de elevación.....	30
2.9.1- Ubicación de los insertos.....	30
2.9.2- Número de insertos.....	31

2.9.3-	Análisis.....	32
2.9.4-	Análisis vertical.....	33
2.9.5-	Análisis horizontal.....	33
2.9.6-	Reforzamiento del panel.....	33
2.10-	Distribución de la carga.....	34
2.11-	Elementos que intersectan.....	34
2.12-	Límites de diseño.....	34
2.13-	Fuerza axial y momento mayorados.....	35
2.14-	Resistencia de diseño.....	35
2.15-	Cimentación.....	37
2.16-	Propuesta de cimentación.....	40
CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS		42
3.1-	Descripción general de la estructura.....	42
3.1.1-	Requisitos generales a tener en cuenta en la construcción.....	43
3.1.2-	Especificaciones técnicas.....	44
3.2-	Análisis y diseño estructural de muros <i>Tilt-Up</i>	44
3.3.1-	Cálculo del muro.....	44
3.3.2-	Diseño de las ménsulas.....	46
3.3.3-	Cálculo del pandeo de los muros.....	49
3.3.4-	Cálculo de izaje.....	51
3.3-	Organización de obra.....	53
3.4-	Comparación de renglones variantes entre el <i>Tilt-Up</i> y un sistema tradicional.....	59
Conclusiones.....		60
Recomendaciones		61
Referencias Bibliográficas.....		62

INTRODUCCIÓN

En 1909, Robert Aiken descubrió un innovador método para moldear paneles sobre mesas inclinables y luego, las levantaba usando gatos mecánicos diseñados especialmente para ello. Esta técnica se utilizó para construir barracas, bodegas para municiones y armamento, ranchos, industrias y santuarios religiosos entre ellas un almacén de dos pisos en Camp Logan (Illinois, 1908) y una iglesia metodista en Monte Sión (Illinois, 1912). (ACI 2015)

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, almacenes, centros de distribución, edificios para oficinas, centros comerciales, escuelas, hoteles, estacionamientos, terminales de transporte, teatros y bibliotecas.

La definición para el hormigón prefabricado encontrada en el *American Concrete Institution* (ACI) es "hormigón moldeado en cualquier parte distinta a su posición final" e incluye al hormigón *Tilt-Up*. Una definición más específica para la construcción *Tilt-Up* es "una técnica constructiva para moldear elementos de hormigón en posición horizontal en la obra y luego levantarlos desde un extremo hasta su posición final en la estructura".

La innovación tecnológica y la necesidad de mejorar los sistemas constructivos, a través de la implementación de métodos más avanzados y técnicas más novedosas, han adquirido una gran importancia en la realidad actual del desarrollo constructivo en Cuba.

Un avance importante en la construcción es el uso de la construcción prefabricada desarrollada in situ. Permitiendo que se prefabriquen los elementos a pie de obra representando una ventaja el hecho de combinar los beneficios de la prefabricación. En este lugar es donde precisamente se encuentra el *Tilt-Up*, que no es más que "la técnica de moldear en la obra los paneles de hormigón para los muros, sobre una superficie horizontal (losa de piso) y luego levantarlos hasta su lugar definitivo". (Rosales 2013)

Una industria entera se ha desarrollado alrededor del método de la construcción *Tilt-Up* gracias a que utiliza menos material para el encofrado que la construcción tradicional,

reduce el uso de maquinaria pesada, lo que conlleva a la reducción del tiempo, equipo y mano de obra. Siendo la mayor importancia la rapidez del proyecto.

Una industria entera se ha desarrollado alrededor del método de construcción de muros *Tilt-Up*. Las técnicas continúan mejorando en parte gracias a las innovaciones de investigación y nuevas evoluciones, que contribuyen a fomentar las ventajas y la economía del *Tilt-Up*. Como la información acerca del sistema de muros *Tilt-Up* se encuentra ahora en mayor disponibilidad, está atrayendo actividad y atención mundial.

Hoy día, edificios *Tilt-Up* se han construido en cada estado de los Estados Unidos. Canadá, Nueva Zelanda, y Australia también tiene grandes industrias *Tilt-Up*. México, varios países sudamericanos, y Europa recientemente se han sumado a la lista de países utilizando a *Tilt-Up*. El hormigón armado *Tilt-Up* es más predominante en América del Norte, desde el sur de Columbia Británica hasta la frontera mejicana, a través del Estados Unidos sureño, y arriba a través de Nueva Escocia. En otro lugar en los Estados Unidos, las bolsas de actividad fuerte *Tilt-Up* son encontradas a todo lo largo del medio oeste, las Llanuras, y el *Rocky Mountain States*. (TCA, 2011)

El acercamiento con *Tilt-Up* por diseñadores y el uso de acabados innovadores ha hecho a *Tilt-Up* aceptable para el uso en muchos otros tipos de edificios, los inclusivos bloques de oficinas y las estructuras minoristas. Los edificios *Tilt-Up* de hoy son apenas reconocibles de la posición en cuclillas, las cajas grises con las líneas verticales características tan punteado el paisaje industrial de la década de los tardíos 1940 y los tempranos 1950. Hoy, grandes ejemplos de edificios de varios pisos *Tilt-Up* abundan.(TCA, 2011)

Los profesionales del diseño han encontrado en *Tilt-Up* un medio que pueden usar en cierto modo limitado sólo por sus imaginaciones. En las más nuevas áreas industriales y comerciales del sur de California y otros estados del Cinturón del Sol, en donde se verán muchos edificios atractivos hechos de *Tilt-Up*.

El contexto socioeconómico por el que atraviesa Cuba presenta diversas condiciones favorables para el desarrollo, adaptación e implementación de tecnologías innovadoras en el sector de la construcción. La incorporación de los conceptos de industrialización y prefabricación constituye, por una parte, un medio eficaz para mejorar la productividad y la calidad de la edificación, limitando la utilización de mano de obra, y, por otra parte,

implica una importante fuente de innovación en las tecnologías utilizadas. (Rosales 2013).

Esta técnica es una forma única de construcción prefabricada repartida in situ y, como tal, tiene su set especializado de parámetros de diseño y técnicas de construcción. Siendo el objetivo principal de este trabajo analizar los aspectos generales del *Tilt-Up* y sus beneficios en la construcción.

Justificativa del problema:

La demanda de proyectos de naves industriales en Cuba, vislumbran la necesidad de identificar sistemas constructivos para muros, que satisfagan los criterios de economía, facilidad de ejecución, y disponibilidad tecnológica o posibilidad de adquisición para el país. Entre los proyectos de naves industriales de gran envergadura y vital importancia por su impacto a la economía nacional, destacan la Central Termoeléctrica de Gas Licuado de 600 MW/h de la ciudad de Matanzas, y varias inversiones en la Zona Especial de Desarrollo Mariel.

Situación Problemática:

La necesidad de introducir sistemas constructivos alternativos en la construcción de muros en naves industriales en Cuba.

Problema Científico:

Carencia de una propuesta de utilización del sistema *Tilt-Up* en naves industriales en Cuba.

Objeto de Investigación:

Sistemas constructivos prefabricados empleados en muros de hormigón en naves industriales.

Campo de acción:

Sistema constructivo de muros *Tilt-Up* en Naves industriales en Cuba.

Objetivo General:

Contribuir a la evaluación de la introducción del sistema constructivo de muros *Tilt-Up* en naves industriales en Cuba.

Objetivos Específicos:

- Analizar el estado del arte y la práctica en la ejecución de muros *Tilt-Up* en naves industriales.

- Caracterizar los parámetros de diseño de muros mediante el empleo del sistema constructivo *Tilt-Up*.
- Implementar la metodología de construcción de muros *Tilt-Up* mediante una Nave Industrial.

Hipótesis:

Si se identifican las buenas prácticas del sistema constructivo de muros *Tilt-Up* en naves industriales se contribuirá a la evaluación de su introducción en Cuba.

Operacionalización de las variables relevantes:

Variable independiente:

Identificación de las buenas prácticas del sistema constructivo de muros *Tilt-Up* en naves industriales.

Variable dependiente:

Contribución a la evaluación de la introducción del sistema constructivo de muros *Tilt-Up* en naves industriales en Cuba.

Tareas de Investigación:

- Análisis el estado del arte y la práctica en la ejecución de muros *Tilt-Up* en naves industriales.
- Caracterización de los parámetros de diseño de muros mediante el empleo del sistema constructivo *Tilt-Up*.
- Implementación de la metodología de construcción de muros *Tilt-Up* mediante una nave industrial.

Métodos Científicos:

La investigación se fundamenta mediante el empleo de los siguientes métodos científicos entre los que figuran:

➤ **Métodos de nivel empírico:**

- Observación: Se realiza el estudio del conocimiento del sistema constructivo *Tilt-Up* en Cuba mediante la percepción y registro consciente, planificado, sistemático y objetivo. Se brinda una información completa sobre los aspectos del objeto y las técnicas de confección más importantes del sistema constructivo.

- Estudio de fuentes documentales: Se realiza un análisis de la norma ACI 551R-92 del *American Concrete Institute* (ACI), sus fundamentos básicos y sus acápites más importantes, así como de la *Tilt-Up Concrete Association* (TCA).
- Criterio de expertos: Se emplea durante la validación del sistema de conocimientos al incluir una guía básica para la introducción del sistema constructivo *Tilt-Up* en Cuba, empleándose métodos estadísticos como el Método Delphi y el Kendall, que permiten cuantificar los niveles de significación de los resultados alcanzados en el proceso investigativo.

➤ **Métodos de nivel teórico:**

- Analítico-sintético: Se establece una relación recíproca entre el análisis y la síntesis del proceso constructivo del sistema *Tilt-Up* y sus rasgos para su introducción en Cuba, partiendo del análisis de sus características y la necesidad de mejorar la construcción prefabricada de la isla, luego integrando distintos tipos de construcciones para garantizar la unificación del sistema en todas las esferas implicadas en dicho proceso.
- Histórico-lógico: Se estudia la trayectoria histórica del uso del sistema prefabricado *Tilt-Up*, su uso a nivel mundial y sus aplicaciones más significativas, lo cual conduce a la comprensión de sus leyes de desarrollo y funcionamiento internas, y su causalidad.
- Inductivo-deductivo: Se realiza el tránsito de las necesidades de introducción del sistema constructivo *Tilt-Up* en Cuba, hacía la necesidad de mejorar la elaboración de prefabricados en el país, estableciéndose las relaciones ambivalentes de influencia y dependencia.

CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE Y LA PRÁCTICA DE LA EJECUCIÓN DE MUROS *TILT-UP*.

En el presente capítulo se muestran los preceptos teóricos de partida acerca de la ejecución de muros *Tilt-Up* en naves industriales. Brinda la definición de sistema constructivo *Tilt-Up*, su evolución y desarrollo en el mundo. Conjuntamente se muestra la evolución de la construcción prefabricada en el mundo y su llegada y desarrollo en Cuba, así como los sistemas constructivos prefabricados empleados en muros de hormigón en naves industriales.

1.1- Construcción Prefabricada.

Prefabricados o la prefabricación se conoce al sistema constructivo basado en el diseño y producción de componentes y subsistemas elaborados en serie en una fábrica fuera de su ubicación final y que, en su posición definitiva, tras una fase de montaje simple, precisa y no laboriosa, conforman el todo o una parte de un edificio o construcción. Tal es así que, cuando un edificio es prefabricado, las operaciones en el terreno son esencialmente de montaje, y no de elaboración. (Marquina, 2013)

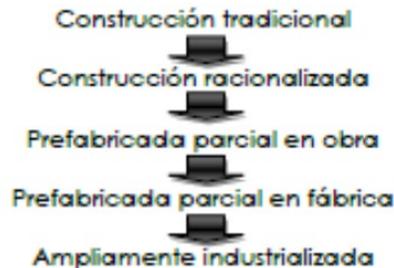


Figura 1.1. Evolución de la construcción hasta el prefabricado.

Fuente:(Pérez, 2012).

Una buena referencia para conocer el grado de prefabricación de un edificio es la de valorar el porcentaje de elementos prefabricados con respecto al volumen total de elementos de hormigón de la estructura.

Si un proceso o elementos, presentan la característica de poderse producir en fábrica o en obra y se opta por su producción en fábrica, se transforma en productos prefabricados, por lo que la opción de prefabricar debe aprovechar al máximo las condiciones del momento que disminuyan al máximo el trabajo a realizarse en obra.(Pérez, 2012)

Según Serrano (2019) existen cuatro sistemas diferentes de producción de elementos prefabricados:

Sistemas cerrados: los elementos se fabrican conforme a especificaciones internas del propio sistema. Responden únicamente a reglas de compatibilidad interna y el proyecto arquitectónico ha de subordinarse a los condicionantes del sistema.

Empleo parcial de componentes: la gama de productos y prestaciones es más o menos fija admitiéndose ciertas variaciones dimensionales o de pequeña entidad. Su empleo no requiere un grado de industrialización determinado de sus realizaciones y pueden utilizarse en obras o proyectos claramente tradicionales.

Sistemas tipo mecano: son resultado de la evolución hacia una apertura “acotada” de los sistemas cerrados, preparados para combinarse en múltiples soluciones suministradas por distintos productores que respetan voluntariamente un lenguaje combinatorio definido y acotado.

Sistemas abiertos: constituidos por elementos o componentes de distinta procedencia aptos para ser colocados en diferentes tipos de obras, industrializadas o no, y en contextos diversos. Suelen valerse de juntas universales, gamas modulares acotadas y flexibilidad de proyecto prácticamente total.

1.1.1- Evolución histórica de la construcción prefabricada.

Según varios autores (Pérez, 2010; Perdomo, 2015) a lo largo de la historia hay varios precedentes de prefabricación debido al propósito de la sociedad de optimizar la eficiencia de los procesos productivos. El primer ejemplo significativo de construcción industrializada se remonta al siglo XVI, cuando Leonardo da Vinci recibió el encargo de planificar una serie de nuevas ciudades en la región de Loire. Su planteamiento consistió en establecer, en el centro y origen de cada ciudad, una fábrica de elementos básicos que permitieran conformar a su alrededor un gran abanico de edificios. Dichas construcciones habían sido diseñadas previamente por él mismo para generar, de forma fluida y flexible, una gran diversidad de tipologías edificatorias con un mínimo de elementos constructivos comunes.

Otro ejemplo es el sucedido en ese mismo siglo durante la guerra entre franceses e ingleses, donde el ejército de Francisco I y Enrique II planificó las batallas contra Inglaterra construyendo pabellones de madera prefabricados que albergaran a sus

soldados durante la ofensiva. Transportados fácilmente por barco, se montaban y desmontaban rápidamente por los propios soldados, de tal forma que los campamentos fueran, además de resistentes y confortables, ágiles en sus desplazamientos.

Siguiendo una técnica muy similar, en 1578 también se ejecutó en *Baffin* (Canadá) una casa prefabricada de madera que había sido construida en Inglaterra. Asimismo, en 1624, la *Great House*, una casa de madera panelizada y modular, construida por Edward Winslow en Inglaterra, fue trasladada y montada en Massachussets, Estados Unidos. Aunque estos dos últimos ejemplos no se pueden considerar prefabricación en estado puro, ya que la construcción de elementos no fue en serie sino diseñados para edificaciones singulares, sí que se aprecia un significativo cambio de mentalidad aplicada a la construcción.

No sería hasta el final del siglo XVIII cuando empezó a ser tangible la posibilidad de industrializar la construcción. En Europa, se empezó a desarrollar la construcción de puentes y cubiertas con hierro fundido, material que sería después aplicado a la elaboración de pilares y vigas de edificios. Al mismo tiempo, en Estados Unidos, se llevó a cabo la construcción de edificios de tipología *Balloon Frame*, constituidos por listones de madera provenientes de fábrica y ensamblados mediante clavos fabricados industrialmente.

Habría que esperar hasta finales del siglo XIX para que se volviera a utilizar en edificación el hormigón (que apenas se había empleado desde la época de los romanos), que, aplicado junto con entramados de alambres, constituía una materia prima ideal para prefabricados.

En 1889, aparecía en EEUU la primera patente de edificio prefabricado mediante módulos tridimensionales en forma de “cajón” apilable, ideada por Edward T. Potter. Y en 1891 se prefabrican las primeras vigas de hormigón armado para la construcción del Casino de Biarritz.

A lo largo de dos décadas, la prefabricación basada en sistemas de diseño cerrados, cuyos elementos representativos eran grandes paneles de hormigón, se fue desarrollando en Europa, especialmente en los países del este y los países escandinavos. Este hecho fue debido a un contexto de gran demanda de edificación residencial y pocos recursos económicos consecuencia de la Segunda Guerra Mundial.

Las características de este sistema constructivo industrializada fueron las siguientes:

- a) Exigencia de un mínimo del orden de mil viviendas agrupadas para intervenir con sistemas prefabricados.
- b) Proyectos con mínimas variaciones formales para reducir el número de elementos diferentes.
- c) Bloques de tipología lineal de gran frente, con el pretexto de evitar el cambio de las vías para las grúas-torre de montaje.
- d) Luces mínimas de forjados, para cumplir con los gálibos de transporte que condicionaron las dimensiones máximas del tamaño de las habitaciones.
- e) Nula flexibilidad de distribución en planta: la tabiquería también se ejecutaba con paneles portantes de hormigón en las tipologías estructurales cruzadas

En general, la industrialización se le imponía al proyectista como una herramienta de economía de construcción.

A partir de 1970, en los países de la Unión Europea, la demanda de viviendas en edificios en altura disminuyó, siendo sustituida por la edificación de viviendas unifamiliares de mayor calidad. La prefabricación a base de sistemas cerrados de viviendas trató de evolucionar, buscando en la fase de producción una mayor flexibilidad, elasticidad y variación, intentando hacer posible la consecución desde estas fábricas de series cortas y diversificación del producto. Este hecho sentó las bases para un futuro sistema de prefabricación abierto.

A finales del siglo XX, la construcción industrializada con sistemas cerrados de diseño quedó obsoleta. Gran parte de los edificios construidos con este sistema, fueron abandonados y demolidos, y la construcción de edificios de viviendas en altura se realizaba mediante sistemas tradicionales.

La industrialización de la construcción se desarrollaba a base de grandes elementos prefabricados de hormigón. Los avances tecnológicos aplicados a este material permitieron prefabricar elementos estructurales y constructivos de variedad de formas y calidades no conseguidas hasta el momento.

La evolución que ha sufrido esta técnica a lo largo de todo un siglo, hace posible que, en la actualidad, encontremos una extensa gama de posibilidades en las formas y tamaños de los elementos que de acuerdo a su finalidad pueden ser de hormigón armado o simple.

1.1.2- Marco actual mundial.

Debido a la crisis económica actual, la demanda de edificación residencial ha sufrido un descenso significativo. Este hecho ha afectado principalmente a empresas del sector de la construcción, en especial aquellas que utilizan un sistema constructivo convencional.

En cambio, se ha abierto un abanico de posibilidades para las empresas que realizan prefabricados de hormigón. Estas dejaron apartado los sistemas cerrados de diseño y han apostado por una producción seriada o de catálogo de componentes o partes de edificios. Paulatinamente, los productores y la ingeniería han permitido una mayor flexibilidad en el diseño de edificios prefabricados, dando así respuesta a las demandas de calidad mínimas requeridas por el sector.

La evolución de los procesos de producción de elementos prefabricados de hormigón se ha realizado a partir de dos aspectos clave: mejorar los medios de producción y optimizar la organización de la misma.(Pérez, 2010)

1.1.3- La prefabricación en el contexto cubano.

Según Socarrás Cordoví & Vidaud Quintana (2017) en Cuba se ha transitado por varias etapas en materia de prefabricación. Antes de 1959 no era una técnica muy explotada, como único exponente de entonces se presenta el Sistema Sandino. En principio se denominó Novoa, aludiendo al propietario de una pequeña planta en el Reparto Marianao en La Habana, donde se producían los elementos componentes. Es un sistema muy económico, utilizado para construir viviendas, tanto urbanas como rurales, a lo largo de todo el país.

A partir de la década de los años 60 del pasado siglo, en Cuba comenzó una etapa de amplio desarrollo y diversificación de la prefabricación y semiprefabricación. Se introducen sistemas constructivos prefabricados a base de grandes paneles para la construcción de viviendas (Gran Panel Soviético, Gran Panel IV, Gran Panel VI, Gran Panel 70), junto a otros sistemas también prefabricados para edificaciones sociales fundamentalmente (Sistema Girón, SAE, SMAC, IMS). Asimismo, se implementaron experiencias en la semiprefabricación, inicialmente en las series E y posteriormente en las series SP-72, SP-79 y SP-80.

De esta manera se inició en Cuba la era de la producción industrializada de edificaciones de apartamentos o con otros fines sociales, de forma masiva, típica seriada; etapa que se

extendió hasta el comienzo de la crisis económica en los años 90, por la caída del campo socialista. Si bien es cierto que en esos años se solventaron los problemas de viviendas, escuelas, hospitales, etc., también esta masificación a lo largo de toda la isla provocó determinada monotonía en las urbanizaciones, con poco o ningún valor arquitectónico. A esto debe sumarse las muchas veces inadecuada ejecución (sobre todo lo relacionado con las juntas), lo que trajo consigo un acelerado deterioro de las estructuras.

En la actualidad, pasados períodos de auge y decadencia de esta técnica, se retoma la prefabricación en Cuba. Se aprovechan sus múltiples ventajas y se tienen en cuenta también los aspectos que años anteriores contribuyeron a su detrimento. Si bien se trabaja aún con la construcción masiva, los proyectos actuales no se caracterizan por el mismo módulo típico repetitivo en un mismo territorio.

Puede citarse el Gran Panel VI como ejemplo de lo anterior, sistema que sufrió una primera modificación, de la cual surgió el GP-VI-M, que responde ahora al Prefabricado Flexible (PREFLEX). En la provincia de Holguín, específicamente, se realizaron modificaciones del Gran Panel VI, de las cuales surgió el Gran Panel Holguín (GPH). Asimismo, en Santiago de Cuba se modificó el Gran Panel Soviético (GPS), con lo que apareció el Gran Panel Soviético Modificado, entre otros ejemplos.

También se han implementado sistemas constructivos prefabricados de pequeño formato, como el Bloque-Panel (B-P) y el sistema de edificaciones residenciales (SER), ambos como alternativas para lograr diversidad de soluciones habitacionales. Del mismo modo, se ha avanzado hacia la prefabricación contra pedido, que se entiende como el empleo de la prefabricación cuando realmente sea económico hacerlo. En esta se combina el empleo de materiales y componentes industrializados con otras técnicas de construcción tradicionales.

Esta solución ha logrado favorecer la economía, la seguridad y la estética de las construcciones y conjuntos de ellas. Si bien se considera una tendencia del cambio de pensamiento frente a la prefabricación tradicional, en Cuba, hasta hoy, esta solo ha abarcado las edificaciones sociales. Esta tendencia ve la luz a partir de estas ideas y se va imponiendo día a día, ya que responde a la necesidad de prefabricar, pero tomando muy en cuenta las prioridades y características del contexto. Hoy, por ejemplo, tomando como premisa esta tendencia, no puede hablarse de producción del sistema SAE o SMAC, sino

de componentes del sistema que propician un cambio en la expresión estética y arquitectónica en estas edificaciones.

La prefabricación contra pedido no solo es una necesidad, sino también una alternativa de solución para romper con los problemas de monotonía urbanística, al mismo tiempo que aprovecha las grandes ventajas de la técnica constructiva de la prefabricación. Se trata de aprovechar al máximo las bondades de la prefabricación, siempre que se justifique en cada caso particular el estudio de las limitaciones y se eliminen otras tendencias; como la prevalencia de ciertas tipologías constructivas, que solo buscan productividad, en detrimento del confort y la estética de las edificaciones. Solo así se podría argumentar que la construcción con sistemas prefabricados no se encuentra asociada a una deficiente calidad y durabilidad ni se relaciona con la monotonía en las urbanizaciones.

Precisamente, la prefabricación contra pedido aparece como una vía que potencia las grandes ventajas de la prefabricación; a su vez, rompe con la creencia de la deficiente calidad, durabilidad y congelación de la expresión estética de las estructuras prefabricadas. Varios autores han abordado este concepto y “(...) hoy en día es frecuente considerar la posible combinación del hormigón prefabricado con otras técnicas constructivas (en particular con el hormigón colocado in situ), buscando aprovechar las virtudes de cada sistema” (Pere Roca y Aguado, 1994). De esta manera puede convertirse en un recurso adecuado, siempre y cuando se realice un proyecto concebido y desarrollado desde el conocimiento profundo de las normas elementales de cada etapa del ciclo de vida de un proyecto donde se emplee la técnica de prefabricación. Al decir de Flores Mola (2013): “No se debe proyectar en tradicional y ejecutar en prefabricado”; todas las etapas serán planificadas sobre las particularidades del prefabricado, desde la concepción, en la que son claves las ideas preliminares; hasta la desactivación, en la cual se dejan sentadas las medidas correctoras o las necesarias acciones de mantenimiento. En la etapa de proyecto, por ejemplo, sería indispensable analizar acerca del peso máximo de los elementos, la concepción de las juntas, el máximo uso de los moldes, cómo lograr las mayores dimensiones de los elementos con menos peso, la selección de las secciones más adecuadas de los elementos, etc. De la misma manera, es muy importante en la ejecución valorar los métodos de montaje, la planificación de la secuencia constructiva, la ejecución

de las juntas, el radio de acción de las plantas de prefabricación, los gálibos de transporte, entre otros. (Cordoví and Quintana, 2017)

1.2- Definición de *Tilt-Up*.

El término *Tilt-Up* fue acuñado a finales de la década de 1940 para describir un método para construir paredes de hormigón armado rápidamente y económicamente sin el encofrado necesario para vertido in situ paredes.

Tilt-Up es también llamado *tilt-wall* o, en las especificaciones y documentos técnicos, “*site-cast precast*” Sin embargo, *Tilt-Up* es el término preferido y generalmente aceptado.(TCA, 2011)

Según Hurtado Figueroa (2013) el sistema constructivo *TILT-UP* se define como una técnica de construcción rápida y económica, compuesta por muros de hormigón armado, los cuales son vaciados horizontalmente en obra, cerca de su posición final, para luego ser levantados por una grúa, llevarlos a su posición vertical y conectarlos con el sistema de techo creando una estructura sumamente rígida y segura.

La definición para el hormigón prefabricado encontrada en la ACI es "hormigón moldeado en cualquier parte distinta a su posición final" e incluye al hormigón *Tilt-Up*. Una definición más específica para la construcción *Tilt-Up* es "una técnica constructiva para moldear elementos de hormigón en posición horizontal en la obra y luego levantarlos desde un extremo hasta su posición final en la estructura". (ACI, 2015)

ACI 318 más allá manifiesta que la construcción de hormigón *Tilt-Up* es una forma de hormigón armado prefabricado.(ACI, 2014)

El concepto a utilizar es el concepto dado por la *American Concrete Institution* en el año 2015 según consideración del autor.

1.2.1- Historia del *Tilt-Up*.

En 1909, Robert Aiken descubrió un innovador método para moldear paneles sobre mesas inclinables y luego, las levantaba usando gatos mecánicos diseñadas especialmente para ello. Esta técnica se utilizó para construir barracas, bodegas para municiones y armamento, de rancho, industrias e iglesias entre ellas un almacén de dos pisos en *Camp Logan* (Illinois, 1908) y una iglesia metodista en Monte *Sión* (Illinois, 1912).

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, almacenes, centros de distribución, edificios para oficinas, centros comerciales, escuelas, hoteles, estacionamientos, terminales de transporte, teatros y bibliotecas.(ACI, 2015, Rosales, 2013)

1.2.2- Tilt-Up en la actualidad.

Una industria entera se ha desarrollado alrededor del método de construcción de muros *Tilt-Up*. Las técnicas continúan mejorando en parte gracias a las innovaciones de investigación y nuevas evoluciones, que contribuyen a fomentar las ventajas y la economía del *Tilt-Up*. Como la información acerca del sistema de muros *Tilt-Up* se encuentra ahora en mayor disponibilidad, está atrayendo actividad y atención mundial.

Hoy día, edificios *Tilt-Up* se han construido en cada estado de los Estados Unidos. Canadá, Nueva Zelanda, y Australia también tiene grandes industrias *Tilt-Up*. México, varios países sudamericanos, y Europa recientemente se han sumado a la lista de países utilizando a *Tilt-Up*. El hormigón armado *Tilt-Up* es más predominante en América del Norte, desde el sur de Columbia Británica hasta la frontera mejicana, a través del Estados Unidos sureño, y arriba a través de Nueva Escocia. En otro lugar en los Estados Unidos, las bolsas de actividad fuerte *Tilt-Up* son encontradas a todo lo largo del medio oeste, las Llanuras, y el *Rocky Mountain States*. (TCA, 2011)

El acercamiento con *Tilt-Up* por diseñadores y el uso de acabados innovadores ha hecho a *Tilt-Up* aceptable para el uso en muchos otros tipos de edificios, los inclusivos bloques de oficinas y las estructuras minoristas. Los edificios *Tilt-Up* de hoy son apenas reconocibles de la posición en cuclillas, las cajas grises con las líneas verticales características tan punteado el paisaje industrial de la década de los tardíos 1940 y los tempranos 1950. Hoy, grandes ejemplos de edificios de varios pisos *Tilt-Up* abundan.(TCA, 2011)

Los profesionales del diseño han encontrado en *Tilt-Up* un medio que pueden usar en cierto modo limitado sólo por sus imaginaciones. En las más nuevas áreas industriales y comerciales del sur de California y otros estados del Cinturón del Sol, en donde se verán muchos edificios atractivos hechos de *Tilt-Up*.

El sistema *Tilt-Up* está disfrutando de un 23% de crecimiento anual en la actualidad. Esta expansión está traduciéndose en grandes ganancias para productos de hormigón porque el

Tilt-Up utiliza hormigón de secado rápido un 40% más que la construcción convencional, además de las bondades económicas en cuanto a mano de obra y tiempo de ejecución. También, la temprana colaboración entre el diseñador, el contratista, y el productor son también enfatizados en la actualidad. (Baty, 2006)

Uno de los factores para este crecimiento es la aceptación del *Tilt-Up* como un diseño más creativo y un medio de la construcción y un factor para casi todos los tipos de mercado. Para enfatizar la importancia de *Tilt-Up* para la industria de hormigón, en 2007, unos estimados 5.85 millones de kilómetros cuadrados de hormigón armado entraron en paneles *Tilt-Up* en el Estados Unidos continental. (TCA, 2011)

1.2.3- Características del sistema.

Según varios autores (Rosales, 2013; TCA,2011; ACI 2015) el tamaño de los paneles varía de 4 a 10 metros de alto y de 4 a 9 metros de ancho. El espesor del concreto estructural varía entre 120 a 240 mm según la altura de la pared la aplicación de la carga y otros factores. El concreto requiere una resistencia a la compresión a los 28 días que va de 350 a 450 kg/cm² y la erección de los paneles se produce para alcanzar los 250 kg/cm².

Su proceso constructivo puede variar según los casos, pero generalmente sigue la siguiente secuencia lógica:

1. Se construyen los cimientos donde se colocarán los muros y la losa de piso de hormigón armado, que típicamente sirve del cimiento del molde para los paneles.
2. El proceso de la construcción de la pared empieza por diseñar los paneles en la losa de piso y construir el encofrado.
3. Con el encofrado en el lugar, los agentes desmoldantes son entonces rociados y el refuerzo es colocado, así como los elementos de izaje y soportes estructurales y elementos fortificantes.
4. El hormigón armado está entonces vertido en los moldes, acabado, y curado.
5. Después es un período de espera de una semana hasta 10 días mientras el hormigón armado logra suficiente fuerza para ser izado. Idealmente, el encofrado estaría removido en este momento, pero a menudo encofrado está reutilizado en otra porción del mismo proyecto.

6. En el momento de izaje los cables están sujetos al molde de insertos en los paneles y la grúa alza a cada uno de los paneles en la secuencia deseada y los coloca en el cimiento preparado; antes de soltar los paneles, las abrazaderas temporales son instaladas para soportar el panel hasta que la estructura del techo es atribuida. Este proceso es repetido hasta todos los paneles es determinado en su posición deseada.

7. Las conexiones entre paneles se colocan, el hormigón es colocado para amarrar la losa de piso a las paredes, las juntas son enmasilladas, reparar desperfectos si es necesario, y una vez que el techo esté permanentemente vinculado con las paredes, el arrostramiento es retirado.

- Economía.
 - No se necesitan moldes ni andamios para subir a su posición los materiales de construcción de los muros. Los paneles se fabrican a nivel de piso.
 - Las armaduras se diseñan para la condición de uso definitivo de los muros, solo se aumenta la cantidad de acero para resistir solicitaciones según el tipo de izaje.
 - El hormigón y acero de refuerzo utilizados son los mismos que en cualquier obra y no requieren ningún tratamiento especial.
- Rapidez.
 - Ciclo de construcción muy sencillo y rápido. Se fabrica los muros en forma similar a una faena de pavimentación lo que permite realizar grandes cantidades en cada jornada.
 - Un plazo típico de ejecución desde que el pavimento esté realizado hasta el término del montaje del último panel es de 4 semanas para un edificio de 8.000-10.000 m. Este plazo incluye todo el trabajo de fabricación, hormigonado, fraguado, izaje y apuntalamiento de paneles.
 - Baja utilización de mano de obra.
- Calidad.
 - Excelente grado de terminación. No requiere estucos ni enchapes posteriores. Las superficies quedan listas para recibir pinturas.
 - Los vanos para puertas y ventanas tampoco requieren estucos.
 - Se logran tolerancias milimétricas en cuanto a dimensiones de los paneles y a su posicionamiento.

- Control de calidad a nivel de piso.
- Elimina juntas de hormigonado en los paneles.
- Libertad de diseño arquitectónico.
 - No tiene prácticamente ninguna restricción al diseño arquitectónico, pues al no utilizar moldes y construirse en el sitio de la obra, permite una gran libertad en cuanto a formas, tamaños, varios, relieves arquitectónicos.
 - No hay restricciones en cuanto a tamaños, formas y pesos originados por condicione de transporte.
 - Mejor aprovechamiento espacio. No se necesitan columnas perimetrales.
 - No se requiere repetitividad en el diseño de los paneles.
 - Se puede diseñar una muy amplia variedad de terminaciones: terminaciones con pintura, enchapes, agregados a la vista, canterías, relieves decorativos, hormigón de color, arenado e incorporación de texturas.
- Estructurales.
 - Altamente probado en zonas de alta sismicidad tales como: Los Ángeles, *Northridge*, San Francisco, etc.
 - Los muros no quedan dimensionados por las solicitudes de izaje.
 - Desde el punto de vista estructural se aprovecha toda la potencialidad del hormigón armado, debido a que en el proceso constructivo no se presentan los problemas comunes de los muros hechos con sistema tradicional:
 - No hay sobre espesores.
 - No hay desplomes
 - No hay cargas adicionales por estucos.
 - Logra máxima densidad del hormigón.
 - No es necesario hacer sobrecimiento, el mismo panel actúa como tal.
 - Cimentaciones muy sencillas.
- Durabilidad y bajo costo de mantención.
 - Como toda construcción de hormigón armado no tiene problemas de corrosión y tiene un alto grado de resistencia a la humedad, viento, sol.
 - Ahorro térmico.

- Por las propiedades naturales del hormigón se mejora la capacidad de aislamiento del edificio frente a construcciones con revestimientos metálicos.
- Fácilmente se pueden construir paneles con aislación incorporada para el uso en frigoríficos.
- Flexibilidad.
 - Permite a un muy bajo costo ampliaciones futuras, reutilizándose en un 100% los paneles.
- Otras.
 - Resistencia al fuego.
 - Menores costos en pólizas de seguros por riesgos de incendios.
 - Mayor seguridad contra robos.

1.2.4- Conveniencias del sistema *Tilt-Up*.

Entre las conveniencias más importantes del sistema con respecto a otros sistemas prefabricados es el ahorro de la transportación de los paneles hacia la obra y todo el proceso que conlleva la prefabricación en planta, sobre todo en Cuba donde las distancias de las plantas a algunas obras suelen ser largas, por lo que se reduce significativamente en costo total de la obra.

Según Rosales (2013) con respecto a los muros de hormigón armado convencional, *Tilt-Up* resulta más ventajoso económicamente. Esto se debe principalmente al ahorro de moldes, ya que este elemento es por lo menos más económico con *Tilt-Up*. El otro ahorro importante se produce con la mano de obra, ya que se reduce significativamente usando *Tilt-Up*.

El único inconveniente que podría presentar los muros *Tilt-Up* se encuentra en la etapa de levantamiento (izaje), pues se debe contar con una grúa con la capacidad suficiente para levantar los paneles, además el personal con el que se cuente debe poseer una cierta experiencia con el trabajo con grúas. Se debe considerar el tamaño de la obra y del lugar en que se ubica, puesto que la grúa requiere de un espacio para maniobrar. (Brooks, 2002)

1.2.4.1- Ventajas del sistema *Tilt-Up*.

Existen varias ventajas para la construcción en *Tilt-Up* de edificios de baja y mediana altura, como plantas industriales, bodegas, edificios de oficinas, edificios residenciales y centros comerciales. Algunas de estas ventajas son:

- 1) La eliminación de moldes caros y de andamios.
- 2) Ciclo constructivo rápido y económico, desde el inicio hasta la ocupación.
- 3) Menores tasas de seguros que para una edificación incombustible típica.
- 4) Amplia variedad de terminaciones exteriores como hormigón coloreado, árido expuesto, pintura y terminación con forros de moldes.
- 5) Estructuras fácilmente modificables para la ampliación del edificio.
- 6) Construcciones durables, de larga vida y bajo costo de mantenimiento.

Tal vez la mayor ventaja de *Tilt-Up* sea la facilidad y rapidez de construcción. Los paneles pueden ser levantados con grúas móviles de gran capacidad y apuntaladas en menos de 10 minutos.

Durante el proceso constructivo se pueden presentar algunos inconvenientes entre ellos:

- 1) Algunos tratamientos arquitectónicos pueden resultar caros debido a las técnicas de construcción.
- 2) Falta de disponibilidad de personal y contratistas calificados.
- 3) Peso de los paneles sobre ciertos terrenos.
- 4) Espacio disponible para moldear los paneles.
- 5) Apuntalamiento temporal durante la construcción.
- 6) Disponibilidad de equipos de izaje.

1.2.5- Uso del *Tilt-Up* para naves industriales.

Hace más de cincuenta años que se inició en los Estados Unidos el uso del *Tilt-Up* como una forma novedosa para construir almacenes y plantas industriales, buscando la durabilidad del concreto a un bajo costo haciendo trabajar estructuralmente como fachada y muro de cortante. (Treviño et al., 2008)

A día de hoy el *Tilt-Up* constituye una de las mejores formas de construir naves industriales a nivel mundial gracias a su versatilidad, bondades económicas y a velocidad de ejecución. Para su diseño la *Tilt-Up Concrete Association* ha editado el “Manual de Diseño y Construcción de *Tilt-Up*”.

1.2.6- Tilt-Up en Cuba.

Según Perrilliat & Carpizo (2010) dada la gran popularidad que el sistema de muros *Tilt-Up* está adquiriendo como sistema constructivo de naves industriales en el mundo y debido a la ausencia de normas locales para su diseño, se presentan algunas inquietudes sobre la conveniencia de su aplicación. Estas inquietudes 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 que si bien podrían aplicarse en construcciones cubanas; en algunos casos existe la posibilidad de que no sean congruentes con las demandas de carga y efectos locales como sismicidad, tipos de suelo, velocidades y empujes de viento, entre otros.

1.2.7- Conexiones para muros Tilt-Up.

En los inicios de 1970, el Instituto de Hormigón Pretensado (PCI) se convirtió en involucrado en proveer recomendaciones para conexiones de miembros prefabricados. Un comité PCI escribió un manual en el diseño de conexiones para elementos prefabricados. Las siguientes secciones proveen un conjunto de directrices que abarca una amplia variedad de conexiones para construcción de muros *Tilt-Up*.(PCA, 1987)

Los detalles que no son correctamente considerados en diseño de las conexiones pueden resultar en retrasos de la construcción, aumento de los costos o fallos estructurales.

El propósito primario para el arriostamiento temporal de paneles de hormigón armado *Tilt-Up* es para ayudarlos a resistir las fuerzas laterales del viento. Además de estabilizar los paneles de fuertes ráfagas de viento, las abrazaderas también pueden sostener los paneles *Tilt-Up* para resistir otras fuerzas laterales, como el relleno de la cimentación o el impacto accidental al mover equipo de construcción.

Asegurar un buen sistema fortificante proveerá estabilidad adecuada al panel, por tanto, para las evitar fallos debido a fuerzas del viento, se debe prestar atención particular para:

- Los tipos, longitudes, y capacidades de las abrazaderas usadas.
- Los amarres de hormigón armado en los finales de las abrazaderas.
- La planificación de los lugares de la abrazadera en los muros.

La Tabla 1.1 muestra las uniones empleadas en el sistema constructivo de muros de naves industriales *Tilt-Up*.

Tabla 1.1 Uniones utilizadas en el sistema constructivo de muros Tilt-Up.

TIPOS DE UNIONES	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
PERNOS ESTÁNDAR Y VARILLAS ROSCADAS	Los pernos estándar y varillas roscadas son materiales de mediana fuerza y buena ductilidad. Los pernos estándar se conforman de acuerdo a la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM).	
PERNOS DE ALTA RESISTENCIA	Los pernos de alta resistencia son raras veces usados para conexiones de paneles <i>Tilt-Up</i> , son normalmente usados sólo donde los componentes de metálicos son sujetos juntos. Son reservados para condiciones de carga con requisitos altos de tensión y de esfuerzo al corte.	
PERNOS Y BARRAS CON ROSCA	Los pernos y las barras con roscas son sujetadores de hilos grueso para el uso con insertos helicoidalmente enroscados.	
INSERTOS CON ROSCA	Los insertos con rosca son incorporados en el hormigón armado para el uso con pernos estándar, cables de acero son soldados a cada nudo para proveerle el mejor anclaje al hormigón armado.	
INSERTOS DE EXPANSIÓN	Los insertos de expansión son anclajes que son introducidas en los huecos taladrados en el hormigón armado endurecido. La expansión radial del inserto ejerce una fuerza sobre las paredes del hueco, proporcionando fricción y anclaje.	
ACERO EMBEBIDO	Los aceros embebidos son generalmente usados en lugares donde se hace necesario hacer conexiones de paneles de pared con otros componentes del edificio. Típicamente, los platos y los ángulos se proyectan a ras de la superficie de concreto y a lo largo de una cara plana o una esquina. Pueden ser usados junto con platos de empalme o en ángulos adaptados para soldarse a los miembros adyacentes.	

SODADURA	Los tipos más comunes de soldaduras usadas en el <i>Tilt-Up</i> son de filete. Las soldaduras son generalmente hechas por el proceso de soldadura por arco de metal y se aplican a las formas de aceros para la construcción conteniendo en la ASTM.	
CLAVIJAS O PASADORES	Una aplicación común de clavijas o pasadores en el <i>Tilt-Up</i> es conectar paneles a la losa de piso de la edificación. Una aplicación común de clavijas es la alineación de paneles cuando son inclinados y colocados en un cimiento o un muelle.	
LECHADA DE CEMENTO DE ARENA	La lechada de cemento de arena es una mezcla de cemento Portland, arena, y agua. Generalmente tienen una alta caída y sirven para rellenar agujeros pequeños dónde el hormigón armado normal no puede ser colocado.	
PEGAMENTO EPÓXICO	Un pegamento epóxico es un sistema de dos componentes que cuando es combinado produce un material usado para adherirse. Los aditivos pueden proteger el pegamento epóxico contra la humedad.	
LECHADA EPÓXICA	Las lechadas epóxicas consisten en un sistema epóxico de dos componentes y una pasta para relleno del agregado.	
ALMOHADILLA SOPORTANTE	Las almohadillas soportantes son elementos intermedios entre elementos estructurales que producen carga. Están disponibles en una colección variada de materiales: 1. Neopreno. 2. Almohadillas de lámina de acero y neopreno. 3. Tela laminada y los almohadillas de hule. 4. Fibra sintética laminada.	

Fuente: Elaboración Propia.

1.2.8- Apuntalamiento de los paneles.

Los apuntalamientos son elementos imprescindibles en la correcta colocación de los paneles del sistema *Tilt-Up*. Para el apuntalamiento de los mismos se usan dos puntales por panel como mínimo, pero en general, se usan más. En áreas de riesgo sísmico o de vientos, pueden ser necesarios tres a cuatro puntales por panel, de modo de reducir el riesgo. Estos puntales consisten en tubos con secciones telescópicas y con tornillos de ajuste en el extremo inferior. El extremo superior se conecta a una tuerca embebida mediante un perno, y el extremo inferior se amarra a la losa de hormigón, normalmente con un perno inserto que se instala rápidamente a medida que se fijan los puntales. (Rosales, 2013)

Los puntales se seleccionan de un catálogo, que describe sus capacidades para las distintas longitudes y cargas por viento, usando un factor de seguridad de 1.5. Los puntales largos necesitan ser apuntalados a media altura para evitar su pandeo. Para este apuntalamiento lateral, deben ser apuntalados en cada dirección ya que un tubo puede pandearse alrededor de cualquier eje. (AberdeenGroup, 1995)

La conexión superior debe encontrarse por sobre la altura media del panel, y normalmente la pendiente de los puntales es de 60° con relación a la horizontal. Los puntales se apoyan en el panel y se conectan a él antes de levantarlo. Por lo tanto, se pierde poco tiempo cuando el panel es levantado - los puntales cuelgan libres y su extremo inferior puede ser sujeto rápidamente a la losa de piso. La conexión en la base demora menos de dos minutos. Mientras un hombre sujeta el puntal en la posición deseada, otro perfora un orificio en la losa de piso, y coloca un inserto en el orificio para recibir un perno que asegure el puntal. Otra alternativa es conectar el puntal a insertos instalados con anterioridad (recomendable). (Rosales, 2013)



*Figura 1.2. Dispositivos de apuntalamiento.
Fuente: (TCA, 2011)*



*Figura 1.3. Dispositivos de apuntalamiento.
Fuente: (TCA, 2011)*

1.2.9- Dispositivos para el levantamiento.

Los dispositivos para el levantamiento de los paneles, incluyen elementos que se encuentran embebidos en los paneles, o amarrados a ellos, que se usan para conectar los cables o para amarrar los puntales. También incluye la barra separadora y los cables. Estos últimos en general son proporcionados por el contratista de la grúa, mientras que los accesorios para izaje son comprados al proveedor correspondiente.

Una serie de insertos para el levantamiento con el fin de reducir la flexión del panel al ser levantado. Una flexión excesiva puede agrietar o romper el panel.

La cantidad de estos dispositivos para levantamiento es siempre un número par: se amarra un cable a dos insertos y se enlaza a través de una polea en la parte superior, de manera que se produzca el mismo tirón en los dos insertos.

La cantidad de insertos pares requeridos depende del tamaño del panel y de la resistencia entre sus puntos de levantamiento. Algunos paneles sólo requieren de dos insertos. La mayoría requiere de cuatro y algunos, ocho (cuatro pares). Los paneles muy grandes, a veces usan hasta ocho pares (16 puntos). En la Figura se ilustra las diferentes combinaciones de los dispositivos de levantamiento. También se puede apreciar la nomenclatura que describe la cantidad de puntos de levantamiento.(Rosales, 2013)



*Figura 1.4. Dispositivos de levantamiento.
Fuente: (Rosales, 2013)*

Por ejemplo, una distribución de 2 x 4 significa dos puntos en altura y cuatro a lo ancho; y una de 4 x 4 significa cuatro en altura por cuatro a lo ancho. El primer número es el número de puntos en una hilera vertical.

Conclusiones Parciales:

- El sistema constructivo de muros *Tilt-Up* constituye una de las mejores formas de construir naves industriales a nivel mundial gracias a su versatilidad, bondades económicas y a velocidad de ejecución.
- El sistema constructivo de muros *Tilt-Up* se encuentra altamente industrializado y es en la actualidad de gran alcance mundial, gozando de gran popularidad en la prefabricación actual.
- El sistema constructivo de muros *Tilt-Up* posee ventajas con respecto a sistemas tradicionales, sobre todo en los criterios de economía, facilidad de ejecución, y disponibilidad tecnológica.
- Cuba carece de una propuesta de utilización del sistema constructivo de muros *Tilt-Up* para naves industriales.

CAPÍTULO II: PLANIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN.

En el presente capítulo se caracterizan los parámetros de diseño de muros mediante el empleo del sistema constructivo *Tilt-Up*. Conjuntamente se identifican las buenas prácticas del sistema constructivo de muros *Tilt-Up* en naves industriales y sus principales características de diseño.

2.1- Elementos organizativos del sistema *Tilt-Up*.

El proceso de construcción con el método *Tilt-Up* empieza como en cualquier proyecto, evaluando primero que todo el sitio donde se realizará el proyecto. Idealmente, se busca un lugar plano y abierto, pero no es común contar con él. Sin embargo, es necesario prestar bastante atención al suelo y al subsuelo de la obra ya que estos forman parte integral del sistema *Tilt-Up*. Los contratistas que construyen *Tilt-Up* se aseguran de que existan buenas condiciones del suelo, que el relleno sea adecuadamente compactado, que se monitoree la humedad y que el subsuelo pueda soportar el piso de concreto del proyecto.(Rosales, 2013)

La naturaleza de la construcción *Tilt-Up* exige la planificación completa previa a la edificación. La mayor parte de la economía en este tipo de construcción radica en la habilidad para establecer operaciones eficientes de producción en la obra. El éxito de cada secuencia de la construcción depende del éxito de la anterior. Los errores quedan literalmente moldeados en el hormigón. Una producción exitosa requiere de organización y planificación.(Rosales, 2013).

2.1.1- Acceso al lugar y condiciones de la obra.

La ubicación de la obra puede requerir de permisos especiales para acceder a la obra con maquinaria pesada necesaria para los movimientos de tierra, las grandes grúas para manipular los paneles y enormes camiones que transporten los elementos de cubierta.

Es aconsejable, investigar sobre las restricciones en las primeras etapas. También existen disposiciones respecto de la contaminación acústica y otros motivos que alteren el entorno. Se debe considerar el cierre alrededor de la construcción para reducir el vandalismo y evitar el acceso de personas no autorizadas y posibles lesionados.

2.1.2- Acceso de las grúas.

Los contratistas de los paneles y de izaje deben recorrer el lugar y determinar el acceso de la grúa a la edificación. Deben observar los problemas de nivelación del terreno, determinar la mejor ubicación para el montaje de la grúa y de los aparejos. La preparación de las rampas de entrada y de salida de la grúa dentro del edificio deben quedar terminadas, y si fuera necesario, se debe adelgazar la losa del piso en esos lugares de manera que el peso de la grúa no dañe la losa.

2.1.3- Elementos subterráneos.

Son frecuentes los túneles, zanjas, tuberías de desagüe; es necesario conocer su ubicación y evitar aquellas que deben ser reforzadas para soportar el peso de los equipos. La ubicación de los peligros subterráneos debe quedar registrada en los planos del arquitecto/ingeniero. El contratista debe hacer las averiguaciones para descubrir otros posibles peligros subterráneos.

2.1.4- Elementos aéreos.

Los cables aéreos son un problema común tanto en las construcciones urbanas como rurales. En las primeras etapas de la planificación es importante conocer estos problemas, especialmente si se trata de cortes de energía o de izar los paneles en días más caros (sábado, domingo o festivos) cuando la interrupción del servicio eléctrico es peor para los vecinos.

2.2- Coordinación.

La coordinación y secuencias de construcción deben ser controladas constantemente. Los subcontratistas y otros proveedores tienen un tiempo específico para desarrollar sus funciones. Si un subcontratista realiza su función fuera de la secuencia, casi siempre acarrea demoras costosas y evita que progrese la secuencia de la construcción.

2.3- Secuencia de construcción.

Según varios autores (Rosales, 2013; TCA 2011) una secuencia típica de construcción para una construcción *Tilt-Up* promedio, es la siguiente:

1. Preparación del lugar.
2. Instalación del alcantarillado, sistema eléctrico y gas.
3. Moldeo y curado para las zapatas para columnas interiores.
4. Moldeo y curado de la losa de piso.

5. Preparación de los moldes, vaciado y curado de los paneles.
6. Preparación de los moldes y curado de las fundaciones exteriores (Las etapas 5 y 6 se realizan paralelamente, conservando el tiempo adecuado de curado necesario de las fundaciones).
7. Izaje y apuntalamiento de los paneles.
8. Construcción de la estructura de la cubierta.
9. Colocación del hormigón en las franjas de cierre entre la losa y los paneles.
10. Retiro de los puntales.
11. Programa para otras labores como: pintura, ornamentación del terreno, marcos interiores y terminaciones interiores.

Esta no es una secuencia rígida de tareas, pues existen muchas excepciones. Un hecho común que podría cambiar esta secuencia sería una especificación que requiera que la losa de piso sea colocada después de instalar la estructura de cubierta. En este caso, es necesario construir losas temporales ubicadas en el exterior del perímetro del edificio para construir los paneles.

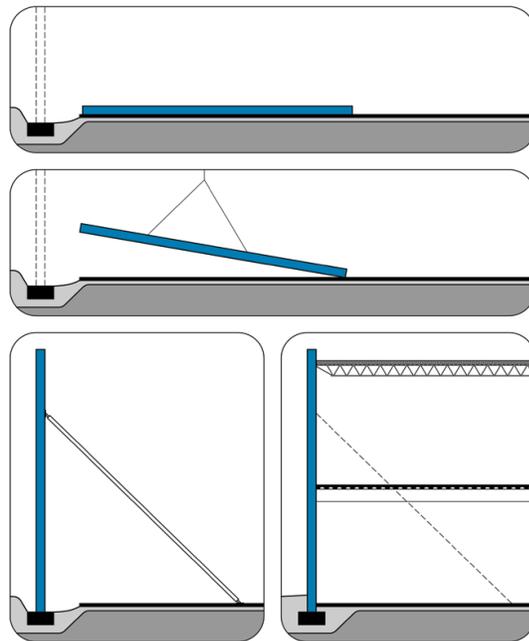


Figura 2.1. Secuencia de construcción.

Fuente: (TCA, 2011)

2.4- Plataforma de trabajo.

2.4.1- Losa de piso.

La calidad de la losa de piso constituye importante en la construcción *Tilt-Up*. Normalmente los paneles son formados en la losa de piso y cualquier imperfección de la losa quedará en el panel terminado.

Una regla general dice que los paneles deben ser moldeados en forma individual sobre la losa, ni salir fuera del perímetro del edificio sobre losas temporales, si el área total del panel no exceda del 85% del área disponible de la losa de piso.

2.4.2- Juntas.

Ubicar las juntas de control de grietas para minimizar el traspaso de estas líneas al panel. Estas líneas serán siempre. Si las juntas se rellenan con yeso, parafina, barra de estireno o se cubren con una cinta, se minimiza el costo de reparación o terminación de la superficie. La pintura o los recubrimientos no siempre eliminan los efectos visuales producidos al moldear los paneles sobre juntas no tratadas.

2.4.3- Instalaciones de alcantarillado, eléctrico y gas.

Retirar todas las tuberías eléctricas o de alcantarillado que se encuentren sobre la superficie del piso terminado. Al realizarlo se crean áreas adicionales para moldear los paneles y permite el movimiento libre de la grúa. Las proyecciones interfieren con el aplanado y pueden ser fuentes productoras de grietas.

2.4.4- Las cavidades de las columnas.

El área de piso en las cavidades de las columnas pueden ser utilizada como área de moldeo. Esto se realiza relleno hasta 3 pulgadas de la parte superior y colocando un relleno de temporal de hormigón terminado de la misma forma que el piso.

2.5- Compuestos de curado y desmoldante.

La adecuada aplicación del compuesto de curado sobre la losa de piso es muy importante. El tiempo correcto de curado es inmediatamente después del aplanado final, justo cuando la losa comienza a perder el brillo de la humedad. Se pueden seguir las recomendaciones del ACI 318 y las instrucciones del fabricante.

La combinación de los compuestos de curado y desmoldante deben cumplir con los requisitos de la ASTM C 309 (norma norteamericana). La selección y aplicación adecuadas son importantes para el éxito del proyecto. La mayoría de los proyectos

requiere que estos productos cumplan múltiples funciones y permitan a futuro trabajar con otras marcas sobre superficie de hormigón.

Para ello el contratista deberá buscar las siguientes características:

- Curado de buena calidad.
- Desmoldante de buena calidad.
- Secado de buena calidad.
- Apariencia limpia.
- Compatibilidad con endurecedores y/o recubrimientos de piso.
- Compatibilidad con las terminaciones del panel, como pintura, sellantes y adhesivos.

Se sugiere utilizar un mismo material como compuesto de curado de la losa de piso y como desmoldante entre la losa y el panel. Se debe evitar el uso de productos de diferentes marcas, para el compuesto de curado y desmoldante, ya que la compatibilidad entre ellos es importantísima. En ocasiones, especiales se especifican sellantes especiales para la losa de piso.

2.6- Representación gráfica.

Los planos de los paneles deberán ser detallados por completo y deben incluir:

- Identificación del panel.
- Todas las dimensiones.
- Armadura.
- Ubicación e identificación de los elementos embebidos.
- Terminaciones y texturas.
- Información sobre aparejos y apuntalamientos.

2.7- Ubicación de los paneles para el moldeo.

2.7.1- Planificación del trazado de los paneles.

A fin de asegurar un procedimiento de construcción eficiente se debe poner atención a la ubicación de los paneles para el hormigonado. Dos aspectos son muy importantes:

- Los paneles deben encontrarse bien ubicados para un hormigonado eficiente.
- Los paneles deben encontrarse bien ubicados para un izaje eficiente.

El contratista debe consultar con el subcontratista de izaje para desarrollar el mejor trazado. Los consejos del subcontratista de izaje deben acogerse de manera que los

paneles sean moldeados en una posición que una grúa, adecuadamente dimensionada, pueda izarlos.

2.7.2- Secuencia de izaje.

Una secuencia típica de izaje de los paneles toma en consideración los siguientes factores.

1. Preparar las condiciones especiales de apuntamiento, en las esquinas y otras interrupciones de la línea recta de construcción. En las esquinas, se podría requerir que los puntales pasen sobre o debajo del apuntalamiento de un panel previamente levantado. Al considerar las ubicaciones de los puntales con anterioridad al moldeo se puede reducir el tiempo necesario para colocar los puntales en estas situaciones.
2. Eliminar el "relleno" de los paneles donde sea posible. En lo posible, los paneles deben izarse en forma consecutiva, comenzando en una esquina.
3. El trazado y la secuencia de izaje puede realizarse dibujando un plano del piso y colocando recortes de los paneles en las ubicaciones propuestas para el hormigonado. Se debe usar estos recortes para evaluar la secuencia de izaje, elevando cada recorte del panel a mano para asegurarse que la secuencia de izaje es compatible con el trazado del panel. Esta planificación debe realizarse con el subcontratista de izaje.

2.8- Izaje.

2.8.1- Accesorios.

Los proveedores de accesorios de izaje ofrecen una amplia variedad de tipos y tamaños de insertos de izaje para diferentes capacidades de carga. Antes de construir, el contratista de paneles debe consultar con el proveedor el tipo más adecuado.

2.8.2- Selección de la grúa.

La selección de la grúa es una labor exclusiva del subcontratista de izaje. También es la oportunidad para conversar sobre los aparejos y de asegurarse de que todos los equipos lleguen junto con la grúa.

2.8.3- Izaje desde el exterior.

Si el izaje de los paneles se hará desde el exterior del edificio, el área debe estar suave y compactada de modo que la grúa no deba desplazarse sobre baches profundos o puntos blandos. Los movimientos bruscos durante la manipulación del panel imponen cargas dinámicas de la grúa y/o insertos de izaje, provocando graves sobrecargas.

2.8.4- Acceso al lugar.

Aunque el acceso al lugar es una consideración menor, será necesario para el acceso de la grúa y de uno o dos vehículos adicionales. El subcontratista de izaje también necesitará un área lo suficientemente grande para montar y desmontar la grúa.

2.9- Análisis de elevación.

Según ACI 551(2015) el izaje de los paneles *Tilt-Up* se realizan usando una grúa, y el aparejo apropiado conectado a fijadores incrustadas en la cara superior del panel, los cuales quedan embebidos en el panel durante el hormigonado, a esta parte del panel se le llama cara de levantamiento. Estas prácticas de montaje conllevan a los paneles y losas a esfuerzos de flexión que a menudo exceden las tensiones de carga de servicio de la estructura.

2.9.1- Ubicación de los insertos.

Los ingenieros y contratistas involucrados en el diseño y construcción de paneles *Tilt-Up* deben comprender la mecánica de inclinación y elevación de los paneles. Para colocar correctamente los insertos, debe ser determinado el centro de gravedad del panel, dado que los paneles de *Tilt-Up* no siempre son de peso uniforme, debido a aberturas, arcos y características estructurales. Es importante que las personas que realizan este análisis tengan experiencia en este tipo de trabajo.

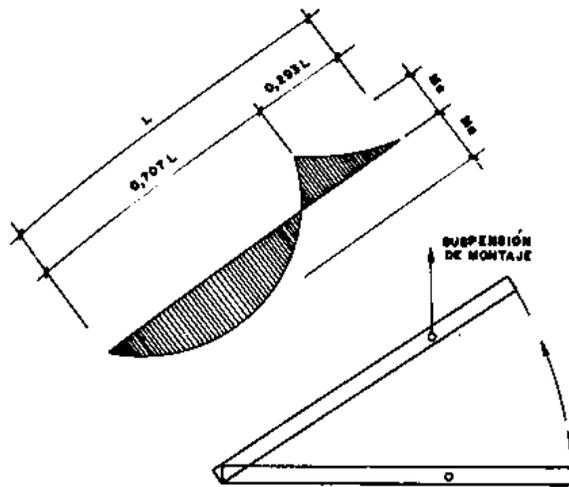


Figura 2.2 Posición adecuada de los insertos para el izaje por un punto.

Fuente:(Mapons, 1979)

2.9.2- Número de insertos.

Para establecer el número de inserciones de elevación requeridos, el peso de cada panel y su configuración debe ser determinada. Los insertos elegidos o requeridos que se colocan son cuidadosamente escogidos considerando la cantidad de insertos, tamaño del panel, y datos del centro de gravedad.

Con frecuencia los elementos de inserción caen dentro de las aberturas complicando el posicionamiento del inserto. Si un inserto debe ser movido en una dirección horizontal, el inserto opuesto (reflejo) por lo general debe ser ajustado por la misma distancia en la dirección opuesta. Si un inserto debe ser movido en dirección vertical, normalmente se deben ajustar otras inserciones por cantidades proporcionales. En algunos casos, las inserciones tienen que ser movidos en ambas direcciones requiriendo una combinación de los procedimientos anteriores. Estos procedimientos no son constantes, por lo tanto, el buen juicio y las decisiones rápidas deben gobernar.

Para facilitar la rotación, la ubicación final de las inserciones debe ser colocada lejos del centro de gravedad del panel y hacia la parte superior del panel. Los insertos deben ser simétricos, si es posible, en una línea vertical sobre el centro de gravedad del panel. Para paneles que deben permanecer horizontales, las inserciones deben estar ubicadas superponiendo el centro de elevación directamente sobre el centro de gravedad del panel.

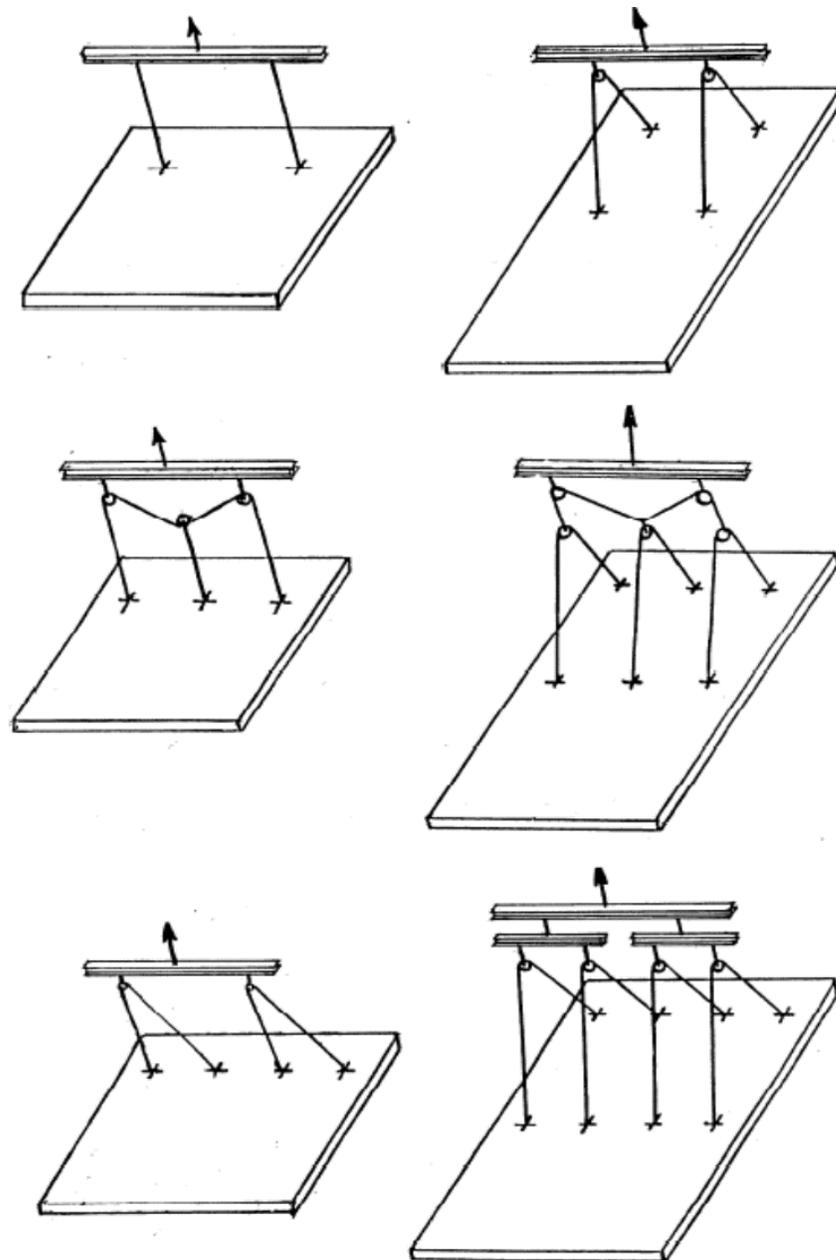


Figura 2.3 Posición adecuada de los insertos para el izaje
 Fuente: (Perrilliat and Carpizo, 2010)

2.9.3- Análisis.

Durante el montaje de los paneles *Tilt-Up*, la tensión normal del panel, los insertos de elevación variarán según el ángulo del panel y la geometría del aparejo. El aparejo estará dispuesto de manera tal que igualará la carga en inserciones, manteniendo la misma carga

resultante en cada inserto. Sin embargo, los componentes de tensión y corte en cada inserto serán en función del ángulo entre el panel y cable.

2.9.4- Análisis vertical.

Según ACI 551 (2015) para determinar los esfuerzos de flexión, el panel se trata como una viga soportada por cargas de tensión en los insertos y la reacción del suelo. Las propiedades de la sección de la viga se basan en el ancho del panel y su espesor estructural (espesor total menos características arquitectónicas y agregados expuestos). La sección total de hormigón del panel se utiliza en el análisis de izaje. La carga aplicada a lo largo de la viga es el componente normal del peso del panel. Las tensiones y las cargas de corte en los insertos varían según la geometría del aparejo y los cambios de las tensiones del panel se calculan en puntos incrementales a lo largo del panel y repetidos a varios ángulos de inclinación del panel para determinar puntos de estrés máximo. El estrés máximo usualmente ocurre a 0 grados y entre 30 y 50 grados para ascensores de dos y cuatro filas. Si se sobrepasan las tensiones permitidas, refuerzo adicional puede ser usado para controlar el ancho de la grieta.

La tensión de flexión permitida es un nivel de tensión inferior al módulo de ruptura del hormigón al momento del levantamiento. Para paneles individuales una tensión de flexión permisible de 5.5 a 6.0 $\sqrt{f'c}$ arroja resultados satisfactorios para hormigones de peso normal. El valor completo, es la resistencia a la compresión especificada en el momento del levantamiento.

2.9.5- Análisis horizontal.

El análisis horizontal se realiza de manera similar al análisis vertical. El análisis solo necesita ser realizado una vez a cero grados de inclinación porque la suma de las tensiones del inserto que actúan sobre el panel en la dirección horizontal es mayor en este punto.

2.9.6- Reforzamiento del panel.

Si la tensión de flexión del panel excede la tensión de flexión admisible, la fuerza del hormigón en el momento de elevación debe aumentarse, buscar una disposición de elevación diferente a la considerada, o el panel debe ser reforzado. El refuerzo de los elementos de hormigón se logra mediante la adición de refuerzos externos o acero de refuerzo adicional en la zona de tensión del panel.

2.10- Distribución de la carga.

Según ACI 318(2014) a menos que un análisis demuestre lo contrario, la longitud horizontal de un muro considerada como efectiva para cada carga concentrada no debe exceder la menor de la distancia centro a centro de las cargas, y el ancho del área de apoyo más cuatro veces el espesor del muro. La longitud horizontal efectiva para apoyo no debe extenderse más allá de las juntas verticales de muros a menos que se hayan diseñado para la transferencia de fuerzas a través de las juntas.

2.11- Elementos que intersectan.

Los muros deben anclarse a los elementos que los intersectan, como pisos o cubiertas, columnas, pilastras, contrafuertes, u otros muros que los intersecten; y a las zapatas.

Los muros que no dependen de elementos que los intersectan para que les proporcionen apoyo no tienen que estar conectados a dichos elementos. Con frecuencia, los muros de contención masivos se separan de los muros que los intersectan para poder acomodar las diferencias en deformaciones.

2.12- Límites de diseño.

El espesor mínimo del muro debe cumplir con la Tabla 2.1. Se permiten muros más delgados cuando el análisis estructural demuestre que el muro posee resistencia y estabilidad adecuada.

Tabla 2.1. Espesores mínimos de los muros.

Tipo de Muro	Espesor Mínimo del Muro, h	
De Carga	El Mayor de:	100 mm
		1/25 de la menor entre la altura y la longitud no apoyada
No Portante	El Mayor de:	100 mm
		1/30 de la menor entre la altura y la longitud no apoyada
Exteriores de sótanos y cimentaciones	190 mm	

Fuente: ACI 318:2014

Los muros deben diseñarse para cargas axiales excéntricas y cualquier carga lateral o de otro tipo a las que estén sometidos.

2.13- Fuerza axial y momento mayorados.

Los muros deben diseñarse para el momento máximo mayorado, M_u , que puede acompañar a la fuerza axial mayorada para cada combinación de carga aplicable. La fuerza axial mayorada, P_u , a una excentricidad dada, no debe exceder ϕP_{nmax} . El momento máximo mayorado M_u debe incrementarse por los efectos de esbeltez. Los muros deben diseñarse para la fuerza cortante máxima mayorada, V_u , en el plano y fuera del plano.

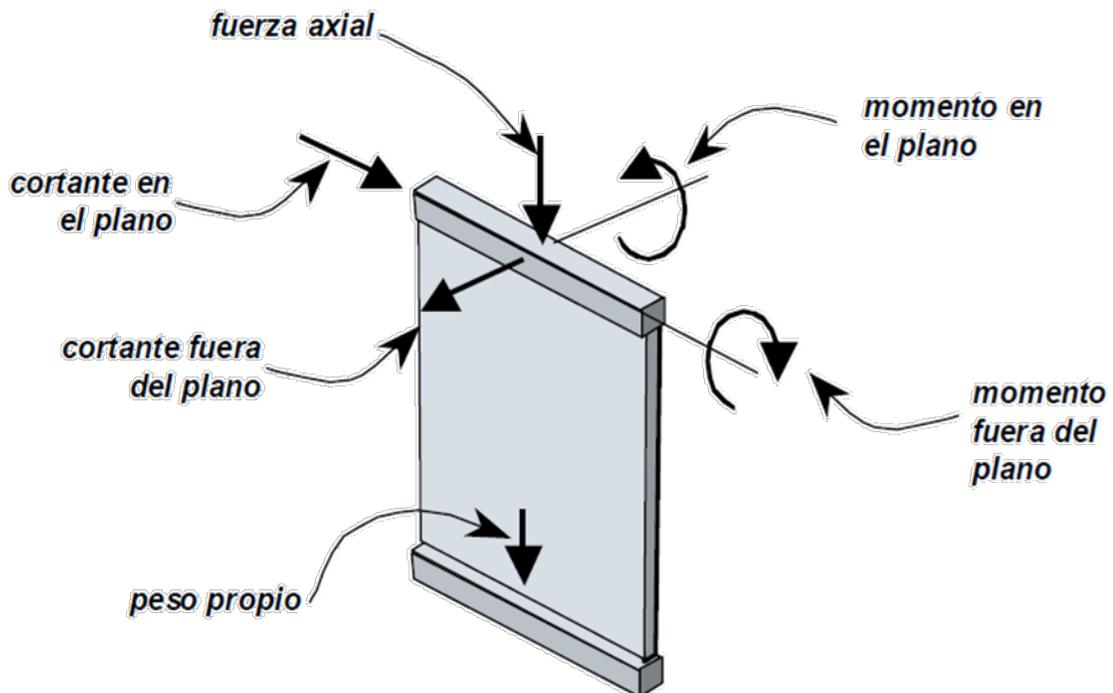


Figura 2.4. Solicitaciones a las que está sometido el muro.

Fuente: ACI 318:2014

2.14- Resistencia de diseño.

Para cada combinación de mayoración de carga aplicable la resistencia de diseño debe cumplir con $\phi S_n \geq U$ en todas las secciones del muro, incluyendo (a) hasta (c). Se debe considerar la interacción entre la carga axial y la flexión.

(a) $\phi P_n \geq P_u$

(b) $\phi M_n \geq M_u$

(c) $\phi V_n \geq V_u$

Por definición, los muros no portantes no están sometidos a fuerzas axiales significativas; por lo tanto, la resistencia a flexión no es una función de la fuerza axial.

Cuando la resultante de todas las cargas mayoradas estén localizadas dentro del tercio central del espesor total de un muro macizo con una sección transversal rectangular, se permite calcular P_n por medio de:

$$P_n = 0.55f'_c A_g \left[1 - \left(\frac{kl_c}{32h} \right)^2 \right] \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

El método de diseño simplificado se aplica sólo a secciones transversales rectangulares macizas.

Las cargas axiales excéntricas y momentos debidos a fuerzas fuera del plano se usan para determinar la excentricidad total máxima de la fuerza axial mayorada P_u . Cuando la fuerza axial resultante para todas las combinaciones aplicables de carga se encuentre localizada dentro del tercio central del espesor del muro (excentricidad no mayor de $h/6$) en todas las secciones a lo largo del muro no deformado, no hay tracción inducidas en el muro y puede emplearse el método de diseño simplificado. El diseño se efectúa en este caso considerando P_u como una carga axial concéntrica. La fuerza axial mayorada P_u debe ser menor o igual a la resistencia de diseño por carga axial ϕP_n .

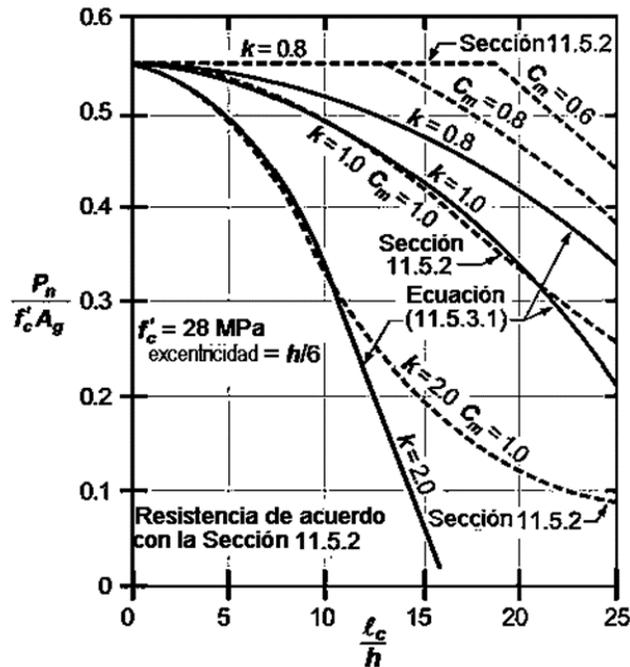


Figura 2.5. Diseño simplificado de muros.

Fuente ACI 318:2014

2.15- Cimentación.

La determinación de las características de la base, de la profundidad de cimentación y del área de la base de las cimentaciones superficiales, se realizará según lo establecido en la Norma Cubana.

El diseño estructural se realizará tomando como base las cargas de cálculo en sus combinaciones pésimas para cada aspecto a diseñar, al evaluar los Estados Límites relativos a capacidad portante, mientras que durante la comprobación del Estado Límite de fisuración, se tomarán las cargas de servicio, en sus combinaciones más desfavorables; todo ello de acuerdo con los requisitos apropiados de diseño y conforme a lo estipulado en la presente Norma.

El momento actuante será calculado por la fórmula:

$$M = \frac{1}{8} R_s (l - c)^2 \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde:

M: Momento actuante

R_s: Resistencia del suelo

l: Longitud de la base del cimiento

Son válidos los aspectos referentes al resto de los criterios (Flexión Positiva y Negativa), para la determinación del peralte en cimientos flexibles de hormigón armado. En todos los casos se realizará sólo el análisis transversal tomando $B = 1$ m., resultando válidas las formulaciones establecidas para cimientos rectangulares con esta adecuación.

Para el cálculo del refuerzo inferior y superior (si fuera necesario) en sentido transversal, se tomarán las mismas recomendaciones acerca de la posición de las secciones críticas y se seguirán las mismas formulaciones establecidas para cimientos rectangulares, haciendo $B = 1$ m, tanto para cimientos flexibles como para cimientos rígidos.

El refuerzo longitudinal se colocará en el caso más general, para satisfacer los requisitos de retracción, distribución y temperatura, por lo que su cuantía será:

$A_{\text{mín long}} = 0.0015 \cdot L \cdot h$, si se usan barras corrugadas.

$A_{\text{mín long}} = 0.002 \cdot L \cdot h$, si se usan barras lisas.

Condiciones constructivas.

- El espesor entre el fondo de la columna y el vaso será como mínimo de 50 mm.
- En el vaso se colocarán siempre 2 estribos de \varnothing 10 mm en la zona del superior del mismo. Este refuerzo tomará las tensiones posibles debidas al montaje y retracción del hormigón.
- El material de la junta será como mínimo $R_{bk} = 17,5$ MPa
- El acero mínimo longitudinal se calculará para la sección aligerada del vaso.
- La mezcla de hormigón de la junta será gravilla fina (tamaño del grano será $1/3$ del espesor de la junta) El cemento Portland P-250 como mínimo teniendo un asentamiento de 75 mm.
- Para la preparación de la mezcla se utilizará la cantidad mínima de agua necesaria para una buena elaboración de la mezcla (asentamiento no mayor de 75 mm), no se permitirá una mezcla líquida.
- La superficie interior de un vaso y de la parte empotrada de la columna se limpiará con cepillo de alambre y es necesario humedecerla.
- La rugosidad de la superficie se alcanzará sin dañar la estructura del hormigón fraguado por medio del uso de cepillo de alambre al momento de encofrar. También se alcanzará según el diseño del cofre.
- El hormigón de la junta se curará y se mantendrá húmeda por al menos 72 horas.
- Después de colocar la columna, ésta se asegurará contra todo movimiento hasta haber fraguado el hormigón. En el caso de usar cuñas se colocarán sin que dañe el vaso.
- El espesor mínimo de las paredes del vaso será 12 cm.
- La longitud mínima de empotramiento de la columna será 1.1 h, pero no mayor que 1,2 m.

Disposiciones constructivas.

- Lateralmente en la zona del fondo, el relleno de la junta tendrá un espesor no menor de 5 cm, y no mayor de 8 cm.
- Entre la parte inferior de la columna y el fondo del vaso se colocará relleno no mayor de 8 cm y no menor de 2 cm de espesor, constituido por mortero u

hormigón de gravilla de resistencia característica no menor de 17.5 MPa. Por tanto, la profundidad del vaso será igual a:

$$H_{v \max} = H_{e \max} + \text{espesor del relleno}$$

Donde:

H_v altura interior de vaso

H_e longitud de empotramiento de la columna

- Sobre el relleno fraguado se verterá en la unión con no más de $\frac{3}{4}$ de hora de antelación al momento en que la columna se introduzca en el vaso, una capa de mortero de 1 cm de espesor garantizándose así la fricción entre elementos.
- El relleno de la junta lateral se verterá después de colocada en posición la columna y fijada al vaso en forma firme por aditamentos provisionales, y se hará con hormigón de gravilla que no exceda de 1 cm de grueso y la calidad del mismo no será igual o mayor a la del hormigón de la unión y nunca de 17.5 MPa.
- El hormigón del vaso será de calidad igual a la del hormigón de pedestal o de la base del cimiento.
- Se recomienda que las esquinas interiores del vaso, no se terminen en un ángulo recto, para ello se utilizará un bisel colocado simétricamente con relación a las paredes, cuya longitud será variable por ser inclinadas las paredes interiores y cuyo valor será tal que en ningún punto de la altura la distancia de la arista de la columna al bisel sea menor del 70% del espesor de la junta a la altura correspondiente.
- Cuando se usan columnas con vértices achaflanados, la distancia entre el chaflán de la columna y el bisel del vaso será tal que el vértice que originará la prolongación de los lados, cumpla con lo especificado anteriormente.
- La longitud mínima de empotramiento de la columna H_e cumplirá con el mayor de los siguientes valores.

$$H_e \geq l_d \text{ (longitud de anclaje)}$$

$$H_e \geq \begin{cases} \bullet & 1.5 \mathbf{h} \text{ cuando } e_0 \geq 0.7 \mathbf{h} \\ \bullet & \mathbf{h} \text{ cuando } h/6 < e_0 < 0.7 \mathbf{h} \\ \bullet & 0.75 \mathbf{h} \text{ cuando } e_0 \leq h/6 \end{cases}$$

$H_e \geq 30 \text{ cm}$

- El espesor mínimo de h_f del fondo de la unión, cumplirá con la mayor de las condiciones siguientes:

$H_f \geq h/2$; $h_f \geq 25 \text{ cm}$

- En caso que la sollicitación predominante sea la compresión, es decir, con $e_0 \leq h/6$ se colocará a 5 cm por debajo del fondo del vaso, una malla formada por barras de $\varnothing 10 \text{ mm}$ espaciadas a 10 cm en ambas direcciones. De no usarse dicho refuerzo se comprobará el fondo del vaso a presiones de contacto localizadas según la NC 53-39.

2.16- Propuesta de cimentación.

Se propone el uso de un cimiento de tipo vaso corrido debido a que la forma del plato propicia un mejor anclaje del muro con la cimentación reduciendo los métodos de anclajes necesarios para la unión entre ambos elementos. Simplifica el izaje y la correcta colocación de los muros en su posición final sin la necesidad de tener una guía bien definida. Permite disminuir la cantidad de arriostramiento necesario para sostener los muros en pie, por lo que reduce la cantidad de insertos metálicos embebidos en el hormigón reduciendo los gastos de producción de estos elementos.

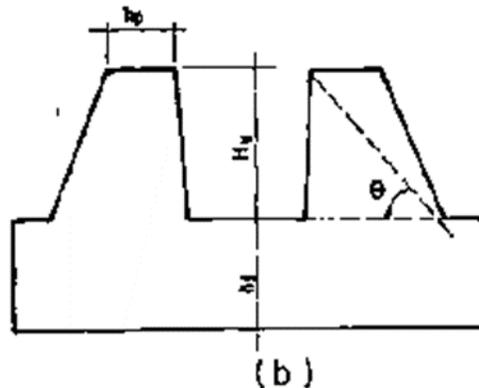


Figura 2.6. Cimentación de Vaso.

Fuente: NC 53-87:1989

Conclusiones parciales:

- El factor económico del sistema constructivo de muros *Tilt-Up* depende en gran medida de la correcta organización de la obra a ejecutar.
- Es de vital importancia para el sistema constructivo de muros *Tilt-Up* la correcta colocación de los apuntalamientos, estos aportan la rigidez necesaria hasta la culminación de la estructura.
- El acabado de los muros depende de la buena terminación de la losa de piso, por lo que la terminación debe ser lo más lisa posible.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se da a conocer el diseño de una nave industrial utilizando el sistema constructivo de muros *Tilt-Up*. Se realiza una descripción de la estructura, así como se exponen los procedimientos y espectros de diseño de los elementos del mismo. Además, se realiza un análisis comparativo de los renglones variantes del proceso constructivo de la nave de agregados menores de EMPERCAP con sistema tradicional y su rediseño utilizando el sistema constructivo *Tilt-Up*.

3.1- Descripción general de la estructura.

La estructura constará con luz de 18m e intercolumnios de 6m con un total de 36m de longitud y altura de 10m, es techada en toda su longitud, serán de cimentación de vaso corrida y muros de carga. Constará de dos tipos de muros *Tilt-Up*, uno de dimensiones de 6x10 y otros de 3x10 metros, debido a que se optimizan la cantidad de moldes, los espacios de encofrado, se optimiza la superficie útil de hormigonado.

Por norma general se debe dejar espacio entre los moldes de los muros, por lo que menos muros conlleva a menores espacios entre el encofrado de los muros, lo que permite mayor cantidad de muros en una sola fase de hormigonado. Cada muro poseerá una ménsula ubicada a 8 metros de altura la cual sostendrán un puente grúa de 18 toneladas.

El lugar de ubicación de la obra clasifica como agresividad alta atendiendo a las indicaciones de la NC 120: 2014.

En el caso específico de los elementos de hormigón armado se emplean los valores de recubrimientos regulados y las calidades de dicho material en función del grado de agresividad a que se someten.

Para ello se exigen resistencias mínimas del hormigón de 30MPa a los 28 días, empleando para ello preferiblemente cementos P-350.

En el caso de emplear algún aditivo plastificante o superfluidificante, se tienen que garantizar las propiedades exigidas en el proyecto, para la obtención de los parámetros de máxima relación agua/cemento, que en este caso específico no deben exceder de 0.45. No se podrán emplear aditivos con contenidos de cloruros u otros componentes químicos que puedan ocasionar la corrosión de las armaduras de refuerzo.

3.1.1- Requisitos generales a tener en cuenta en la construcción.

Las armaduras se colocarán limpias, exentas de óxido no adherente, pintura grasa o cualquier otra sustancia perjudicial.

Podrán ser empleadas, como norma general, todas las aguas aceptadas en la práctica habitual, debiéndose analizar aquellas que no posean antecedentes concretos u ofrezcan dudas en su composición, y puedan alterar las propiedades exigidas a morteros y hormigones.

El vertido del hormigón se efectuará de manera que no se produzcan disgregaciones, y a una altura máxima de caída libre de 1m, evitando desplazamientos verticales de la masa una vez vertida. Preferiblemente el hormigón debe ir dirigido mediante canaletas.

El curado del hormigón se realizará una vez endurecido el elemento lo suficiente, para que no se produzca la erosión de su superficie. Se realizará manteniendo húmeda la superficie de la cimentación mediante riego directo a través de un material, que sea capaz de retener la humedad.

La estructura compuesta por muros de carga. La consistencia del hormigón será de un hormigón de resistencia característica a los 28 días de 30 MPa (300 kg/cm²) y el acero será G-40 será plástica (asiento máximo entre 5 y 9 cm medidos en el cono de Abrams).

La compactación del hormigón se hará con el vibrador, controlando la duración, distancia, profundidad y forma de vibrado. Una vez endurecido el hormigón lo suficiente como para no producir erosión, se procederá a realizar el curado de su superficie utilizando mantas de saco húmedas, regadas periódicamente durante un mínimo de 7 días.

Los encofrados podrán ser indistintamente de madera o metálicos, de superficie uniforme, limpia y exenta de residuos de hormigón. Deberán tener la rigidez y espesor suficiente para soportar las cargas de los elementos a hormigonar. (El espesor de la tablazón no será inferior a 2,5 cm tanto en costeros como en fondos). Las uniones de los diferentes elementos que componen el encofrado serán estancas para evitar pérdidas de la pasta de cemento.

Para la producción, colocación, compactación y curado del hormigón se tendrán en cuenta los requerimientos de la NC 412: 2005.

3.1.2- Especificaciones técnicas.

Durante la ejecución de los trabajos de estructura, se cumplirá con los requerimientos de la norma NC-250-2005 referente a la durabilidad de las estructuras de hormigón.

Los materiales fundamentales a utilizar deben tener las siguientes calidades.

- Hormigón estructural:

Resistencia a la compresión medida en cilindro normalizado =30 MPa (como mínimo) para cimientos, columnas y vigas.

- Acero de refuerzo ordinario: Límite elástico = 300 MPa

3.2- Análisis y diseño estructural de muros *Tilt-Up*.

3.3.1- Cálculo del muro.

Para el análisis y diseño de los muros *Tilt-Up* se siguió el procedimiento mostrado en el manual de la TCA (*Tilt-Up Concrete Association*), pero empleando las cargas unitarias y espectros de diseño de las normas cubanas. El diseño de los muros estará regido principalmente por tres tipos de cargas: fuerzas verticales (peso propio, carga muerta y carga viva), fuerzas laterales (viento) y fuerzas cortantes en la base (deslizamiento).

Datos:

- Puente Grúa de 18t
- Cubierta Ligera de 2t
- Recubrimiento 4cm NC:120.2007, Ambiente agresivo.
- Carga de Viento

Donde:

- Zona de viento I
- Recurrencia 50 Años
- Sitio Expuesto
- Tipo de terreno B
- Altura max del edificio= 10.0 m

Tabla 3.1 Coeficientes de carga de viento.

q dis=	q10	Cr	Cs	Ch	Cra	Cfo	Cred	g
q dis=	130 kg/m ²	1	1.1	0.65	1.36	1.3	1.0	1.4

Fuente: Elaboración Propia.

$$q_{dis\ elu} = 230 \text{ kg/m}^2 = 0.23 \text{ tm}^2$$

$$w = \frac{Mu}{\phi f'c \times b \times d^2} = 0.094 \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Donde:

ϕ : 0.9

$f'c$: 30MPa

b : 0.15m

d : 0.11m

w	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
0,00	0,0	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0090
0,01	0,0099	0,0109	0,0119	0,0129	0,0139	0,0149	0,0159	0,0168	0,0178	0,0188
0,02	0,0197	0,0207	0,0217	0,0226	0,0236	0,0246	0,0256	0,0266	0,0275	0,0285
0,03	0,0295	0,0304	0,0314	0,0324	0,0333	0,0343	0,0352	0,0362	0,0372	0,0381
0,04	0,0391	0,0400	0,0410	0,0420	0,0429	0,0438	0,0448	0,0457	0,0467	0,0476
0,05	0,0485	0,0495	0,0504	0,0513	0,0523	0,0532	0,0541	0,0551	0,0560	0,0569
0,06	0,0579	0,0588	0,0597	0,0607	0,0616	0,0626	0,0634	0,0643	0,0653	0,0662
0,07	0,0671	0,0680	0,0689	0,0699	0,0708	0,0717	0,0726	0,0735	0,0744	0,0753
0,08	0,0762	0,0771	0,0780	0,0789	0,0798	0,0807	0,0816	0,0825	0,0834	0,0843
0,09	0,0852	0,0861	0,0870	0,0879	0,0888	0,0897	0,0906	0,0915	0,0923	0,0932
0,10	0,0941	0,0950	0,0959	0,0967	0,0976	0,0985	0,0994	0,1002	0,1001	0,1020
0,11	0,1029	0,1037	0,1046	0,1055	0,1063	0,1072	0,1081	0,1089	0,1098	0,1106
0,12	0,1115	0,1124	0,1133	0,1141	0,1149	0,1158	0,1166	0,1175	0,1183	0,1192
0,13	0,1200	0,1209	0,1217	0,1226	0,1234	0,1243	0,1251	0,1259	0,1268	0,1276
0,14	0,1284	0,1293	0,1301	0,1309	0,1318	0,1326	0,1334	0,1342	0,1351	0,1359
0,15	0,1367	0,1375	0,1384	0,1392	0,1400	0,1408	0,1416	0,1425	0,1433	0,1441
0,16	0,1449	0,1457	0,1465	0,1473	0,1481	0,1489	0,1497	0,1506	0,1514	0,1522
0,17	0,1529	0,1537	0,1545	0,1553	0,1561	0,1569	0,1577	0,1585	0,1593	0,1601
0,18	0,1609	0,1617	0,1624	0,1632	0,1640	0,1648	0,1656	0,1664	0,1671	0,1679
0,19	0,1687	0,1695	0,1703	0,1710	0,1718	0,1726	0,1733	0,1741	0,1749	0,1756
0,20	0,1764	0,1772	0,1779	0,1787	0,1794	0,1802	0,1810	0,1817	0,1825	0,1832
0,21	0,1840	0,1847	0,1855	0,1862	0,1870	0,1877	0,1885	0,1892	0,1900	0,1907
0,22	0,1914	0,1922	0,1929	0,1937	0,1944	0,1951	0,1959	0,1966	0,1973	0,1981
0,23	0,1988	0,1995	0,2002	0,2010	0,2017	0,2024	0,2031	0,2039	0,2046	0,2053
0,24	0,2060	0,2067	0,2075	0,2082	0,2089	0,2096	0,2103	0,2110	0,2117	0,2124
0,25	0,2131	0,2138	0,2145	0,2152	0,2159	0,2166	0,2173	0,2180	0,2187	0,2194
0,26	0,2201	0,2208	0,2215	0,2222	0,2229	0,2236	0,2243	0,2249	0,2256	0,2263
0,27	0,2270	0,2277	0,2284	0,2290	0,2297	0,2304	0,2311	0,2317	0,2324	0,2331
0,28	0,2337	0,2344	0,2351	0,2357	0,2364	0,2371	0,2377	0,2384	0,2391	0,2397
0,29	0,2404	0,2410	0,2417	0,2423	0,2430	0,2437	0,2443	0,2450	0,2456	0,2463
0,30	0,2469	0,2475	0,2482	0,2488	0,2495	0,2501	0,2508	0,2514	0,2520	0,2527

Figura 3.1 Cuantía de secciones rectangulares sometidas a flexocompresión

Fuente: ACI, 2014

$$p = w \frac{f_y}{f'c} = 0.00592 \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Donde:

f_y : 300MPa

$f'c$: 30MPa

$$As = p \times b \times d = 6.65 \text{ cm}^2$$

(Ecuación 3.3)

➤ **Especificaciones para la colocación de acero en muros.**

- Separación entre armaduras no mayor de 330mm.
- Separación entre armaduras no mayor del doble del espesor del muro.
- Colocar los estribos en distancias no superiores a 500mm

Tabla 3.2 Cuantía de acero por especificaciones en muros.

Vertical	0.0012	$\varnothing < 16 \text{ mm}$	Horizontal	0.0020	$\varnothing < 16 \text{ mm}$
	0.0015	$\varnothing \geq 16 \text{ mm}$		0.0025	$\varnothing \geq 16 \text{ mm}$

Fuente: ACI:318.2014

- **Colocación de los aceros en el muro.**

Área real de acero vertical a tracción $7 \text{ cm}^2 = \varnothing 12 @ 170 \text{ mm}$

Área real de acero vertical a compresión $3 \text{ cm}^2 = \varnothing 10 @ 300 \text{ mm}$

Área real de acero horizontal por temperatura $3 \text{ cm}^2 = \varnothing 10 @ 300 \text{ mm}$

3.3.2- Diseño de las ménsulas.

Para el diseño de las ménsulas se siguió el procedimiento mostrado en las normas cubanas (NC:203.2003: Requisitos generales para el diseño y construcción de estructuras de Hormigón).

El diseño se realizó como una ménsula corta debido a que cumple con los requisitos de la NC:203.2003-11.15

a) la relación $\frac{a}{h} \leq 1$

b) La fuerza horizontal H^* no sea mayor que la carga vertical N^*

c) $h_{t1} \geq 0,5 h_t$

Datos:

$b = 0.40 \text{ m}$

$N^* = 9.00 \text{ Ton}$

$h_t = 0.38 \text{ m}$

$a = 0.12 \text{ m}$

$h_{t1} = 0.19 \text{ m}$

$H^* = 4.54 \text{ Ton}$

$h_t - h = 0.02 \text{ m}$

$a_h = 0.02 \text{ m}$

Donde:

a: Distancia entre la línea de acción de la resultante de la carga vertical y la sección adyacente al soporte.

h_t : Peralto total de la ménsula.

h_{t1} : Peralto total en el extremo de la ménsula.

H : Peralto efectivo.

N'^* : Resultante de la carga vertical actuante de cálculo, esta incluirá el efecto dinámico en caso de existir.

H^* : Fuerza horizontal de cálculo.

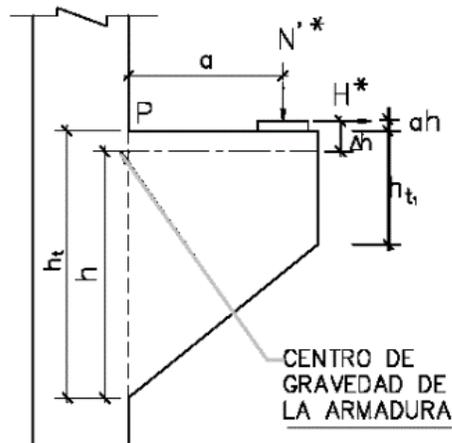


Figura 3.2 Dimensiones de una ménsula

Fuente: NC:207(2003)

Hormigón

30.0 MPa Tipo de control: Normal

$Y_b = 1.6$

$R^*_{b'} = 18.8 \text{ MPa}$

$R^*_{b'} = 0.188 \text{ T/cm}^2$

$\gamma_{s1} = 0.92$

Acero

$R_a(\text{MPa}) = 300 \text{ MPa}$ Tipo de fallo: grave

$Y_a = 1.2$ $\gamma_{s2} = 0.85$

$R^*_a(\text{MPa}) = 250 \text{ MPa}$

$R^*_a(\text{MPa}) = 2.5 \text{ T/cm}^2$ $\gamma_s = 0.78$

Diseño de ménsulas cortas

$$M^* = N'^* a + H^* \Delta H$$

(Ecuación 3.4)

$$M^* = 5.66 \text{ Tm}$$

Cálculo de armaduras principales

$$\varepsilon^*af= 0.00125$$

$$\mu= 0.1072$$

$$\mu_{lim}= 0.4157$$

$$\omega=y/h 0.1137$$

$$k_{lim}= 0.737$$

$$k=x/h= 0.142$$

$$x_{lim}= 0.22 \text{ m}$$

$$x=y/0,8b= 0.04 \text{ m}$$

$$A_h = \frac{H^*}{R_a^* \times \gamma_s}$$

$$A_f = 10.23 \text{ cm}^2$$

$$A_h = 2.32 \text{ cm}^2$$

Aceros de ménsula

➤ Acero principal A_f

$$\bullet A_m = A_f + A_h \quad A_{m1} = 12.55 \text{ cm}^2 \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

$$\bullet A_m = \frac{2}{3} A_v + A_h \quad A_{m2} = 4.04 \text{ cm}^2 \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

$$\bullet A_m = 0.04 \left(\frac{R'_b}{R_a^*} \right) \times b \times h \quad A_{m3} = 4.56 \text{ cm}^2 \quad (\text{Ecuación 3.7})$$

$$A_m = 12.55 \text{ cm}^2$$

➤ Acero secundario A_s

$$A_s \text{ min} = 5.12 \text{ cm}^2 \quad A_s = 0,5 (A_m - A_h)$$

$$A_s = 5.12 \text{ cm}^2 \text{ a disponer en } \frac{2}{3} h$$

Cuantía de acero: 1.5%

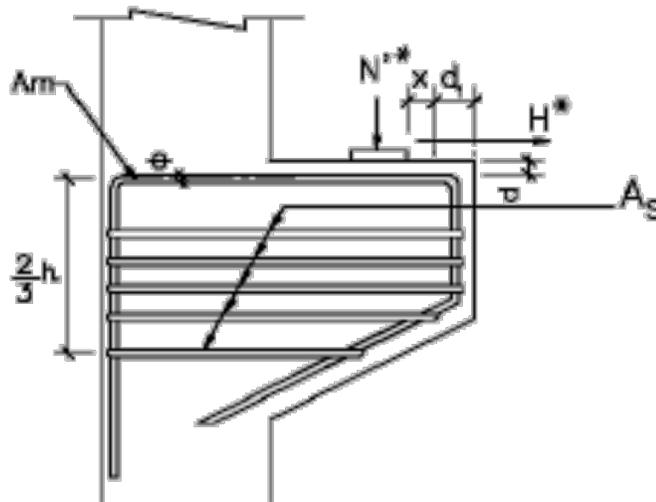


Figura 3.3 Colocación de acero en una ménsula

Fuente NC:207(2003)

3.3.3- Cálculo del pandeo de los muros.

Pandeo en columnas rectangulares según NC:207.2003

Geometría

$$b = 1.00 \text{ m}$$

$$d' = 4 \text{ mm}$$

$$h_t = 0.15 \text{ m}$$

$$A' = 3.0 \text{ cm}^2$$

$$L_c = 8.00 \text{ m}$$

$$\alpha_p = 0.7$$

$$L_p = 5.60 \text{ m}$$

$$\lambda_m = 129.33$$

$$e_c = 0.033 \text{ m}$$

$$A = 7.0 \text{ cm}^2$$

$$d = 4 \text{ mm}$$

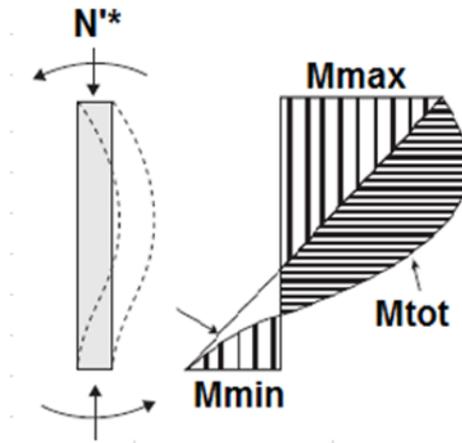


Figura 3.4 Distribución de momentos en muros pandeados

Fuente: NC:207(2003)

Para elementos sometidos a compresión se considera como excentricidad final (e_f) la siguiente:

$$e_f = \eta(e_o + e_c) = 0.255 \text{ m} \quad (\text{Ecuación 3.8})$$

donde:

e_c : excentricidad constructiva igual al mayor de los siguientes valores:

1/30 de la dimensión mayor de la sección transversal

1/600 de la longitud libre del elemento

e_o : excentricidad real o virtual (m)

$$e_o = 0.154 \text{ m}$$

$$e_o + e_c = 0.188 \text{ m}$$

$$\eta \frac{1}{1 - \frac{\sum N^*}{\sum N^*_{crit}}} = 1.356 \quad (\text{Ecuación 3.9})$$

$$N^*_{crit} = \frac{6.4E'b}{l_p^2} \left[\frac{I_b}{k_{ld}} \left(\frac{0.11}{0.1+t/k_{pr}} + 0.1 \right) + I_a \right] \quad (\text{Ecuación 3.10})$$

$$N^*_{crit} = 42 \text{ T}$$

$$N^*/N^*_{crit} = 0.262$$

$$M^*_{ajust} = 2.8 \text{ T-m}$$

$$M_{max} = 2.9 \text{ T-m}$$

$$M_{min} = -1.8 \text{ T-m}$$

$$N^*_{crit} = 42 \text{ T} \geq N^* = 11.0 \text{ T}$$

$$M_{max} = 2.9 \text{ Tm} \geq M_{inf} = 2.40 \text{ Tm}$$

➤ Por tanto, la sección cumple.

3.3.4- Cálculo de izaje.

El cálculo del izaje se llevó a cabo de acuerdo a la norma cubana NC:439-2006. Componentes prefabricados de hormigón- Dispositivos de izaje- Características y cálculo. Se considerará una carga adicional mínima de 100 Kg/m² debido a que según NC:439-2006 en el caso de componentes prefabricados que presenten para el despegue un área grande de contacto con el molde se le añadirá tal carga de despegue.

Para el izaje de los muros, debido a su envergadura se usarán 4 puntos de izaje tanto de manera vertical como horizontal distribuidos como se muestra en la figura 3.5 y 3.7 debido a que esta distribución genera los menores momentos durante el izaje. Luego del análisis de las sollicitaciones se puede observar que los esfuerzos resultantes del izado que se muestran en la figura 3.7 son menores a los permisibles por el muro. El muro puede ser izado sin comprometer su estructura.

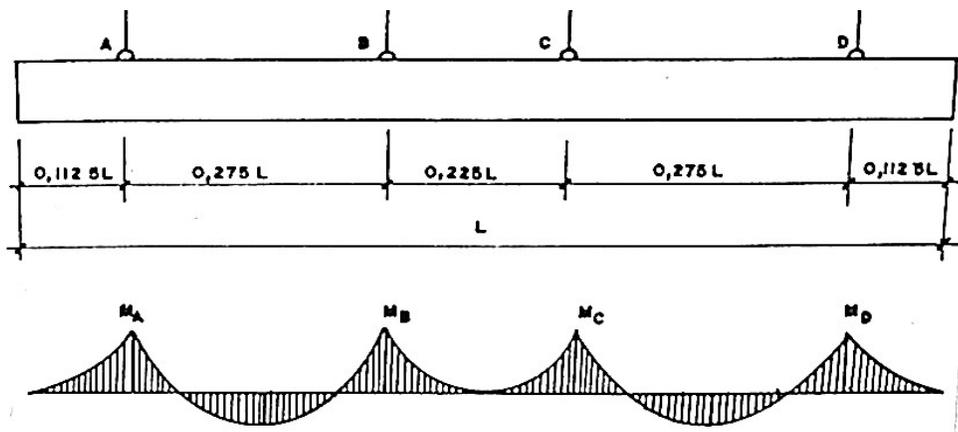


Figura 3.5 Punto de izaje óptimo para 4 puntos de izaje
Fuente: Maçons, (1979)

$$M_a = M_b = M_c = M_d$$

$$M_{ab} = M_{cd} = \frac{M_a}{2}$$

$$M_{bc} = 0$$

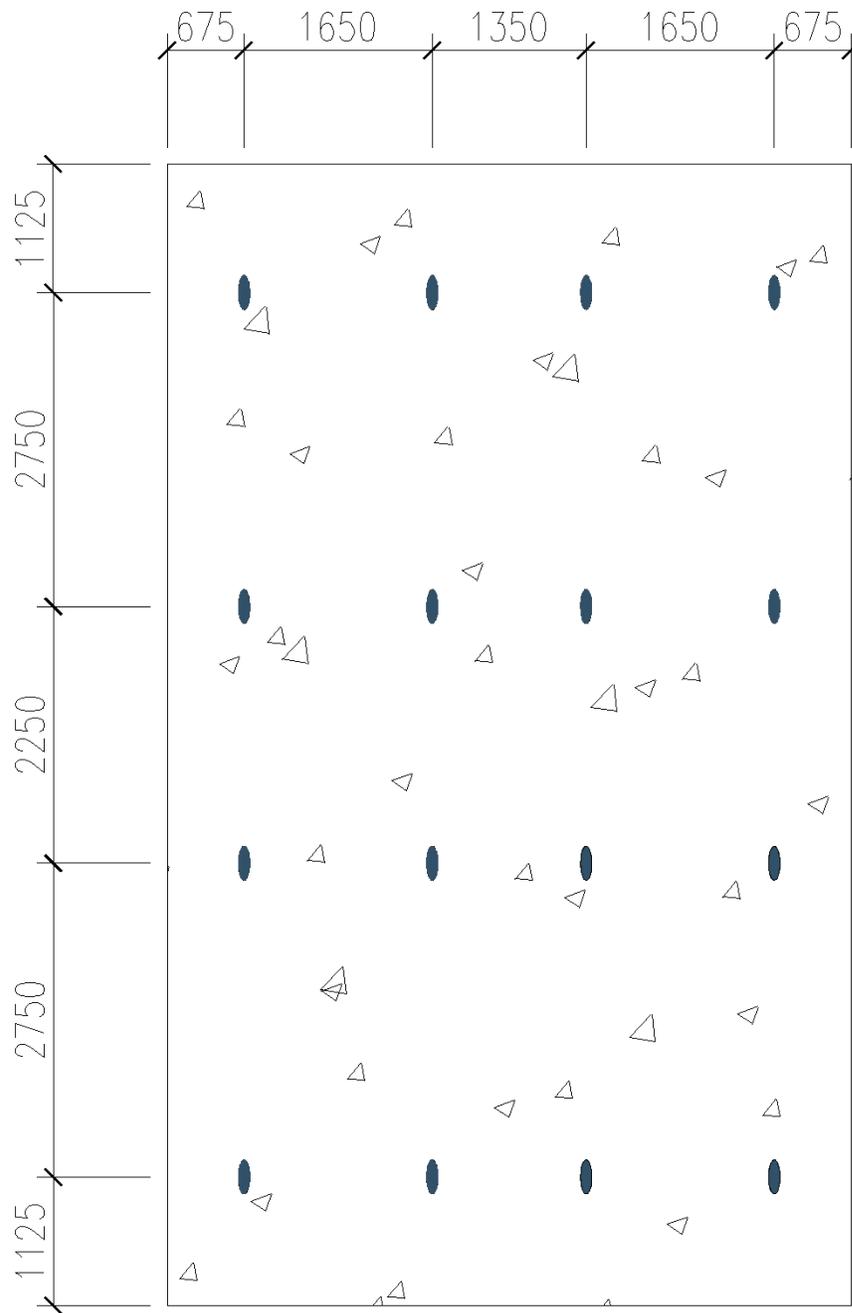


Figura 3.6 Colocación de los insertos en el panel para el izaje

Fuente: Elaboración Propia

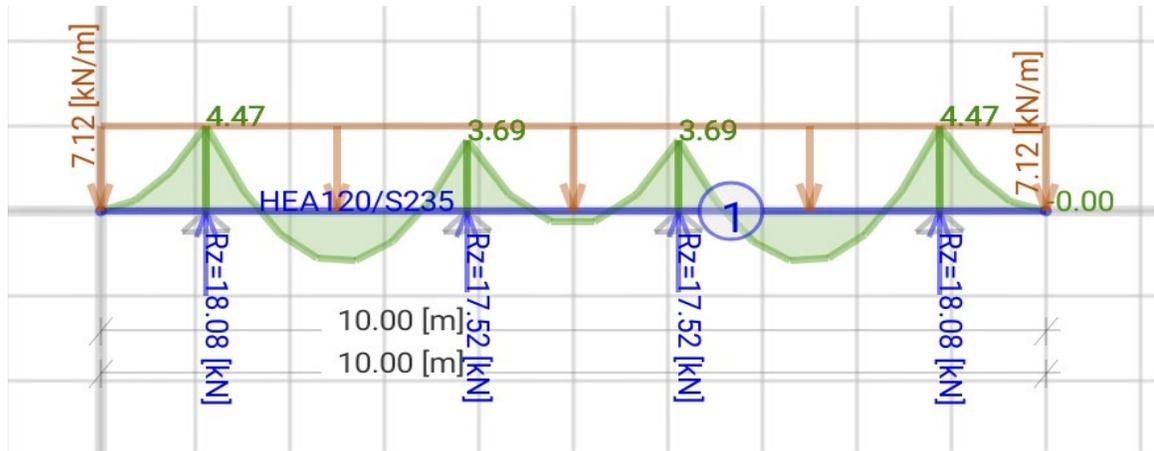


Figura 3.7 Distribución de fuerzas en el panel durante el izaje.

Fuente: Elaboración Propia

3.3- Organización de obra

Tanto como la etapa de excavación, cimentación y el hormigonado de la losa de piso se ejecutan de igual manera que un sistema tradicional. La secuencia de construcción constará de tres fases de hormigonado e izaje, las cuales constarán de las mismas actividades, que se organizarán de manera óptima que el encofrado de los paneles sea en la superficie no utilizada de la losa de piso, sin dificultar el apuntalamiento de los demás paneles izados.

El hormigonado de los muros seguirá los puntos siguientes:

1. Preparación de área de hormigonado: En este punto se limpiará, nivelará y pulirá la zona donde se hará el hormigonado de los muros. Dado que la parte inferior será la fachada, es importante que ésta no tenga imperfecciones.
2. Diseño y preparación del encofrado: para fabricar el encofrado, es importante que la madera sea de buena calidad y tenga acabados que no produzcan imperfecciones en los muros, durante este proceso tendrá que realizarse un trazo en el piso que se esté hormigonando (generalmente se realiza con tiralíneas) para verificar la correcta colocación de los moldes.
3. Preparación del acero: en este punto es importante definir cuantas camadas de acero requiere cada muro, así como refuerzos adicionales, para bajadas pluviales, ventanas, cortinas, puertas, extractores y vanos a futuro, en este punto es cuando se colocan las placas empotradas.

4. Hormigonado: durante este proceso es importante revisar que el hormigón tenga la resistencia adecuada, se procurará que el vibrado del hormigón sea adecuado para evitar oquedades, es importante que se deje el acabado perfectamente a nivel y sin imperfecciones.
5. Colocación de placas embebidas: estas placas se deberán de colocar en cuanto comience a fraguar el hormigón para evitar su hundimiento, se debe verificar que queden bien alineadas para la conexión con la estructura secundaria de la nave.



Figura 3.8 Inserto coil bolt burke

Fuente: (Rosales, 2013)

Durante la colocación de apuntalamientos estos deben de colocarse de acuerdo a los que se requieran por diseño en cuanto a longitud y diámetros, (comúnmente se requiere realizar o un ángulo de 45° o 60°), la colocación se realiza de la siguiente manera:

1. Se ubica el inserto (tipo *coil bolt burke*).
2. Se atornillan el extremo del elemento con el inserto *coil bolt burke*.
3. Se tiende sobre el muro. Un muro deberá llevar al menos dos elementos de apuntalamiento.

El izaje se realizará utilizando una grúa móvil, cumpliendo con las tres fases constructivas y los puntos de izaje.

Tabla 3.3 Actividades de obra

FASE		Actividades
Cimentación	1	Excavación
	2	Relleno
	3	Encofrado de los Cimientos
	4	Armadura de la Cimentación
	5	Hormigonado de los Cimientos
	6	Rehincho
Losa	7	Encofrado de losa de piso
	8	Acero de losa de piso
	9	Hormigonado de losa de piso
	10	Terminación
Fase 1	11	Encofrado de paneles
	12	Armadura de paneles
	13	Fundición de paneles
	14	Izaje y anclaje
	15	Hormigonado de juntas
Fase 2	16	Encofrado de paneles
	17	Armadura de paneles
	18	Fundición de paneles
	19	Izaje y anclaje
	20	Hormigonado de juntas
Fase 3	21	Encofrado de paneles
	22	Armadura de paneles
	23	Fundición de paneles
	24	Izaje y anclaje
	25	Hormigonado de juntas

Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.9 Hormigonado de los muros (fase 1)

Fuente: Elaboración Propia

FASE 1 (HORMIGONADO)

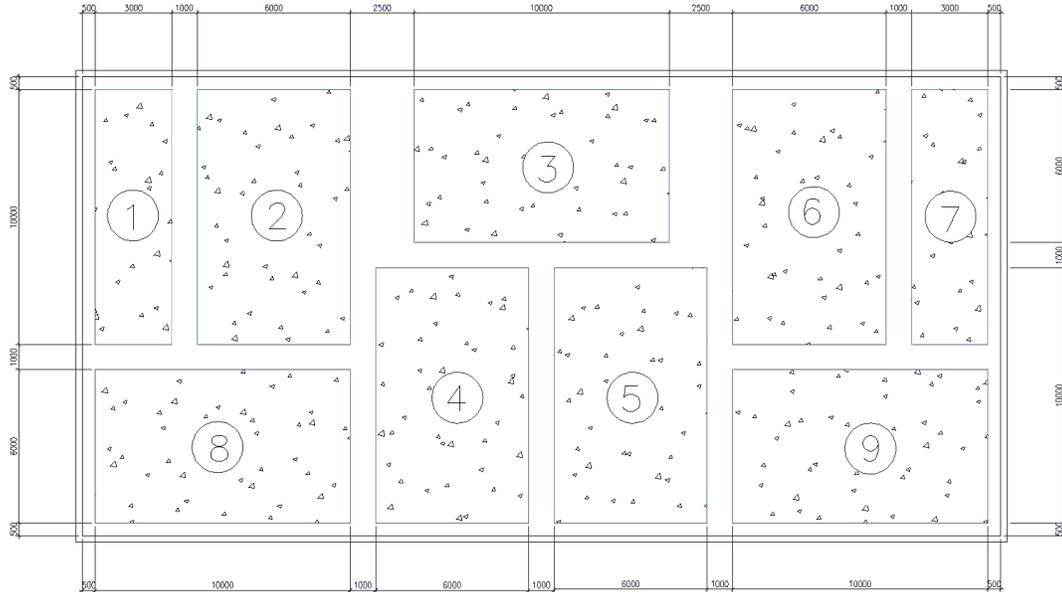


Figura 3.10 Izaje de los muros (fase 1)

Fuente: Elaboración Propia

FASE 1 (IZAJE)

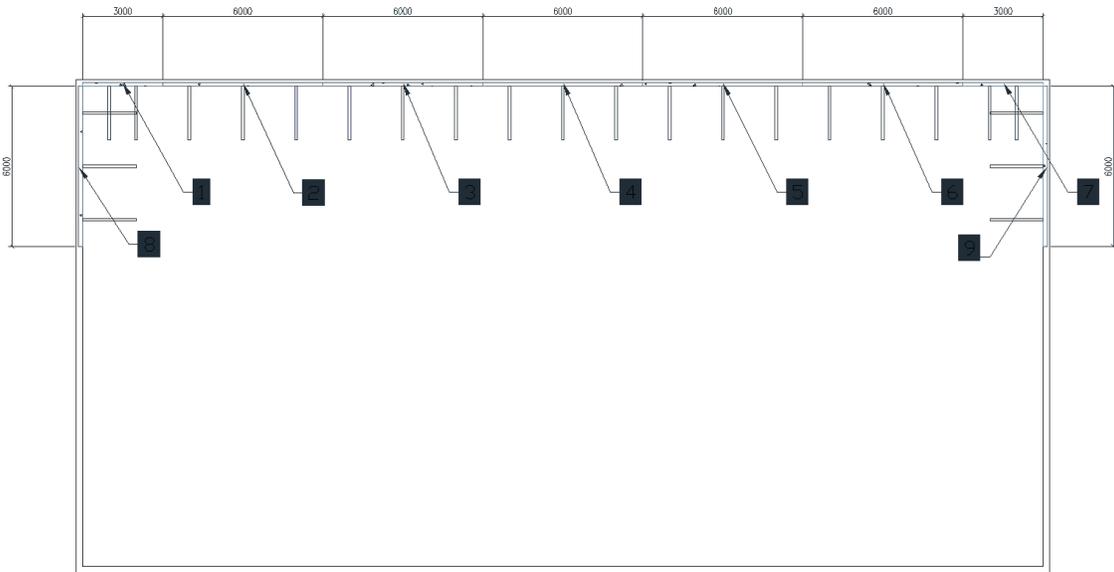


Figura 3.11 Hormigonado de los muros (fase 2)

Fuente: Elaboración Propia

FASE 2(HORMIGONADO)

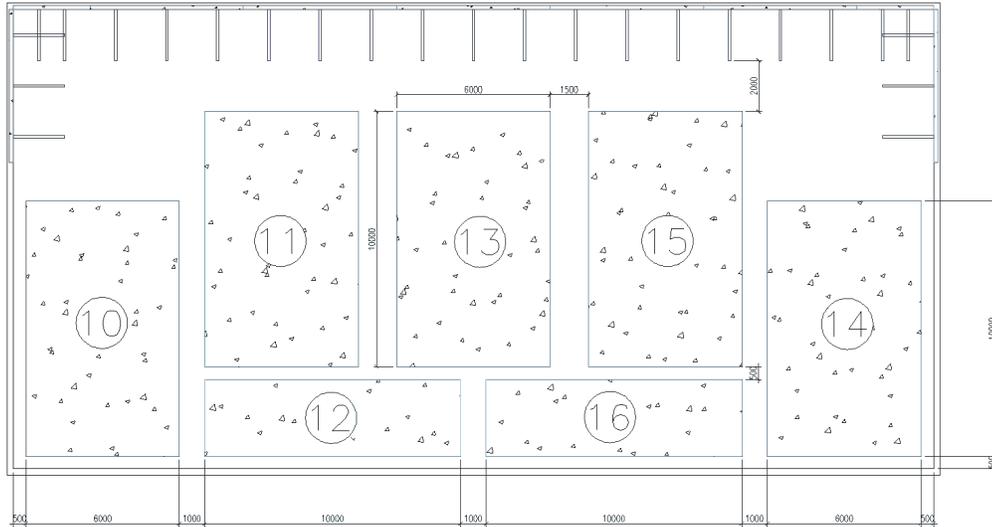


Figura 3.12 Izaje de los muros (fase 2)

Fuente: Elaboración Propia

FASE 2(IZAJE)

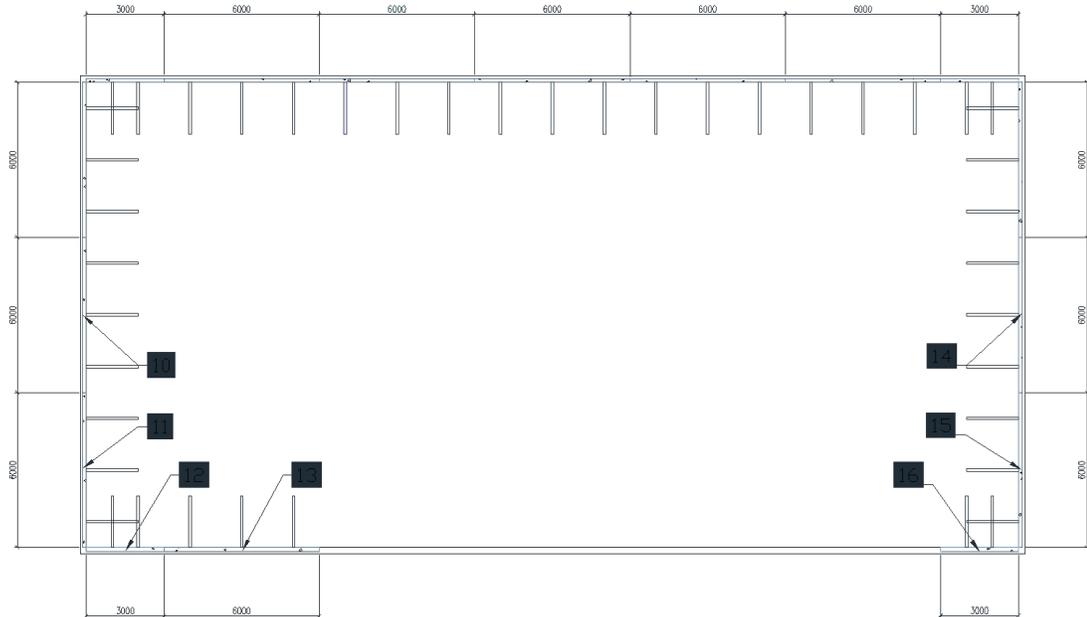


Figura 3.13 Hormigonado de los muros (fase 3)

Fuente: Elaboración Propia

FASE 3(HORMIGONADO)

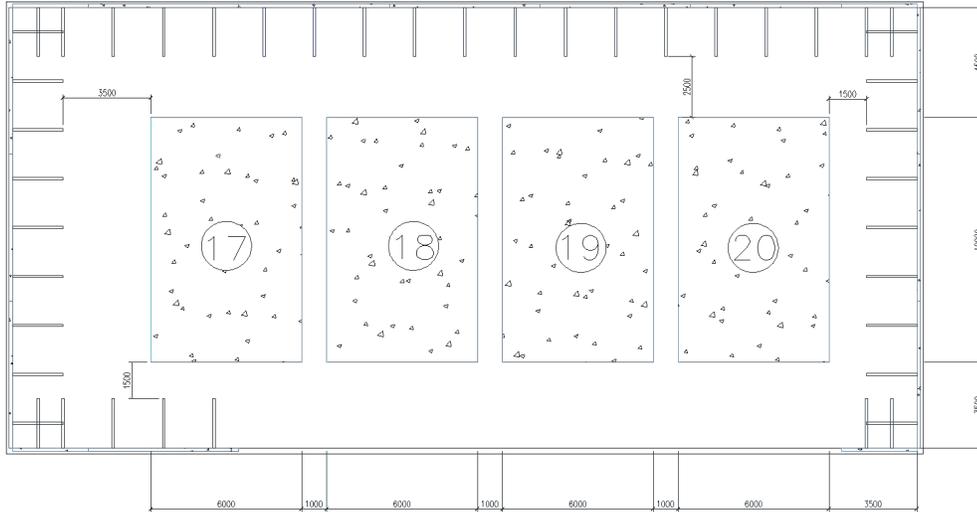
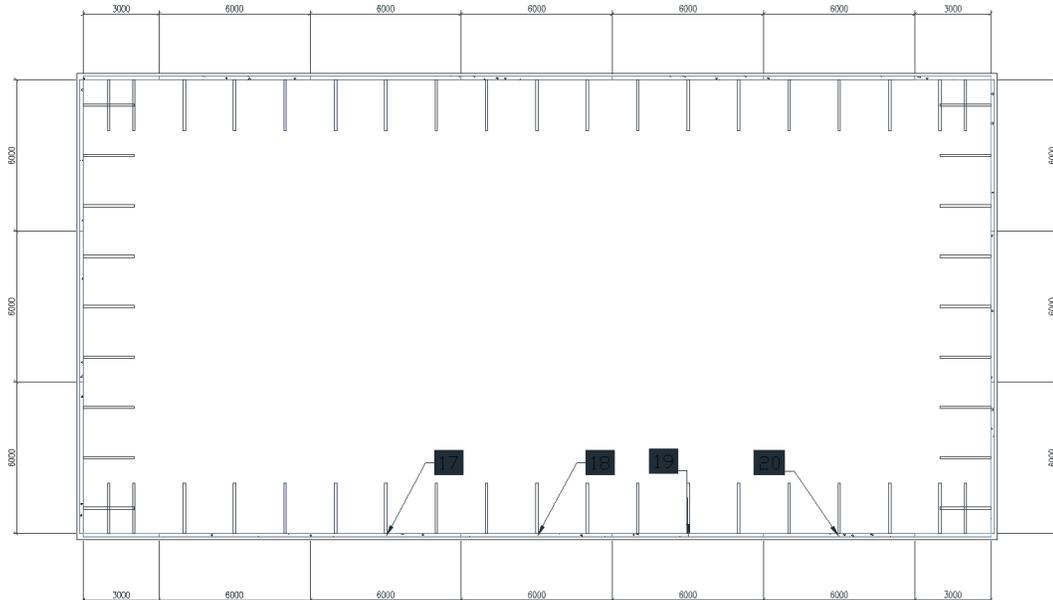


Figura 3.14 Izaje de los muros (fase 3)

Fuente: Elaboración Propia

FASE 3(IZAJE)



3.4- Comparación de renglones variantes entre el *Tilt-Up* y un sistema tradicional.

El autor realiza un análisis comparativo de los renglones variantes del proceso constructivo de la nave de agregados menores de EMPERCAP con sistema tradicional de muros de bloques de hormigón y su rediseño utilizando el sistema constructivo *Tilt-Up*.

Para la comparación de los renglones variantes se utilizaron los precios y actividades del Sistema de Precios de la Construcción PRECONS II. En las tablas 3.4 y 3.5 se describen las actividades necesarias para la construcción de la nave industrial mediante un sistema de muros *Tilt-Up* y el sistema tradicional de bloques de hormigón respectivamente.

A pesar de que el costo de una construcción de hormigón armado, realizado con el sistema *Tilt-Up*, es relativo, dependiendo principalmente de la experiencia del contratista en la utilización de este método y la organización de la obra, el sistema *Tilt-Up* resulta más ventajoso económicamente. Esto se debe principalmente al ahorro de encofrados y a el tiempo de ejecución de la obra, que es menor que en sistemas tradicionales. El otro ahorro importante se produce en el acabado de los muros pues estos no necesitan revestimientos, evita el uso de estucos o enchapes y la superficie queda lista para ser pintada a diferencia de un sistema tradicional y con la mano de obra, ya que se reduce significativamente usando el sistema *Tilt-Up*.

Tabla 3.4 Renglones variantes y actividades de un sistema Tilt-Up.

Sobre grupos descripción	Cód. grupo	Descripción	Unidad de medida	NR 8h	Tasas renglón variante	Volúmenes	Precio	Días de trabajo
Movimiento de tierra	0120	Excavaciones en zanjas	m ³	588.24	0.51	48.6	24.97	0.08
Movimiento de tierra	0140	Rehíncos o rellenos en cimientos	m ³	13.59	9.27	29.132	269.99	2.14
Encofrados	3110	Encofrados de madera en construcciones a cielo abierto en cimientos	m ²	13.45	31.21	165.585	5167.77	12.31
Barras de acero para refuerzo	3050	Colocación y ensamblaje de barras rectas o dobladas	T	1.71	246.08	5.15	1267.33	3.02
Barras de acero para refuerzo	3050	Colocación y ensamblaje de barras rectas o dobladas	T	0.60	704.71	21.1	14869.31	35.42
Encofrados	3110	Encofrados de madera en construcciones a cielo abierto en losas	m ²	15.26	27.50	648	17823.09	42.46
Hormigón fundido in situ	0410	Cimientos corridos vertidos con bomba	m ³	96.85	12.26	48.6	596.07	0.50

Hormigón fundido in situ	0440	Pisos a nivel del terreno	m ³	16.00	44.99	648	29153.52	40.50
Hormigón fundido in situ	0470	Terminación de superficie	m ²	200.00	0.72	648	469.15	3.24
Hormigón fundido in situ	0460	En juntas	m ³	2.00	432.32	6.9	2983.01	3.45
Hormigón fundido in situ	0430	Losas poligonales, curvas o alabeadas y muros	m ³	11.00	65.43	166.05	10865.23	15.09
Izaje	0520	Naves, puentes y otras edificaciones	u	0.77	427.40	20	8547.99	25.85
Total							92037.43	23.01

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.5 Renglones variantes y actividades de un sistema tradicional.

Sobre grupos descripción	Cód. grupo	Descripción	Unidad de medida	NR 8h	Tasas renglón variante	Volúmenes	Precio	Días de trabajo
Movimiento de tierra y trabajos auxiliares	0120	Excavaciones en zanjas	M ³	588.24	0.51	48.6	24.97	0.08
Movimiento de tierra y trabajos auxiliares	0140	Rehíncos o rellenos En cimientos	M ³	13.59	9.27	29.132	269.99	2.14
Encofrados, falsas obras y otros trabajos	3110	Encofrados de madera en construcciones a cielo abierto	M ²	15.26	27.50	648	17823.09	42.46
Hormigón fundido in situ	0440	Pisos, pavimentos, contenes y badenes	M ³	16	44.99	648	29153.52	40.50
Movimiento de tierra y trabajos auxiliares	0140	Rehíncos o rellenos en cimientos	M ³	13.59	9.27	29.132	269.99	2.14
Encofrados, falsas obras y otros trabajos	3110	Encofrados de madera en construcciones en cimientos	M ²	13.45	31.21	165.59	5167.77	12.31
Barras de acero para refuerzo	3050	Colocación y ensamblaje de barras rectas o dobladas	T	1.71	246.08	5.15	1267.33	3.02

Elementos de ladrillos, bloques y paneles	0310	Muros y tabiques de bloques de hormigón	m ²	9.26	45.31	1080	48932.12	116.64
Hormigón fundido in situ	0410	Vertido con bomba de cimientos corridos	M ³	96.85	12.26	48.6	596.07	0.50
Hormigón fundido in situ	0420	Vertido con grúa y cubo de columnas y pedestales	M ³	52.02	12.45	28.8	358.47	0.55
Izaje de elementos prefabricados de hormigón y de otros materiales	0510	Columnas de fijación inmediata	u	5.99	69.77	18	1255.81	3.00
Acabados	5015	Revestimiento de fachada	m ²	10.87	28.63	1080	30916.86	99.36
Revestimientos	1310	Resano y salpicado	m ²	70.61	4.95	1080	5343.35	15.30
Revestimientos	1310	Revoques Finos	m ²	19.93	21.22	1080	22919.35	54.20
Total							164298.69	49.03

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

1. El sistema constructivo de muros *Tilt-Up* proporciona una alternativa para la construcción de muros de hormigón armado, con una significativa reducción de costos en su ejecución.
2. El uso del sistema constructivo de muros *Tilt-Up* es más rentable en edificaciones que ocupen gran área ya que se debe poseer una superficie de piso o pavimento extensa para el hormigonado de los paneles.
3. El factor económico del sistema constructivo de muros *Tilt-Up* depende en gran medida de la correcta organización de la obra a ejecutar ya que al aumentar el número de paneles por hormigonado se reducen los tiempos de ejecución de obra.
4. El hecho de que la mayor parte del trabajo en el sistema constructivo de muros *Tilt-Up* se realice en forma horizontal, evita el uso de andamios y escaleras, proporciona una mayor seguridad durante la elaboración de los paneles y reduce la probabilidad de accidentes en la obra.
5. El rediseño de la nave industrial de agregados menores de EMPERCAP empleando el sistema de muros *Tilt-Up*, permitió determinar que esta tecnología reduce los costos y tiempos de ejecución con respecto al sistema tradicional de muros de bloques de hormigón para naves industriales utilizado en Cuba.

RECOMENDACIONES

1. Se les recomienda a las empresas del frente de proyectos del Ministerio de la Construcción, evaluar la inclusión en sus líneas de desarrollo tecnológico, el empleo del sistema de muros *Tilt-Up* en el diseño de naves industriales.
2. Se le recomienda a la Universidad de Matanzas continuar con investigaciones relacionadas con la implementación de sistemas y tecnologías constructivas aplicables a diversas esferas del desarrollo social en Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A SAMUEL RUSSELL, R. 2019. Industrialización en las edificaciones para viviendas / Rolando A. Samuel Russell.
- ABERDEENGROUP, T. 1995. Guidelines for Bracing Tilt-Up Walls. Tilt-Up Concrete Association.
- ACI 2014. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). In: ACI (ed.). Estados Unidos.
- ACI 2015. Tilt-up concrete structures. In: 551, A. C. (ed.).
- ADHAM, S. A. 1994. Dynamic experimental data based models for analysis and design of precast concrete tilt-up-walls. In: VOYIADJIS, G. Z., BANK, L. C. & JACOB, L. J. (eds.) Studies in Applied Mechanics. Elsevier.
- AGUAYO GONZÁLEZ, C. 2012. Personalización: la flexibilidad habitacional como respuesta arquitectónica: y su aplicación en vivienda colectiva de clase media en la comuna de San Miguel.
- AGUILÓ ALONSO, M. 2019. Prefabricación: teoría y práctica.
- AIGBAVBOA, C. O., OKE, A. E. & THOLE, Y. L. 2017. Sustainability of Tilt-up Construction Method. Procedia Manufacturing, 7, 518-522.
- ASSOCIATION, T.-U. C. 2015. Fire Resistance of Tilt-Up Wall Systems.
- BAI, J.-W., HUESTE, M. & GARDONI, P. 2014. Seismic vulnerability assessment of tilt-up concrete structures.
- BATY, J. 2003. Tilt-up: An energy-efficient approach.
- BATY, J. 2006. The right mix for tilt-up.
- BATY, J. 2006. Tilt-up, up, and away.
- BATY, J. 2007. Safety and the growing tilt-up industry.
- BATY, J. 2008. Tilt-up finishes first in school construction comparison.
- BATY, J. 2009. New trends in tilt-up finishes.
- BERTONI, G. 2013. Innovación en la prefabricación liviana en cemento. Aportes para su incorporación al diseño del hábitat contemporáneo.
- BROOKS, H. 2002. Ingeniería de Muros Tilt Up. Manual TCA. Segunda Edición; ed. Estados Unidos.
- BROOKS, H. 2005. Manual de Diseño y Construcción de Muros Tilt-Up.

- C. BROWN, W., J. SHIRTLIFFE, C., C. C. WARNOCK, A. & ALLEN, D. E. 2019. Design Manual: Precast and Prestressed Concrete.
- CAMPEAU-VALLERAND, C., MICHAUD, F., ROUTHIER, F., S. ARCHAMBAULT, P., LÉTOURNEAU, D., GÉLINAS BRONSARD, D. & AUGER, C. 2019. A Web-based Monitoring System for Power Tilt-in-space Wheelchairs: Development and Formative Evaluation (Preprint).
- CÁRDENAS, J. C. A. & GARAY, E. O. 2014. Vivienda Prefabricada de Concreto, Experiencia y Avances Tecnológicos. Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto.
- CHOI, W.-C., JANG, S.-J., KIM, S.-H. & YUN, H.-D. 2018. Shear performance of embedded anchor plates in reinforced concrete tilt-up panels under monotonic and cyclic loadings. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 18, 430-441.
- COMITÉ ESTATAL DE NORMALIZACIÓN 1987. Vaso de hormigón simple y armado. Método de Cálculo y Diseño. NC 53-97.
- CORDOVÍ, Y. S. & QUINTANA, I. N. V. 2017 Desde la Tecnología del Prefabricado actual hasta la Prefabricación contra pedido. Ciencia en su PC, 1, 104-115.
- COVARRUBIAS, J. P. 2002. Diseño de estructuras prefabricadas de hormigón en NCH 2369. Hormigón al Día.
- DAVIS, M. 2005. Tilt-up development in Australia.
- ENGELMAN, A. 2005. Tilt-up construction basics.
- ESCRIG, C. 2010. Evolución de los sistemas de construcción industrializados a base de elementos prefabricados de hormigón.
- ESTRADA, F. L. 2015. Uso de muros Tilt-Up para cerramientos verticales de edificios industriales de acero. Título de ingeniero civil, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- FIGUEROA, O. H. 2013. El Sistema Tilt-Up. Formación Complementaria Sistemas Constructivos Industrializados Sena.
- FLORES MOLA, J. 2013. Edificaciones. Prefabricación tradicional y de avanzada. La Habana, Cuba: Editorial Félix Varela.

- GÓMEZ MUÑOZ, D. 2008. Estudio comparativo entre distintas metodologías de construcción industrializada de viviendas.
- H. BISCHOFF, P. 2018. Service Load Deflection of Tilt-Up Concrete Wall Panels.
- HAN, Q., HANG WANG, Y., WEI ZHANG, G. & WU, H. 2012. Introduction of Tilt-Up Construction and Details of Connection.
- HARRISON, J. 2005. Tilt-up solution for Plymouth hotel.
- HARRISON, J. 2007. Tilt-up - Construction choice of the future.
- HOOKER, K. A. 2013. Tilt-up grows taller: With the right conditions and equipment, tilt-up benefits extend to multistory projects.
- HOOKS, S. & ROBINSON, J. 2017. Shrinkage Cracking in Concrete Tilt-Up Construction.
- HURTADO, J. F. S. 2010. Paneles prefabricados de hormigón en fachadas, Máster de Estructuras, Cimentaciones y Materiales, Universidad Politécnica de Madrid.
- IGLESIA, T. B. 2006. Sistemas Construtivos em Concreto Pré-Moldado. Universidade Anhembi Morumbi.
- INSTITUTE, A. C. 2005 Requisitos del código de construcción para concreto reforzado (ACI 318-05). In: ACI (ed.). Estados Unidos.: American Concrete Institute.
- KLEMENS, T. 2007. Working tilt-up from both ends.
- LAWSON, J. 2015. Crack Control Measures for Tilt-Up Concrete Panels.
- LAWSON, J. W. 2015. Tilt-up Buildings.
- LINN, M. A. 2003. Stuck on tilt-up?
- LIU, J., GAO, J. & PENG, T. 2016. Research on Tilt-up Building System and the Key Technology.
- MACKINNON, J. 2007. Considerations when designing and building a tilt-up project.
- MANUEL, L. E. & PABLO, G. R. J. 2019. Muros Tilt-Up Vs Muros Precolados.
- MAPONS, R. 1979. Prefabricación.

- MARQUINA, E. G. 2013. Estudio-diagnóstico sobre las posibilidades del desarrollo de una edificación residencial industrializada dirigida a satisfacer las necesidades de vivienda pública y muy especialmente en alquiler en la Comunidad Autónoma del País Vasco.
- MASPONS, R. 1987. Prefabricación.
- MCPHERSON, R. 2007. Tilt-up construction.
- MOLA, J. F. 2013. Edificaciones prefabricación tradicional y de avanzada.
- NASVIK, J. 2004. Fast-track tilt-up construction.
- NISSEN, H. 2019. Construcción industrializada y diseño modular / Henrik Nissen.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN 2003. NC 207.2003 Requisitos generales para el diseño y construcción de estructuras de hormigón.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN 2004. Hormigón hidráulico — especificaciones NC 120:2004.
- OKE, A. E., AIGBAVBOA, C. O. & THOLE, Y. L. 2017. Implementing Tilt-Up Method for Sustainable Construction. Department of Construction Management and Quantity Surveying, Faculty of Engineering and the Built Environment, University of Johannesburg, Johannesburg, South Africa.
- PALIKHE, S., KIM, S. & J. KIM, J. 2018. Evaluating Pre-Cast Concrete Column Tilt-up Methods to Examine the Erection Safety.
- PCA 1987. Connections for Tilt-Up Wall Construction.
- PERDOMO, V., RUOCCO, F. & MIÑOS, A. 2015. Prefabricados de Hormigón. Análisis de Sistemas Aplicados a Vivienda. UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY.
- PÉREZ, C. E. 2010. Evolución de los Sistemas de Construcción Industrializados a base de elementos prefabricados de Hormigón.
- PERRILLIAT, R. J. & CARPIZO, C. H. H. 2010. Muros estructurales prefabricados TILT-UP para naves industriales. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.
- PINTARIC, H. & JELAVIC, M. 2018. Uloga elektrokardiograma tijekom izvođenja tilt-up testa.

- PRADA, H. C. L. & ZAMBRANO, J. J. N. 2016. Evaluación de la factibilidad para implementar el sistema Tilt-Up en la construcción de alojamientos para los soldados del ejército nacional de Colombia en unidades militares en la ciudad de Bogotá DC, Tesis de grado para obtener el título de ingeniero civil, Universidad Militar, Nueva Granada
- RAÚL JEAN PERRILLIAT, C. H. H. C. 2014. Muros estructurales prefabricados Tilt-Up para naves industriales (Parte II). Construcción y Tecnología en concreto, 4.
- ROSALES, V. G. S. 2013. Sistema Constructivo de Muros TILT-UP. Constructor Civil, Universidad Austral de Chile.
- RUHNKE, J. & J. SCHEXNAYDER, C. 2002. Description of Tilt-Up Concrete Wall Construction.
- SAUTER, E. 2003. Tilt-up - A versatile technique.
- SAUTER, E. 2004. Tall Tilt-Up.
- SAUTER, E. 2004. Techniques of tilt-up.
- SAUTER, E. 2004. Tilt-Up Construction - Not Just for Big Boxes.
- SAUTER, E. 2006. Estimation and foresight in converting to tilt-up.
- SAUTER, E. 2006. Finishes for tilt-up panels.
- SAUTER, E. 2007. Creative forming and finishing of tilt-up concrete.
- SAUTER, E. 2009. Retail Tilt-Up.
- SAUTER, E. 2011. Tilt-up offers sustainable option.
- SCAWTHORN, C. & MCCORMICK, D. L. 2002. Precast and tilt-up buildings.
- SERRANO, J. S. 2019. De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico.
- SUTUC, C. A. M. 2005. Estudio Comparativo entre Costos y Tiempo de Fabricación de Muros de Mampostería y Muros Tilt Up. Ingeniería Civil, Universidad De San Carlos De Guatemala.
- TCA 2011. The Construction of TILT-UP, United States of America, Tilt-Up Concrete Association.

- TILT-UP CONCRETE ASSOCIATION 2018. Collective Position On Safe Removal of Temporary Braces.
- TORROJA MIRET, E. 1960. Razón y ser de los tipos estructurales.
- TREVIÑO, A., PEÑA, B. R., PERRILLIAT, R. J. & CARPIZO, C. H. H. 2008. Comparativa en el desempeño estructural y de costos de naves construidas con sistemas de marcos y con muros Tilt-Up.
- VAN DER MERWE, D. 2012. Master of tilt-up concrete.
- VANDERWERF, P. 2003. Masonry or Tilt-Up?
- W. LAWSON, J. 2006. "Tilt-up Building" and "Tilt-up Wall Panel with Openings".
- WALLACE, J. & STEWART, J. 1999. Building Vulnerability Studies: Modeling and Evaluation of Tilt-up and Steel Reinforced Concrete Buildings.
- WEILER, G. 1986. Connections for tilt-up construction.