





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMA CONSTRUCTIVO DE MUROS TILT UP DE GRANITO  
PARA CERRAMIENTO DE BODEGAS INDUSTRIALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JUAN CARLOS CLAVERÍA JUÁREZ**

ASESORADO POR EL ING. WUILLIAN RICARDO YON CHAVARRÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **SISTEMA CONSTRUCTIVO DE MUROS TILT UP DE GRANITO PARA CERRAMIENTO DE BODEGAS INDUSTRIALES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 5 de mayo del 2013.

**Juan Carlos Clavería Juárez**

Guatemala, Julio de 2013

Licenciado  
Manuel María Guillén Salazar  
Jefe del Departamento de Planeamiento  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

Respetado Licenciado.

Luego de un breve saludo, sírvame la presente para informarle que el trabajo de graduación "**SISTEMA CONSTRUCTIVO DE MUROS TILT UP DE GRANITO PARA CERRAMIENTO DE BODEGAS INDUSTRIALES**", elaborado por el alumno Juan Carlos Clavería Juárez, se ha finalizado a satisfacción y revisado por mi persona.

Sin otro particular me despido.

Atentamente,



**William Ricardo Yon Ch.**  
**INGENIERO CIVIL**  
**COL. No. 2029**

---

Ing. Civil William Ricardo Yon Chavarria.

Asesor, Colegiado 2029





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>



Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala,

6 de septiembre de 2013

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación SISTEMA CONSTRUCTIVO DE MUROS TILT UP DE GRANITO PARA CERRAMIENTO DE BODEGAS INDUSTRIALES, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Juan Carlos Clavería Juárez, quien contó con la asesoría del Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavrría.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Lic. Manuel María Guillén Salazar  
Jefe del Departamento de Planeamiento  
Manuel María Guillén Salazar  
ECONOMISTA  
Colegiado No. 4758

FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
PLANEAMIENTO  
USAC



Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua

/bbdeb.





El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Wuilliam Ricardo Yon Chavarría y del Coordinador del Área de PLaneamiento, Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Juan Carlos Clavería Juárez, titulado **SISTEMA CONSTRUCTIVO DE MUROS TILT UP DE GRANITO PARA CERRAMIENTO DE BODEGAS INDUSTRIALES**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre de 2013.

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **SISTEMA CONSTRUCTIVO DE MUROS TILT UP DE GRANITO PARA CERRAMIENTO DE BODEGAS INDUSTRIALES**, presentado por el estudiante universitario: **Juan Carlos Clavería Juárez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, octubre de 2013





## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser fuente inagotable de sabiduría que me ha acompañado hasta el día de hoy.
- Mis padres** Carlos Humberto Clavería Martínez. Esta meta alcanzada es un reconocimiento a su sacrificio y esfuerzo. Aura Marina Juárez Arreaga, por ser instrumento de Dios para darme vida.
- Mi esposa** Floridalma Cobar Urías de Clavería, por ser mi ayuda idónea, compañera fiel y darme su amor incondicional y obtener juntos este triunfo.
- Mis hijos** Carlos Daniel y a los angelitos que Dios el creador me regale. Por ser la fuerza del motor que me mueve a ser un ejemplo.
- Mi abuela** Victorina Martínez, por su esfuerzo, valentía y formación durante toda mi vida y ayudarme a dar un paso importante mas en mi vida.

**Mis hermanos**

Jessica, Karla y Wendy Clavería; Gerath, Brandon y Katherine Juárez. Que mi triunfo sea fuente de inspiración y superación.

**Mi familia en general**

Que este precedente sea ejemplo, que todas las cosas son posibles en Dios.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por tener en sus pensamientos mi vida y ayudarme a que este sueño sea realizado.
<b>Mi padre</b>	Por ser mi inspiración y motivación, por su esfuerzo incansable para lograr esta meta.
<b>Mi esposa</b>	Por sus consejos y ser instrumento de Dios para darme motivación.
<b>Mi familia</b>	Por el apoyo y motivación a lo largo de este camino.
<b>Mis amigos</b>	Por ser una importante influencia en mi carrera.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por la educación superior brindada.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS .....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. APECTOS GENERALES.....	1
1.1. Definición.....	1
1.2. Historia.....	1
1.3. Características del sistema .....	2
1.3.1. Economía .....	3
1.3.2. Calidad .....	3
1.3.3. Colocación de granito.....	4
1.4. Ventajas y desventajas .....	5
1.4.1. Ventajas .....	5
1.4.2. Desventajas.....	6
1.5. Aplicaciones típicas.....	7
1.5.1. Construcciones comerciales e industriales.....	9
1.5.2. Construcción residencial .....	9
1.5.3. Otras construcciones.....	9
2. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO .....	11
2.1. Aspectos generales según ACI 551 R-92 .....	11
2.2. Consideraciones de diseño estructural .....	11



2.2.1.	Consideraciones previas .....	11
2.2.2.	Cargas de servicio .....	13
2.2.3.	Cargas de suelo.....	13
2.2.4.	Refuerzo de paneles.....	13
2.2.5.	Durabilidad.....	15
2.2.6.	Resistencia al fuego .....	16
3.	PLANIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN .....	17
3.1.	Acceso al lugar y condición de la obra .....	17
3.1.1.	Generalidades .....	17
3.1.2.	Elementos aéreos.....	17
3.1.3.	Elementos subterráneos.....	18
3.2.	Consideraciones para el uso de Tilt Up.....	18
3.3.	Coordinación .....	19
3.4.	Secuencia de la construcción .....	20
3.5.	Preparación de la cimentación .....	24
3.6.	Construcción de piso .....	25
3.7.	Formación de los paneles.....	25
3.8.	Izaje.....	26
4.	FUNDICIÓN DE LOSA DE PISO .....	29
4.1.	Especificaciones para la fundición.....	30
4.2.	Efectos de carga en losa .....	31
4.3.	Espesor de losa.....	31
4.4.	Terminación de losa .....	32
4.5.	Curado.....	33
4.5.1.	Lona o brines empapadas con agua.....	33
4.5.2.	Aplicación de compuestos líquidos formadores de membrana de curado.....	34

5.	CONSTRUCCIÓN DE PANELES .....	35
5.1.	Construcción de moldajes .....	38
5.2.	Geometría de paneles.....	38
5.3.	Reforzamiento.....	39
	5.3.1.    Acero de refuerzo por temperatura .....	38
5.4.	Paneles doble cara.....	38
5.5.	Tiempo de construcción .....	38
5.6.	Aplicación de desmoldante. ....	39
5.7.	Sistema de elevación e insertos.....	40
5.8.	Verificación previa a la aplicación de concreto.....	42
6.	TRATAMIENTOS ARQUITECTÓNICOS .....	43
6.1.	Tipos de tratamientos arquitectónicos.....	43
6.2.	Agregados expuestos.....	43
6.3.	Colocación de rocas decorativas (granito) .....	44
6.4.	Fundición de paneles .....	45
7.	LEVANTAMIENTO Y FIJACIÓN DE PANELES.....	47
7.1.	Planificación del tiempo para el levantamiento .....	48
7.2.	Grúas.....	48
7.3.	Apuntalamiento de paneles.....	49
7.4.	Tolerancias.....	50
7.5.	Tipos de levantamiento. ....	51
	7.5.1.    Levantamiento en secuencia.....	51
	7.5.2.    Levantamiento de cajas.....	51
	7.5.3.    Levantamiento de muros de formas y tamaños inusuales. ....	52
	7.5.4.    Síntesis.....	52



CONCLUSIONES.....53  
RECOMENDACIONES .....55  
BIBLIOGRAFÍA.....57

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Pulido de muro .....	4
2.	Aplicación de granito .....	5
3.	CDR Monsanto Guatemala .....	7
4.	Oficinas y almacenamiento de papel.....	8
5.	Pasarela ingreso a San José Pinula.....	8
6.	Insertos comunmente usados en obra .....	14
7.	Refuerzo de paneles .....	15
8.	Aplicación material antiadherente .....	21
9.	Acero de refuerzo.....	22
10.	Platinas e insertos .....	22
11.	Fundición de muro.....	23
12.	Aplicación de granito .....	23
13.	Izaje de paneles .....	24
14.	Formación de paneles.....	26
15.	Insertos superiores.....	27
16.	Insertos frontales.....	28
17.	Modulación perimetral .....	36
18.	Refuerzo en ventanas y puertas .....	37
19.	Aplicación de desencofrante y grasa.....	40
20.	Sistemas comunes de levantamiento frontal.....	41
21.	Sistemas comunes de levantamiento perpendicular al espesor del muro .....	41
22.	Método cara superior e inferior .....	44



23.	Grúa-camión hidráulica de pluma convencional .....	49
24.	Puntales .....	50

## **TABLAS**

I.	Grosor de muros resistentes al fuego.....	16
----	---	----

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>D</b>	Carga muerta
<b>E</b>	Carga por efecto sísmico
<b>L</b>	Carga viva
<b>U</b>	Factor de carga combinada
<b>l<sub>u</sub></b>	Longitud de miembro a compresión
<b>m</b>	Metro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>H</b>	Presión lateral de suelo
<b>r</b>	Radio de giro de miembro a compresión
<b>Mpa</b>	Unidad de medida de presión
<b>Psi</b>	Unidad de medida de presión







## GLOSARIO

<b>ACI</b>	Instituto Americano del Concreto.
<b>Agregados decorativos</b>	Rocas usadas con fin decorativo.
<b>Apuntalamiento</b>	Colocación de elementos para detener un bloque.
<b>Arrastre</b>	Herramienta manual para nivelar fundición de muros.
<b>Barra de acero</b>	Acero de refuerzo usado en muros.
<b>Bodega industrial</b>	Lugar donde almacenan materiales, herramienta y equipos.
<b>CDR</b>	Centro de Distribución Regional
<b>Centro comercial</b>	Espacio público, diseñado para albergar la mayor cantidad de gente, incluye locales, oficinas comerciales, lugar de ocio y diversión.
<b>Channel</b>	Molde metálico usado para delimitar el contorno del muro.
<b>Curado de concreto</b>	Condiciones satisfactorias de humedad y temperatura durante un periodo indefinido, inmediatamente después de la colocación.



<b>Grúa</b>	Máquina para elevar y distribuir cargas en el espacio suspendidas de un gancho.
<b>Insertos</b>	Elementos estructurales para levantar muros.
<b>Izaje</b>	Levantamiento.
<b>Modulación</b>	Colocación óptima de paneles para su fundición.
<b>Panel</b>	Bloque de concreto fundido.
<b>Puntales</b>	Tubos metálicos manejables para detener muros.
<b><i>Slump</i></b>	Ensayo al concreto para determinar su consistencia.
<b>Suelo</b>	Superficie que sirve de base para fundiciones.
<b>Techumbre</b>	Techo de la construcción.
<b>Tilt Up</b>	Inclinación y levantamiento.
<b>Vaciado</b>	Colocación de concreto dentro del encofrado.
<b>Vibrado</b>	Concreto sometido a vibraciones de alta frecuencia.



## RESUMEN

El sistema constructivo Tilt Up se refiere a la construcción de edificaciones con dimensiones pequeñas y medianas, que abarca desde complejos habitacionales hasta bodegas industriales y centros comerciales, por medio de la fundición con concreto de paneles modulados previamente en el diseño del proyecto.

Este sistema, por sus características, ha demostrado tener menor costo de operación pues no necesita mucho personal ni rapidez de construcción, en comparación a los métodos tradicionales, pues es un sistema prefabricado sobre el suelo y colocado de acuerdo a la secuencia constructiva.

Los contratistas experimentados pueden elaborar hasta 25 muros por día e izar desde 15 a 20 muros por día, teniendo cuidado de cumplir las especificaciones técnicas del diseño planteados en los planos de construcción.

Este sistema puede ser modificado de acuerdo a las necesidades del cliente en el futuro, ya que los paneles pueden ser removidos de su posición original y colocados nuevamente o desechados fácilmente.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar el sistema constructivo Tilt Up desde un punto de vista técnico-económico.

### **Específicos**

1. Que el estudiante pueda identificar los elementos estructurales en la fabricación de muros Tilt Up de granito.
2. Identificar los factores que intervienen en el uso del sistema constructivo Tilt Up en Guatemala.
3. Conocer la variedad de métodos constructivos de paneles de concreto, su inclinación y colocación a su posición final.
4. Ser una fuente de consulta cuando se haga uso de este sistema constructivo.
5. Utilizar como elemento de comparación por docentes y profesionales de la ingeniería civil entre el sistema Tilt Up y los sistemas constructivos tradicionales.



## INTRODUCCIÓN

La construcción de paneles de concreto Tilt Up está siendo usada en viviendas residenciales, edificios, centros comerciales y bodegas industriales; es por ello que debe considerarse el uso de este sistema constructivo dependiendo del diseño y aplicaciones de las estructuras.

El proceso constructivo comienza por evaluar el área donde serán colocados los paneles de madera o metálicos, la colocación de acero de refuerzo según el diseño, la fundición de paneles de concreto, la colocación de una pasta formada por granito y cemento para su acabado arquitectónico final; por lo cual es importante el buen diseño de los elementos estructurales para cumplir con los dos principales objetivos de este sistema que son: rapidez de construcción y su bajo costo.

El trabajo consta de siete capítulos. En el primero se describe la historia y aplicaciones del sistema constructivo Tilt Up. En el segundo se presenta la introducción al diseño siguiendo normas nacionales e internacionales de construcción Tilt Up. En el tercero se plantea la necesidad de planificar para usar este sistema. En el cuarto se presenta la fundición de losa de piso para la colocación de paneles. En el quinto, la construcción de los paneles prefabricados en *in situ*. El capítulo seis hace mención de los tratamientos arquitectónicos aplicados a este sistema constructivo; por último, la colocación final de los paneles prefabricados.



# **1. APECTOS GENERALES**

## **1.1. Definición**

La definición para concreto prefabricado según el ACI 318-05 es considerada como: Hormigón moldeado en cualquier parte distinta a su posición final. Para la construcción Tilt Up según el ACI 551 R-92 es: Una técnica constructiva de paneles de concreto sobre una superficie horizontal en obra y luego levantados hasta su posición final en la estructura.

## **1.2. Historia**

Desde principios de 1900, en Estados Unidos se ha utilizado este sistema debido a su rentabilidad y eficiencia, posteriormente se ha extendido a muchos países del mundo, por el creciente interés de este sistema constructivo el Instituto Americano del Concreto (ACI) formó el comité 551 en 1980, con el objetivo principal de estudiar e informar sobre el diseño y construcción de paneles de concreto inclinados y levantados hasta su posición final.

Robert Hunter Aiken hizo un diseño específico de paneles sobre superficies planas, los cuales inclinaba y posteriormente levantaba por medio de elementos mecánicos diseñados especialmente para ello, dentro de las construcciones que usaron este método se encuentran: iglesias y estaciones policiales, que hasta la actualidad son consideradas como monumentos al sistema constructivo Tilt up.

En 1910, Thomas Fellows usó el sistema constructivo para demostrar que se podía construir una casa con un costo económico bajo, colocando los paneles de manera horizontal levantados por una grúa.

### **1.3. Características del sistema**

El proceso constructivo empieza por evaluar el sitio, buscar un lugar abierto y plano, asegurarse que el suelo está en condiciones de soportar el peso de la losa de piso y la cantidad de paneles a construir.

Se emplean aditivos que eviten la adherencia entre la losa y el panel, las dimensiones de paneles varía de 2,50 a 8,50 metros de altura y de 4 a 8 metros de ancho, el espesor de concreto varía de acuerdo al espesor y altura del muro, 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 kilogramos por centímetro cuadrado, y la erección de los paneles se produce para alcanzar los 250 kilogramos por centímetro cuadrado.

La colocación del acero de refuerzo es sencillo, comparado con proyectos convencionales, pues se realiza horizontalmente sobre una superficie plana, el encofrado, generalmente es de madera, también hay metálicos. El vaciado del concreto premezclado se realiza por la disposición previa de la obra, permitiendo el ingreso directo de los camiones que descargan sobre el mismo panel. Es importante la buena planificación y mecanización de las actividades para optimización de tiempo y costo, además de vibrar adecuadamente el concreto para obtener buena compactación y calidad en el panel.

Es necesario esperar que el panel de concreto tenga suficiente resistencia para poder ser levantado con cualquier tipo de elemento hidráulico o bien mecánico, dependiendo de las dimensiones y de su peso. Generalmente se levantan con grúa desde 20 hasta 35 paneles por día dependiendo de sus características, esta es una operación que requiere de cuidado y debe ser planificada para reducir el tiempo y costo de la grúa en obra.

### **1.3.1. Economía**

Este sistema constructivo no requiere de mano de obra especializada, tampoco de moldajes y andamios para subir los materiales de construcción de los muros a su posición final, el concreto y acero de refuerzo utilizados son los mismos que en cualquier obra y no necesitan tratamiento especial.

La fabricación de los muros es similar a una faena de pavimentación por su rapidez y sencillez, lo cual permite construir cantidades significativas por jornada.

### **1.3.2. Calidad**

La superficie de los muros tiene excelente grado de terminación y recibe su tipo de tratamiento arquitectónico, como es el caso de este texto, la colocación de granito.

En edificaciones unifamiliares, multifamiliares y hoteles de poca altura se colocan las vigas principales y secundarias en ubicaciones previamente diseñadas, el panel soporta las cargas del techo eliminando la necesidad de columnas perimetrales, en el caso de bodegas industriales y comerciales, los

paneles fijados en columnas metálicas soportan cualquier tipo de forro perimetral previamente diseñado.

Figura 1. **Pulido de muro**



Fuente: Monsanto Guatemala.

### **1.3.3. Colocación de granito**

La colocación de granito se aplica en proporción de 57,85 kilogramos, por cada 42,5 kilogramos de cemento obteniendo una pasta manejable, sus dimensiones son variadas según el gusto y preferencia del cliente.



Figura 2. **Aplicación de granito**



Fuente: Pimat - Prensa Libre.

#### **1.4. Ventajas y desventajas**

Existen muchas ventajas en el uso del sistema Tilt Up, se puede aplicar en construcciones de edificaciones pequeñas y medianas, incluyendo bodegas industriales, bodegas de almacenamiento, proyectos habitacionales y centros comerciales.

##### **1.4.1. Ventajas**

Las ventajas que ofrece el sistema Tilt Up tienen que ver, principalmente con el significativo ahorro del costo de operaciones, pues no se requiere de mano de obra calificada y la reducción de los plazos de los proyectos sin perjuicio de la calidad de la construcción. A continuación algunas de las ventajas:

- Utiliza menos mano de obra y los procesos son más rápidos al realizarse la construcción en serie.

- Existe libertad de diseño en apariencia y función, cada proyecto es diseñado para satisfacer las especificaciones, necesidades y gustos del cliente.
- No se presentan los problemas comunes de los sistemas constructivos tradicionales.
- Los paneles son fáciles de modificar para acomodar nuevas aberturas o ampliaciones del proyecto.
- Ampliamente probados en zonas de alta sismicidad tales como: Los Ángeles, Northridge, San Francisco, entre otras.
- Se puede diseñar libremente la ubicación de puertas y ventanas al no haber columnas perimetrales.
- Existe libertad en el diseño arquitectónico.
- Es un proceso constructivo limpio, ordenado y seguro.

#### **1.4.2. Desventajas**

- La integridad estructural requiere de cuidadosas consideraciones.
- El peso de paneles sobre ciertos terrenos.
- Requiere de suficiente espacio para moldear los paneles.
- Equipo disponible para levantar y colocar los paneles en su posición final.
- Falta de disponibilidad de personal y contratistas calificados.
- Algunos tratamientos arquitectónicos pueden resultar caros debido a las técnicas de construcción.
- Gastos adicionales por importación.
- Desinformación del uso del sistema constructivo Tilt Up.

## 1.5. Aplicaciones típicas

El método Tilt Up puede ser usado en cualquier tipo de construcción, en estructuras bajas desde 4 metros, medianas de 12 metros y altas hasta 17 metros, la aplicación más común es en bodegas industriales, centros comerciales, depósitos de granos, iglesias, hoteles y supermercados, la planificación de la colocación de paneles es importante para que los tramos formados por estos sean económicos.

Con este método se puede conseguir la imagen profesional que desee cualquier compañía debido a la cantidad de tratamientos arquitectónicos disponibles, rapidez y economía.

Estos varían desde muros con superficie pulida (figura 3), superficie con granito (figura 4), superficie con fachaleta de ladrillo (figura 5).

Figura 3. **CDR Monsanto Guatemala**



Fuente: Monsanto Guatemala.

Figura 4. **Oficinas y almacenamiento de papel**



Fuente: Pimat - Prensa Libre.

Figura 5. **Pasarela ingreso a San José Pínula**



Fuente: Municipalidad de San José Pínula.

### **1.5.1. Construcciones comerciales e industriales**

La siguiente lista ilustra la diversidad de aplicaciones:

- Depósitos
- Talleres automovilísticos
- Unidades de almacenamiento
- Oficinas
- Fábricas
- Moteles
- Hoteles
- Restaurantes
- Complejos comerciales

### **1.5.2. Construcción residencial**

- Casas
- Apartamentos de 2 y 3 plantas

### **1.5.3. Otras construcciones**

- Iglesias
- Salones comunales
- Escuelas
- Universidades



## **2. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO**

### **2.1. Aspectos generales según ACI 551 R-92**

Las estructuras construidas con este método, típicamente son de baja altura, de cuatro pisos o menos, la mayoría de estas son de uno y dos pisos, los paneles que forman las paredes son diseñados de acuerdo al comportamiento de cargas del tipo viga columna, que abarcan verticalmente entre la planta baja y el techo o pisos intermedios en general. Usualmente estos paneles sostienen cargas de gravedad verticales en combinación con cargas laterales como: el viento, sismo, o presiones de tierra. A menudo los paneles son muy delgados; las proporciones más comunes son de  $l_d/r = 140$  a  $200$  (ACI 551 R-92, 1992: 4).

### **2.2. Consideraciones de diseño estructural**

Las cargas laterales y estabilidad estructural no reciben atención suficiente, de acuerdo a la geometría del edificio el ingeniero supervisor y el contratista, tienen que considerar las técnicas de apuntalamiento durante la construcción y la fijación de paneles capaz de permanecer durante la vida útil del edificio.

#### **2.2.1. Consideraciones previas**

Este sistema constructivo involucra las siguientes consideraciones:

- Los paneles de concreto son soportados por el suelo durante su construcción e inclinación.
- Los paneles de concreto son levantados de 60 a 90 centímetros después de su inclinación y no deben ser transportados por la grúa muy lejos de su posición final.

Las cargas verticales, comúnmente soportan el techo, vigas y uniones de entrepiso, estas son consideradas como carga uniformemente distribuida sobre los paneles, en la mayoría de casos son colocadas con excentricidad del eje central de los paneles. Incluso si las cargas son concéntricas, la excentricidad mínima debe ser de un tercio a los extremos del eje del panel.

Las cargas laterales, generalmente son de viento y sísmicas, estas deben estar especificadas en el reglamento de construcción local, los paneles deben resistir la combinación de estas y las verticales.

Las combinaciones de cargas deben ser analizadas según sea el caso, estas son determinantes en el diseño de momentos:

$$U = 1.4D + 1.7L$$

$$U = 0.9D + 1.3W$$

$$U = 0.9D + 1.3 (1.IE)$$

$$U = 1.4D + 1.7L + 1.7H$$

$$U = 0.75 (1.4D + 1.7L + 1.7W)$$

$$U = 0.75 [1.4D + 1.7L + 1.7 (1.IE)]$$



### **2.2.2. Cargas de servicio**

El diseño para las cargas de servicio dependerá del uso y tipo de edificación a construir, estas deben aplicarse de acuerdo al reglamento local y/o internacional de construcción.

### **2.2.3. Cargas de suelo**

La aplicación de este método constructivo implica el uso de grúa, esta levanta los paneles que están sobre la losa de piso, por tal razón es importante considerar la modulación de paneles para diseñar una losa de piso suficientemente resistente. Para un mejor control de las cargas en el suelo puede trabajarse una subbase resistente a estas.

### **2.2.4. Refuerzo de paneles**

El acero de refuerzo más común usado en obra son las barras #4, #5 y #6, se pueden usar barras de dimensiones mayores a estas, pero es más complicado su manipulación en el sitio de construcción.

La colocación de barras de acero de mayor diámetro depende de la posición final del muro, seguidas por barras de menor dimensión perpendiculares al panel.

Si el diseño y colocación de paneles prefabricados es de manera horizontal y la dimensión mayor también lo es, se colocan las barras de mayor diámetro horizontalmente y las de menor diámetro verticalmente, este es un diseño opcional, se puede usar en ambos sentidos del muro el mismo número

de diámetro de barra de acero. La separación de las barras depende según el diseño de acuerdo a las cargas, esta no debe ser menor al diámetro de la barra ni 1,5 veces el tamaño del agregado grueso.

Otro refuerzo que incluyen los paneles prefabricados son: insertos, su posición es crítica al momento de levantar los paneles, estos deben estar bien asegurados al acero de refuerzo del panel, se deben proteger al momento de vaciar el concreto.

Este es un diseño usado comúnmente en la construcción de paneles de concreto, dependiendo de las dimensiones así será la cantidad de insertos a usar, deben soportar cada uno, de 1 tonelada a 2 toneladas.

Figura 6. **Insertos comúnmente usados en obra**



Fuente: Grupo Nabla.

La separación de estos insertos puede variar entre  $L/2$ ,  $L/3$  y  $L/4$  según sea el caso, deben ser colocados al centro del grosor del panel, la grúa debe levantarlos despacio, simétricamente y evitar dañar el muro.

Los paneles tienen que soportar ambientes corrosivos, su estructura debe funcionar como un elemento contra incendios.

Se puede postensar los muros, pero no resulta económico y limita la flexibilidad del mismo y más aún si tienen aberturas por puertas, ventanas, etc.

Figura 7. **Refuerzo de paneles**



Fuente: Grupo Nabla.

### **2.2.5. Durabilidad**

En algunos casos, la durabilidad en la etapa de diseño es pasado por alto, depende mucho del tipo de concreto a usar y la protección del acero contra la corrosión, las condiciones ambientales a las que estará expuesta la estructura.

En términos generales, no influye enormemente en el diseño estructural de la edificación, pero debe ser considerado estrictamente en la etapa de diseño.

## 2.2.6 Resistencia al fuego

En este concepto deben aplicarse normas locales y/o internacionales de elementos de concreto resistentes al fuego de acuerdo al grosor del muro.

Tabla I. **Grosor de muros resistentes al fuego**

CRF mínimo	Grosor mínimo
60	75 mm
90	100 mm
120	120 mm
180	150 mm
240	175 mm

Fuente: Normas NZS y MP9.

Estos valores están tomados según las Normas NZS y MP9 respecto a los materiales resistentes al fuego, debe aplicarse un tratamiento sobre los muros que ayude a aumentar el tiempo de resistencia para que puedan evacuar todas las personas involucradas, los muros deben quedar en pie por un periodo según estas normas y después de este desplomarse.

Puede usarse estas normas internacionales o normas locales de elementos resistentes al fuego. Por tal razón es importante en la etapa de diseño y modulación de paneles ubicar todo tipo de instalación que intervenga en este comportamiento.

### **3. PLANIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN**

#### **3.1. Acceso al lugar y condición de la obra**

Las restricciones del área de construcción podrán condicionar el tamaño, cantidad y peso de muros a fundir para luego colocarlos en su posición final.

##### **3.1.1. Generalidades**

Generalmente, en los proyectos constructivos es necesario el cierre alrededor de los mismos debido a aspectos vandálicos, también considerar el ingreso de transporte pesado y su manipulación dentro del área de construcción, el uso de grúa es importante, pues de esta manera se colocan los muros dentro de un camión si fuera una distancia mayor a 20 metros, después levantarlos nuevamente y colocarlos en su posición final. El ingreso de camiones que llevan el concreto y acero de refuerzo, debe considerarse de tal manera que no afecte la modulación, fundición e izaje de paneles.

Es importante que contratistas de los paneles y de izaje den un recorrido por el terreno para observar la topografía del mismo, deben ubicar rampas de ingreso y egreso si fuere necesario.

##### **3.1.2. Elementos aéreos**

Dentro de la planificación debe observarse la existencia y cantidad de cables de cualquier uso que impida la libre construcción de los paneles y evitar

atrasos, cortes de electricidad, o trabajar días festivos, asuetos y/o de descanso lo cual resulta un costo mayor.

### **3.1.3. Elementos subterráneos**

Según la experiencia en la construcción general debe de asegurarse que no existan elementos subterráneos como: tuberías pluviales, tuberías de drenaje, tuberías de agua potable, alcantarillas, ductos eléctricos, zanjas y cualquier otro elemento que resulte afectado por la construcción de los paneles.

## **3.2. Consideraciones para el uso de Tilt Up**

Existen factores que influyen en la decisión de qué método usar en la construcción de edificaciones, el factor más importante es el costo de construcción, para los clientes no es muy importante el método constructivo sino el costo que representa, rapidez, funcionalidad y arquitectura.

Los paneles son diseñados de acuerdo al tipo de edificación, cumpliendo con las normas nacionales e internacionales de construcción Tilt Up.

El uso de este sistema se considera antes de diseñar una edificación de acuerdo a las cargas que afectan la misma, ya que los paneles experimentan 3 veces más tensión en el levantamiento que cuando están en su posición final.

El diseñador debe tener extremo cuidado con las cargas en puntos críticos de levantamiento.

### **3.3. Coordinación**

La coordinación y secuencia de construcción son importantes y se deben controlar constantemente.

Los contratistas y proveedores tienen un tiempo de construcción y si no se cumplen se crea un atraso, lo cual resulta en un costo agregado al original y puede influir en el tiempo de entrega del proyecto.

### **3.4. Secuencia de la construcción**

Una secuencia típica de construcción para el uso promedio de este método es la siguiente:

- Preparación del lugar.
- Instalación de alcantarillado, sistema eléctrico y gas.
- Moldeo y curado para las zapatas para las columnas interiores.
- Moldeo y curado de losa de piso.
- Preparación de los moldajes, vaciado y curado de los paneles.
- Preparación de los moldajes y curado de las fundiciones exteriores. (este paso y el anterior se realizan paralelamente, conservando el tiempo adecuado de curado necesario de las fundiciones).
- Izaje y apuntalamiento de los paneles.
- Construcción de la estructura de la techumbre.
- Colocación de concreto en la zanja de cierre entre losa de piso y los paneles.
- Retiro de los puntales.
- 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 del techumbre. En este caso es necesario construir losas temporales ubicadas en el interior del perímetro del edificio para construir los paneles.

Una secuencia típica de construcción de paneles utilizando un acabado arquitectónico de granito es la siguiente:

- Preparación del lugar (figura 8).
- Preparación y fundición de losa de piso (figura 8).
- Aplicación de antiadherente entre losa y panel (figura 8).
- Colocación y fijación de los moldes para paneles (figura 8).
- Colocación de acero de refuerzo en ambos sentidos (figura 9).
- Colocación de insertos (figura 10).
- Colocación de platinas en los lados donde será colocado el panel a la estructura de la bodega espaciados según el diseño previo (figura 10).
- Fundición con concreto de paneles con un faltante de 2,5 centímetros a 3 centímetros del espesor total (figura 11).
- Colocación de pasta manejable de granito y cemento con proporción de 57,85 kilogramos de granito por cada 42,5 kilogramos de cemento hasta llegar al espesor total del panel (figura 12).
- Esperar a que el panel haya fraguado lo suficiente para levantarlo (figura 13).
- Levantar el panel con grúa o cualquier otro instrumento mecánico (figura 13).
- Colocar el panel de acuerdo al diseño de modulación en el edificio (figura 13).



- Fijar las platinas del panel en la estructura para su posición final (figura 13).
- Si hubiera una separación entre panel mayor a 2 centímetros rellenar juntas.

Figura 8. **Aplicación de material antiadherente**



Fuente: Grupo Nabla.

Figura 9. **Acero de refuerzo**



Fuente: Grupo Nabla.

Figura 10. **Platinas e insertos**



Fuente: Grupo Nabla.

Figura 11. **Fundición de muro**



Fuente: Grupo Nabra.

Figura 12. **Aplicación de granito**



Fuente: Grupo Nabra.

Figura 13. **Izaje de paneles**



Fuente: Grupo Nabla.

De igual manera, esta secuencia puede cambiar de acuerdo a especificaciones del diseñador y acabado arquitectónico requerido.

### **3.5. Preparación de la cimentación**

Es importante verificar el suelo donde será fundida la losa de piso, el suelo debe estar bien compactado, nivelado y en condiciones óptimas de soportar las cargas de losa de piso y paneles de concreto.

Cualquier fallo del suelo se reflejará en la losa de piso, lo que provocará que también se vea en el panel afectando su diseño estructural y acabado arquitectónico agregando costo y tiempo para la reparación del mismo.

El sistema Tilt Up usado para el cerramiento de bodegas industriales no necesita de cimentación superficial, pues los paneles quedan a una distancia de 0,5 a 1 centímetro sobre el piso de la nave.

### **3.6. Construcción de piso**

La fundición de la losa de piso debe diseñarse de manera que pueda resistir el peso de los muros, también sus dimensiones deben ser suficientes para la fácil movilidad de las personas involucradas en el proceso constructivo.

La superficie de la losa de piso debe ser lisa y limpia, colocar material antiadherente, pues esto se reflejará en una de las caras del muro.

### **3.7. Formación de los paneles**

La modulación de paneles es importante y se debe tomar en cuenta para la optimización del tiempo de ejecución:

- Ubicar de manera que el vaciado de concreto sobre los paneles sea eficiente.
- La ubicación es importante para una movilidad eficiente de los constructores.
- Los paneles deben ubicarse de manera que el izaje sea eficiente.

Generalmente, los paneles son repetidos y puede usarse encofrados de madera o metálicos, por tal razón resulta un proceso rápido y económico.

Figura 14. **Formación de paneles**



Fuente: Pimat – Prensa Libre.

### **3.8. Izaje**

Según el diseño de muros así será la cantidad de refuerzos que estarán colocados para que no sufra fallas al momento de izarlos, estos pueden estar en la parte superior de la posición final, también en la parte frontal, esto dependerá de la facilidad de colocación.

Los muros deben quedar libre de toda moldura y es recomendable de acuerdo a la experiencia, que se le aplique el tratamiento arquitectónico de granito cuando está sobre la losa de piso, se debe esperar de 2 a 3 días de finalizado el tratamiento para poder izarlos.

El izaje puede ser un éxito o fracaso dependiendo del extremo cuidado que se tenga, antes del vaciado de concreto debe planificarse la colocación de insertos de acuerdo al peso del muro y dimensiones del balancín que se usa para izarlos, este balancín debe soportar como mínimo 1,5 veces el peso del muro.

Es posible reducir costo de maquinaria que levantará los muros con una eficiente planificación de fundición e izaje.

Si la posición final de los muros es mayor a 20 metros desde donde fueron fundidos es aconsejable izarlos previamente, colocarlos en un vehículo pesado y transportarlos hasta su ubicación final para nuevamente izarlos.

Figura 15. **Inserto superiores**



Fuente: Monsanto Guatemala.

Figura 16. **Insertos frontales**



Fuente: Pimat – Prensa Libre.

Los agujeros que quedan por los insertos deben se sellados con el tratamiento arquitectónico de granito, deben fijarse a la estructura donde quedarán finalmente.



## 4. FUNDICIÓN DE LOSA DE PISO

La construcción de la losa de piso es muy importante, ya que es utilizada para moldear los paneles, los niveles de planeidad y lisura; tampoco debe tener obstrucciones. En los últimos años la calidad del piso ha sido mejorada con la introducción de nuevas tecnologías.

El diseño estructural de la losa de piso debe cumplir los requisitos del reglamento local o internacional de construcción.

La fundición debe ser programada de tal manera que no afecte la movilidad e izaje de paneles, ingreso y egreso de camiones para vaciado de concreto, el ingeniero diseñador debe tomar en cuenta si esta fundición será continua o no, regularmente se construye en forma continua, de manera que queden simétricamente y su posición sea lo más cercano al izaje.

La resistencia mínima especificada para las fundiciones es de 14 mega pascales o su equivalente a 2 000 libras por pulgada cuadrada, de acuerdo a la experiencia en campo la resistencia puede ser de 18 mega pascales como mínimo, esta resistencia puede variar de acuerdo a la modulación previa de paneles.

Estos son algunas consideraciones que deben tomarse en cuenta en la fundición.

- Espaciamiento de juntas.
- Tipo de juntas.

- Refuerzo con malla de alambre soldado.
- Refuerzo con barras de acero.
- Posición de platinas para el anclaje con la estructura.
- Especificación de concreto.
- Ensayos al concreto (*slump*, compresión, temperatura), de acuerdo al diseño del ingeniero.
- Alisado de losa de acuerdo al tratamiento arquitectónico del muro.
- Espesor requerido.
- Fijación de encofrado para evitar derrames de concreto.

#### **4.1. Especificaciones para la fundición**

La modulación y fundición de muros es sobre una base rígida, perfectamente nivelada con dimensiones específicas de acuerdo al programa de trabajo, por tanto esta base para el caso de muros con acabado arquitectónico de granito es una losa de piso, esta se coloca sobre una base o sub-base de suelo trabajada en su compactación y nivelación capaz de resistir las cargas totales de muros y losa.

El diseño estructural de esta losa será de acuerdo a las especificaciones de los códigos locales o internacionales de construcción, en función del uso y aplicación, la superficie debe quedar lisa.

En algunas construcciones, la modulación se realiza sobre la base trabajada con una pasta manejable formada por suelo cuyas características son aprobadas previamente en un laboratorio, cemento y agua. Esta es aplicable para muros con dimensiones pequeñas y modulación total de 2 a 3 muros.

## **4.2. Efectos de carga en losa**

Las cargas más pesadas que probablemente debe soportar la losa de piso ocurren durante la construcción, estas son el peso de los camiones con concreto y aun peor, la grúa para el izaje.

Las cargas que se producirán durante la vida útil de una bodega industrial rara vez excederán el equivalente a 24 kilopascal (2 441 kilogramos por metro cuadrado), las grúas puente y las estanterías rara vez imponen un punto de carga mayor a los 4 500 kilogramos.

En contraste, las cargas por construcción pueden exceder los 18,000 kilogramos, provenientes del eje trasero del camión con concreto, incluso esta se ve pequeña en comparación con las de la grúa al momento de izar los paneles, donde la carga bajo los ejes traseros al transportar un panel muy pesado puede llegar a los 91 000 kilogramos.

En algunas construcciones de bodegas se funde el piso de la nave primeramente y este se usa como losa de piso para los muros.

## **4.3. Espesor de losa**

Los códigos internacionales de construcción proporcionan información para determinar el espesor necesario para las diversas condiciones de carga de una losa, la experiencia demuestra que una losa con un espesor de 10 a 13 centímetros sobre una base bien compactada será satisfactoria en el uso dentro de las bodegas industriales y aplicaciones típicas de este sistema.

Se usan losas de 15 centímetros de espesor como factor de seguridad por cargas adicionales, esta losa produce menos alabeo y existe un aumento sustancial en la resistencia al agrietamiento bajo las cargas de las grúas. Se ha observado en campo, que estas losas si se construyen sobre bases insuficientemente compactadas se agrietan muchísimo. Algunos contratistas engrosan las losas en las áreas donde transitan camiones mezcladores y grúas para el levantamiento de muros.

En algunos casos, la modulación requiere de muros pesados y largos que juntos aumentan las cargas con la grúa, es por ello que se recomienda usar losas de 15 centímetros de espesor como mínimo.

Si dentro de la construcción el izaje se realiza fuera de la bodega y las cargas por construcción son livianas se puede usar una losa de 13 centímetros de espesor, siempre que la grúa no esté sobre esta.

#### **4.4. Terminación de losa**

Estas son algunas de las consideraciones para la terminación de losa.

- Humedecer la base debidamente compactada antes del vaciado de concreto.
- Proveer de un procedimiento adecuado de vibración al concreto.
- Colocar adecuadamente los arrastres, algunos contratistas prefieren usar rasadoras láser.
- Colocar refuerzos temporales más altos que el espesor de losa desde donde los obreros podrán manipular el concreto.
- Permitir que un obrero extienda el concreto usando una pala para anchos de muros entre 1,5 metros y 2,00 metros.

- Mantener la superficie húmeda, aplicar material compuesto protector contra el sol (en caso que la bodega no tenga techo antes de fundir los muros).
- Empezar el curado cuando hayan finalizado las tareas de construcción.

#### **4.5. Curado**

El curado es tal vez la operación más descuidada en la construcción con concreto, cuando es deficiente es la principal causa del agrietamiento plástico, la finalidad del curado es evitar que la superficie seque rápido y provoque una pérdida de humedad en la profundidad de la losa, desde la superficie a la base. Se debe proceder al curado por cualquier de los siguientes métodos:

##### **4.5.1. Lona o brines empapadas con agua**

La superficie del concreto debe ser recubierta en su totalidad con esteras. Estas deben tener longitudes (o anchos) tales, que salgan por lo menos dos veces el espesor de la losa de concreto. Se colocará de forma tal, que la superficie total y ambos bordes de la losa queden completamente recubiertos. Antes de la colocación, las esteras se empaparán con agua, colocarán y sujetarán con pesos, para que estén en contacto directo con la superficie revestida y se deben mantener mojadas y colocadas durante 72 horas; a menos que se especifique lo contrario en las disposiciones técnicas y especiales.

#### **4.5.2. Aplicación de compuestos líquidos formadores de membrana de curado**

El contratista debe velar porque se aplique un compuesto líquido de curado con pigmento blanco. Cuando se empleen pavimentadoras de formaleta deslizante, como complemento del equipo mecánico de rociado del tren de pavimentación, deben utilizarse equipos de rociado manual en aquellos tramos irregulares donde no pueda usarse la pavimentadora y para los lados de las losas de pavimento expuestas al remover las formaletas. El compuesto de curado no debe aplicarse durante tiempo lluvioso (si la bodega no tuviera techo).

El compuesto de curado se aplicará a presión en la proporción de un litro por 3,0 metros cuadrados de pavimento de concreto hidráulico, mediante distribuidores mecánicos; tendrá características tales, que la película debe endurecer dentro de los 30 minutos siguientes a la aplicación.

## **5. CONSTRUCCIÓN DE PANELES**

### **5.1. Construcción de moldajes perimetrales**

El moldaje más simple para el borde es uno de 2x8 para muros con espesor de 15 centímetros, estos son a los que, comúnmente en la construcción se les llama channel.

Estos moldajes estarán en función del espesor diseñado del muro y pueden ser de madera o metálicos. Si el muro tiene un espesor mayor a 15 centímetros se usará un moldaje para el borde mayor de 2x8 teniendo cuidado de desperdiciar madera.

Es importante que los moldes estén rectos, no es recomendable ahorrar en madera y metal más baratos si la calidad no es la deseada.

Deben fijarse a la losa de piso por cualquier método, estos moldajes pueden ser reutilizables hasta dos veces más, debe tomarse en cuenta si existen ventanas, puertas, o cualquier abertura en el muro.

Figura 17. **Modulación perimetral**



Fuente: Monsanto Guatemala.

## 5.2. **Geometría de paneles**

La modulación típica de paneles en cualquier edificación usando este sistema constructivo es rectangular y/o cuadrado, esto afectado por el uso que tendrá la nave.

Los bordes de paneles pueden ser de madera y deben estar bien asegurados porque la madera puede cambiar su forma por factores como: el sol, humedad y aplicación de concreto. Regularmente para bodegas industriales se usan bordes metálicos debido a que son rápidos, fáciles de formar y desmontar, también deben asegurarse a la losa de piso porque se pueden abrir al momento del vaciado de concreto.



### 5.3. Reforzamiento

El diseño del acero de refuerzo lo debe proporcionar el ingeniero diseñador basado en los códigos internacionales y/o locales de construcción, las barras de acero van en ambos sentidos del muro.

Los códigos ACI 318 S05 y ACI 551R-92 requieren una cuantía de acero de refuerzo vertical mínima de 0,0015 y horizontal mínima de 0,0020 y deben de estar espaciados no más de 3 veces el espesor de muro ni mayor a 45 centímetros, si el muro es mayor a 25 centímetros de espesor debe llevar doble cama de acero de refuerzo.

Si el muro lleva puertas o ventanas debe colocarse acero de refuerzo de manera tangencial a las esquinas de estos agujeros, es aconsejable colocar la formaleta de estos agujeros antes de la fundición.

Figura 18. Refuerzo en ventanas y puertas



Fuente: Grupo Nabla.

### **5.3.1. Acero de refuerzo por temperatura**

El acero de refuerzo por temperatura debe ir en ángulo recto al refuerzo principal del muro, regularmente este es el horizontal, y con esto se reduce la probabilidad de agrietamiento.

### **5.4. Paneles doble cara**

También llamados sándwich panel, cuando no existe tiempo suficiente para el moldajes de paneles pueden moldearse sobre los paneles ya fundidos, es importante verificar que el panel base no tenga ningún elemento que se proyecte hacia afuera.

El panel superior debe ser igual o menor que el panel base, si existe el caso contrario debe asegurarse desde la losa de piso las partes externas, de acuerdo a la experiencia en obra es necesario aplicar protección al panel base o material antiadherente.

### **5.5. Tiempo de construcción**

La elaboración de bordes metálicos de muros es de 3,5 horas de acuerdo a la experiencia en campo y disponibilidad de materiales, la construcción de un muro de dimensiones mayores a 7 metros y espesor mayor a 0,15 metros con 4 personas toma 4 días, esto incluye:

- Preparación de bordes: 1 hora
- Formaleta de muro: 2,5 hora
- Fundición con concreto: 1 hora
- Fraguado de concreto: 1,5 hora

- Aplicación de pasta de granito: 1,5 hora
- Fraguado de pasta de granito: 5 horas
- Limpieza de pasta de granito: 4 horas
- Fraguado total de muro: 24 horas

El izaje de cada muro según experiencia en obra es de 2 a 3 horas, dependiendo de las condiciones de obra.

Si la pasta de granito fragúa más de 5 horas se seca demasiado y es más difícil poder limpiarlo, la colocación y nivelación de esta pasta no debe hacerse con arrastres porque el acabado arquitectónico no será el requerido, debe dársele golpes suaves.

Este tiempo puede variar de acuerdo a las condiciones de obra y experiencia del personal en la construcción de muros Tilt up de granito.

## **5.6. Aplicación de desmoldante**

Antes que las personas encargadas de construir los muros coloquen el acero de refuerzo, es necesario aplicar material antiadherente en losa de piso, estos materiales pueden ser: desencofrante, grasa, entre otros; esto con el fin de disminuir el riesgo de que el muro pierda su geometría al momento de izarlo.

Figura 19. **Aplicación de desencofrante y grasa**



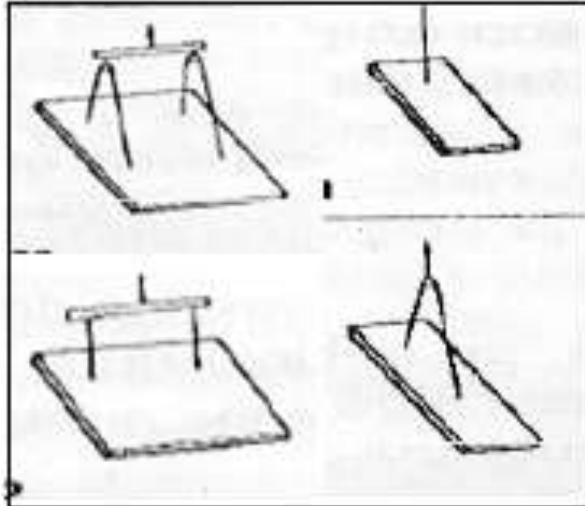
Fuente: Monsanto - Guatemala.

### **5.7. Sistema de elevación e insertos**

Este proceso es muy crítico, pues si no se toman las precauciones y consideraciones debidas, el proceso constructivo queda nulo, y provoca atraso en el tiempo de ejecución de la obra.

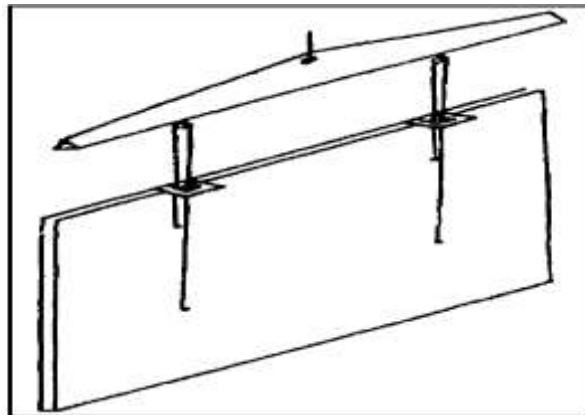
La colocación de insertos para el izaje de paneles depende de la planificación previa, si los paneles no estarán soportados por columnas metálicas, los insertos se colocan de manera frontal (figura 20), si los paneles son soportados por columnas metálicas, son colocados lateralmente (figura 21).

Figura 20. **Sistemas comunes de levantamiento frontal**



Fuente: ACI 551R-92.

Figura 21. **Sistemas comunes de levantamiento perpendicular al espesor de muro**



Fuente: ACI 551R-92.

## **5.8. Verificación previa a la aplicación de concreto**

Antes de vaciar el concreto en los paneles, el ingeniero encargado debe cuestionar y verificar lo siguiente:

- ¿Se encuentran las barras de acero de refuerzo adecuadamente separadas?
- ¿Se encuentran los insertos en el lugar adecuado, bien asegurados y protegidos?
- ¿Se colocaron las platinas según el diseño previo?
- ¿El tamaño y espaciamiento de las barras se ajustan a los planos de ingeniería?
- ¿La cantidad de material antiadherente es la adecuada?
- ¿La superficie de la base está limpia de algún material metálico?
- ¿El acero de refuerzo está colocado y asegurado de manera que cumple con el recubrimiento diseñado?
- ¿La formaleta está bien asegurada entre sí y a la losa de piso?

Estas pueden variar de acuerdo a las condiciones de la obra, pero son las que se presenta comúnmente, después de esto ya se está listo para fundir los muros.

## **6. TRATAMIENTOS ARQUITECTÓNICOS**

### **6.1. Tipos de tratamientos arquitectónicos**

Originalmente, la construcción de muros Tilt Up era de concreto liso y poco imaginativa, en la actualidad el límite imaginativo está en el diseñador.

Estos tratamientos incluyen un revestimiento que produce decoración en la cara expuesta del muro, pueden variar en el uso de pintura que engaña la perspectiva visual del observador, la colocación de rocas decorativas, etc.

Los tipos de tratamientos arquitectónicos más comunes en Guatemala dentro de la construcción de estos muros son:

- Fachaleta de ladrillo rustico cizado
- Fachaleta de ladrillo rustico no cizado
- Concreto alisado visto
- Pintura
- Rocas decorativas como el granito

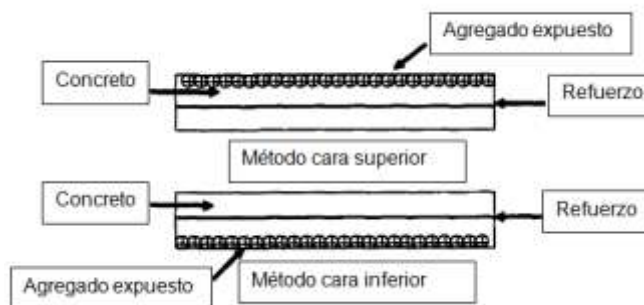
### **6.2. Agregados expuestos**

Los agregados expuestos pueden colocarse en la cara superior o inferior del muro, dependiendo del gusto y preferencia del cliente y su capacidad económica, al momento de colocar los agregados se hará con cuidado, estos no deben nivelarse bruscamente porque se puede desperdiciar material, los

agregados deben mezclarse con algún tipo de pasta que se adhiera al concreto para finalmente limpiar la cara expuesta.

Es necesario considerar usar el método en la cara inferior del muro, pues se verá afectada de gran manera por el peso del concreto, el levantamiento del muro, y puede no resultar en un tratamiento adecuado y agradable al observador.

Figura 22. **Método cara superior e inferior**



Fuente: elaboración propia.

### 6.3. Colocación de rocas decorativas (granito)

La colocación de granito en los muros provee una agradable vista a la edificación, este es un proceso lento debido a que se debe esperar 5 horas según experiencia en campo, para que el granito esté en condiciones óptimas para su limpieza, este proceso no requiere de ningún tipo de alisado.

La calidad, color y tamaño de granito depende del gusto y preferencia del cliente, así también, la vista e imagen que se le quiera dar a la edificación. La pasta de granito puede hacerse en máquinas mezcladoras de concreto.



#### **6.4. Fundición de paneles**

Después de estar seguro de cumplir con la verificación previa a la aplicación de concreto (página 40), se procede a fundir los paneles con concreto, este previamente diseñado según las cargas de muros.

Esto puede hacerse con el número de personas adecuado para las tareas como:

- Guiar el vaciado desde el camión mezclador hacia los paneles
- Palear el concreto en los lugares donde no alcanza el chifle
- Vibrar el concreto
- Enrasado de concreto
- Alisado de concreto
- Trazo de bordes

Para asegurar que el concreto entre por debajo y alrededor de los refuerzos y elementos embebidos se recomienda vibrar. El concreto con bajo descenso de cono, es deseable para los paneles debido a la mayor resistencia resultante y menor retracción.

Cuando se usa un vibrador debe ser arrastrado a través del refuerzo para consolidar el concreto, pero no debe tocar el piso pues puede separar el material antiadherente en la losa. Un vibrado excesivo puede provocar que el agregado grueso descienda hacia el fondo, los vibradores son efectivos en un radio de 15 centímetros alrededor de su cabeza.

Para el caso de muros Tilt Up de granito la superficie no tiene ningún tipo de tratamiento más que el de granito.



## **7. LEVANTAMIENTO Y FIJACIÓN DE PANELES**

Esta parte final del proceso constructivo es la más importante dentro de la obra. Las grúas llegan temprano o un día antes de la colocación y si el proceso constructivo ha sido un éxito, la edificación comenzará a tomar forma en un periodo de 6 horas colocando 5 o más muros en su posición final.

Dentro del lenguaje de obra y léxico ingenieril se dice que el día del levantamiento de muros es el día de la verdad, cualquier error en las dimensiones o en el tratamiento arquitectónico será notorio a la vista, cualquier muro que no cumpla con las especificaciones de diseño y arquitectura tarde o temprano se tendrá que colocar nuevamente en la losa de piso para su reparación o eliminación.

Uno de los errores comunes es la unión vertical entre muros, esto se puede reparar con cualquier material de relleno de juntas; otro es el desportillamiento que sufren al levantarlos, se puede reparar según sea el caso en su posición final, esto resulta un costo extra.

El ingeniero residente del proyecto debe verificar las dimensiones de los muros cuando se están construyendo y las dimensiones de la estructura donde serán colocados cuidadosamente, pues este es uno de los mayores problemas durante el izaje. El ingeniero supervisor de la unidad ejecutora (contratante), deberá velar para que estos detalles estén bien, de lo contrario no se recepciona la obra y mediante acta circunstanciada hacer las observaciones en cuanto a las correcciones de mérito, previo a la recepción definitiva.

## **7.1. Planificación del tiempo para el levantamiento**

El ingeniero supervisor del proyecto deberá evaluar los factores que puedan afectar el tiempo estimado para el levantamiento, el personal involucrado en el levantamiento y la grúa deben estar listos y en el lugar correcto, con el operador de la grúa deben dar un recorrido por la obra para considerar lo siguiente:

- Acceso a la losa de piso de manera adecuada para no dañar los muros ni los bordes de la losa.
- Nivelación y soporte del suelo durante el desplazamiento de la grúa.
- No afectar la producción comercial debido al izaje, si fuera el caso.
- Ingreso y egreso de la grúa.
- El ingeniero residente de la obra y el contratista deben ponerse de acuerdo con la secuencia de levantamiento.

Es importante que la separación de los insertos sea exactamente igual a la del balancín para que el levantamiento sea homogéneo, también deben revisar constantemente el programa de trabajo y los plazos correspondientes para evitar costos de operación extra.

## **7.2. Grúas**

Las grúas se clasifican por su capacidad de levantar pesos, en toneladas. La capacidad para levantar es la carga máxima que puede levantar la pluma sin extensión y utilizando sus estabilizadores laterales.

El tipo de grúa hidráulica usada comúnmente en obra, es el camión de pluma convencional, y la capacidad de esta. Está en función del muro con mayores dimensiones.

Figura 23. **Grúa-camión hidráulica de pluma convencional**



Fuente: Grupo Nabla.

El contratista, juntamente con el ingeniero residente de la obra deberá evaluar la necesidad de usar más de una grúa.

### **7.3. Apuntalamiento de paneles**

Se usan generalmente, dos puntales por muros o más, en áreas sísmicas o donde hay mucho viento puede ser necesario usar hasta cuatro, estos se colocan en el muro evitando que se caiga cuando la grúa lo ha colocado donde serán fijados a la estructura.

Estos puntales son tubos metálicos de secciones telescópicas y con tornillos de ajuste en el extremo inferior. El extremo superior se conecta a una tuerca embebida mediante un perno, el extremo inferior se amarra a la losa de concreto o base de la nave mediante un perno que se instala rápidamente a medida que se instalan los puntales o por cualquier otro método de fijación.

Figura 24. **Puntales**



Fuente: Grupo Nabla.

#### **7.4. Tolerancias**

Estas tolerancias son aplicadas a la colocación y fijación de puntales, son de 13 milímetros para el plomo, la parte superior de un muro no debe encontrarse a más de 6 milímetros de la línea de alineamiento del muro adyacente.

La junta entre muros que, generalmente es de 13 a 19 milímetros, no debe variar en más de 6 milímetros desde la parte superior a la inferior, si se pone cuidado al construir las formaletas de los paneles, en la fijación de las placas de

apoyo y en las verificaciones necesarias, no deberán haber dificultades para estas tolerancias.

## **7.5. Tipos de levantamiento**

El levantamiento de los paneles construidos horizontalmente sobre losa de piso, se realiza con grúas. Esta es la fase más importante durante la construcción, el ingeniero supervisor y el contratista tienen que asegurar que esta fase será sin peligro y eficiente.

### **7.5.1. Levantamiento en secuencia**

Con este tipo se levanta un muro, usando dos grúas por medio de un balancín conectado a un gancho de cada grúa en un punto común, se usa cuando los paneles pesan 60 toneladas o más, el muro es levantado como un componente y no es divisible, esto sucede dependiendo del diseño previo.

### **7.5.2. Levantamiento de cajas**

Llamado levantamiento final se usan, generalmente para paneles de cerramiento perimetral y muros con agujeros, los insertos se colocan en la parte superior del muro más que en una de las caras. Cuando el panel es levantado primero del suelo, debe tenderse bajo su propio peso entre el borde inferior que descansa sobre el piso y la parte superior del panel, la altura máxima de un muro tomada por el borde es limitada.

### **7.5.3. Levantamiento de muros de formas y tamaños Inusuales**

Con el fin de lograr efectos arquitectónicos, algunos muros pueden tener formas poco comunes, su geometría puede variar, igualmente su espesor dentro del mismo muro. Los agujeros para ventanas son un aspecto importante pues el ingeniero diseñador debe ubicar correctamente el centro de gravedad y los insertos para los puntos de levantamiento, en bodegas no se usa, frecuentemente este tipo de muros, aplica en edificaciones residenciales, hoteles e iglesias.

### **7.5.4. Síntesis**

Si las obras a ejecutar son de instituciones gubernamentales, es importante ceñirse a lo que estipula la ley de contrataciones del Estado decreto No. 57-92 y su reglamento según Acuerdo Gubernativo No. 1056-92 y el contrato respectivo; las fianzas de cumplimiento y conservación de obra que estipulan los requerimientos necesarios.



## CONCLUSIONES

1. Reducción de costos de operación, rapidez y calidad de construcción, son los factores importantes que hacen que este método tenga demanda, comparados con los métodos tradicionales.
2. Los paneles construidos con este sistema tienen las mismas propiedades térmicas, acústicas y de resistencia al fuego que los muros tradicionales usados en las edificaciones.
3. Existe menor probabilidad de accidentes de trabajo debido a que la mayor parte se realiza sobre el suelo, evitando el uso de andamios pues los paneles son izados con grúa.
4. Existe un crecimiento en el uso de este método debido a la infinidad de acabados y decoraciones con diferentes materiales, que pueden ser aplicables en los muros dándole a la edificación el perfil requerido por el cliente.
5. El izaje es una operación crítica en este método, pues es la hora de la verdad, si algo salió mal antes de esto se verá inmediatamente.



## RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta la resistencia del concreto antes de comenzar el izaje, esta debe ser como mínimo de 70 por ciento.
2. Asegurar que el suelo es capaz de resistir la cantidad de muros modulados adecuadamente.
3. La superficie del banco debe ser lisa, esto se reflejará en una de las caras del panel.
4. Analizar cuidadosamente las especificaciones de diseño estructural en los códigos internacionales y locales de construcción, para evitar accidentes y/o fisuras al momento del izaje.
5. Ampliar el estudio para otros tipos de proyectos de edificación y compararlo con el sistema constructivo Tilt Up.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación de estándares de Nueva Zelanda. *Estructuras de concreto resistentes al fuego*. NZS 1900. 3a ed. Nueva Zelanda: 1972. 23 p.
2. Asociación de estándares de Nueva Zelanda. *Propiedades de materiales de concreto resistentes al fuego y elementos de estructura*. MP9. 6a ed. Nueva Zelanda: 1989. 49 p.
3. E. CROMPTON, Richard. *Construcción TILT-UP*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de Gainesville, Florida. 1992. 67 p.
4. Guatemala. *Ley de Contrataciones del Estado*, Decreto 57-92, 1992. 39 p.
5. Instituto Americano del Concreto. *Estructuras de concreto TILT-UP*. Farmington Hills, Michigan: (ACI 551R92). 2003. 46 p.
6. ----- . *Requisitos de reglamento para concreto estructural*. Farmington Hills, Michigan: (ACI 318S-05). 2005. 495 p.
7. SUÁREZ SALAZAR, Carlos. *Costos y tiempo de edificación*. 3a ed. México: Limusa. Grupo Noriega Editores, 2001. 265 p.

