

87  
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**"ANÁLISIS DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO  
TILT-UP EN MÉXICO".**

**TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA**

**MARCO ANTONIO SANCHEZ IBARRA**

**DIRECTOR EN TESIS: ING. ERNESTO BERNAL**



**MEXICO, D. F.**

**1998**

**TESIS CON  
SELLA DE ORIGEN**

268219



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTTI/103/98

Señor  
**MARCO ANTONIO SANCHEZ IBARRA**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. ERNESTO BERNAL VELAZCO**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

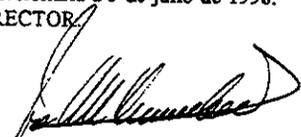
**"ANÁLISIS DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO TILT-UP EN MÉXICO"**

- INTRODUCCION**
- I. DESCRIPCION DEL METODO**
  - II. DIVERSIDAD DE ESTRUCTURA**
  - III. COMPARATIVA DE LA PLANEACION ENTRE EL SISTEMA TILT-UP Y UN METODO CONVENCIONAL**
  - IV. CASO PRACTICO**
  - V. CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria a 3 de julio de 1998.  
EL DIRECTOR

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS  
JMCS/GMP\*lmf

**Todo el trabajo que significa concluir mis estudios de licenciatura, es una satisfacción que deseo compartir con mis padres con todo el agradecimiento por el apoyo y cariño que me han brindado y que me llevaron a lograr esta etapa de mi vida.**

**De igual forma agradezco a mi hermana y a todos aquellos que han participado en mi desarrollo personal y académico.**

# **ANALISIS DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO TILT-UP EN MEXICO**

**TESIS**

**SANCHEZ IBARRA MARCO ANTONIO**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**1998**

# INDICE

<b>Introducción.</b>	<b>1</b>
Panorama general.	1
Objetivo.	2
Alcances.	3
<b>I. Descripción del método.</b>	<b>5</b>
1.1 Características básicas.	5
1.2 Proceso constructivo.	8
1.2.1 Ingeniería.	8
1.2.2 Mecánica de suelos y movimiento de tierras.	10
1.2.3 Cimentación.	14
1.2.4 Pisos.	22
1.2.5 Muros.	34
1.2.6 Estructura.	65
1.2.7 Techos.	71
1.3 Ventajas y desventajas del método.	74
1.4 Normas y requerimientos para su aplicación.	79
<b>II. Diversidad de estructura.</b>	<b>84</b>
2.1 Flexibilidad del sistema.	84
2.1.1 Estructura metálica.	85
2.1.2 Doble "T".	86
2.1.3 Madera.	88

<b>III. Comparativa de la planeación entre el sistema TILT-UP y un método convencional.</b>	<b>90</b>
3.1 Tiempos de ejecución.	91
3.2 Mano de obra.	94
3.3 Recursos materiales.	96
3.4 Maquinaria.	98
<b>IV. Caso práctico.</b>	<b>100</b>
4.1 Proceso de introducción y aceptación en el país.	100
4.2 Proyectos ejecutados bajo el sistema TILT-UP en México.	102
4.3 IUSA. Descripción de la nave y su construcción.	103
<b>V. Conclusiones.</b>	<b>106</b>
<b>Bibliografía.</b>	<b>108</b>

# INTRODUCCION

## PANORAMA GENERAL.

Como es del conocimiento general, en la ingeniería, se busca lograr niveles óptimos en los diversos rubros que la ocupan; es decir, lograr los beneficios máximos posibles conjugando todos los factores que intervienen en los diversos procesos que abarca el extenso campo de la Ingeniería con el fin de obtener el mayor aprovechamiento de los recursos.

En consecuencia, es necesario desarrollar nuevos métodos, que en conjunto con los avances tecnológicos permitan cumplir con los objetivos primordiales de la ingeniería.

En el área de la construcción, es muy importante reducir al mínimo posible los tiempos de ejecución de la obra sin que esto provoque una alza en el costo de la misma, lo cual significa que debemos buscar el punto óptimo en la curva COSTO-TIEMPO, considerando también el costo por volumen de obra de acuerdo al método de construcción a emplear.

Un claro ejemplo de los modernos procesos constructivos que predominan en la actualidad, son las obras que se realizan por medio de elementos prefabricados en plantas, los cuales ofrecen grandes ventajas en cuanto a tiempo de ejecución de las mismas.

Por razones evidentes, para lograr un óptimo desarrollo en la Ingeniería Mexicana, es indispensable mantener un contacto estrecho con la tecnología de punta en el Mundo de los países desarrollados.

El sector industrial no es la excepción, ya que como todo, sigue desarrollándose, y necesita de la ingeniería civil para cubrir sus demandas de espacios para producción y / o almacenaje en su afán por desarrollarse comercialmente.

Tanto en México como en todo país que tenga un importante desarrollo industrial, se vuelve indispensable la construcción de estos espacios que permitan el crecimiento de dicho sector. Esto se refiere a la construcción de naves industriales, o bien de parques industriales que alberguen a un conjunto de ellas.

En México predominan los sistemas tradicionales en lo que a construcción de naves industriales se refiere. Sin embargo, empieza a haber una apertura en el mercado por la innovación de los sistemas a base de elementos prefabricados y precolados en el sitio, los cuales cada vez cobran mayor importancia.

Uno de estos sistemas es el que se conoce con el nombre de TILT-UP, el cual es cada día más aceptado en nuestro país, ya que poco a poco se va dando a conocer entre los diversos sectores industriales que tienen participación activa en México, esto nos hace pronosticar que en el corto y mediano plazo se logrará un importante desarrollo de esta tecnología, que además, no sólo se aplicará a naves industriales, sino que también abarcará otro tipo de edificaciones.

## **OBJETIVO.**

El objetivo de esta tesis es dar a conocer el sistema constructivo TILT-UP, así como hacer un análisis del mismo desde la planeación hasta la ejecución de la obra, tomando en cuenta todos los factores que intervienen durante el proyecto.

Se establecerán las diferencias más importantes y representativas entre los métodos convencionales de construcción y el sistema TILT-UP.

Por otro lado se pretende dar al lector la posibilidad de formar su propio criterio respecto al sistema mediante el planteamiento de la técnica y las bases que lo componen, para que pueda considerar a TILT-UP como una alternativa más de construcción. TILT-UP se puede considerar como un sistema de producción en serie, debido a lo repetitivo de su proceso, lo cual representa una ventaja, ya que reduce costos y tiempo.

## ALCANCES.

El sistema TILT-UP es de reciente ingreso a nuestro país, por tal motivo, en este trabajo se hará una descripción general del método, explicando sus características básicas y los diferentes conceptos que lo componen, mismos que se irán estudiando minuciosamente.

También se hará una revisión detallada del proceso constructivo, éste abarcará todas las partidas que se deben considerar al realizar un edificio por medio de TILT-UP. Se observarán todos los puntos importantes de cada concepto que participan en las partidas, analizando de manera muy general su diseño, pero puntualizando muy detalladamente el proceso constructivo y la programación en la obra para una correcta ejecución.

En este trabajo se hará especial énfasis en la planeación de la construcción por medio de TILT-UP. Considerando la bondad que ofrece el sistema en cuanto a la reducción del tiempo de ejecución, se hace necesario apearse a un estricto programa de obra, basado en una adecuada planeación en la que se consideren todos los factores que intervienen que puedan alterar el cumplimiento de dicho programa.

Se estudiará una comparativa en la que se darán las bases con las que se evidenciará porque es más conveniente realizar la construcción de naves industriales por medio de TILT-UP en vez de utilizar un método convencional. Esto nos llevará a visualizar más claramente las ventajas que TILT-UP ofrece.

Se contemplará la diversidad estructural que es posible emplear en este tipo de sistema, abarcando aspectos estructurales que intervienen en los procesos de la construcción con TILT-UP; con el fin de tener una visión más completa del diseño de las naves de acuerdo a los requerimientos de cada edificio según su uso. Sin embargo, no se hará una revisión exhausta del diseño estructural que se emplean en TILT-UP porque es en este tópico donde radica la patente del sistema.

También se observarán las normas, especificaciones y requerimientos a las que se sujeta el sistema en todo su proceso para lograr un edificio de calidad que a la vez sea funcional y confortable para el usuario y que cumpla con los reglamentos vigentes.

## Introducción.

Como último punto se ejemplificará con un caso práctico que se realizó en la Unidad Industrial Pastejé, Jocotitlán, Estado de México. referente al proyecto IUSA Footwear, de Grupo I.U.S.A. realizada en el primer semestre de 1998.

# I. DESCRIPCION DEL METODO.

## 1.1 CARACTERISTICAS BASICAS.

TILT-UP es un método para construir edificaciones como naves industriales, centros comerciales u oficinas hasta de cuatro niveles a base de muros o losas armadas de concreto prefabricadas en el lugar, en donde una placa de concreto es colada sobre otra que normalmente es el futuro piso del edificio, y la segunda placa será uno de los muros. Una vez colada y fraguada esta placa, ya que el concreto adquirió la resistencia necesaria, se levanta por medio de una grúa hasta una posición vertical y se coloca en su posición final donde servirá como muro. Por medio de un aditivo se impide que la segunda placa se adhiera a la placa de piso que sirvió como base. Durante el armado del muro se colocan unas anclas llamadas insertos que quedan ahogadas en el concreto y sirven para que en ellos se coloquen los ganchos de la grúa y ésta pueda levantar los paneles. Una vez colocados en su sitio definitivo, los paneles se apuntalan provisionalmente por medio de tubos telescópicos de acero que se ajustan a la longitud necesaria, esto es hasta que se coloca la estructura de techumbre, la cual funciona como diafragma estructural e impide el movimiento de los paneles.

Según la definición del Instituto Americano del Concreto, "TILT-UP es una técnica constructiva de colar elementos de concreto en una posición horizontal para posteriormente levantarlos hasta su posición final formando parte de una estructura". El método es básicamente prefabricado en sitio.

Actualmente la construcción con TILT-UP es comúnmente usada para edificios comerciales de uno y dos niveles, sin embargo, cada vez cobra mayor importancia la construcción de edificios de tres y cuatro niveles.

Por medio de este sistema se pueden construir edificios para diversos fines, tales como:

- Naves industriales y almacenes: Es el tipo de edificación más común mediante TILT-UP, normalmente tienen una altura de 6 a 9 metros y corresponden muy bien al ancho del panel más económico que es de 14 a 19 centímetros de espesor. Típicamente las edificaciones de este tipo son de forma rectangular y tienen áreas libres muy grandes, andenes largos y en ocasiones espacio para oficinas. El sistema TILT-UP se acopla perfectamente a estas necesidades.
- Centros comerciales y de recreación: Gracias a su flexibilidad en cuanto a diseño y a la ventaja que ofrece para proporcionar casi cualquier tipo de acabado o apariencia, su uso en este tipo de edificaciones está cobrando gran importancia actualmente.
- Edificios residenciales y de oficinas: En los edificios que se destinan a usarse como multifamiliares, hoteles, moteles, condominios y oficinas son normalmente modulares en su estructura por lo que se prestan perfectamente para ser construidos con este sistema.

Con TILT-UP, en terrenos estables, no se requieren cimentaciones especiales o de gran consideración, con zapatas corridas y/o aisladas muy simples y sencillas que son vaciadas directamente en el terreno, es suficiente.

Los muros de TILT-UP, no sólo forman parte del perímetro del edificio, también pueden ser utilizados como muros divisorios en el interior de la nave y de esta manera también contribuyen a bajar las cargas de la estructura metálica que forma parte del diafragma estructural y carga al sistema de techo.

El sistema también ofrece la ventaja de poder colocar aislamiento especial en los muros cuando estos son colados, esto evita que esta actividad se tenga que realizar independientemente para cuando se colocan los acabados de la nave, lo que se traduce en ahorro de tiempo y mano de obra.

## I. Descripción del método.

Otra de las características básicas del sistema es que al trabajar los muros en el piso se está hablando de que más del 70% de la obra se realiza en el suelo, lo que lo hace menos costoso y reduce los riesgos en el trabajo.

También gracias a este método se logra minimizar la cimbra y se reduce el uso de equipo pesado, obteniendo como resultado un gran ahorro de tiempo y mano de obra que también se convierte en economía sin restar calidad al trabajo, por el contrario, la calidad a través del sistema TILT-UP es mayor.

Puede pensarse que es necesario equipo muy especializado para la erección de paneles, sin embargo, esto es una falacia, ya que estos se modulan de manera que no excedan el peso establecido por la capacidad de carga de la grúa.

Para ser un poco más específico, esta tesis se enfocará principalmente a los edificios realizados con TILT-UP destinados a almacenes o naves industriales, con el objetivo de hacer más notorias sus características, ventajas y limitaciones.

## **1.2 PROCESO CONSTRUCTIVO.**

El proceso constructivo que a continuación se describe será analizado por etapas, ya que es de este modo como se llevan a cabo esta clase de proyectos en la realidad y además facilita su comprensión. Se englobaran en 7 grupos, que a su vez envuelven a todos los elementos que componen al sistema TILT-UP partiendo desde los trabajos en gabinete hasta la conclusión de la obra. Dichas etapas son las más representativas y características del sistema.

### **1.2.1 Ingeniería.**

Dentro del proceso constructivo del sistema TILT-UP se tiene como punto fundamental y primordial la realización de la ingeniería. Esta se refiere al diseño de todo el proyecto, abarcando dimensionamiento estructural, diseño arquitectónico y de áreas exteriores, instalaciones tanto ordinarias como especiales, etc.; todo a nivel de gabinete. Esta etapa comúnmente se analiza de dos maneras; en Ingeniería Preliminar y en Ingeniería Definitiva:

#### **1.2.1.1 Ingeniería Preliminar.**

En la Ingeniería Preliminar se pretende hacer una revisión de todos los datos o requerimientos del edificio a construir con el fin de lograr la funcionalidad óptima del mismo, en base a esto, se hacen las propuestas técnica y económica para la construcción mediante el sistema TILT-UP. Este análisis se denomina "preliminar" por considerarse un estudio rápido de todos los requerimientos y las condiciones existentes.

Para la realización de proyectos con TILT-UP, se puede emplear cualquier esquema de financiamiento pero se acostumbra utilizar el llamado "Llave en mano", con un sistema de precio alzado.

El dimensionamiento estructural que se realiza en la Ingeniería Preliminar está basado en cálculos sencillos y rápidos que permiten determinar de manera general y con cierta holgura los materiales y volúmenes de obra a ejecutar. Algunos de estos cálculos y métodos de diseño se mencionarán más adelante en los subcapítulos correspondientes a cada etapa.

### **1.2.1.2 Ingeniería Definitiva.**

Una vez concluido el proceso de la Ingeniería Preliminar el proyecto se somete a una minuciosa revisión en todos los aspectos, principalmente en el dimensionamiento estructural, con lo que se ajustan volúmenes de obra y se afinan detalles en el diseño arquitectónico.

Esta etapa beneficia en lo que al costo de la obra se refiere, ya que en el cálculo rápido que se hace en el análisis preliminar, se manejan factores de seguridad muy grandes y parámetros de diseño muy sobrados, en tanto que en la Ingeniería Definitiva se ajustan estos factores y parámetros de acuerdo a los reglamentos y especificaciones vigentes de la ciudad o zona en la que se llevará a cabo la construcción, lo que da como resultado economía en el proyecto definitivo.

## 1.2.2 Mecánica de suelos y movimiento de tierras.

### Mecánica de suelos.

Un aspecto de vital importancia en todo tipo de obra son las cimentaciones y el suelo sobre el cual serán desplantadas. Para que estos dos factores se conjuguen de manera satisfactoria es necesario contar con un informe de mecánica de suelos. Este estudio deberá proporcionar algunos parámetros que se requieren para poder llevar a cabo el diseño de la subestructura; tales como cimentación tipo, profundidad de desplante, presión admisible y expansión.

El sistema TILT-UP no es la excepción, ya que se requiere un informe general en el que se contemple la ubicación de la zona en donde quedará asentada la obra y sus alrededores, la geomorfología y descripción del suelo, la topografía; tomando en cuenta la configuración y las formaciones existentes, la clasificación del suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), así como un análisis de los factores climáticos que puedan afectar en el proceso de la obra, como lo es la precipitación a lo largo del año con sus máximos y mínimos y las temperaturas máximas mensuales y anuales. Para la realización de este estudio se deben contemplar algunas de las características que deberá tener el edificio de acuerdo al uso para el que será destinado. Como parte de los resultados del estudio de mecánica de suelos debe incluirse la información y las recomendaciones pertinentes en lo relativo a los bancos de materiales a utilizarse, la manera en la que debe trabajarse dicho material y el equipo a emplearse en el proceso de las terracerías.

Este estudio debe realizarse basándose en pruebas de muestras inalteradas producto de la realización de pozos a cielo abierto, muestras integrales representativas de cada uno de estos pozos y pruebas de penetración estándar.

A todas las muestras se le determina las propiedades índice mientras que a las muestras de materiales en banco se les practica ensaye de calidad y pruebas mecánicas

como son: prueba de compresión axial no confinada, consolidación unidimensional y compresión triaxial simple.

Los ensayos que deben efectuarse son los siguientes:

w :	Contenido de agua	en	%
LI :	Límite líquido	en	%
Lp :	Límite plástico	en	%
Ip :	Índice plástico		
Cl :	Contracción lineal	en	%
G :	Retenido en malla 4.75 mm	en	%
A :	Retenido en malla 0.075 mm	en	%
F :	Pasando en malla 0.075 mm	en	%
Cs :	Clasificación (SUCS).		
Ss :	Densidad de sólidos		
$\gamma_s$ :	Peso específico seco	en	kg/m <sup>3</sup>
e :	Relación de vacíos		
c, f :	Cohesión, Ángulo de fricción interna.	en	kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_v$ :	Esfuerzo vertical	en	ton/m <sup>2</sup>
VRS :	Valor relativo de soporte	en	%

En el trabajo de laboratorio se realizan ciertos ensayos para la obtención de datos de importancia para las terracerías.

- Algunos de estos ensayos son:
- Determinación del VRS (valor relativo de soporte).
- Prueba Porter para la obtención del Peso Volumétrico.
- Obtención de límites de plasticidad.
- Densidad relativa
- Expansión en el consolidómetro.
- Granulometría.
- Compactación.

Con base en las pruebas, los ensayos y los trabajos de mecánica de suelos realizados en campo y en laboratorio, se debe realizar un perfil estratigráfico del sitio en estudio, para que los diferentes estratos sean fácilmente identificados en campo.

## **Movimiento de tierras.**

El movimiento de tierras involucra lo mismo que los métodos tradicionales; abarca el desmonte, el despalme y la realización de cortes y/o terraplenes según como lo demande el terreno; de tal modo que quede plano y bien compactado. Para esto se requiere de maquinaria y equipo para lograr un trabajo de calidad, lo cual es muy importante ya que es la base para los pisos de concreto, que por lo general, es necesario que sean de alta capacidad de carga.

Por otro lado, la cimentación para este tipo de sistema es, casi siempre, de tipo superficial, por lo que siempre se desplantan sobre un relleno de material de banco adecuado para esta función, esto es típico en gran parte del territorio Mexicano.

## **Proceso constructivo.**

- a) Se deben identificar los estratos que se tienen en el terreno; esto se lleva a cabo por medio de muestreos a base de pozos a cielo abierto en los que se pueda determinar la profundidad a la que se encuentra un estrato de material sano que garantice al menos una capacidad de carga entre 10 y 12 ton/m<sup>2</sup>.
- b) Se realiza el despalme de la zona que se va a trabajar.

- c) De ser necesario se realiza una excavación para eliminar el ó los estratos de material que no tengan la capacidad de carga necesaria para el edificio, y a su vez, colocar un relleno o terraplén que servirá como base para los pisos de concreto.
  
- d) Simultáneamente se hacen pruebas de laboratorio al material de los bancos propuestos a explotarse, para determinar cual de estos se empleará en el relleno o terraplén.
  
- e) Una vez seleccionado éste, se inicia el proceso de relleno en capas de 20 cm de material suelto como máximo, que deben ser compactadas al 95% de la prueba proctor estándar, hasta alcanzar el nivel especificado en proyecto. Estos trabajos deben ser supervisados de manera estricta para satisfacer las especificaciones de materiales y del método constructivo de terracerías.

Para lograr un procedimiento constructivo adecuado se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

1. Mantener la humedad óptima del material.
2. Homogeneizar el material.
3. Cuidar el espesor de las capas.
4. Planear el sentido y número de pasadas con el equipo de vibrocompactación recomendado en el estudio de mecánica de suelos.
5. Revisar el cumplimiento de la compactación especificada, a través de pruebas de laboratorio.

Para lograr la conservación de la plataforma desde el momento en que se termina hasta la colocación de los pisos es recomendable mantener la humedad del material, esto es; evitar la deshidratación o la saturación del material. Una forma de lograrlo es por medio de un riego de impregnación.

Para el desplante de la cimentación, además de la capacidad de carga del material, es necesario cuidar esmeradamente la estabilidad volumétrica del suelo, para evitar

problemas de asentamientos diferenciales provocados por la contracción o expansión del material.

La estabilidad volumétrica también es muy importante para los pisos, ya que estos son de concreto hidráulico y requieren de una base firme con las mínimas deformaciones.

Una parte importante que no se debe olvidar antes de dar inicio a los trabajos propios de la construcción, es establecer una ruta de acceso y darle las condiciones necesarias para adecuarlo como camino, con el fin de poder habilitar los materiales que se van a utilizar durante toda la obra, de igual manera es necesario ubicar las zonas adecuadas en las que se colocará el almacén para los materiales mencionados y la caseta para la dirección de la obra. Lo anterior debe planearse estratégicamente de acuerdo a las prioridades y secuencia del proceso constructivo para evitar contratiempos y alteraciones en el programa de obra.

### **1.2.3 Cimentación.**

Una vez concluido el procedimiento del movimiento de tierras, en el cual el terreno queda al nivel especificado en proyecto, se da inicio a la construcción de la cimentación. El tipo de cimentación que se utiliza para el sistema TILT-UP suele ser muy sencillo, ya que la estructura de carga son los muros y columnas, para lo que únicamente se necesitan zapatas corridas para los muros y zapatas aisladas para las columnas.

Como se explico anteriormente, para llevar a cabo el diseño de la cimentación, se realiza un cálculo rápido de modo preliminar, en el cual interviene el peso de los muros, el peso de la estructura metálica y la capacidad de carga del suelo. Este cálculo permite determinar el ancho de las zapatas corridas sobre las que se desplantarán los muros.

### 1.2.3.1 Diseño.

Para poder emplear este método, es necesario conocer algunas de las características de la nave o almacén, tales como la modulación de los muros, el tamaño de los claros entre columnas en ambos sentidos y las cargas viva y muerta que aporta la estructura metálica y la techumbre.

Antes de continuar, se debe explicar, a que se refiere la "modulación de los muros".

Partiendo de que se tiene una nave o almacén de forma rectangular, los cuatro lados que lo componen estarán constituidos por un conjunto de muros de carga. Ahora bien, cada uno de estos muros tiene una cierta altura, un ancho y un espesor. La altura y el espesor se analizarán más adelante, pero el ancho de cada uno de los muros es lo que se llama modulación; la cual depende del diseño arquitectónico y de algunas necesidades que harán más funcional al edificio, pero principalmente depende la capacidad de carga de la grúa que se pretenda usar para el izaje de los mismos, ya que el peso de cada muro está en función de sus dimensiones.

Una vez definido este concepto, se realiza el diseño preliminar de la cimentación, el cual se hace para cada tipo de muro:

Cada muro funciona estructuralmente bajando la carga que le transmite la estructura y la techumbre; de acuerdo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, en la tabla de cargas vivas unitarias para cubiertas y azoteas con pendiente no mayor al 5%, se debe considerar una carga viva de  $100 \text{ kg/m}^2$ . Por otro lado la carga muerta que se ha calculado para este tipo de sistema considerando la estructura, techumbre, lamparas, instalaciones y acabados es de  $40 \text{ kg/m}^2$ . Con lo anterior se hace una distribución de las cargas de acuerdo al área tributaria de cada muro. La carga se determina en toneladas por cada metro lineal, se suma el peso propio del muro y se divide entre la capacidad de carga del suelo que proporciona el estudio de mecánica de suelos y que está dada en toneladas por metro cuadrado; esto da como resultado el ancho de la zapata corrida, que por lo general tiene un peralte de 30 centímetros. En este cálculo falta considerar el peso de la zapata, por lo que es necesario hacer una revisión agregando el peso propio de la zapata de acuerdo al valor obtenido anteriormente.

Esquemáticamente se tiene:

$$(P.E. + P.M.) / q = X_1$$

Y la revisión queda:

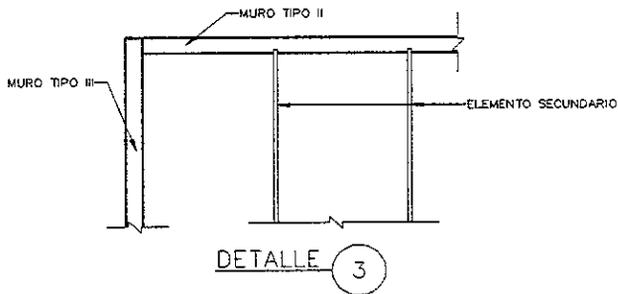
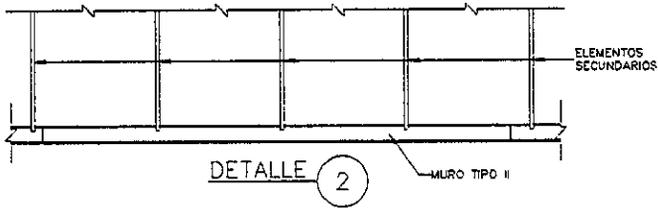
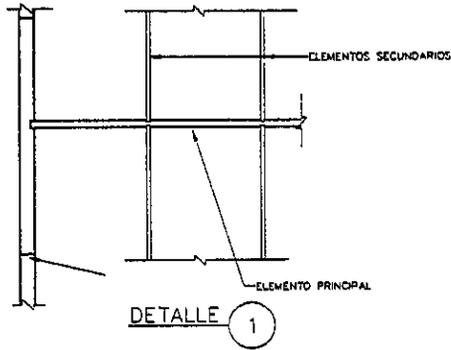
$$(P.E. + P.M. + P.Z.) / q = X_2$$

Donde:	P.E. : Peso de la estructura de acuerdo al área tributaria por metro lineal ( ton / m ).
	P.M.: Peso del muro por metro lineal ( ton / m ).
	P.Z.: Peso de la zapata basado en $X_1$ ( ton / m ).
	$X_1$ : Ancho de zapata sin considerar su peso propio ( m ).
	$X_2$ : Ancho de zapata considerando su peso propio ( m ).
	q: Capacidad de carga del suelo ( ton / m <sub>2</sub> ).

Existen tres tipos de cargas que reciben los muros: La carga que aporta el elemento principal de la estructura, la carga que aporta el elemento secundario, y a los muros que no reciben a ninguno de estos dos elementos se les asigna una área tributaria de 1 metro de ancho debido a que cargan directamente parte de la techumbre, correspondiéndole un área tributaria de la mitad del claro entre el muro y la primera armadura, la otra mitad corresponde a la armadura.. De acuerdo con esto, se observa que los muros se pueden separar en tres diferentes grupos. Obsérvese las siguientes figuras.



1. Descripción del método.



#### I. Descripción del método.

El cálculo para el diseño de las zapatas aisladas es todavía más sencillo; en base al área tributaria se determina la carga que baja por la columna, la cual se divide entre la capacidad de carga del suelo, obteniendo así el área de la zapata.

Con el fin de que todo lo anterior quede totalmente claro, se presenta a continuación un ejemplo.

#### Ejemplo.

Se tiene un muro tipo 1 cuya área tributaria es de  $125 \text{ m}^2$ , las dimensiones del muro son:

altura = 10.00 m

ancho = 5.00 m

espesor = 0.17 m

Considerando una capacidad de carga del suelo de  $8.00 \text{ ton} / \text{m}^2$  y un peso volumétrico del concreto de  $2.4 \text{ ton} / \text{m}^3$ .

Recordando que la carga viva más la carga muerta son  $140 \text{ kg} / \text{m}^2$ , se tiene lo siguiente:

La carga que la estructura le transmite al muro por metro lineal es:

$$\text{P.E.} = ((125.00 \times 140) / 1000) / 5 = 3.5 \text{ ton} / \text{m}$$

El peso del muro es:

$$\text{P.M.} = 10.00 \times 1.00 \times 0.17 \times 2.40 = 4.08 \text{ ton} / \text{m}$$

Calculando el ancho de la zapata

$$(3.5 + 4.08) / 8.00 = .947 \text{ m}$$

Considerando ahora el peso propio de la zapata, suponiendo que esta tiene un ancho de 1.00 m, la revisión queda:

Peso propio de la zapata por cada metro lineal:

$$1.00 \times 0.30 \times 2.4 = 0.72 \text{ ton} / \text{m}$$

El ancho de la zapata queda determinado por:

$$(3.5 + 4.08 + 0.72) / 8.00 = \underline{1.04 \text{ m}}$$

*Por lo tanto el ancho de la zapata sería de 1.10 m.*

### 1.2.3.2 Proceso constructivo.

Esta etapa da inicio mediante la realización del trazo de la cimentación sobre la terracería, con auxilio del equipo topográfico correspondiente; que puede ser un tránsito y una cinta, o un equipo más moderno como los equipos láser o equipos que cuentan con dispositivos electrónicos. En este trazo se definen los diferentes anchos de las zapatas de acuerdo al diseño, posteriormente se realiza la excavación; es conveniente que ésta se lleve a cabo mediante una pequeña retroexcavadora y al paso de esta se coloque a una cuadrilla de trabajadores para el afine del fondo y las paredes de la misma, ya que para colar la cimentación no es necesario cimbrar, puesto que se cuela contra las paredes de la excavación; esto simplifica mucho el proceso constructivo de esta etapa. Una vez terminado este proceso, se cuelan las plantillas de concreto de cinco centímetros de espesor y de  $f'c=100 \text{ kg/cm}^2$  de resistencia. Con el fin de reducir tiempos mientras se realizan las actividades antes mencionadas, una cuadrilla se dedica a habilitar el armado de las zapatas, de este modo, al terminar de colar las plantillas solamente se introduce el acero de refuerzo y se cuelan las zapatas. Como en todo colado, es importante un buen vibrado del concreto para evitar oquedades.

Un aspecto importante y característico del sistema TILT-UP en su cimentación son las preparaciones que es necesario hacer o colocar para que una vez que los muros sean montados en su lugar definitivo se fijen a la cimentación. Para esta tarea se tienen varias opciones, como la colocación de placas tanto en la cimentación como en los muros para ser soldadas, colocar varillas que queden ahogadas en la cimentación y preparaciones en los muros que permitan la conexión de los mismos con dichas varillas, o cualquier otro sistema con el que se logre una conexión eficiente entre muros y cimentación.

Otro punto de consideración es que en el acero de refuerzo de las zapatas aisladas se deben amarrar cuatro anclas con cuerda que quedan embebidas en el concreto, con la finalidad de recibir a la columna, ya que esta cuenta con una placa con orificios en la parte inferior en los que entran dichas anclas. Para su colocación es necesario hacer una plantilla de triplay con las dimensiones de la placa y con los orificios en la posición correcta para usarlo como guía y que las anclas queden en la posición correcta, evitando así problemas al momento del montaje. Para la fijación de dichas anclas, antes de llevar a

#### I. Descripción del método.

cabo el colado, es necesario verificar la posición correcta de la plantilla de triplay en relación con el trazo general de toda la nave, por medio de tránsito y cinta.

Como se puede observar, toda la cimentación es un proceso muy sencillo que inclusive, se realiza en muy poco tiempo y con la calidad requerida.

El sistema TILT-UP tiene la ventaja de manejar muros de carga, por lo que no es necesario tener columnas en el perímetro; esto da como resultado que en la cimentación se tengan zapatas corridas para los muros en todo el perímetro de la nave y zapatas aisladas en el interior de esta de acuerdo al arreglo de las columnas que se requieran.

## **1.2.4. Pisos.**

### **1.2.4.1 Generalidades.**

En todo tipo de nave industrial los pisos forman parte del conjunto que integra los aspectos más importantes dentro de los procesos constructivos, debido a su utilización en la etapa de operación de la nave.

Los pisos en el sistema TILT-UP no sólo son importantes por la funcionalidad que tendrán durante la operación, ya que aparte de trabajar estructuralmente y ser de gran capacidad de carga, servirán como base (cimbra) para el colado de los paneles o muros.

Para que este objetivo se cumpla exitosamente, es necesario tener ciertos cuidados durante la construcción, ya que la apariencia de los muros una vez colocados en su posición definitiva, depende en gran medida de un piso bien realizado que cuente con las características definidas en proyecto. Si se analizan las características que deben tener los pisos para que sea posible construir los muros de concreto de manera horizontal utilizando como cimbra para una de las caras del muro al piso mismo, se tiene lo siguiente:

El piso tiene que estar perfectamente nivelado, tiene que resistir la carga que le transmitan los muros cuando estos son colados sobre el y además se le debe dar un terminado pulido, para que al colar el muro, la cara que queda en contacto con el piso, tenga el mismo tipo de acabado.

Generalmente las áreas que se tiene de pisos de concreto son grandes, por lo que es imposible colar el piso completo como una sola pieza, además de no ser práctico, causaría problemas de agrietamiento, por tal motivo se divide en franjas de colado.

En los pisos de concreto hidráulico para naves industriales frecuentemente se forman grietas, sin embargo, se puede tener un control a base de una programación de dichas grietas, es decir, el concreto se corta en donde se presupone que este se agrietará. Tanto a los cortes programados como a las uniones entre las franjas de colado

se les conoce con el nombre de juntas. Las juntas son de tres tipos: **Construcción, Contracción y Expansión.**

Como ya se mencionó, las juntas de construcción son las uniones entre las franjas de colado de los pisos. Las juntas de contracción son los cortes que se programan en el concreto y, las juntas de expansión son aquellas en que el piso queda totalmente desligado con un espaciamiento de 1 ó 1.5 cm, y se realizan cuando el área de pisos es muy grande, cuando se requiere una zona de piso especial, esto es, que sea necesario que una parte del piso trabaje por separado, y entre todas las estructuras y elementos, tales como depósitos, registros, etc., que se proyecten a través, dentro o contra el pavimento de concreto.

#### 1.2.4.2 Diseño.

El primer paso en el diseño de losas de piso es determinar o seleccionar el tipo de construcción y en base a esto considerando las necesidades que se tengan en cada caso, se buscarán las características con las que deberá contar el piso, como son: **Espesor, refuerzo, espaciamiento entre juntas y algunos otros detalles.**

Existen algunos tipos de losas comúnmente usados para pisos de naves industriales según sean las necesidades:

##### 1. Losa de piso de concreto simple.

Este tipo de piso no lleva refuerzo en toda el área, únicamente se colocan refuerzos de acero en las juntas, llamados pasajuntas. Deben colocarse relativamente cercanos entre sí, y su función principal es impedir los desplazamientos verticales entre las losas además de contribuir a transmitir los esfuerzos cortantes que se generen de una losa a otra.

## 2. Losa de piso de concreto reforzado por temperatura.

En este caso se tienen losas de concreto que si llevan refuerzo para contrarrestar las contracciones provocadas por los cambios de temperatura. El refuerzo debe ser colocado en la mitad del espesor de la losa. Para el refuerzo de este tipo se puede usar malla electrosoldada.

## 3. Losa de piso de concreto armado.

Este tipo de losa lleva un refuerzo de mayor consideración, se utiliza para darle mayor capacidad de carga a los pisos. Se refuerza con varilla corrugada de diferentes diámetros.

Así, podemos encontrar varios tipos de losas más y aunque cualquiera de estas se puede utilizar, es necesario que primeramente se defina el tipo de uso que se le va a dar a la losa para poder establecer o diseñar tanto el espesor como el refuerzo y determinar la resistencia del concreto; por lo general este tipo de pisos se construyen con una resistencia de  $f_c=200 \text{ kg/cm}^2$  o  $f_c=250 \text{ kg/cm}^2$ .

En el diseño de pisos se pueden encontrar varios métodos para satisfacer las necesidades que se tengan. Estos métodos se basan en diversos reglamentos y criterios de acuerdo a las condiciones del lugar en estudio. Existen diferentes aspectos o puntos de partida para el diseño de los pisos, ocasionalmente, en este sistema el aspecto que rige es el peso de la grúa cuando se encuentra montando los paneles, pero también pueden ser las funciones que tendrá la losa cuando la nave este en operación, tales como: Los ejes de las ruedas de los equipos montacargas, los muebles o racks, capacidad de carga uniformemente repartida y capacidad de carga para columnas o muros. Debido al gran campo que abarca este tema, aquí solamente se presenta uno de los varios métodos existentes, dado por la PCA (Portland Cement Association) que considera como factor determinante a los ejes de las ruedas de los equipos montacargas que se pretendan utilizar sobre los pisos. Para poder llevar a cabo el diseño se requieren algunos valores que provienen de especificaciones y otros referentes a los materiales, al sitio y al diseñador.

Algunos de estos datos son:

**Para el vehículo:**

- Peso del vehículo.
- Capacidad de carga del vehículo.
- Carga total en el eje de las llantas del vehículo.
- Número de llantas por eje.
- Tipo de llanta ( sólida o neumática ).
- Ancho y presión de las llantas.
- Area de contacto de las llantas.
- Espaciamiento entre ruedas.

**Para el sitio y los materiales:**

- Resistencia a la compresión del concreto.
- Modulo de ruptura del concreto.
- Valor relativo de soporte de la base o subbase que se utilice.

En el diseño se debe verificar la capacidad de la losa de piso para resistir el momento producido por el eje de carga del vehículo. Este tipo de carga provoca tensión en la parte baja de la losa bajo la rueda del vehículo que presente más peso, aunque por lo general el peso de las ruedas de un mismo eje son iguales.

Con las especificaciones y los datos técnicos antes mencionados se recurre a unas gráficas para llevar a cabo el diseño de los pisos:

Primeramente, para determinar el espesor de la losa de piso, se usa la gráfica 1 mediante el siguiente procedimiento:

Se determina la resistencia del concreto a usarse ( $f'_c$ ), se calcula el módulo de ruptura, para lo que se puede emplear la expresión:  $(2.4\sqrt{f'_c})$ . Posteriormente se determina el esfuerzo permisible, el cual esta dado por el modulo de ruptura entre el factor de seguridad elegido. Este último valor se divide entre el valor de la carga por eje, para que con este nuevo dato se ingrese a la figura 1. Después se lleva acabo el procedimiento mostrado en la gráfica, obteniendo así el espesor de la losa de concreto. De la gráfica se

I. Descripción del método.

observa que es necesario contar con el área de contacto de las llantas y con el espaciamiento entre ellas. El valor que se obtiene directamente de la tabla es relativamente conservador, por tal motivo se puede recurrir al uso de una segunda gráfica, con la que se determina el área efectiva de contacto de las llantas y con esto reducir un poco el espesor de la losa.

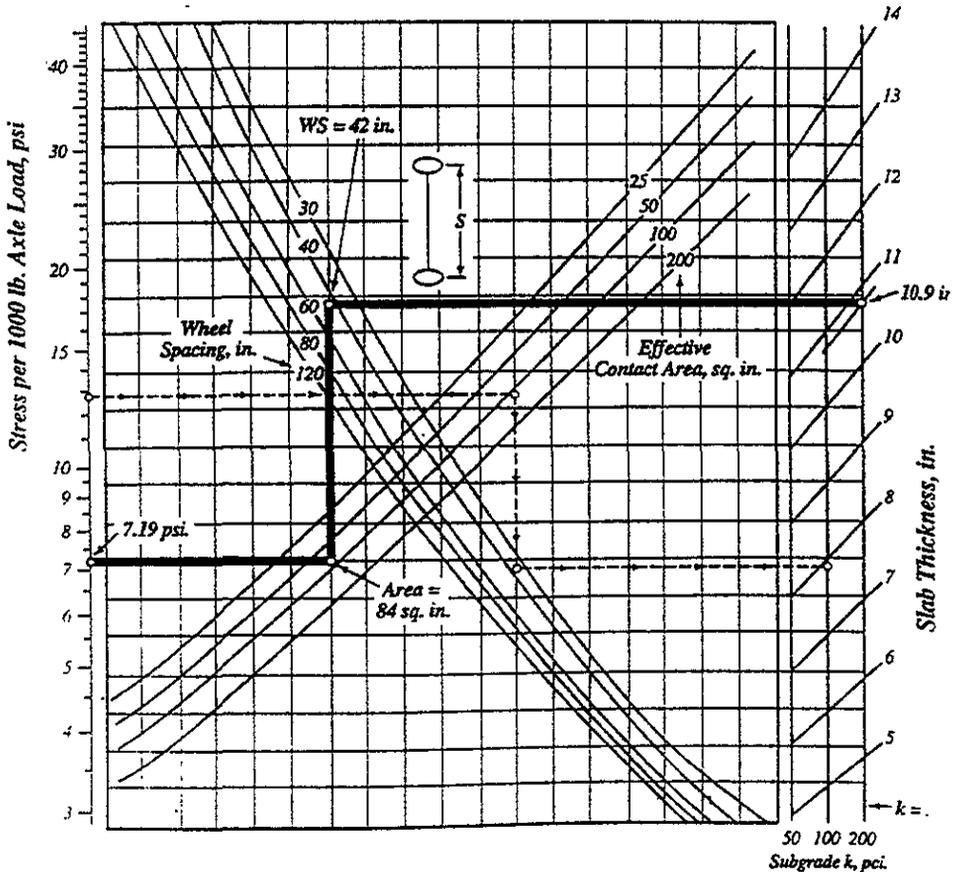


Figura 1 (Gráfica para determinar el espesor de la losa de piso).

“Designing Floor Slabs on Grade”

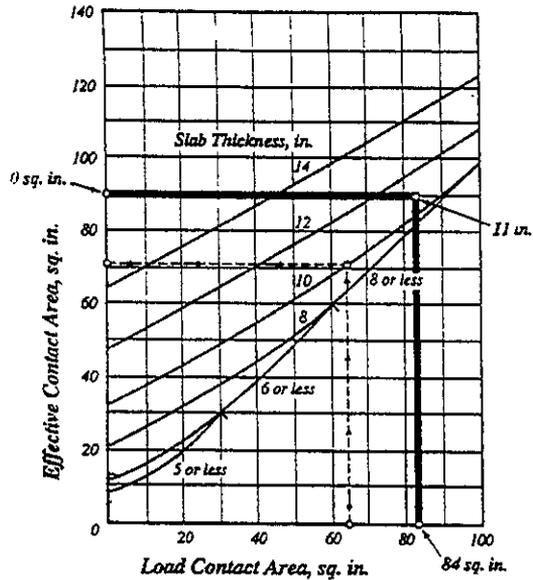


Figura 2 (Gráfica para determinar el área efectiva de contacto de las llantas).  
 “Designing Floor Slabs on Grade”

Si se tiene un eje con doble rueda en cada extremo del mismo, se requiere de un factor de corrección (de reducción), el cual se obtiene de la gráfica 3; con este valor se reduce otro poco el espesor de la losa, debido a que se incrementa el área de contacto, lo que provoca una reducción de los esfuerzos. Sin embargo en naves industriales no es común el uso de montacargas con ejes de doble rueda en cada extremo por lo que se diseña sin esta última reducción.

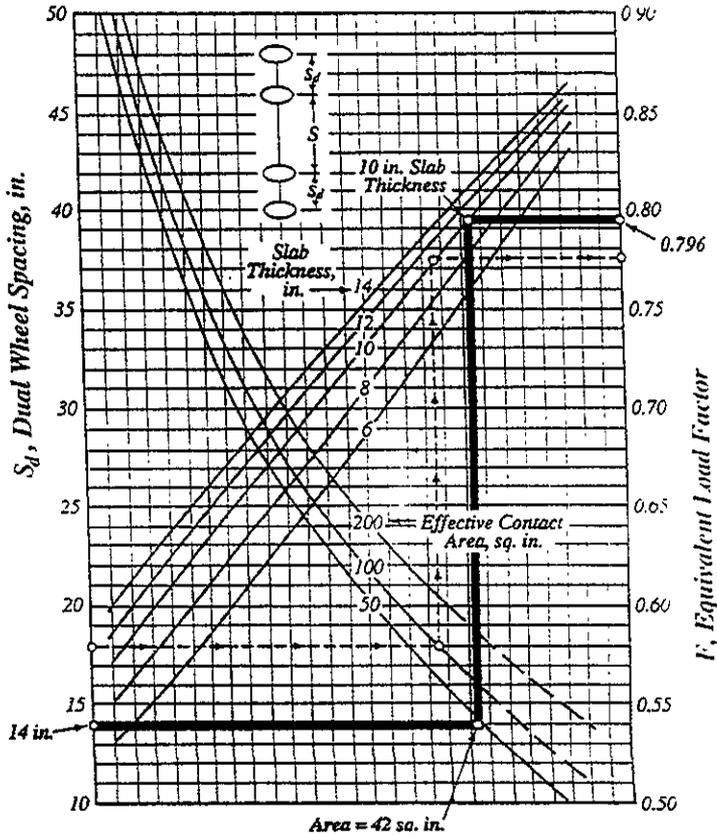


Figura 3 (Gráfica para determinar el factor de reducción por doble eje).  
 "Designing Floor Slabs on Grade"

En cada una de las gráficas se muestra la ruta a seguir durante el diseño. Cabe mencionar que este es sólo uno de los métodos que se pueden utilizar para el diseño de losas de pisos, existen algunos otros de gran aceptación.

1. Descripción del método.

Otro aspecto importante a determinar es el espaciamiento entre las juntas; De acuerdo con el método de la PCA, éste se determina mediante una sencilla regla que se basa en el espesor del piso; la regla es la siguiente:

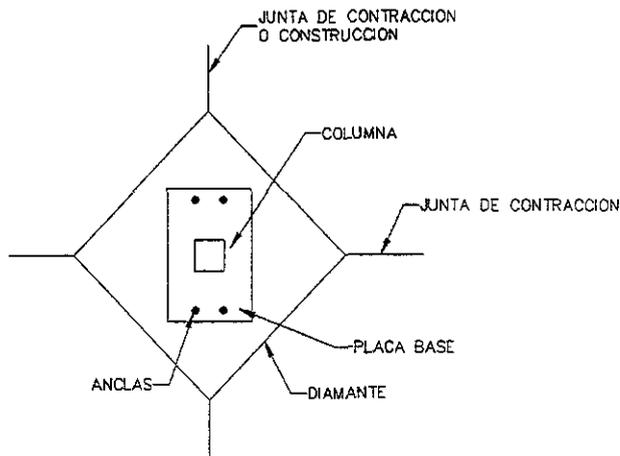
De 2 a 2.5 veces el espesor del piso en pulgadas (in) es igual al espaciamiento entre juntas pero en pies (ft). Este rango de valores que va de 2 a 3 veces el espesor del piso es para modular el número de juntas en toda la longitud que tenga el piso.

Analféricamente se tiene:

$$2 \text{ ó } 3 \times (\text{espesor piso}) = \text{espaciamiento entre juntas}$$

Donde:      espesor de piso    (in).  
                 espaciamiento      (ft).

En la modulación de las juntas también intervienen los ejes de las columnas; las juntas de colado o de contracción deben coincidir con estos ejes. Esto es porque para las columnas se deja un hueco sobre la cimentación sin colar, conocido como "diamante", ya que éstas se montan hasta que está el piso terminado, las juntas deben coincidir con los cuatro vértices de dicho diamante, porque es ahí donde el concreto tiende a romper.



**Diamante**

### 1.2.4.3 Proceso constructivo.

El proceso constructivo de los pisos tiene algunos aspectos en los que se debe tener especial cuidado para que estos cumplan con las especificaciones de proyecto.

Como punto de partida es muy importante verificar que en la realización del movimiento de tierras se haya cumplido con los niveles especificados de proyecto, ya que de esto depende que se tenga un proceso rápido y libre de contratiempos durante la ejecución de los trabajos de trazo y nivelación de la cimbra para los pisos.

Algunas edificaciones de este tipo, de acuerdo al uso para el que estén destinadas, requieren de instalaciones subterráneas dentro del área de la nave, tales como drenajes, sistemas de tierras, instalaciones hidráulicas o instalaciones especiales. En estos casos, antes de colar los pisos, es necesario colocarlas y realizar los trabajos en base a las especificaciones establecidas de relleno y compactación para que sobre estas se puedan colar las losas de piso.

Una vez concluido los trabajos para instalaciones subterráneas y habiendo fraguado el concreto de la cimentación, se puede dar inicio a la construcción de los pisos, aunque no es necesario haber concluido la cimentación en su totalidad para comenzar con este proceso, es conveniente iniciar los pisos conforme se van liberando los tramos de la cimentación que se requieren para colocar la cimbra.

De acuerdo a la distribución que tendrá la nave dentro del terreno y con el método antes mencionado se determina la separación de las juntas, éstas pueden ser juntas de construcción o juntas de contracción o de plano debilitado (ranura falsa o corte), de esta manera quedan definidas las franjas de colado. En base a esto, en el sentido longitudinal se pueden tener puras juntas de colado, o bien, intercaladas las juntas de construcción (colado) con juntas de contracción (corte). En el sentido transversal a las franjas de colado, el piso se corta para formar el plano debilitado de acuerdo a la modulación que se obtenga a partir de las dimensiones de la nave.

Para cada franja de colado se debe colocar la cimbra realizando el trazo correspondiente con tránsito y con una guía para ubicar el nivel al que debe quedar. Una vez que esta se encuentre colocada se verifica el nivel a lo largo de toda la franja por medio de equipo, ya sea óptico o láser. Esto es con el fin de evitar al máximo posible ondulaciones o desniveles en el piso. La cimbra para los pisos puede ser de madera, pero es preferible que sea metálica, ya que se puede utilizar un mayor número de ocasiones.

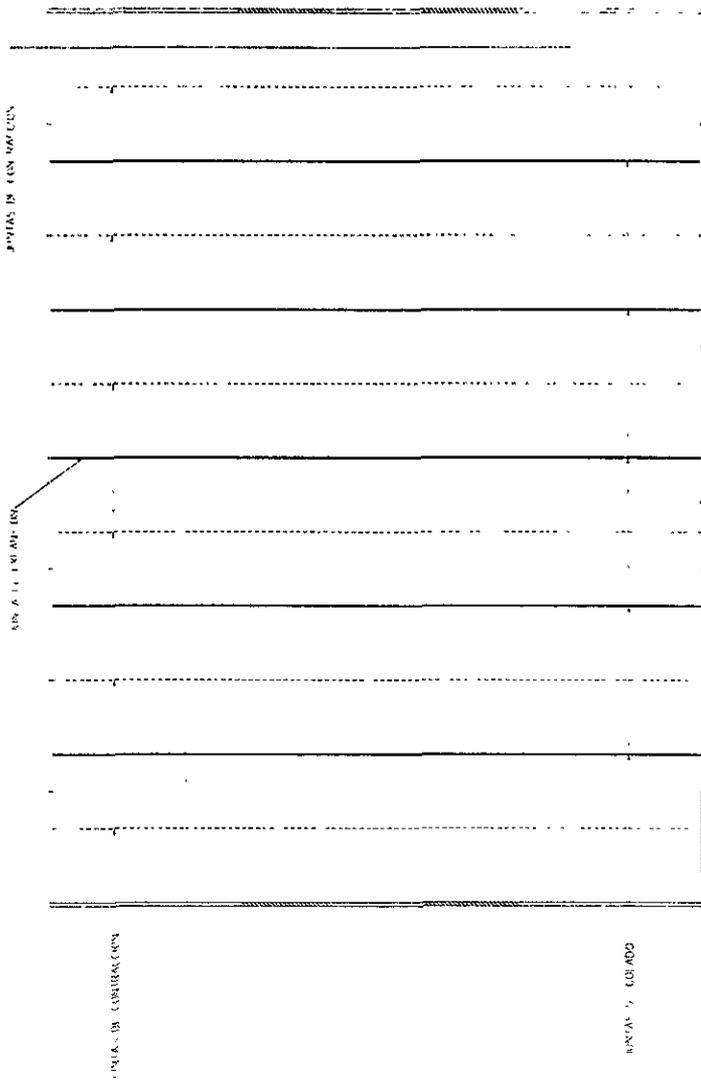
## 1. Descripción del método.

El siguiente paso es el vaciado del concreto, el cual se hace directamente de la olla revolvedora. En cada franja de colado se va colocando el refuerzo que queda definido desde proyecto (en caso de ser necesario), y conforme se va vaciando el concreto se tiene que dar el vibrado necesario e ir pasando la regla. En este proceso se puede utilizar una regla vibratoria que va apoyada en la misma cimbra y se va desplazando para dar el nivel al concreto; posteriormente entra una regla manual que retira el exceso o hace evidente las zonas en las que hace falta concreto. Por último, pasa una cuadrilla de dos o tres trabajadores afinando y dando el detalle de las orillas del colado.

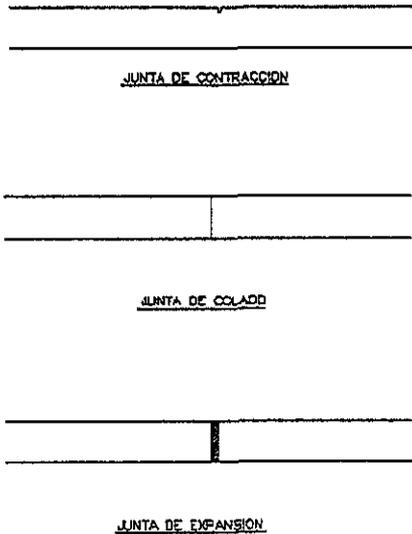
Durante el proceso de fraguado se introduce el primer equipo para pulir, este es una allanadora sencilla y ligera que con unas llanas que giran por la acción de un motor a gasolina empieza a dar el acabado al piso. Por lo general esta parte del proceso da inicio dos horas después de que se coló la primera parte de la losa. Conforme se va dando el fraguado del concreto y va adquiriendo dureza y resistencia se introduce un equipo de allanadora doble, con la que se da el acabado final. El tiempo que se lleva esta actividad esta íntimamente ligado con el tiempo de fraguado del concreto.

El control de calidad de los trabajos de piso es muy importante y a la vez muy sencillo; se resume a la correcta colocación de la cimbra y a las pruebas de laboratorio necesarias del concreto empleado durante el proceso. Se deben extraer muestras del concreto cuando la olla o camión revolvedora está vaciando, con el fin de determinar el revenimiento del concreto y hacer cilindros de prueba, los cuales se someterán a las pruebas de carga correspondientes según las Normas Oficiales Mexicanas NOM C159 y NOM C83, a los 14 y/o 28 días.

El piso visto en planta quedaría de la siguiente manera:



Y los detalles de juntas son:



Todas las juntas que quedan en el piso se rellenan con un material plástico que funciona como sellador tapando las hendiduras, exceptuando las juntas de expansión, en las que se coloca otro tipo de material que aísla totalmente a las dos piezas de concreto que quedan contiguas, esto es con el fin de que estas dos piezas trabajen por separado. El sello plástico se aplica en la etapa de finalización de la obra para que éste pueda secar y no se levante o se deteriore durante la conclusión o la limpieza de la misma. Primeramente se limpian las juntas perfectamente, para posteriormente aplicar el sellador. Esto trae a consecuencia otra actividad en la obra; para poder colar los muros y que estos no queden marcados por las juntas, es necesario rellenarlas con yeso, para que el muro quede totalmente liso; una vez levantados los muros se retira el yeso.

El diseño de pisos no es exclusivo del sistema TILT-UP, de hecho, se puede aplicar cualquier método de diseño, la única condición para que el piso sirva como parte del sistema es que se le dé un acabado pulido a liana y que quede perfectamente nivelado.

## 1.2.5 Muros.

Durante los subcapítulos anteriores se han mencionado algunas características de los muros del sistema TILT-UP, que como se puede observar, son el punto central y característico que define al sistema. En este subcapítulo se hablará de algunos aspectos del diseño y sus propiedades y se abundará sobre el proceso constructivo y las consideraciones que deben tenerse desde el cimbrado hasta la erección y colocación de los paneles.

Es importante mencionar que en los edificios de TILT-UP los paneles adyacentes no quedan interconectados. Cada panel queda conectado al piso y techo para dar un soporte lateral y que actúen como miembros independientes para soportar las cargas del techo además de la carga lateral.

### 1.2.5.1 Diseño.

En lo referente al diseño de los paneles se tienen varias consideraciones; principalmente se tiene que definir la modulación de los muros de la nave para poder realizar el cálculo o diseño de cada muro. Dentro de la modulación se busca que quede el mayor número posible de muros de la misma dimensión, con el fin de que el diseño del acero de refuerzo sea el mismo y resulte más sencillo tanto el cálculo estructural como su ejecución en obra. Como ya se mencionó el apartado 2.2.3 en la determinación de la modulación que tendrán los muros interviene el diseño arquitectónico y las necesidades o requerimientos de la nave industrial, pero, lo más importante es la capacidad de la grúa. Usualmente, se busca que el peso de los muros no exceda las cuarenta toneladas (40 ton, como caso extremo), con el fin de utilizar una grúa que no sea muy grande para que no se incremente el costo, sin embargo, si los requerimientos de la nave demandan muros más grandes y por lo tanto más pesados se consigue otra grúa de mayor capacidad exclusivamente para el montaje de los muros que excedan este límite. La relación que se usa generalmente entre el peso del panel y la capacidad de la grúa es de uno a cuatro, es decir, la grúa debe soportar cuatro veces el peso del panel. Esta es una medida de

seguridad en la que se toma en cuenta la posibilidad de existencia de viento durante las maniobras que podrían causar fuerzas externas sobre el panel.

La grúa levanta una viga de izaje, de la cual se sujetan los estrobos por medio de grilletes y patescas con el fin de lograr el arreglo adecuado de los mismos estrobos para sujetar al muro de los insertos correspondientes.

Los muros de TILT-UP se fabrican con concreto de resistencia  $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ , y son diseñados con un programa que realizó la empresa poseedora de la patente (CON/STEEL). Este programa está realizado para el diseño de muros a flexocompresión y de él se obtiene el acero de refuerzo que requiere cada muro para soportar las cargas a las que será sometido, el programa también considera en el diseño el refuerzo necesario para la maniobra de izaje, ya que se presentan elementos mecánicos en el muro que sólo lo afectarán desde el momento en el que es levantado del piso hasta que es colocado en su posición vertical.

Los paneles son analizados tomando en cuenta sus puntos de izaje. Los muros con más de una hilera horizontal de puntos de levantamiento son analizados en diferentes ángulos de rotación, porque la configuración de los estrobos cambia los esfuerzos que se presentan en los insertos de izaje. Los esfuerzos resultantes se comparan con los permisibles y en caso de ser mayores es necesario aumentar el número de insertos, colocar refuerzo adicional en las zonas críticas, usar concretos de mayores resistencias, o en su defecto, una vez que el muro está colado y el concreto ha fraguado, se fijan un par de largueros llamados "strong backs" mediante tornillos con taquetes, los cuales garantizan una maniobra segura para el panel, ya que lo rigidiza en sentido vertical. Usualmente, esta última opción sólo se aplica mientras dura la maniobra.

Del cálculo que se realiza con el programa antes mencionado surgen algunos detalles que vale la pena mencionar:

- Se deben introducir al programa las aberturas para ventanas o puertas en cada panel.
- La posición de los insertos se determina de acuerdo al centro de gravedad.
- La posición de los insertos en acorde con las dimensiones de los paneles es analizada por el programa para determinar las cargas a las que serán sometidos los insertos.
- Los momentos y esfuerzos que se presentan en los paneles están en constante cambio y son revisados a medida que el panel rota de su posición horizontal a vertical.

- El esfuerzo crítico durante el levantamiento generalmente ocurre en la posición horizontal desde que se le empieza a aplicar la fuerza de tensión para el levantamiento.

Sin embargo no son las únicas consideraciones que deben tenerse presentes, también hay que tomar en cuenta algunos factores o características que influyen en el diseño estructural, tales como:

- Altura libre.
- Claros (muros - columnas, columnas - columnas).
- Modulación de muros.
- Capacidad de carga de la grúa.
- Cargas del techo.

Las siguientes líneas son una muy breve descripción de la intervención de estos factores:

- Por lo general en el requerimiento de un edificio industrial o almacén se establece la altura libre deseada, sin embargo, esta no es la altura total del muro, ya que la estructura queda comprendida dentro de la altura total, lo que hace que la altura libre sea menor, por lo tanto la altura total del muro es la altura libre más el incremento dado por la estructura.
- Los claros también son muy importantes dentro del cálculo, porque las dimensiones de estos intervienen directamente en la repartición tributaria de las áreas para la bajada de las cargas, mismas que quedarán delimitadas por la modulación de los muros, es decir, para la bajada de cargas se toman en cuenta los muros por separado.
- En cuanto a las cargas que transmite la estructura y la techumbre se considera como carga muerta al peso de la estructura, la techumbre, instalaciones, lamparas y acabados teniendo como resultado  $40 \text{ kg/m}^2$ , mientras que como la viva que se considera es de  $100 \text{ kg/m}^2$ .

## I. Descripción del método.

Para el dimensionamiento de los muros se tienen algunas reglas y/o fórmulas que permiten realizar un cálculo rápido pero muy acertado de las características de los paneles:

El espesor del panel se determina a partir de su altura, generalmente los muros entre 7.00 y 10.50 m de altura se hacen de 17 cm de espesor.

De esta manera y generalizando, para una nave de entre 7 y 9 metros de altura libre se realizan muros de 17 cm de espesor.

Por otro lado, el acero de refuerzo de los muros varía entre los 50 y 120 kg por metro cúbico de concreto, el cual, por lo general, queda distribuido en los muros en una sola cama de varillas a la mitad del espesor del muro de acuerdo con el ACI -318 (American Concrete Institute), sin descartar que pueden existir muros que lleven varillas en doble lecho tanto horizontal como vertical.

Conforme se va levantando el panel, su peso propio provoca momentos en el mismo, lo que trae como consecuencia que se generen esfuerzos adicionales. Estos esfuerzos adicionales, regularmente, llegan a ser de consideración, dependiendo del tamaño del panel, del número y dimensiones de las aberturas que tenga, del número de insertos usados y del arreglo de los estrobos que se use para la maniobra de izaje.

Como el concreto tiene una baja resistencia a la tensión, es suficiente calcular el máximo esfuerzo de tensión inducido y limitarlo a un valor aceptable por debajo de la resistencia real a tensión del concreto. La resistencia a tensión del concreto es variable en función del método y el reglamento a emplear así como de la zona en la que se este desarrollando la construcción. Para el caso de México, dependiendo del valor de  $f_c$ , la resistencia a tensión varía entre 20 y 30  $\text{kg/cm}^2$ , de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto en el punto 1.4.1. El valor de la resistencia del concreto  $f_c$  que se considera según lo antes mencionado es al momento del levantamiento de los paneles.

### 1.2.5.2 Proceso constructivo.

El procedimiento constructivo de los muros da inicio desde la conclusión de los pisos, debido a que, como ya se comentó, el objetivo principal del acabado pulido en el piso es el de dar al muro el mismo acabado por ambas caras. A medida que se van

## 1. Descripción del método.

liberando tramos del piso se da inicio a la colocación de la cimbra, pero no es nada más colocar cimbra sin importar la posición, hay toda una gama de elementos a considerar para determinar la posición de cada muro. Durante la etapa de proyecto se define dicha posición, la cual está íntimamente ligada con la modulación de los muros, de tal manera que la posición de colado de cada muro debe situarse lo más cercano posible a su posición final, es decir, a la posición que tendrá una vez que sea colocado verticalmente, para que la grúa que realice el montaje, desde una sola posición enganche al muro, lo levante y lo coloque en su lugar definitivo sin que se presente la necesidad de caminar o desplazarse, esto se traduce a que el brazo de la grúa en combinación con su capacidad debe realizar toda la maniobra de colocación del muro, una vez colocado este, la grúa se acerca y se acomoda para la colocación del siguiente muro, y así sucesivamente.

No todos los muros pueden quedar exactamente enfrente de su posición final, ya que esto traería problemas en las esquinas, porque los últimos dos muros de cada extremo quedarían traslapados con los de los lados perpendiculares. Esta situación es evidente, ya que si tratamos de imaginar a todos los muros puestos en el piso no cabrían enfrente de su posición final, lo que da como resultado que algunos muros se tengan que ubicar hacia el centro de la nave, sacándolos de su posición en el perímetro.

También debe contemplarse al definir la posición de colado de los muros es la ruta que seguirá la grúa durante el montaje, tomando en cuenta el inicio o entrada de la grúa y la salida con la colocación de los últimos muros.

Por otro lado es de gran importancia observar un tercer elemento que determina la posición de colado; conforme se va colocando cada muro es necesario nivelarlo y plomearlo con el fin de que el propio peso del muro no provoque un momento que produzca volteo y derrumbe del mismo. Una vez que el muro fue plomeado y nivelado, la fuerza definida por el peso del muro actúa perpendicularmente a la cimentación y esta reacciona con una fuerza colineal, de igual magnitud pero de sentido contrario, formando un sistema de fuerzas en equilibrio. En el lapso de tiempo que existe desde el momento en el que la grúa suelta al muro hasta el instante en que es sujetado por la estructura, el muro debe ser asegurado para evitar que la acción del viento lo saque de plomo y se produzca un par de fuerzas como el de la figura anterior. Esto se logra mediante dos

## 1. Descripción del método.

cuando llegue el momento del izaje cuenten con la resistencia necesaria. La cimbra esta hecha a base de tablón de madera, cuya sección es comúnmente de 4 x 17 cm (el espesor del muro). Está compuesta por dos tipos de tablonés: el tablón que servirá para cimbrar el perímetro de un grupo de muros y el que tomará la función de divisor del colado de muros, es decir, cimbra entre dos muros contiguos.

Por las necesidades posteriores del acabado, los dos tipos de cimbra deben tener ciertas características referentes al trabajo de la madera, es decir, la cimbra del perímetro debe tener un lado y un canto pulido, mientras que la cimbra de división debe tener los dos lados y un canto pulido. Esto es con el fin de que el concreto tenga un acabado pulido en todas sus caras y costados.

Como se puede observar en el dibujo anterior, la cimbra del perímetro, debe ser ensamblada por carpinteros en la obra, con el fin de dar a la cimbra las características de indeformable e inamovible. Para lograr esto, a la cimbra del perímetro se le coloca un tablón en posición horizontal formando una escuadra y sobre esta se clava un tacón, que no es otra cosa más que otro trozo de tablón. La cimbra divisoria se coloca sobre una canaleta que le sirve de guía para impedir que quede desalineada o desplazada de su lugar.

Una vez que se colocó y se verificó la cimbra se coloca la membrana desmoldante. Es un producto químico cuya función es impedir que el concreto que será vaciado para cada muro se adhiera al concreto del piso. Este desmoldante debe aplicarse con un aspersor o rociador porque si se aplica con brochas, escobas, estopa o franela queda una capa muy gruesa que posteriormente se reflejará en el acabado del muro; con una membrana muy delgada es más que suficiente para que el producto funcione.

### **Acabados.**

Existe toda una gama de acabados que se le puede dar a los muros construidos con el sistema TILT-UP, se pueden tener colores, texturas y formas que alcanzan casi cualquier petición arquitectónica. Dentro de las opciones que brinda la arquitectura para los acabados de los muros de TILT-UP se encuentran las siguientes:

1. Modulación aparente.
2. Pintura.
3. Agregados expuestos.
4. Superficies con cantera.
5. Tabique.
6. Simulación.
7. Diseño de paneles.

#### **1. Modulación aparente.**

Modulación de diferentes tamaños y formas se pueden usar para lograr variados esquemas y diseños en la superficie del panel. Líneas de  $\frac{3}{4}$  de pulgada pueden ser usadas para definir secciones o colores en la superficie. También pueden ser usadas para resaltar alguna forma en particular.

#### **2. Pintura.**

La pintura que comúnmente se usa es de acabado mate en el exterior y satinada en el interior. Se aplica una capa de sellador y posteriormente la pintura. En cuanto al color no existe ningún tipo de restricción.

#### **3. Agregados expuestos.**

Esta técnica se refiere a la colocación de agregados decorativos, Para su colocación simplemente se coloca una capa delgada de arena, posteriormente una capa del agregado expuesto seleccionado y sobre este se vacía el concreto.

#### 4. Superficies con cantera.

Se utiliza para resaltar o enmarcar algo como un recubrimiento de todo el edificio con el mismo proceso que el agregado expuesto.

#### 5. Tabique.

Las combinaciones de concreto con tabique pueden resultar muy buenas, además el tabique puede tener su tamaño normal o puede estar rebanado en capas delgadas y ser colocado en el panel.

#### 6. Simulación.

Es un método para resaltar los paneles del edificio. La combinación lograda con biseles (chafanes) colocados estratégicamente en el panel liso puede hacer aparentar que el panel tiene profundidad. Los paneles lisos son mucho más baratos y más fáciles de levantar que los paneles con relieve.

#### 7. Diseño de paneles.

Existe la posibilidad de usar varios materiales para lograr estos diseños, ya sea de madera, resinas, acero, poliestireno, plásticos, etc.

En cuanto a los detalles se puede recurrir a la madera para dar diferentes tipos de acabados, por ejemplo, se acostumbra usar un chafán de 1.90cm en el perímetro de cada panel, con el fin de dar a las esquinas un acabado a 45°, ya que realizar un acabado a 90° propiciaría el despostillamiento de toda la orilla.

Las ventanas son otro factor determinante en el tamaño y la localización del panel, es decir, interviene directamente en la modulación de los muros, ya que las piemas del panel adyacentes a las ventanas no deben tener un ancho menor a 60 centímetros, sobre todo en áreas sísmicas y de vientos fuertes.

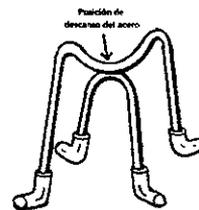
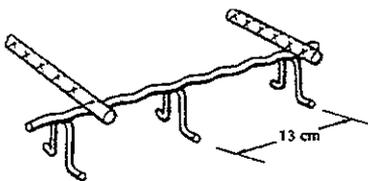
El proceso para lograr los diferentes tipos de acabados consiste en colocar las losetas o elementos que proporcionen acabados aparentes con la cara de la vista contra el piso antes de vaciar el concreto. En México este tipo de acabado no es muy recurrido, más bien se usan molduras que se fijan al piso donde serán colados los muros, logrando con esto un diseño arquitectónico agradable, muy económico y que hace resaltar los

posibles contrastes o cambios de los colores que se dispongan en las fachadas del edificio.

Los muros precolados de concreto presentan otra ventaja que tampoco es muy socorrida en México, es el hecho de colocar aislamiento en los muros; este aislamiento se coloca durante el colado quedando ahogado en el concreto a manera de "sandwich". Dicho aislamiento está en función de las necesidades del edificio o de los reglamentos vigentes en cada zona para los diferentes tipos de usos que tengan las naves o almacenes.

Al igual que en la cimentación, mientras se realizan las actividades previas al colado, (la colocación de la cimbra y/o los acabados aparentes en este caso), se asigna una cuadrilla de trabajadores para que empiecen a habilitar el acero de refuerzo de los muros, con el fin de reducir tiempo en el proceso de cimbrado, armado y colado. También se puede marcar en el piso el armado que lleva el muro para que esta maniobra se realice más rápidamente.

Como ya se vio, el acero de refuerzo de los muros puede estar constituido por uno o más lechos en ambos sentidos (vertical y horizontal), el nivel o profundidad al que deben estar los lechos queda definido en el cálculo estructural. Para dar este nivel durante ejecución de la obra, se utilizan unos elementos llamados "silletas", que se consiguen en presentaciones de varios tamaños para facilitar esta labor.



Silletas.

Después de haber colocado el acero de refuerzo del muro inicia una tarea que es muy importante y por lo tanto debe ser ejecutada sin errores, de lo contrario, pueden presentarse contratiempos que traen consigo incremento en los costos. Esta actividad es la colocación de insertos, placas y preparaciones para expansiones a futuro, que quedan ahogados en el concreto de los muros.

### **1.2.5.3 Insertos y preparaciones especiales.**

Los insertos son de varios tipos de acuerdo a su función; hay insertos para izaje, insertos para colocación de tubos telescópicos e insertos para muros de andén.

#### **Insertos para izaje.**

Estos insertos ofrecen una conexión rápida del panel y una rápida liberación desde el piso del gancho que lo sujeta. Deben ser propiamente ubicados con relación al centro de gravedad del panel. Este tipo de inserto tiene un sentido de colocación obligado que viene marcado en él mismo, y debe ser respetado para que la liberación desde piso de resultado, de lo contrario será necesario colocar una escalera sobre el muro una vez que esté puesto en su posición vertical para liberar los ganchos.

También deben ser propiamente colocados en relación con las orillas, esquinas, aberturas y escalones, a una distancia tal que no sean afectados por acción del cortante.

Este y cualquier tipo de inserto debe ser bien amarrado para evitar que se muevan o se desplacen durante el colado, ya que es muy problemático si algún inserto queda fuera de su posición después de que el concreto ha fraguado, en caso de que el inserto se mueva de su lugar, se debe buscar la manera de sustituir este punto de izaje.

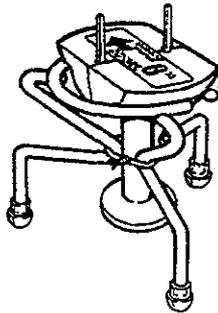
Por otro lado el eje vertical del inserto debe quedar perpendicular a la superficie de levantamiento (piso), y debe ser amarrado, no debe ser soldado ya que esto podría provocar una falla prematura del inserto. Para asegurar un amarre confiable se colocan dos pedazos de varilla sujetos al acero de refuerzo del muro para ser inmovilizados y a su vez estos sirvan de soporte en el amarre del inserto.

### I. Descripción del método.

El inserto es propiamente un ancla que queda ahogada en el concreto y que se somete a grandes esfuerzos de tensión. Tienen una pequeña cabeza de la cual se sujeta el gancho de izaje permitiendo el giro del mismo durante la maniobra y una rápida liberación del gancho desde el piso.

Cada inserto cuenta con una antena plástica flexible que se dobla al paso de la regla durante el colado, pero gracias a su flexibilidad regresa a su posición original para indicar la ubicación del inserto después del colado. También tienen un tapón de plástico que funciona como cimbra, formando un hueco alrededor del ancla para permitir la entrada del gancho de izaje, este tapón debe ser retirado antes de dar inicio al montaje. Sobre esta tapa viene colocada una etiqueta que indica la profundidad del inserto en el panel y el sentido adecuado en que debe ser colocado el inserto.

Los insertos vienen asentados en una silla de soporte con la que se le da la profundidad específica en el espesor del panel. En la figura se puede observar el inserto de izaje.



La selección de este tipo de insertos se hace mediante la siguiente tabla:

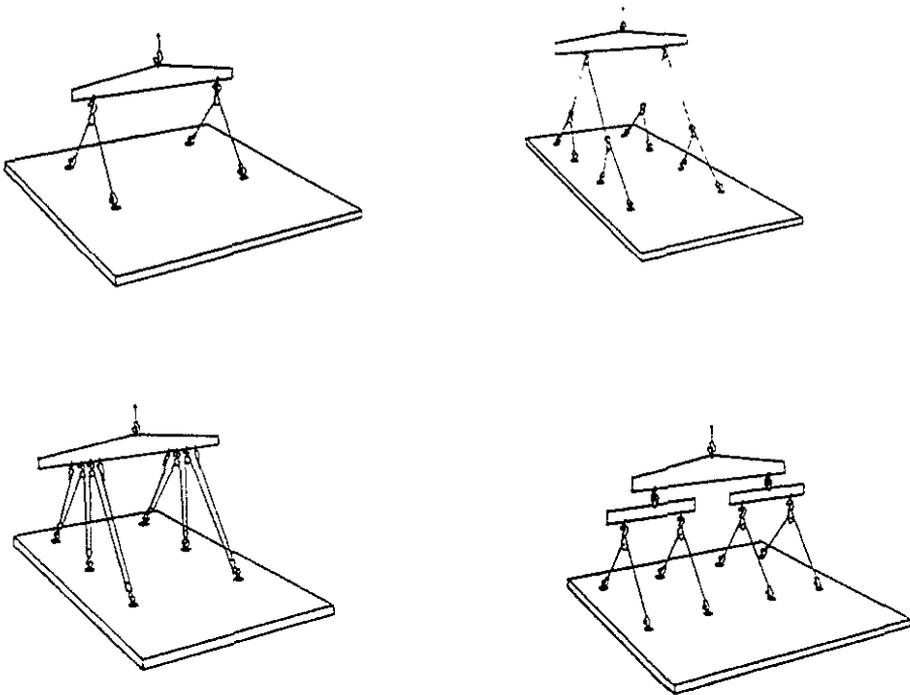
Espesor estructural del panel (cm).	13.0	14.0	15.0	17.0	18.0	19.0	20.0
Largo del inserto (cm).	9.5	11.0	12.0	12.0	14.0	14.0	14.0
Cargas admisibles para inserto (kg)	3,629	4,536	5,440	5,440	6,800	6,800	6,800

Para la colocación de los insertos de izaje se usan porcentajes de la altura y del ancho de cada panel de acuerdo al tipo de arreglo que se use en los estrobos (cables) y la viga de izaje. Estos porcentajes están basados en la hipótesis de que el muro es sólido y sin huecos, de lo contrario se deben ajustar en relación al centro de gravedad del panel cuando este tenga huecos para ventanas y/o puertas, o cuando existan otros elementos que cambien la posición del centro de gravedad. De lo anterior se observa claramente la estrecha relación que existe entre la determinación de la posición de los insertos y el arreglo a utilizarse para el levantamiento de los muros. En todos los casos la línea central de la barra de distribución debe estar alineada con el centro de gravedad del panel.

Cuando se elige algún tipo de configuración o arreglo de los estrobos para el izaje es necesario revisar que el peso total del panel dividido entre la cantidad de insertos de izaje no exceda la carga de servicio del inserto. Además se aplican factores de seguridad adicionales por impactos y cargas dinámicas que surgen durante las maniobras de levantamiento.

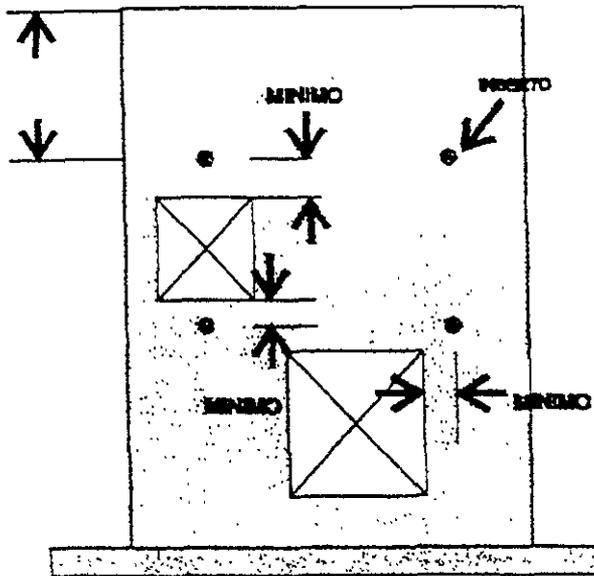
Los porcentajes para cada tipo de arreglo están en función de del espesor, la altura y la carga muerta del panel, además se deben considerar los esfuerzos de tensión por flexión que tendrá cada muro. Los paneles serán levantados de manera segura sólo cuando el esfuerzo de tensión por flexión calculado sea igual o menor que el esfuerzo por flexión permisible en base a la resistencia del concreto ( $f_c$ ) al momento del levantamiento. Algunas de las posiciones de los insertos que se pueden realizar en combinación con el arreglo de los estrobos son:





Arreglos para izaje de muros.

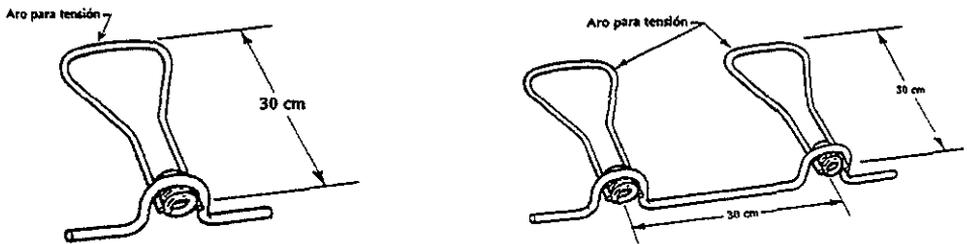
No se debe olvidar que estas posiciones deben ser modificadas si existen elementos que cambien la ubicación del centro de gravedad, esto es muy frecuente gracias a la necesidad de colocar ventanas y puertas. Los insertos deben respetar cierta distancia de las orillas, esquinas, aberturas y escalonamientos con el fin de que se forme completo el cono de cortante de cada inserto. De no cumplirse esto se reduce el área de resistencia de dicho cono, reduciéndose consecuentemente la carga de trabajo admisible del inserto. Obsérvese la siguiente figura:



Mínimos para desarrollar la capacidad de los insertos.

### Inserto de borde.

En ocasiones es necesario levantar algunos muros por el borde superior debido al tipo de maniobra que se tenga que realizar, para este caso se usan unos insertos llamados "insertos de borde". Este tipo de inserto presenta el inconveniente de no ser de liberación desde piso, ya que está basado en dejar ahogada en el concreto a una serie de anillos en espiral que forman una cuerda gruesa a manera de tuerca y que permite la entrada de un tornillo especial (de cuerda gruesa), el cual es enganchado por los aditamentos de la grúa para lograr el levantamiento, tales insertos se muestran a continuación.



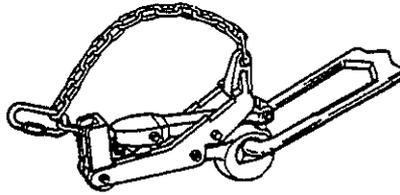
Insertos de borde (sencillo y doble).

### Gancho de liberación desde piso.

El complemento del inserto de izaje es el gancho que permite ser liberado desde el piso. Es el instrumento metálico que sujeta al inserto de izaje. Consiste en un gancho que sujeta directamente al ancla o inserto; este gancho tiene un estribo o asa que acepta todos los accesorios convencionales de la grúa (grilletes) y se mueve fácilmente siguiendo la línea de acción del cable de la grúa. También tiene una pestaña que recibe pasadores de seguridad de 1.0cm de diámetro y previene la liberación accidental del gancho. La

#### I. Descripción del método.

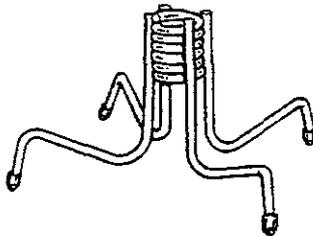
inserción del pasador de seguridad a través de la pestaña dentro del gancho indica que el gancho fue bien colocado y fijado al inserto. Además cuenta con una cadena de liberación que puede ser desde una cuerda hueca trenzada de polietileno de 1.27cm de diámetro, hasta un cable de acero delgado, pero en cualquier caso debe tener la longitud suficiente para llegar al piso. La carga de trabajo admisible del gancho es de 6,800.00 kg.



Gancho de liberación desde piso.

#### **Inserto para colocación de tubo telescópico.**

Este tipo de inserto es similar al inserto para levantamiento de borde, consiste en la misma rosca helicoidal para recibir al tornillo, con la diferencia de que este se coloca en piso, por lo tanto requiere de silleta de apoyo. Su función es poder fijar al muro el tubo telescópico que se coloca para evitar el desplome del muro.



Inserto para colocación de tubo telescópico.

Cuando el muro es muy alto, es necesario arriostrar el tubo para proporcionar un mayor soporte en el panel contra la acción del viento.

#### **Inserto para muros de andén.**

Los muros de andén son aproximadamente, un metro más largos, esto se debe a que por estar en la zona de andén reciben a los vehículos con un desnivel de 1 metro para facilitar la descarga.

Por tal efecto este tipo de muro debe quedar ligado a la losa de piso de la nave. Para llevar acabo dicha ligadura se dejan ahogados en el concreto del muro otro tipo de insertos en los que únicamente se enrosca una varilla que queda ahogada en el concreto de la losa de piso. Más adelante se describirá esta parte del proceso.

#### **Mecanismos de falla en las maniobras de izaje.**

En lo que se refiere a la resistencia de todos los tipos de insertos es importante mencionar que está determinada por los elementos mecánicos a los que son sometidos, además de estar íntimamente relacionados con la resistencia del concreto. Cuando un inserto es sometido a una fuerza de tensión, aparece una fuerza de resistencia dada por el concreto. El esfuerzo que se produce es producto de una combinación de cortante y tensión diagonal. Para la medición del esfuerzo de tensión se pueden hacer pruebas a cilindros de concreto, sin embargo, basados en la experiencia se han encontrado algunas relaciones entre la resistencia del concreto a compresión y a tensión. Esta relación puede ser expresada como:

$$f_{\tau} = k \sqrt{f'c}$$

Donde:

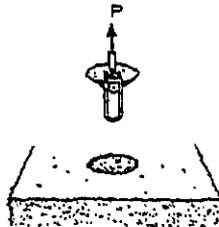
$f_{\tau}$  : Resistencia última a la tensión diagonal considerando el cortante.

$k$  : Variable que depende de las características de los agregados del concreto y del diseño de la mezcla, generalmente se le asigna el valor de 1.06

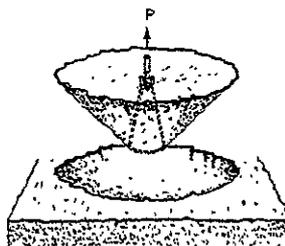
### I. Descripción del método.

Todos los insertos embebidos en concreto pueden llegar a fallar si no se aplica un estricto control de calidad durante su posicionamiento o si la calidad de los materiales o el concreto no son los adecuados. Hay cuatro tipos de falla que pueden presentar los insertos:

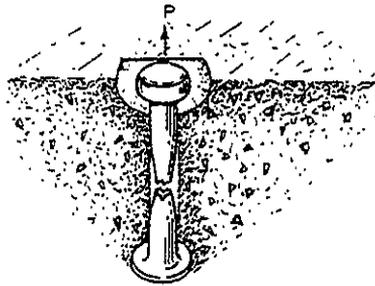
1. Cuando el inserto sale totalmente de la superficie de concreto con muy poco daño aparente. Este tipo de falla ocurre cuando no existe una perfecta adherencia entre el concreto y el inserto, lo cual sucede cuando el concreto es de temprana edad o baja resistencia.



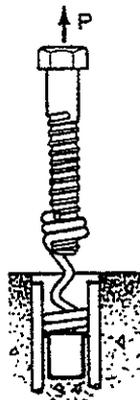
2. El inserto se desprende trayéndose consigo un cono de concreto envolvente del inserto mismo. Usualmente ocurre cuando la resistencia del concreto es baja. La resistencia a la tensión del cono de cortante alrededor del inserto es menor que la resistencia del propio inserto.



3. El inserto falla rompiéndose. Generalmente este tipo de falla ocurre cuando se tiene un concreto de alta resistencia y la carga a la que trabaja el inserto es cercana a su resistencia última.



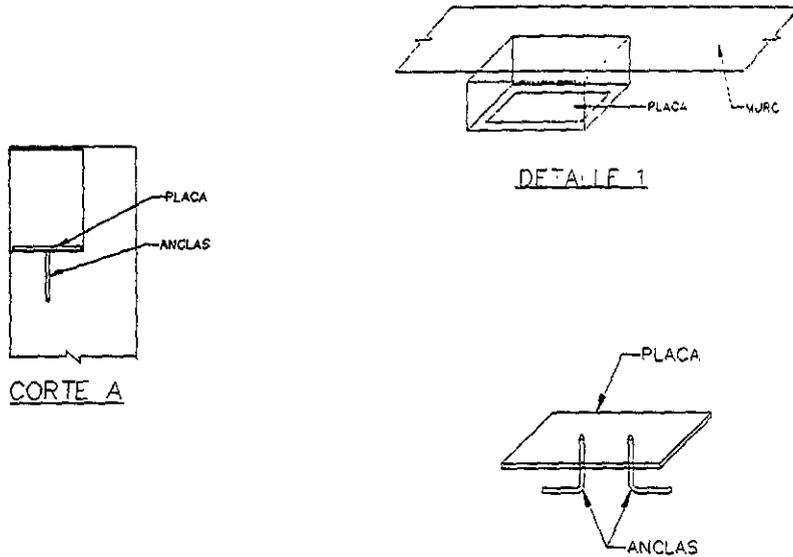
4. Los insertos para tubo telescópico y de borde, que prácticamente son una rosca helicoidal, presentan otro tipo de falla; el tornillo debe introducirse en la rosca cuando menos a quedar a 2.0cm de la base del inserto, de lo contrario la fuerza de tensión sería tomada sólo por un número menor de vueltas de la rosca, lo que podría provocar que esta se extienda y se desenrosque.



FALTA PAGINA

No. 54

## 1. Descripción del método.



### Ubicación y detalle de placas de apoyo para armaduras.

Una vez colocados los insertos y placas necesarios de acuerdo al proyecto, se deben verificar todos los aspectos que involucran al correcto desarrollo del trabajo sobre cada muro.

La lista de aspectos a verificar de acuerdo a proyecto en cada muro es:

1. Altura y ancho.
2. Aberturas y localización de puertas y ventanas.
3. Espesor (general y estructural).
4. Posición correcta de colado.
5. Cantidad suficiente de desmoldante.
6. Tamaño y posición del acero de refuerzo.
7. Tipo de insertos de izaje.

8. Posición de insertos de izaje.
9. Tipo de inserto para tubo telescópico.
10. Posición de insertos para tubo telescópico.
11. Tipo de insertos para refuerzo durante maniobra de izaje.
12. Posición de insertos para refuerzo de izaje.
13. Correcto amarre de insertos.
14. Resistencia especificada.
15. Suficiente penetración de anclas.
16. Equipo de izaje adecuado.
17. Configuración de cables y amés de izaje.
18. Tamaño y localización de refuerzo de izaje.
19. Tipo correcto de tubo telescópico.

Posteriormente, habiendo revisado los puntos de la lista anterior, se procede con el vaciado del concreto, para esto, hay que contemplar con anticipación la accesibilidad para las ollas revolventoras, además, es importante colar varios muros en secuencia, ya que posteriormente será necesario dar el mismo acabado pulido que a los pisos y resulta poco práctico realizar esta actividad muro por muro. El proceso para el colado de los muros es exactamente el mismo que para los pisos, se vacía el concreto, se hacen pasar tanto la regla vibratoria como la regla manual y por último las allanadoras. El siguiente paso del proceso constructivo de los muros es el Montaje, para lo que es necesario que el concreto tenga una resistencia de al menos  $175 \text{ kg / m}^2$ . Un día antes de que den inicio las maniobras de montaje es necesario limpiar la zona de trabajo para poder marcar el trazo de la posición final de los muros sobre la cimentación a manera de guías para los muros durante el montaje, con el fin de la maniobra se realice en el menor tiempo posible.

Adicionalmente, para poder dar inicio al montaje se requiere descubrir todos los insertos de los muros, así como retirar la cimbra que se colocó, dejando destapados todos los huecos para la estructura; estos huecos son descubiertos antes del montaje porque hace más fácil el trabajo, de lo contrario, si se descubren después del montaje sería necesaria una escalera o un andamio y realizar la tarea en lo alto del muro, haciendo el trabajo más riesgoso y peligroso para los obreros.

Gran parte de la economía del sistema radica en una adecuada planeación y en el cumplimiento del programa de obra. Dentro de este contexto la fecha de terminación del

colado de muros juega un papel muy importante, ya que el servicio de la grúa se solicita para dos o tres días después, con el fin de que todos los muros tengan la resistencia adecuada al momento de montarse. De no cumplirse con esta fecha se tendrían tiempos muertos de la grúa y eso trae consigo incremento en los costos.

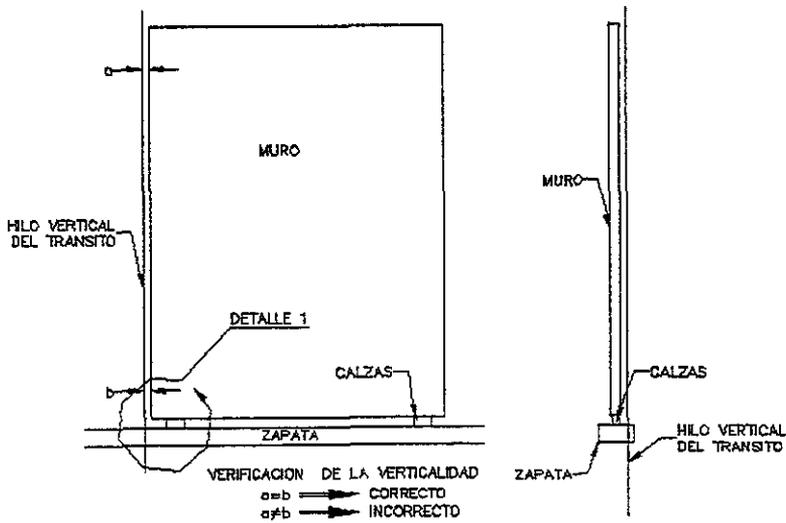
### **1.2.5. Montaje.**

Antes de dar inicio a las maniobras de montaje se debe preparar a una cuadrilla con las funciones correspondientes asignadas a cada obrero; estos deben conocer y estar familiarizados con los accesorios y herramienta que van a utilizar para que no se presenten demoras durante las maniobras. La maniobra de montaje de cada muro no se debe llevar más de 25 minutos, la intención es levantar un promedio de 30 muros por día. Para empezar se requiere haber colocado los tubos telescópicos en todos los muros; obviamente, los tubos solo se fijan de un extremo al muro, quedando libre el otro extremo hasta que se levanta el muro. También se deben haber colocado los accesorios y estobos a la viga de izaje con el arreglo seleccionado, incluyendo los ganchos de liberación desde piso.

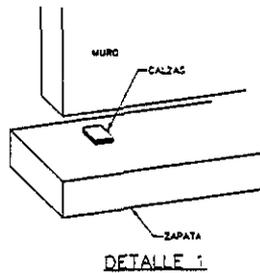
El segundo paso es colocar y asegurar los ganchos a los insertos de izaje en el muro, después la grúa inicia la maniobra levantando el muro; cuando este se empieza a levantar se deben retirar las molduras y chafanes que fueron colocados contra el piso para dar el acabado deseado. El muro pasa de posición horizontal a vertical para que posteriormente se coloque en su posición final, durante esta maniobra, los tubos van tomando su posición respecto al piso. Para poder asentar al muro en su posición final es necesario darle el nivel requerido, por esta razón se asienta sobre unas calzas que pueden ser de plástico de alta resistencia a la compresión, metálicas o "maestras" de concreto, de lo contrario el muro quedaría desnivelado, estas calzas son colocadas de acuerdo al nivel de proyecto con la ayuda del nivel óptico o láser. El espacio que queda entre la zapata y el muro será rellenado posteriormente con mortero de alta resistencia (GROUT). Durante la maniobra el muro debe ser plomeado verificando su verticalidad por

### I. Descripción del método.

el lado ancho con el uso de un tránsito, es decir, viendo de frente al muro para que no quede más levantado de uno de sus dos lados, para hacer este ajuste se aumentan o se quitan las calzas necesarias. Antes de ser liberado el muro se fijan los tubos al piso de concreto, ya sea que en el piso se haya dejado un inserto para recibirlo, o bien, se hace una perforación con taladro, se coloca un tornillo con taquete expansivo y se fija la base del tubo con una tuerca. Con el tubo, gracias a su característica de ser *telescópico*, se ajusta la verticalidad del muro extendiendo o retrayendo el tubo mediante una cuerda que posee el mismo, para posteriormente verificar con el tránsito la verticalidad observando al muro por un costado, o sea, por el lado del espesor. Después de esto la grúa descansa al muro quedando los estrobos libres de tensión y es entonces cuando se tira de la cadena liberadora de cada inserto para que el muro quede totalmente libre.



Verificación de la verticalidad del muro.



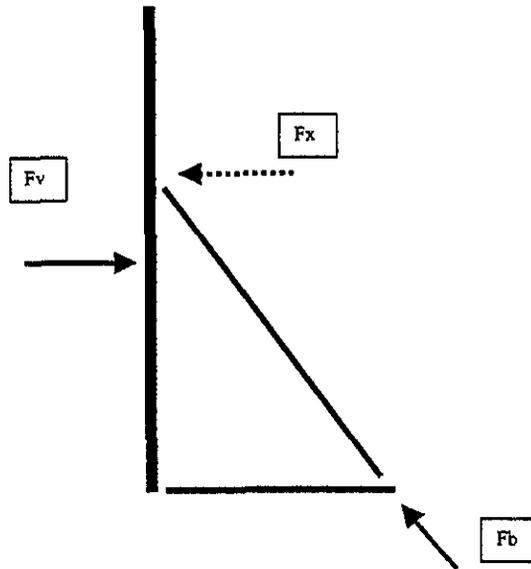
### Detalle del apoyo del muro.

La vertical del muro se verifica únicamente visualizando con el tránsito que la línea del paño del muro coincida con el hilo vertical del tránsito.

Es importante hacer notar que los tubos telescópicos no cargan al muro, solamente impiden que el muro se salga de la vertical por causa de la acción del viento. Estos elementos tienen dos tipos de ajuste: grueso y fino. El primero es a través de acortamientos o alargamientos por medio de un perno que se introduce en unos ojales que tiene el tubo a cada 15 centímetros; y el segundo, como ya se mencionó, por medio de una cuerda, que permite el alargamiento o acortamiento con solo girar el tubo.

Cada muro puede necesitar más de un tubo, para determinar el número necesario de estos, se considera la carga por viento sobre el muro, que concentrada en el centro de gravedad, le provoca un momento al muro que debe ser equilibrado por otro momento formado por la proyección horizontal de la fuerza que da el tubo anclado al piso.

La proyección de la reacción por parte del tubo es igual a la fuerza que provoca la carga por viento, dicha fuerza se proyecta sobre la línea de acción del tubo para determinar la fuerza que debe resistir éste, se recurre a tablas del fabricante para conocer las cargas admisibles de los diferentes tipos de tubos, y en base al tubo requerido por su longitud, se determina el número de tubos que se necesitan para soportar la fuerza del viento. Para mayor claridad obsérvese la siguiente figura.



Donde:

$F_v$ : Fuerza producida por la acción del viento.

$F_b$ : Reacción por parte del tubo telescópico.

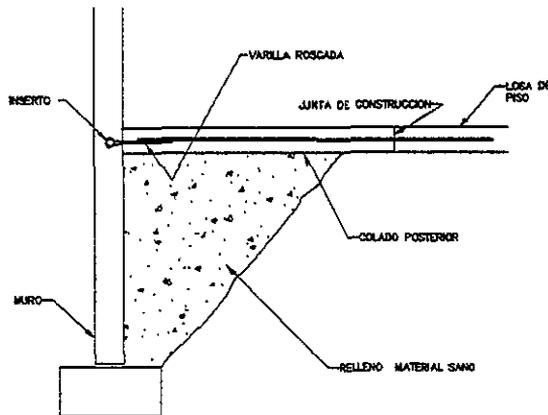
$F_x$ : Proyección de  $F_b$ .

Una vez colocado y plomeado el primer muro, el proceso se repite hasta concluir el montaje de todos los muros, colocando uno por uno en orden y hasta cerrar todo el edificio.

Sin embargo, hay ciertos casos especiales en el montaje que pueden cambiar algunos aspectos referentes al proceso constructivo, los más importantes y comunes son:

### Muros de andén.

En líneas anteriores se mencionó que estos muros quedan aproximadamente un metro abajo del nivel de los demás muros, por lo que se sujetan, a la altura de la losa de piso, por medio de una varilla con cuerda que se introduce en un inserto ahogado en el muro. Para lograr esto es necesario que en esta zona se deje una franja de piso sin colar hasta que el muro este en su posición, con el fin de que una vez que se ubicó el muro se le coloque la varilla en el inserto y posteriormente se realice el colado de la franja de piso mencionada, para que de este modo las varillas mencionadas sean amarradas al armado o malla de la losa de piso y queden embebidas en el concreto.



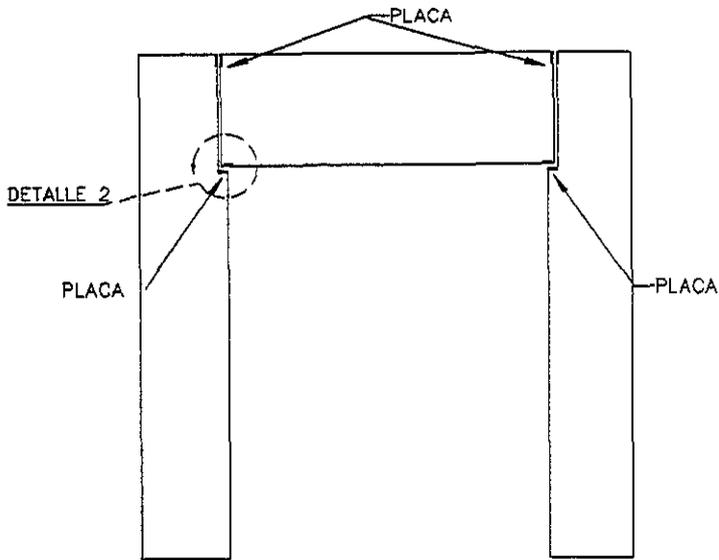
Muro de andén.

### Muros para puertas.

En ocasiones se requieren puertas de ancho considerable que afectan a la modulación de muros, de tal manera que el ancho de la puerta abarque todo el ancho del muro; en estos casos se diseña al muro en cuestión como viga, de modo que quede apoyado en los muros contiguos. El proceso constructivo para esta situación es el mismo, con la salvedad, de que primero deben ser colocados los muros contiguos y posteriormente el muro del centro.

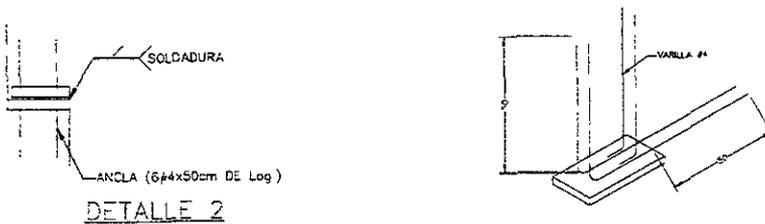
I. Descripción del método.

Otra característica importante en este caso particular es que el montaje de este tipo de muro, generalmente, se hace con inserto de borde (mencionado con anterioridad).



Muro para puerta.

Este tipo de muros, no va conectado a la cimentación, por lo que se conecta a los muros contiguos mediante placas que se dejan embebidas en el concreto y cuando se realiza el montaje son soldadas una a otra.

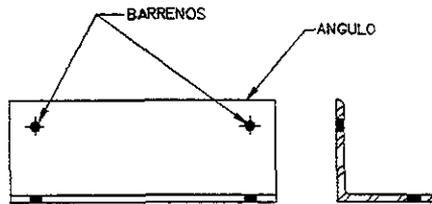


Conexión para muro de puerta.

### Columnas.

Para finalizar esta parte del proceso, se deben montar las columnas. Las columnas también pueden ser metálicas a base de perfiles estructurales, o bien, de concreto. Sea cual sea el tipo de columna a emplear en el extremo inferior se debe contemplar las preparaciones necesarias para proporcionar anclaje entre la columna y la cimentación. La función de la placa que queda en la parte superior de la columna es recibir a los elementos principales de la estructura, los cuales serán soldados a dicha placa. Por último se coloca mortero de alta resistencia en el espacio que queda por debajo de la columna, ya que a esta también se le da el nivel especificado de proyecto a través de calzas. Cabe mencionar, que antes de que la grúa libere a las columnas, estas deben quedar a plomo, o sea, verticales en ambos sentidos.

En los muros que forman esquina se coloca un ángulo llamado "de esquina" con los que se conectan entre sí, se fijan con tornillos de alta resistencia. Usualmente se colocan dos en cada esquina.



Angulo de esquina.

Otra consideración importante en el proceso constructivo, es la colocación del ángulo perimetral, cuya función es soportar a la techumbre en todo el perímetro de la

#### I. Descripción del método.

nave. El área tributaria de la carga que le corresponde, es de un metro de ancho por cada metro lineal.

La última actividad dentro de esta etapa es una limpieza general tanto de muros como de los restos que quedan en el piso por efecto del cimbrado y la colocación de los acabados para muros.

## 1.2.6 Estructura.

Comúnmente, la estructura que se emplea como soporte de los sistemas de techumbre en México, es de acero y su presentación más usual en los edificios para almacenes o naves industriales, en los que se tienen grandes claros, son las armaduras, las cuales, resultan prácticas por ser ligeras y de fácil fabricación. La ligereza de las armaduras representa disminución de la carga muerta con lo que se logra reducir las dimensiones de las zapatas, columnas y muros.

En Estados Unidos, existen empresas dedicadas a la fabricación de armaduras en tamaños y medidas estándares, con capacidades de carga ya determinadas, a las que los constructores se sujetan al momento de realizar el diseño de las edificaciones y al definir los claros que van a manejar, esto permite tener un abatimiento importante en los costos, por otro lado se reduce considerablemente la mano de obra en sitio. Además, gracias a la gran variedad de las presentaciones que se tienen, se pueden realizar construcciones casi ilimitadas en lo que a diseño se refiere.

En México no es muy común este sistema de trabajo, sin embargo, la economía, efectividad y sencillez de su fabricación, sigue haciendo conveniente su utilización. Por otro lado, el cálculo es también muy sencillo, son armaduras isostáticas que se analizan bajo condiciones de carga uniformemente repartida, considerando los reglamentos vigentes de la zona en cuestión.

Como se vio en el subcapítulo de la cimentación, las armaduras son básicamente de dos tipos; principales y secundarias. Los términos corresponden al arreglo que toman estas: las armaduras secundarias reciben el peso de la techumbre y pasan la carga a las armaduras principales y a los muros de TILT-UP transversales a ellas, mientras que las armaduras principales (A.P.) van en sentido perpendicular a las secundarias y bajan sus cargas a las columnas y a los muros que van paralelos a las armaduras secundarias (A.S.).

Por lo tanto, se tiene un sistema de marcos principales en el que se diseña como un simple soporte de cargas concentradas equidistantes entre sí, estas cargas son las aportaciones de las armaduras secundarias. De este modo es como se hace el análisis para las armaduras principales.

## I. Descripción del método.

Las armaduras se fabrican por medio de perfiles de acero, en general se usan ángulos de lados iguales; considerando que se constituyen de cuatro elementos fundamentales: Cuerda superior, Cuerda inferior, Montantes y diagonales. Para conseguir un perfecto alineamiento y evitar movimientos laterales, logrando así un correcto funcionamiento de la estructura, se debe colocar un contraventeo para sujetar a las armaduras, también fabricado a base de perfiles de acero.

Las armaduras presentan otra ventaja, y es que la altura libre no se ve afectada por la intervención de las instalaciones que deben ir ocultas, ya que las tuberías y ductos pueden ir colocados a través de ellas.

Las armaduras que se obtienen en tipo estándar, están diseñadas para carga uniformemente repartida. Cuando sobre el elemento se considere una carga concentrada, se debe realizar un análisis específico del caso en cuestión, para verificar que el elemento no se someta a sobreesfuerzo, porque no es práctico tener armaduras específicas estándares para cada una de las muchas posiciones que podrá tener dicha carga concentrada.

Las cargas a considerar para el análisis estructural son la carga viva y la carga muerta, mismas que se mencionaron en el cálculo para la cimentación:

$$C.V. = 100 \text{ kg / m}^2$$

$$C.M. = 40 \text{ kg / m}^2$$

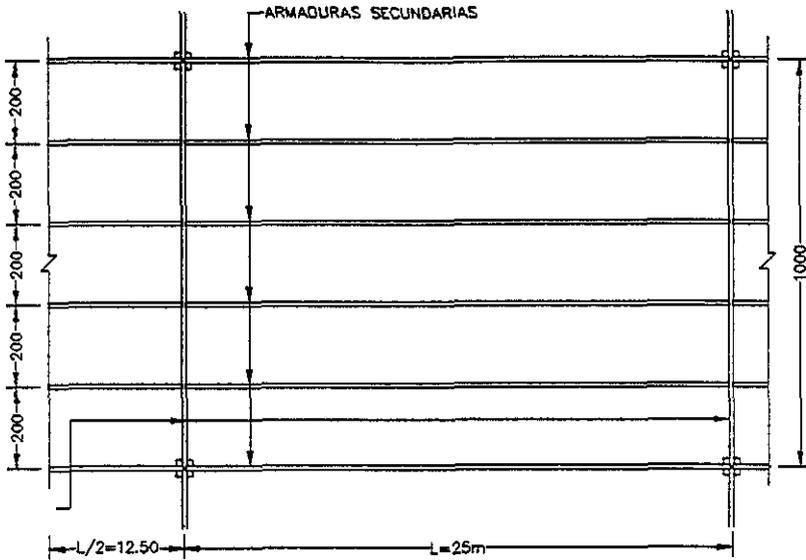
El análisis de las armaduras para determinar las fuerzas internas en base a las condiciones de carga, se puede realizar por cualquier método. Se inicia por establecer la condición de equilibrio de la armadura, en el caso que concierne son isostáticas determinadas, debido a que el número de barras más el número de reacciones es igual al número de nudos, y el número de reacciones son tres.

El método de los nudos es muy sencillo y práctico para resolver este tipo de armaduras:

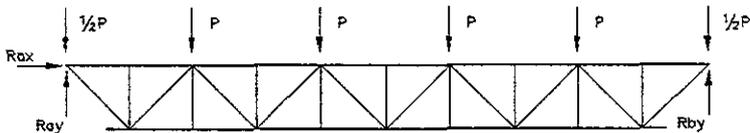
Primeramente se determinarán las reacciones en los apoyos, posteriormente se hace un análisis nudo por nudo de la armadura. Por ejemplo; una armadura principal con condiciones de carga de acuerdo al sistema TILT-UP se resuelve de la siguiente manera:

Considerando que libra un claro de 10 m y sobre esta se apoyan 6 armaduras secundarias de cada lado con una separación entre ellas de 2m, el claro total de las armaduras secundarias es de 25 m (obsérvese la siguiente figura).

## 1. Descripción del método.



De la figura se puede apreciar que el área tributaria para cada armadura secundaria es de  $50\text{m}^2$ . Recordando que la carga viva más la carga muerta son  $140\text{kg/m}^2$ , cada elemento secundario soporta  $7,000\text{kg}$  ( $50\text{m}^2 \times 140\text{kg/m}^2$ ), los cuales se distribuyen de igual manera a cada lado; esto da como resultado que la armadura principal recibe  $7,000\text{kg}$  en cada punto de apoyo de las armaduras secundarias, excepto en los dos extremos. Quedando las condiciones de la siguiente manera:



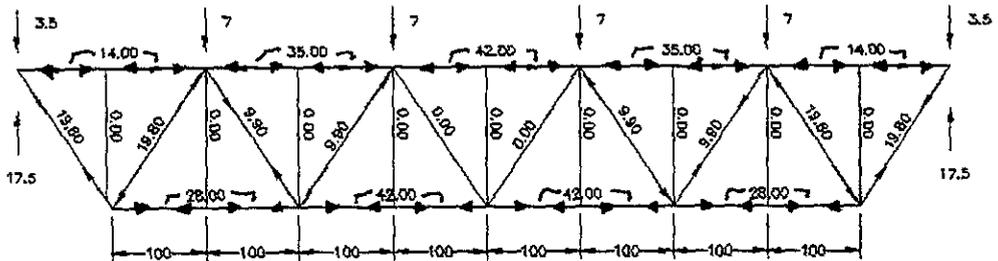
Determinando las reacciones se obtiene:

$$R_{ax} = 0 \text{ ton}$$

$$R_{ay} = 17.5 \text{ ton}$$

$$R_{py} = 17.5 \text{ ton}$$

Con estos datos se procede al análisis de la armadura:



Una vez que se tienen las fuerzas que actúan en cada barra se propone una sección y se calculan los esfuerzos permisibles de acuerdo a las propiedades y a las características geométricas de la armadura, con la sección propuesta, de acuerdo a lo siguiente:

El acero que debe emplearse para la fabricación de estos elementos es el señalado en las especificaciones ASTM: A-36, cuya resistencia a la fluencia es de 2530 kg/cm<sup>2</sup>, o algunos tipos de aleaciones de alta resistencia.

Las armaduras serán diseñadas de tal manera que los esfuerzos, en kg/cm<sup>2</sup> no excedan los valores siguientes:

### Tensión.

Excepto para miembros conectados con pasadores,  $F_1$  (esfuerzo de tensión axial permisible) no excederá de  $0.6 F_y$  en el área total.

### Compresión.

En la sección total de miembros cargados en compresión axial, cuando  $Kl/r$  es menor que  $C_c$ :

$$F_a = \frac{\left(1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2}\right) F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c}}$$

Donde:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$$

En la sección total de miembros en compresión axial, cuando  $Kl/r$  excede  $C_c$ :

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2}$$

Usando las fuerzas de las barras que se obtuvieron en el análisis de la armadura y dividiéndolas entre el área de la sección propuesta, se obtienen los esfuerzos actuantes, que deben ser comparados con los permisibles calculados anteriormente. Por obviada, los esfuerzos actuantes deben ser menores a los esfuerzos permisibles.

La cuerda inferior se diseña exclusivamente como miembro a tensión axial, mientras que la cuerda superior debe ser diseñada como miembro sujeto a una combinación de esfuerzos de tensión y flexión con la formula:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m f_b}{\left(1 - \frac{f_a}{F_a}\right) F_b} \leq 1.0$$

Donde:

$C_m = 1 - 0.3 f_a / F_a$  para los elementos del extremo de la armadura.

$C_m = 1 - 0.4 f_a / F_a$  para los elementos del centro de la armadura.

$f_a$  = Esfuerzo axial actuante.

$f_b$  = Esfuerzo de compresión por flexión calculado en el punto considerado.

$F_a$  = Esfuerzo de compresión axial permisible si sólo existiera fuerza axial.

$F_b$  = Esfuerzo de compresión por flexión permisible si sólo existiera momento de flexión.

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23 \left( K l / r_x \right)^2}$$

$r_x$  = radio de giro correspondiente al eje de flexión.

Por otro lado, las deflexiones que se presentan en las armaduras siempre son un factor importante dentro del diseño. Se obtienen mediante diferentes métodos como el de las rigideces o bien el de trabajo virtual (carga unitaria).

En lo referente al proceso constructivo, una vez que se tienen las armaduras en la obra, se levantan por medio de una grúa, que puede ser ligera (baja capacidad de carga) ya que el peso de las armaduras es muy bajo en comparación con el peso de los muros. Primeramente se levantan las armaduras principales apoyándolas en las columnas y en los muros respectivos, estas deben ser soldadas a las bases donde son asentadas. Posteriormente se levantan las armaduras secundarias, se colocan en su posición sobre las armaduras principales y muros correspondientes, para que posteriormente se les coloque el contraventeo y queden listas para recibir la carga.

Es conveniente realizar un programa de colocación de acuerdo a las prioridades que se tengan para la colocación de la cubierta. La estructura debe llevar "primer" y tiene que quedar pintada.

Todas las uniones entre los elementos que constituyen a ambos tipos de armaduras deben estar soldadas, al igual que los apoyos en muros y columnas, salvo en

algunos casos especiales de acuerdo a las especificaciones del método de diseño que se empleé.

## **1.2.7. Techos.**

El techo que se utiliza en el sistema TILT-UP puede ser muy variado, gracias a la diversidad de factores que intervienen para la selección del tipo de techumbre a utilizarse. Estos factores van desde las condiciones climatológicas hasta el gusto del usuario o del proyectista, tomando en cuenta las condiciones de trabajo por la multiplicidad de usos que pueda tener.

En México se utilizan dos tipos de techumbre; un sistema de doble lámina que en conjunto con la estructura funciona como diafragma estructural, el cual contribuye al manejo de las fuerzas transversales que puedan presentarse, conduciéndolas a lo largo de toda la estructura hacia los paneles. O bien, la losacero, que consiste en una lámina estructural que a su vez funciona como cimbra para concreto. El sistema de doble lámina principalmente se usa en la nave, en tanto que la losacero se emplea en áreas de oficinas o en zonas con entrepisos.

### **1.2.7.1 Doble lámina.**

Se compone de una primera lámina galvanizada acanalada. Se coloca en sentido transversal a las armaduras secundarias y se fija por medio de puntos de soldadura que van en cada valle del perfil y la separación de estos es la distancia que existe entre las armaduras. Después de completarla, se coloca una segunda lámina en sentido paralelo a las armaduras secundarias, su fijación es mediante un clip que queda oculto, lo que reduce el riesgo de posibles infiltraciones. Esta lámina se adquiere lisa en rollo y se rola en campo, eliminando restricciones y traslapes en lo que a su longitud se refiere, permite un acabado 100% hermético, se tiene la opción de instalar aislamiento especial entre ambas láminas, se puede usar en pendientes hasta del 2% y su acabado galvanizado esmaltado permite larga vida útil. En todo el perímetro deben colocarse tapajuntas,

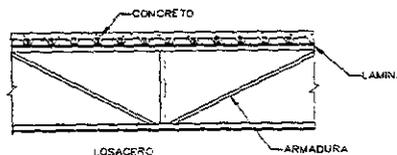
goteros y esquineros que impidan la infiltración del agua, la lámina canaliza el agua pluvial recolectada uno de los costados de la nave, donde se instala un canalón, también de lámina, con bajadas pluviales de PVC.

La colocación de aislamiento es opcional para casos muy especiales, ya que entre las dos láminas queda una cama de aire que contribuye de manera muy significativa al aislamiento de temperatura y de ruido.

Este sistema de techo permite la colocación de domos tragaluz con los que se obtiene gran ahorro de energía, se colocan, aproximadamente, a razón del 10% del total del área cubierta por las láminas. Los domos son acrílicos y su forma cóncava permite su autolimpieza por efecto de la lluvia, su colocación es en marcos a base de monten, que se adquieren de manera prefabricada en dos tamaños estándares.

### 1.2.7.2 Losacero.

Este sistema también está constituido por un perfil de lámina estructural que se fija a las armaduras a través de puntos de soldadura. El perfil tiene un peralte de 6 centímetros desde el valle hasta la cresta, y 5 centímetros de concreto. Dependiendo de la necesidad y del uso de la losacero, esta puede o no ir reforzada con malla electrosoldada. Por motivos de anclaje, sobre la lámina se colocan unas anclas verticales con cabeza (studs), que quedan ahogadas en el concreto. Cuando se coloca como losa superior exterior se debe impermeabilizar para impedir filtración del agua pluvial, además de darle la pendiente necesaria para el escurrimiento y las bajantes para el desagüe. Cabe mencionar que este tipo de techo, por manejarse en zonas con claros más cortos, en ocasiones resulta más económico y adecuado para colocación, utilizar perfiles de acero como IPR, para soportarlo. Durante el colado de esta losa, es conveniente apuntalar para evitar deflexiones en la lámina con el concreto fresco, una vez que el concreto ha fraguado, se pueden retirar dichos puntales.



Losacero

#### 1. Descripción del método.

Solamente, hasta que se ha colocado el sistema de techo, sea cualquiera de los dos mencionados anteriormente, se pueden retirar los tubos que fueron colocados con el montaje de los muros, ya que es entonces cuando los muros, la estructura y la techumbre trabajan en conjunto como diafragma estructural.

## 1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO.

### Ventajas.

Las ventajas que el sistema de construcción TILT-UP ofrece se pueden conjuntar en tres diferentes grupos:

1. Calidad de la construcción.
2. Economía.
3. Libertad en el diseño.

En cuanto a la calidad de la construcción se puede decir que este sistema supera por mucho a los sistemas tradicionales. Gracias a que la mayoría de los elementos son de concreto, los edificios construidos mediante TILT-UP ofrecen: alta resistencia al fuego, seguridad y facilidad de vigilancia, reducción de ruidos y principalmente larga vida y durabilidad. Estas cualidades, debidas a la calidad del método, son ideales para contrarrestar el severo uso de tipo industrial al que se someten estos edificios.

Referente a economía se pueden englobar varios conceptos en los que radica la diferencia entre TILT-UP y los sistemas convencionales, como son: reducción considerable de cimbra y andamiaje, lo que acelera la construcción de la obra, provocando así disminución en el costo. El propio diseño y la construcción se consideran económicos mediante este sistema. Por otro lado se tiene un bajo costo de mantenimiento y una alta eficiencia energética, debido a que por ser muros de concreto se presenta muy poca transferencia de calor. Los edificios de TILT-UP tienen un alto valor de reventa porque tienen una larga vida útil para cualquier circunstancia de trabajo. Las cuotas de seguros son relativamente más bajas por su alta seguridad.

La libertad de diseño también es una característica del sistema que ofrece varias ventajas como la versatilidad de la estructura y del diseño mismo. Además estos edificios pueden prepararse para futuras aperturas y son fácilmente expandibles, ya que se pueden reubicar los muros ya colocados, y no es necesario hacer demoliciones; Basta con tener

contempladas las ampliaciones para determinar que muros serán afectados y diseñarlos en base a dos condiciones de trabajo, en su posición actual y en la ampliación. El piso de concreto puede ser destinado para cualquier tipo de utilización por su alta resistencia gracias a que se hace de concreto armado. Otra ventaja es que se puede tener gran altura libre interior en los edificios realizados con TILT-UP.

Lo anterior hace a TILT-UP una excelente alternativa en muchos aspectos para la construcción, dos claros ejemplos que demuestran las cualidades del sistema son dos obras realizadas en Estados Unidos: el traspaso de una escuela y la construcción de una prisión:

### **Escuela Ben Lippen.**

A mediados de 1985, la escuela Ben Lippen decidió reubicarse de Asheville, North Carolina, a Columbia, South Carolina; el equipo de diseño y construcción de Architectural Engineering Associates INC. presentó como mayor desafío diseñar y construir un edificio completamente nuevo en 12 meses, para que la escuela pudiera abrir en Septiembre de 1988.

Usando el sistema constructivo TILT-UP, el equipo entregó el proyecto y lo ganó en solo siete meses;

La escuela situada en el terreno de la Universidad de Columbia Bible, estaba diseñada inicialmente para un registro de 350 estudiantes y 30 maestros y administrativos. Para acomodarlos, considerando la futura ampliación, las funciones de la escuela fueron divididas en dos edificios; uno para actividades académicas y administrativas y el otro con el gimnasio, la cafetería y el área multiusos, ambos edificios conectados por un pasillo techado. La ampliación de los salones tendría lugar arriba del edificio académico.

Dado el tiempo limitado para el diseño y construcción, fue necesario apresurar el proyecto. Durante la fase de planeación del proyecto, fueron considerados sistemas alternativos de construcción. Llevar a cabo toda la estructura a base de acero fue una idea descartada por cuestiones de mantenimiento, resistencia al fuego y consideraciones de costo. La construcción con mampostería convencional, alargó el estándar para la construcción de escuelas en Carolina del Sur. Finalmente se eligió la construcción con TILT-UP, pues cumplía con el criterio requerido para completar el trabajo a tiempo.

El planeamiento detallado de la construcción tenía que ser realizado en poco tiempo, para lograr esto, se utilizó una tabla de escalas y un programa gráfico computarizado, el cual generó una secuencia de formación, modelado y levantamiento de paneles.

Gracias a las características del concreto, el daño causado por los estudiantes es inexistente, las superficies de las paredes son fáciles de lavar y en casos muy severos son repintadas. Un vistazo a la escuela Ben Lippen, rechaza críticas que revelan que el concreto es atractivo y conveniente solo para estructuras utilitarias, las variaciones en acabados que se pueden utilizar en el sistema agregan interés y variedad visual.

El uso de TILT-UP para construcción de almacenes, edificios industriales y de oficinas, es bien conocido. Sin embargo la escuela Ben Lippen es una de las primeras aplicaciones de este sistema para una facilidad educacional. Combinando las características naturales de fuerza durabilidad y facilidad de mantenimiento, con la facilidad y rapidez de construcción, el sistema fue una opción lógica y económica para construir dentro de los grandes problemas de tiempo. A 56 dólares por pie cuadrado, el costo fue competitivo con los otros materiales y sistemas de construcción de escuelas en la región, el dueño obtuvo un edificio atractivo y funcional que da un agradable ambiente para aprender.

### **Prisión en Carolina del Sur.**

El diseño del edificio para una correccional, desafía a resolver un amplio y conflictivo rango de problemas.

Mientras la seguridad toma precedencia sobre cualquier otro problema, operación, mantenimiento y costos de construcción son de gran importancia.

En 1989, el departamento de correccionales de Carolina del Sur, desarrolló un nuevo prototipo de diseño para una Institución de seguridad media y máxima en Lee Country, S.C.

Basado en datos históricos, Carolina del Sur, ha determinado que el concepto de supervisión directa de la unidad, es efectivo para poblaciones de 600 a 850 presidiarios

## 1. Descripción del método.

por institución. Sin embargo esta población requiere un cierto mínimo de administrativos y funciones de soporte que sean fácilmente capaces de servir a mas presos.

Reconociendo esto, el proyecto fue diseñado con dos campos separados, sostenidos y físicamente divididos por una central de compartimento de servicios comunes usadas por los presidiarios. Las áreas de seguridad, operaciones, medicina, religión, educación, recreación y comida, son actividades compartidas que sirven a ambos campos y reducen los costos de operación y construcción.

La mayoría de los costos ahorrados en el proyecto fueron logrados por medio del uso de TILT-UP. El concreto es un material primario ideal para la construcción de instituciones correccionales, su fuerza, durabilidad y facilidad de mantenimiento, da la seguridad necesaria y la permanencia de estos edificios. El uso de muros de concreto reduce el vandalismo y los posibles intentos de escape, los acabados económicos y durables dan facilidad en el mantenimiento de las superficies de las paredes interiores.

Durante la fase de diseño, fueron investigadas muchas opciones de construcción con concreto, esto incluye, formar en lugar de paredes, celdas y paredes prefabricadas; paredes de TILT-UP y celdas en forma de túnel. La construcción con mampostería también fue considerada, pero la falta de suficientes albañiles expertos y la anticipada duración de construcción, con resultados que incrementaban el costo, hicieron de la mampostería una alternativa inaceptable. Basada en una evaluación completa de todos los factores, la construcción con TILT-UP fue considerada como el sistema ideal para esta edificación.

Se utilizó aislamiento especial en los paneles para muros exteriores, quedando de un espesor de 25 centímetros, mientras que las paredes interiores fueron generalmente de 15 centímetros. Los paneles fueron medidos para evitar la necesidad de largas grúas. Generalmente, el peso de los paneles no excedía de 30 toneladas.

El diseño combinado al esfuerzo en la construcción, dio como resultado un proyecto que es comentado por su bajo costo.

Este éxito claramente demuestra los méritos de TILT-UP para instituciones correccionales y da una alternativa viable a los materiales tradicionales de construcción.

## **Desventajas.**

Es difícil presentar una nueva alternativa para el desarrollo de alguna actividad, argumentando que es una mejor opción y a su vez, exponer o buscar inconvenientes para su realización, sin embargo, a continuación se mencionan algunas de las desventajas que puede presentar el sistema constructivo TILT-UP:

- El acero de refuerzo de los muros es excesivo para las condiciones de trabajo una vez que está colocado en su posición final, debido a que un porcentaje de dicho acero es para reforzar el muro en las maniobras de montaje.
- Como se puede observar en las líneas anteriores, para este tipo de obras, se necesitan grandes volúmenes de concreto, para lo cuál, la empresa constructora deberá contar con una planta dosificada, o debe realizar un contrato estricto con alguna concretera, ya que el cumplimiento de los tiempos de ejecución de la obra, dependerá del surtido a tiempo del concreto. Esta situación no es la ideal, ya que se pueden presentar contratiempos que no pueden ser controlados por el constructor.
- Este sistema presenta una ventaja importante para si mismo, pero, para la población, es una desventaja el hecho de se requiera de menor cantidad de mano de obra que en un método tradicional, esto se agrava cuando se tienen condiciones de desempleo de la magnitud que se tienen en nuestro país.
- Gracias a la rapidez con la que se lleva a cabo la construcción de este tipo de obras, se requiere de grandes inversiones en corto tiempo, y en nuestro país sólo las empresas extranjeras, empresas con capital del exterior o empresas nacionales muy grandes, tienen esas posibilidades. Se pueden utilizar financiamientos, pero la situación inestable del país no es atractiva para este tipo de transacción.
- La empresa constructora debe ser sólida y experimentada, de lo contrario es muy difícil aprovechar el factor tiempo, que es una de las principales ventajas del sistema.

## 1.4 NORMAS Y REQUERIMIENTOS PARA SU APLICACIÓN.

Las normas de aplicación del sistema constructivo TILT-UP están fundamentadas en los reglamentos y códigos de Estados Unidos y Canadá, debido a que fue en estos países donde surgió, sin embargo, la difusión de esta tecnología en todo el mundo ha tenido que adaptarse a los reglamentos de los lugares en los que se ha desarrollado. En México, son pocas las modificaciones que se le practican a su ejecución, debido a que el reglamento mexicano tiene gran influencia de las normas y códigos Estadounidenses.

Este método esta íntimamente relacionado y normado por el AISC (American Institute of Steel Construction) y el ACI (American Concrete Institute).

Dentro del control de calidad que se debe aplicar durante la construcción mediante TILT-UP, existen algunos puntos importantes que se deben tener presentes y corroborarse su correcto desarrollo y ejecución. Algunos de estos puntos se mencionaron en el subcapítulo anterior (2.2), por lo que solo se citarán los que se han omitido y aquellos en los que valga la pena hacer hincapié. Se presentan, a manera de lista, dichos aspectos:

### **Cimentación.**

#### **Excavación:**

1. Asegurarse de que las excavaciones para la cimentación queden perfectamente alineadas y con las dimensiones pertinentes.
2. Las zanjas para las zapatas deben quedar libres de material suelto o saturado.
3. Revisar que el acero de refuerzo se encuentre en buenas condiciones, sea el correcto, y que se coloque adecuadamente al nivel especificado.

**Concreto:**

1. La mezcla debe ser homogénea de acuerdo a especificaciones, (esto es para todos los casos donde se use concreto).
2. El concreto debe ser vaciado lo más pronto posible, después de una satisfactoria inspección de las excavaciones para las zapatas.
3. Verificar el nivel superficial del concreto de acuerdo a la planta de niveles.

**Pisos.**

**Base:**

1. Verificar que el material de la base cumpla con las especificaciones en base al estudio de mecánica de suelos.
2. Con el uso de un nivel, verificar el nivel de la base un día antes de iniciar el colado.
3. La cimbra debe estar limpia, fija, plomeada, aceitada y alineada.

**Concreto:**

1. Realizar un adecuado y eficiente vibrado.
2. Hacer pruebas de laboratorio al concreto.
3. Remover el material dañado por camiones o inclemencias del tiempo.
4. Cuando se usa regla vibratoria, debe desplazarse continuamente, de lo contrario es necesario que se apague.
5. Se deben redondear los bordes para evitar despostillamientos.
6. Verificar el número de pasadas con el equipo allanador.
7. La ejecución de los trabajos en los tiempos programados permite un óptimo desarrollo.
8. Colocación de una membrana de curado compatible con el desmoldante.
9. Las juntas de contracción deben tener la profundidad especificada.
10. Asegurarse de que las rampas niveladoras queden en su posición y al nivel determinado.
11. Los diamantes de las zapatas aisladas deben ser limpiados antes de colar el mortero de alta resistencia.

### **Muros.**

(Ver lista de aspectos a verificar, proceso constructivo de muros y lista de revisión para concreto en puntos anteriores).

1. Es muy importante verificar la posición de todos los elementos que quedan ahogados en el concreto.
2. Justo antes de vaciar el concreto se debe verificar que la superficie de colado esté limpia de basura, polvo o tierra, alambres, etc.
3. Realizar estricta verificación del vibrado del concreto.
4. Asegurarse de colocar la membrana de curado.
5. Para el montaje se deben asegurar los accesorios que se usaran en la erección.
6. Una vez que el panel fue levantado, no debe bajarse de nuevo, si es necesario se coloca otro tubo telescópico provisional que ayude a la maniobra, para posteriormente reubicarlo.
7. Después del montaje, cada día, se debe comprobar que los puntos de fijación de los tubos no se hayan aflojado, esta actividad se debe realizar hasta que las armaduras queden colocadas y soldadas.
8. Verificar el alineamiento de la parte superior de los muros.
9. El espacio entre las zapatas y los muros debe ser relleno con mortero de alta resistencia (arena-cemento, grout; 3-1).
10. La aplicación del sellador debe realizarse en seco y libre de materiales sueltos, quedando hasta la mitad de la junta.

### **Acero estructural.**

#### **Armaduras:**

1. La secuencia de colocación debe realizarse en el orden especificado en el programa.
2. Las columnas deben estar alineadas y plomeadas en ambas direcciones.

#### I. Descripción del método.

3. Todos los tornillos deben ser de las medidas y especificaciones marcadas en proyecto, además de ser apretados a la presión adecuada.
4. Usar la soldadura especificada.
5. Corroborar la colocación de las armaduras con la separación indicada en planos.
6. Las extensiones de las cuerdas inferiores deben ser colocadas después de que se apliquen las cargas muertas.
7. Verificar que la fijación del ángulo perimetral se realice por medio de anclas y quede soldado a las armaduras secundarias.

#### Techumbre:

1. La colocación de la lámina debe ser en la secuencia programada.
2. Verificar el correcto soldado de la lámina a las armaduras.
3. Cuando se coloca la lámina debe asegurarse, mientras se fija a las armaduras para evitar que se vuelen con el viento.
4. Todo el acero estructural deberá ser pintado.

Las normas que rigen al diseño mediante este sistema son propiamente los reglamentos vigentes de acuerdo a la zona, pero se tienen además, una serie de especificaciones, con las que es necesario cumplir; a continuación se mencionan dichas especificaciones.

Las cimentaciones deben quedar, cuando menos, 45cm por debajo del nivel de piso terminado, además de estar 30cm dentro del terreno de desplante.

Bajo las losas de piso se soportarán sobre un relleno compactado mínimo de 30cm, a menos que el reporte del estudio de mecánica de suelos indique otra cosa.

En lo referente al drenaje, todas las zonas en las que el agua drene por escurrimiento, tendrán pendiente mínima del 2%.

Toda las partes soldadas las ejecutarán soldadores certificados.

#### I. Descripción del método.

Es recomendable, más no necesario colocar una barrera de vapor o una membrana impermeabilizante entre la base y la losa de piso.

Los pavimentos exteriores deberán estar terminados con acabado fino, mientras que a las rampas de andén y a las banquetas se les aplicará acabado escobillado.

A los pisos interiores se les aplicará un sellador acrílico, a menos que se especifique lo contrario.

El cemento Portland será conforme a la norma ASTM C-150.

En caso de instalar domos, deberán soportar rachas de viento de 90 mph.

La red o protección contra incendios, los estacionamientos y vialidades, quedarán determinados por las leyes o reglamentos de la zona en la que quede asentada la nave.

## II. DIVERSIDAD DE ESTRUCTURA.

### 2.1 FLEXIBILIDAD DEL SISTEMA.

Las armaduras no son el único tipo de estructura soportante de la techumbre, las vigas doble "T" y de madera son también opciones factibles y muy adecuadas para la construcción de naves industriales, consiguiendo de igual manera que se forme el diafragma estructural.

Retomando lo visto en el capítulo anterior, los diafragmas estructurales son sistemas cuya función es transmitir fuerzas de inercia a los elementos diseñados para resistir fuerzas laterales.

Los diafragmas se logran mediante la unión de los elementos de la estructura horizontal con las estructuras verticales (muros). Sea cual sea el sistema estructural utilizado, éste debe estar en contacto y fijo a todos los paneles, ya sea mediante soldadura sobre las placas que se dejan ahogadas en el concreto, o bien, con cualquier otro tipo de preparación o adaptación que se realice en los muros para lograr las uniones.

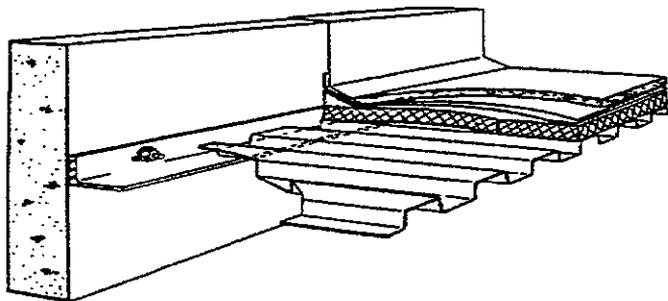
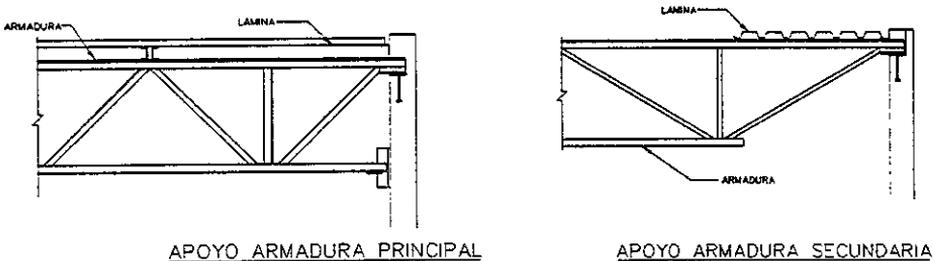
Este capítulo va enfocado a las posibles combinaciones de estructura y techumbre que pueden utilizarse en la construcción con TILT-UP, de tal manera que se satisfagan las condiciones del propio sistema, es decir, establecer los posibles sistemas de estructura - techo que permitan la interacción de los muros con la estructura de techo para la formación del diafragma estructural.

### 2.1.1. Estructura Metálica.

Este tipo de estructura se refiere básicamente a la mencionada en la descripción del método en el subcapítulo 2.2.6, por lo que sólo se mencionarán algunos detalles. Como se pudo observar, está compuesto de armaduras que pueden soportar a dos tipos de techo: la doble lámina y la losacero.

Tanto la armadura secundaria como la principal, se apoyan en las placas de los muros, la unión se realiza por medio de soldadura. Las armaduras secundarias que se apoyan en las principales también van soldadas. La lámina, tanto en la losacero como en la doble lámina, se une a las armaduras mediante puntos de soldadura, además en el perímetro se apoya sobre un ángulo.

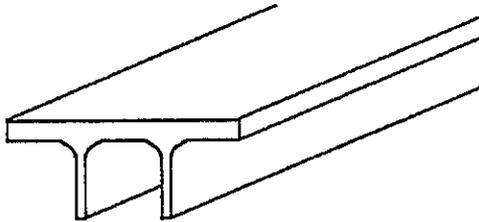
Para dejar una visión más clara de este sistema obsérvense las siguientes figuras:



Detalle Estructura Metálica.

## 2.1.2. Doble "T"

Las vigas doble "T" son estructuras de concreto prefabricadas que se pueden utilizar en este sistema en combinación con diferentes tipos de recubrimiento en el exterior para dar el aislamiento y protección complementario y necesario para formar la techumbre.



**Viga doble "T"**

Los tipos de conexiones que se pueden realizar, con esta estructura a los muros, también puede variar de acuerdo al gusto o tipo de necesidades, pero en todos los casos debe trabajar como diafragma estructural.

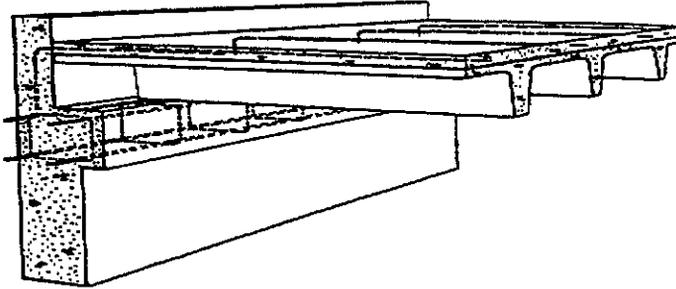
Algunos tipos de conexiones son:

### **Conexión al muro con escalón.**

En este tipo de unión se realiza mediante un escalón que se cuela monolíticamente al muro, de modo tal que sirva para soportar a las vigas, las cuales descansan sobre placas de neopreno. Sobre las vigas se coloca un firme de concreto. En el panel se dejan varillas, insertos o placas ahogados que salen verticales a él, y se unen al refuerzo del firme mencionado. Sobre este se puede colocar cualquier acabado o impermeabilizante.

Esta conexión es efectiva y de muy buena calidad, pero presenta complicaciones durante el proceso constructivo ya que el detalle del escalón dificulta la elaboración y

fabricación del panel, además la colocación de las vigas apoyadas en el escalón y por debajo de las varillas puede resultar ligeramente complejo.



Conexión al muro con escalón.

#### **Viga de concreto prefabricada.**

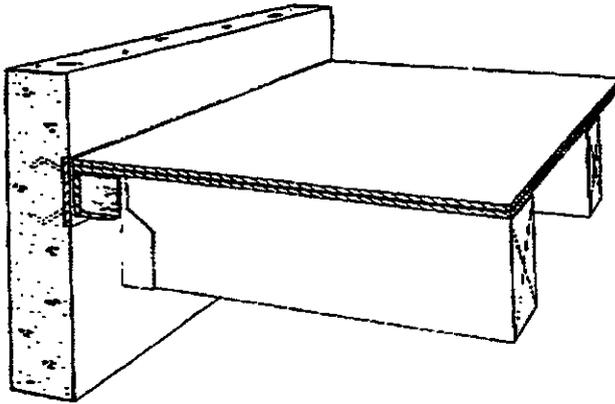
Las vigas doble "T" también pueden apoyarse sobre una viga de concreto prefabricada que se apoya en una serie de columnas en todo el perímetro, sin embargo, esta idea no es muy adecuada para el sistema TILT-UP, debido a que una de las ventajas del sistema es que por tener muros de concreto armado no es necesaria la colocación de columnas en el perímetro; por lo tanto este esquema de soporte no es bien aceptado en este método de construcción.

### 2.1.3. Madera.

Es bien conocido que la madera representa muchas ventajas en cuanto a su utilización como parte de las estructuras, sin embargo en naves industriales, no es muy común su uso, mucho menos en México. La madera utilizada a manera de vigas como soporte de techos, es otra buena opción para el sistema TILT-UP. De igual forma la única restricción que se tiene, es que se fije a los muros para formar el diafragma. Hay muchos tipos de conexiones posibles a usar:

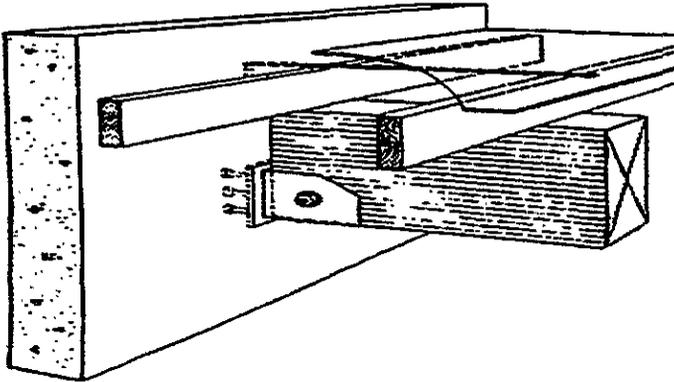
#### Viga de gancho en escalón de madera.

Una viga compuesta provee soporte vertical a manera de escalón para las vigas de madera. El escalón se atornilla a un ángulo de acero, el cual va soldado a unas placas de acero ancladas previamente en el panel. Cada viga se conecta al escalón de madera por medio de unos ganchos que se atornillan a la cara superior de la viga de apoyo. Sobre las vigas, se colocan hojas de triplay clavadas a éstas y al escalón para dar soporte lateral al panel.



### Calza de acero.

En este método, a los muros se les dejan ancladas unas placas a las que se les soldará una calza de acero que sirve de soporte para vigas de madera pesadas, siendo sujetadas por medio de tornillos como se muestra en la siguiente figura.



Se puede observar que sobre las vigas pesadas se colocan unas más ligeras sobre las que descansa la cubierta; el conjunto de las vigas, la cubierta y los muros forman el diafragma estructural.

Así como los casos anteriores se pueden idear muchas maneras de conexiones y combinaciones con cubiertas para formar el diafragma, sin embargo, la experiencia señala que el tipo de estructura más adecuado por su aceptación, son las armaduras, que además de lograr un efectivo sistema de techumbre, dan una sensación de mayor calidad y seguridad al usuario.

# III. COMPARATIVA DE LA PLANEACION DEL SISTEMA TILT-UP Y UN METODO CONVENCIONAL.

Como se mencionó en el subcapítulo 2.3, dos de las ventajas más representativas en la construcción por medio de TILT-UP, es el corto tiempo de ejecución de la obra y la excelente calidad que se obtiene, sin embargo, para lograr estos beneficios, es necesario un buen proceso de planeación, en el que se consideren todos los factores que intervengan y puedan afectar el proceso constructivo de la obra.

Haciendo una comparación de los costos entre TILT-UP y un método tradicional se observa que ambos son se encuentran a la par en este rubro, ya que el costo por metro cuadrado de construcción de TILT-UP en Noviembre de 1998 oscila entre 1,600.00 y 1,700.00 pesos, y en los métodos tradicionales el costo es de 1,600.00 pesos aproximadamente. Esto hace a TILT-UP, más económico, ya que por el mismo precio se obtiene mayor calidad en la edificación y un importante ahorro en tiempo.

Para establecer más claramente una comparación, se analizarán cuatro aspectos que encierran a los conceptos más importantes y en los cuales radican las diferencias básicas entre ambos métodos.

### 3.1 TIEMPOS DE EJECUCIÓN.

Este concepto denota la virtud más característica del sistema TILT-UP. Los tiempos de construcción a través de este sistema son más cortos que en los métodos tradicionales; esto se debe principalmente a que la ejecución de muchos de los volúmenes grandes y significativos de la obra se pueden realizar de manera simultánea. Indiscutiblemente, para obtener los resultados deseados, se requiere de gran coordinación para poder cumplir con el programa de obra, el cual está basado en la experiencia de los constructores que aplican TILT-UP.

La diferencia en tiempo se empieza a dar desde la cimentación, ya que el proceso constructivo de ésta, es muy sencillo y de ejecución muy rápida. El traslape de actividades durante el proceso constructivo consiste en adelantar ciertos trabajos para tomar ventaja de lo que podrían ser tiempos muertos para algunas cuadrillas de trabajadores. La mejor manera de representar esto, con el fin de que quede claro, es mediante los programas de obra respectivos a TILT-UP y un método tradicional.

Para establecer una comparación más realista se definirá como método tradicional una estructura de marcos a base de columnas y traveses de acero, con muro de block hasta 3m de altura y el resto de la altura y el techo cubierto con lámina.

Este análisis se hace para ambos métodos en igualdad de circunstancias, es decir, para los dos casos se considera una nave de las mismas dimensiones y necesidades de espacios, capacidades e instalaciones.

En los programas de obra que se muestran a continuación, solo se manejarán conceptos generales representativos de cada método, en los que el tiempo, es el factor más importante y significativo dentro del proceso constructivo.





### III. Comparativa de la planeación del sistema TILT-UP y un método convencional.

En los programas anteriores se consideró la construcción de una nave industrial de 4000 m<sup>2</sup> de superficie y una altura libre en el interior de 7.5m, en donde las necesidades del usuario para el edificio son las mismas en ambos casos así como la funcionalidad del mismo.

De la comparación de los dos programas se puede observar que del método tradicional a TILT-UP, hay una reducción en el tiempo de ejecución de aproximadamente ocho semanas. En los programas no aparecen todas las partidas que intervienen en la construcción total de la edificación porque hay muchos conceptos que son comunes y sin diferencias significativas para los dos métodos por lo que fueron omitidos.

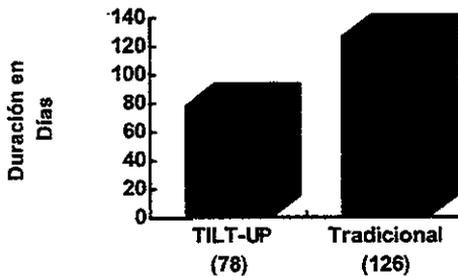
Dentro del proceso constructivo, se observaron algunos aspectos importantes para llevar a cabo exitosamente el programa de obra, pero a continuación se mencionan los puntos más relevantes que surgen al hacer un análisis de dichos programas:

- El proceso de la cimentación es más rápido, debido a las ventajas que se tienen con el uso de cimentaciones superficiales muy sencillas, las cuales son posibles gracias a la manera en la que reciben el peso de la estructura mediante muros de carga y al relleno compactado que se realiza en la parte de las terracerías, que aunque se hace para ambos métodos, para TILT-UP representa que la forma y la profundidad de desplante de las zapatas sea mínima. Además, durante la ejecución de las terracerías, se da inicio al habilitado del acero de refuerzo, para que al terminar las excavaciones y las plantillas de las zapatas se agilice el proceso de modo tal que solamente se introduzca el acero y se lleve a cabo el colado.
- Análogamente, desde la partida de cimentación, se empieza con el habilitado del acero de refuerzo de los muros, para que cuando se prepare y coloque la cimbra, el refuerzo esté listo solo para ser colocado en su posición de colado.
- La construcción de los muros de TILT-UP representa por sí misma, una ganancia en tiempo, ya que hacer muros de block con castillos, dadas y cadenas, más la colocación de la lámina vertical a lo largo de todo el perímetro de la nave, requiere de más tiempo, o en su defecto mayor mano de obra.
- Para la fabricación de la estructura (armaduras) empleada en TILT-UP, debido a su sencillez, es posible instalar un taller de fabricación, al que se hace llegar el

### III. Comparativa de la planeación del sistema TILT-UP y un método convencional.

material y salen las armaduras como producto terminado. Esto es recomendable cuando se tienen varias obras en la zona, de no ser así, es preferible subcontratar la fabricación de estos elementos con suficiente tiempo de anticipación para que estén listos cuando lo requiera el programa de obra para realizar el montaje, que se lleva a cabo de manera sencilla y rápida por ser estructuras ligeras. En el método tradicional, la estructura no es tan simple, ya que no solo se coloca la estructura horizontal, si no que también se coloca toda la estructura de soporte de la lámina vertical.

- Es indispensable que se lleve a cabo un control y monitoreo constante de la secuencia y el programa de obra para verificar que se cumplan los tiempos establecidos, esto se logra con una buena organización dentro de la planeación y la ejecución de los trabajos.



## 3.2 MANO DE OBRA.

Como resultado más importante de la comparación entre la mano de obra de TILT-UP y los sistemas tradicionales se tiene una importante reducción de ésta, gracias al proceso constructivo en el que las actividades principales son el vaciado de concreto en grandes cantidades, montaje de elementos estructurales y cimbras y armados muy sencillos.

El sistema constructivo TILT-UP, se puede considerar como construcción en serie, y debido a su simplicidad, es evidente que la mano de obra no tiene que ser especializada en casi todos sus rubros, sin embargo la cuadrilla de montaje de muros si tiene que recibir cierta capacitación para realizar esta tarea. La empresa constructora tiene el deber y la necesidad de dar dicha capacitación a la cuadrilla correspondiente. La cuadrilla de levantamiento se compone de seis trabajadores. El hecho de que se coloquen más trabajadores en esta cuadrilla no aceleraría el proceso.

No es posible establecer jerarquías de importancia de los trabajos que integran a TILT-UP, ya que el conjunto de todos ellos da como resultado un proceso exitoso, sin embargo, la mano de obra es de gran valía, porque es donde debe haber más control de calidad y supervisión, porque un error en la mano de obra puede provocar contratiempos, accidentes o simplemente retraso en la obra que se vuelve incremento de los costos.

En toda la superficie del territorio Mexicano se puede encontrar mano de obra adecuada para la construcción. Como ya se mencionó, la mano de obra para la construcción con TILT-UP no tiene que ser especializada, pero si tiene que recibir cierta capacitación para algunos de los aspectos involucrados en la ejecución de la obra, según se muestra en la siguiente tabla:

III. Comparativa de la planeación del sistema TILT-UP y un método convencional.

CUADRILLA		MANO DE OBRA
1.- Trazo		No especializada.
2.- Cimbra.		Capacitada.
3.- Armado.		Capacitada.
4.- Colado.		No especializada.
5.- Levantamiento.		
	Operador de grúa.	Especializado.
	Enganchar de panel.	Capacitado.
	Guiar Panel	Capacitado.
	Guiar y sostener puntales.	Capacitado.
	Superintendente.	Especializado.

Donde:

**Especializada:** Se refiere a una persona que ha estudiado a fondo el proceso del sistema y está a cargo de las personas "capacitadas".

**Capacitada:** Es la persona que en poco tiempo se le puede explicar la labor que va a desempeñar, realiza un trabajo metódico y con responsabilidades limitadas.

De acuerdo con la tabla anterior, la cuadrilla de levantamiento, es clave dentro del proceso, por eso, a esta cuadrilla se le capacita con videos y ejemplos prácticos para fomentar la seguridad y disminuir los riesgos en el trabajo. Esta cuadrilla es de gran importancia dentro de la eficiencia de TILT-UP, la eficiencia radica esencialmente en la capacidad de los trabajadores al realizar correctamente su labor. También es muy importante que el responsable de obra conozca perfectamente el sistema, y que sea capaz de resolver cualquier imprevisto que se pudiera suscitar durante el montaje.

En realidad, la mano de obra para el sistema TILT-UP no esta muy lejos de la mano de obra para los sistemas tradicionales, y aunque requiere de un poco más de capacitación, el número de trabajadores que integran las diferentes cuadrillas es menor que en los métodos tradicionales.

### **3.3 RECURSOS MATERIALES.**

Los recursos materiales para el sistema TILT-UP se pueden dividir en dos categorías; Los materiales que se usan en la construcción en general, y los aditamentos especiales.

#### **Generales.**

Los materiales en general son aquellos que se usan cotidianamente en todas o la mayoría de las obras, ya que la construcción mediante este sistema se basa principalmente en grandes volúmenes de concreto armado, por esta razón los materiales más usados e indispensables son:

- **Cemento.**
- **Arena.**
- **Grava.**
- **Agua.**
- **Acero.**
- **Láminas de acero.**

Comparativamente, estos elementos se encuentran casi en cualquier tipo de obra, por lo que no representan desventaja alguna entre TILT-UP y los métodos tradicionales.

#### **Aditamentos especiales.**

Por otro lado, se tienen los aditamentos especiales, los cuales presentan la desventaja de que tienen que ser importados porque solo se consiguen en Estados Unidos y Canadá, sin embargo esto no demerita ni saca del mercado a TILT-UP.

### III. Comparativa de la planeación del sistema TILT-UP y un método convencional.

Estos aditamentos son fácilmente identificables después de haber estudiado el capítulo II en el que se explica todo el proceso constructivo e involucra a dichos materiales. Se pueden dividir en dos tipos: recuperables y no recuperables. Esta clasificación es muy importante, ya que afectan directamente a los costos.

Los aditamentos no recuperables son aquellos que se ocupan en la obra y que no pueden volver a ser utilizados posteriormente, tal es el caso de los insertos y tornillos que quedan ahogados en el concreto. El gasto de la compra de estos aditamentos entra como costo directo en el análisis para el presupuesto, sea cual sea el esquema financiero que se utilice. A diferencia, los aditamentos recuperables son aquellos que después de haberse utilizado en la obra se retiran y pueden volver a utilizarse un varias obras más, como es el caso de los tubos telescópicos, los aditamentos especiales para la grúa y la cimbra metálica para los pisos. El costo de estos accesorios se absorbe de acuerdo a la cantidad de veces que puede ser usado en las diferentes obras, tal como se hace con la maquinaria. Estos elementos presentan una gran flexibilidad que les permite adaptarse a las diferentes características de altura y peso de los muros o paneles para cada obra. La recuperación de la inversión que se hace en la compra de estos aditamentos, es rápida si se tiene un volumen considerable de obra.

Para la adquisición de este tipo de materiales se debe tomar en cuenta el costo por ser en moneda extranjera y también el tiempo que pueden tardar en llegar a su destino desde el momento en que se realiza el pedido.

Un aspecto importante que debe mencionarse como una de las diferencias que repercute de manera considerable en los costos y tiempos de ejecución, es que mientras en TILT-UP los muros son en su totalidad de concreto armado, en el sistema tradicional los muros son a base de block y lámina; de esto se desprende un punto muy significativo en lo relativo a los materiales, y es que entre las columnas del perímetro de la nave y los montenes para la colocación de la lámina se utiliza una gran cantidad de acero. En TILT-UP, el acero que se utiliza es solo el que llevan los muros como refuerzo del concreto. Esto repercute en los tiempos de ejecución, porque mientras que para los muros de concreto se puede habilitar el armado con anticipación, para el método tradicional, la colocación de este tipo de estructura no se puede anticipar.

### 3.4 MAQUINARIA.

La maquinaria dentro de una obra realizada con TILT-UP, se limita a la maquinaria para las terracerías, una grúa, una retroexcavadora, una regla vibratoria para el colado de los pisos y a las allanadoras para el pulido de los mismos, también se pueden considerar los camiones revolvedoras si es que se cuenta con una planta dosificadora de concreto, la cual también puede ser considerada en este rubro.

Se puede decir que el único equipo indispensable y característico de TILT-UP es la grúa, ya que las terracerías se deben realizar sea cual sea el método empleado, las excavaciones para las cimentaciones y el pulido, en un momento dado, se pueden realizar a mano. Sin embargo, el emplear la maquinaria antes mencionada permite aprovechar algunas de las bondades de TILT-UP, como son el ahorro de tiempo, la disminución de mano de obra, y el abatimiento de los costos.

La maquinaria que se requiere para la realización de las terracerías es: tractor o bull-dozer, motoconformadora y vibrocompactador.

La regla vibratoria es la que da la forma a los pisos, que en el caso de los pisos del interior de la nave, deben ser planos y perfectamente nivelados. Por ser una regla ensamblable que cuenta con varios tramos, es muy práctica para lograr la configuración deseada, por ejemplo; para dar la pendiente de los pavimentos en las áreas exteriores de la nave, con el fin de evitar estancamientos. Como se mencionó en el proceso constructivo de los pisos, antes de la regla vibratoria se debe vibrar el concreto con un vibrador de mano, de lo contrario el paso de la regla se dificultará. Para poder aprovechar bien este equipo es necesario que la cimbra se encuentre bien nivelada y las uniones entre los tramos de cimbra queden perfectamente bien empatadas.

Las allanadoras para el pulido del piso pueden ser de cualquier tipo y marca; las hay sencillas y dobles, las primeras son manuales e impulsadas por el operador, las aspas giran por la acción de un motor a gasolina que requiere de mantenimiento y servicio al igual que toda la maquinaria en general. Las allanadoras dobles pueden ser de uno o dos motores y tienen doble área de acción porque cuentan con doble juego de aspas.

### III. Comparativa de la planeación del sistema TILT-UP y un método convencional.

Este tipo de allanadoras o pulidoras presentan la ventaja de que sustituyen de 3 a 5 allanadoras sencillas, lo que permite abatir el costo en un 50% aproximadamente.

No se mencionan datos técnicos de la maquinaria porque el sistema no está ligado con alguna marca en especial, el único requisito es que la maquinaria esté en buenas condiciones y que pueda lograr el trabajo de acuerdo a las especificaciones definidas en proyecto para cada nave.

En la planeación para la construcción con TILT-UP, existen algunos puntos importantes que son críticos en la determinación de la duración de la obra en los que se integran los cuatro rubros anteriores.

Se deben considerar los tiempos de ejecución de las diferentes etapas del proceso constructivo, para que, en el caso de la maquinaria sea rentada, esta llegue a la obra e inmediatamente pueda empezar a desarrollar su labor, de tal modo que no se tengan tiempos muertos, ya que representan incremento en los costos; tal es el caso de la grúa, que sus tiempos muertos representan costos muy elevados.

Por otro lado, como ya se mencionó, la compra de elementos de importación se debe realizar con anticipación para evitar que la obra se tenga que parar por el atraso de este tipo de materiales.

En lo que se refiere a la mano de obra no hay mucha diferencia en comparación con los métodos tradicionales, ya que en ambos se debe planear la cantidad de trabajadores que se requieren, en que momento se necesitan y la organización que deben tener para poder trabajar en varios frentes simultáneamente.

## IV. CASO PRÁCTICO.

### 4.1 PROCESO DE INTRODUCCIÓN Y ACEPTACIÓN EN EL PAÍS.

El sistema constructivo TILT-UP es de muy reciente ingreso a nuestro país, debido a esto y al poco conocimiento que se tiene de él, su proceso de introducción al país ha sido relativamente lento. Todo surgió como parte del desarrollo de maquiladoras en el norte de la República Mexicana, el cual impulsó a las empresas extranjeras a buscar alternativas convenientes para la construcción de sus plantas de producción. En un inicio, en Estados como Sonora, Coahuila, Chihuahua y Nuevo León, por la cercanía con los Estados Unidos, se facilitó la importación del sistema. Estas construcciones las han realizado compañías Estadounidenses subcontratadas por compañías Mexicanas.

Sin embargo, en 1990 la compañía Mexicana de nombre "Ingeniería Integral" introduce el sistema TILT-UP a nuestro país, y marca el inicio de la construcción de naves industriales, almacenes y plantas productoras bajo este sistema.

En realidad, el ambiente general entre los principales inversionistas en México es reservado y desconfiado de las nuevas técnicas que llegan al país, situación que se aprecia al ver que las primeras construcciones con TILT-UP son para las empresas extranjeras que se abren mercado en México, y hasta la fecha, son pocas las compañías Mexicanas que han utilizado esta técnica.

La difícil situación económica que atraviesa el país agrava esta problemática, ya que la construcción es uno de los sectores más golpeados por las crisis, además, como

#### IV. Caso práctico.

se comentó en el punto 2.3, TILT-UP requiere de una empresa solvente que pueda realizar el pago total de la obra diferido en el corto tiempo de su realización, lo que hace más difícil que cualquier empresa pueda elegir a este método para la construcción de su edificio.

Poco a poco se va incrementando la confianza sobre TILT-UP y se van difundiendo sus características y ventajas, de tal manera que hoy en día se tienen construidas cerca de 12 edificaciones con este sistema.

## 4.2 PROYECTOS EJECUTADOS CON EL SISTEMA "TILT-UP" EN MÉXICO.

Los proyectos de TILT-UP que hasta la fecha se han concluido o se encuentran en proceso de construcción son:

EMPRESA	TAMAÑO (M <sup>2</sup> )	UBICACIÓN	AÑO
Filtros Gonher	1,200	Cd. Juárez, Chihuahua	1991
Laboratorios Helios	6,500	Celaya, Guanajuato	1993
Bodega IUSA	14,400	Pastejé, Edo. Mex.	1994
Bodega IUSA	12,600	Pastejé, Edo. Mex.	1994
Electrolux	4,520	Toluca, Edo. Mex.	1995
Morton Int'l.	4,300	Toluca, Edo. Mex.	1996
O'Donnell de México	9,600	Sn. Juan del Río, Qro.	1997
IUSA Fabrica de tenis	22,000	Pastejé, Edo. Mex.	1997
Química Sigma Aldrich	1,300	Toluca, Edo. Mex.	1998
Impresora Lerma	8,400	Toluca, Edo. Mex.	1998
IUSA General Electric (oficinas)	574	Pastejé, Edo. Mex.	1998
Aeroquip.	5,500	Querétaro, Qro.	1998

La superficie a la que se hace mención de las obras mencionadas en la tabla anterior se refiere al área techada construida con TILT-UP.

Muchas de ellas se han realizado en los diversos parques industriales que se tienen en el País, en los que se siguen impulsando nuevos proyectos bajo este sistema.

## 4.3 IUSA. DESCRIPCIÓN DE LA NAVE Y SU CONSTRUCCIÓN.

En el primer semestre de 1998 se llevó a cabo un proyecto mediante TILT-UP, en la Unidad Industrial Pastejé, Jocotitlán, Estado de México, ubicada en el kilómetro 109 de la carretera Panamericana México - Querétaro. Se trata de una nave industrial para grupo IUSA de una superficie de 22,000 m<sup>2</sup> (220 m de largo por 100 m de ancho), tiene una altura libre variable que va de 6.0 m a 8.0 m, esto es por las pendientes que tiene la estructura y los techos para el escurrimiento del agua pluvial. Este proyecto es de gran importancia, ya que es el más grande en la República Mexicana realizado bajo el sistema TILT-UP.

La construcción de esta nave tuvo una duración de 6 meses y un costo aproximado de \$ 34,467,000.00 (treinta y cuatro millones cuatrocientos sesenta y siete mil pesos). La construcción se inició el 1º de Diciembre del '97 y se concluyó el 29 de Mayo del '98. Durante la construcción de esta nave se emplearon aproximadamente 187 trabajadores, de los cuales 163 fueron para la obra y 24 para los trabajos en taller. Los trabajadores empleados fueron los siguientes:

EN OBRA:	Ocupación	No. De Trabajadores
	Sobrestante	3
	Carpintero	6
	Fierrero	8
	Albañil	30
	Colocador	30
	Peón o ayudante	60
	Operador de equipo	8
	Ayudante operador	16
	Chofer	2

EN TALLER		
	Sobrestante mecánico	3
	Pailero	10
	Maniobrista	1
	Ayudante	10

En los trabajos de tercerías se realizó despalme de terreno natural por medios mecánicos de 30 cm para retirar la capa de tierra vegetal, se hizo una excavación de 40 cm de espesor para retirar capa de cultivo y el terreno natural se compactó para posteriormente colocar un relleno compactado de material tipo subbase en capas de 20cm.

El panel tipo más común que se utilizó es de 6.00 de ancho x 8.77 de alto, x 0.17 m de espesor, colocando un total de 110 muros, los cuales se montaron en el lapso de una semana. La grúa que se utilizó para el montaje de los muros es de 75 ton de capacidad máxima. La estructura horizontal se hizo a base de armaduras principales y secundarias, y como cubierta se empleó el sistema de doble lámina. Se colocaron 13 domos tragaluz de 2 m de ancho por 80 m de largo ocupando un total de 2,080 m<sup>2</sup> del área de la techumbre que representa el 9.45% de ésta.

En cuanto a la resistencia de los materiales, se utilizó acero de refuerzo con esfuerzo de fluencia de  $f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$ . Se utilizó concreto de diferentes resistencias a la compresión:

CONCEPTO	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
Plantillas	100
Cimentaciones	200
Pisos	200
Muros	250 y 300
Columnas	250

Como se puede observar, de acuerdo con todo lo expuesto anteriormente, este es el caso típico de una construcción con el sistema TILT-UP, en el que se emplearon las técnicas básicas del sistema y los elementos más característicos, lo que permitió el aprovechamiento máximo de las ventajas que este método puede ofrecer.

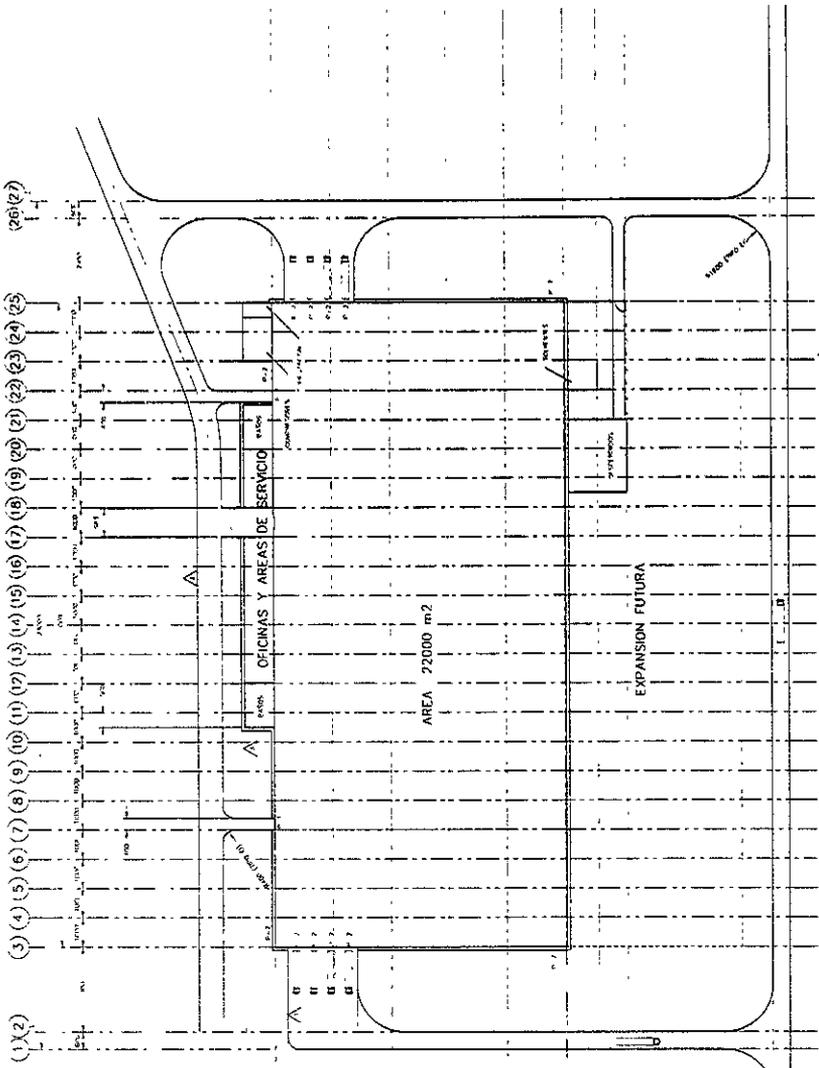
Para finalizar este capítulo se presentan a continuación los planos de TILT-UP más significativos del proyecto para grupo IUSA. Estos planos son:

1. Arreglo general.
2. Fachadas.
3. Planta de cimentación.
4. Cortes generales
5. Techos.



(1)(2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26)(27)

O P N M L K J I H G F E D C B A



NOTA:

ARREGLO GENERAL

ARREGLO GENERAL

NOTA: ESTE PROYECTO DE ARREGLO GENERAL SE REALIZÓ EN EL MARCO DE UN PROYECTO DE RECONSTRUCCION DEL COMPLEJO DE OFICINAS DE LA EMPRESA EN LA AVENIDA 100 N. EL CUAL SE REALIZÓ EN EL AÑO 1985. EL PROYECTO DE ARREGLO GENERAL SE REALIZÓ EN EL AÑO 1986. EL PROYECTO DE ARREGLO GENERAL SE REALIZÓ EN EL AÑO 1986.

REVISOR 5



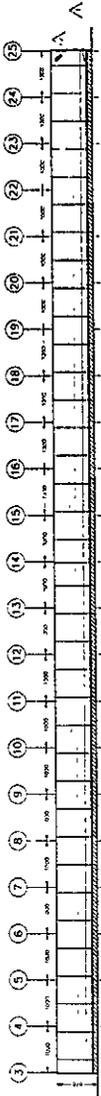
DEBIDOS DE REFERENCIA

PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DEL BARRIO DE LA VILLA DE LOS RIOS

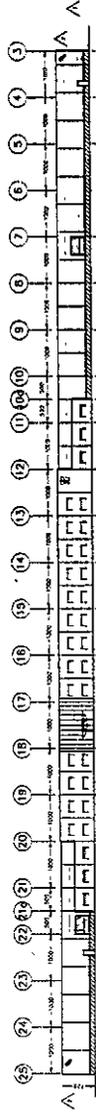


FACHADAS GENERALES

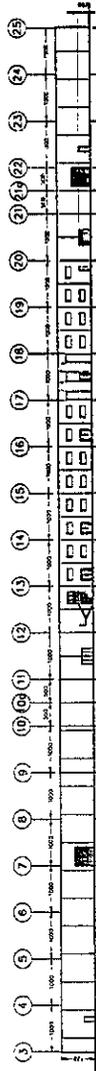
PLANO 712



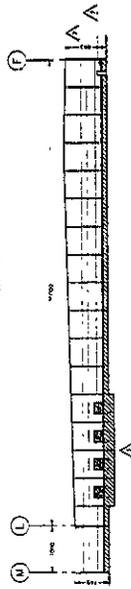
FACHADA POSTERIOR



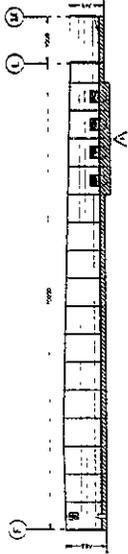
FACHADA PRINCIPAL



FACHADA INTERIOR OFICINAS



FACHADA LATERAL



FACHADA LATERAL

PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DEL BARRIO DE LA VILLA DE LOS RIOS  
 FACHADAS GENERALES  
 PLANO 712

PLANO 712

4/15/50

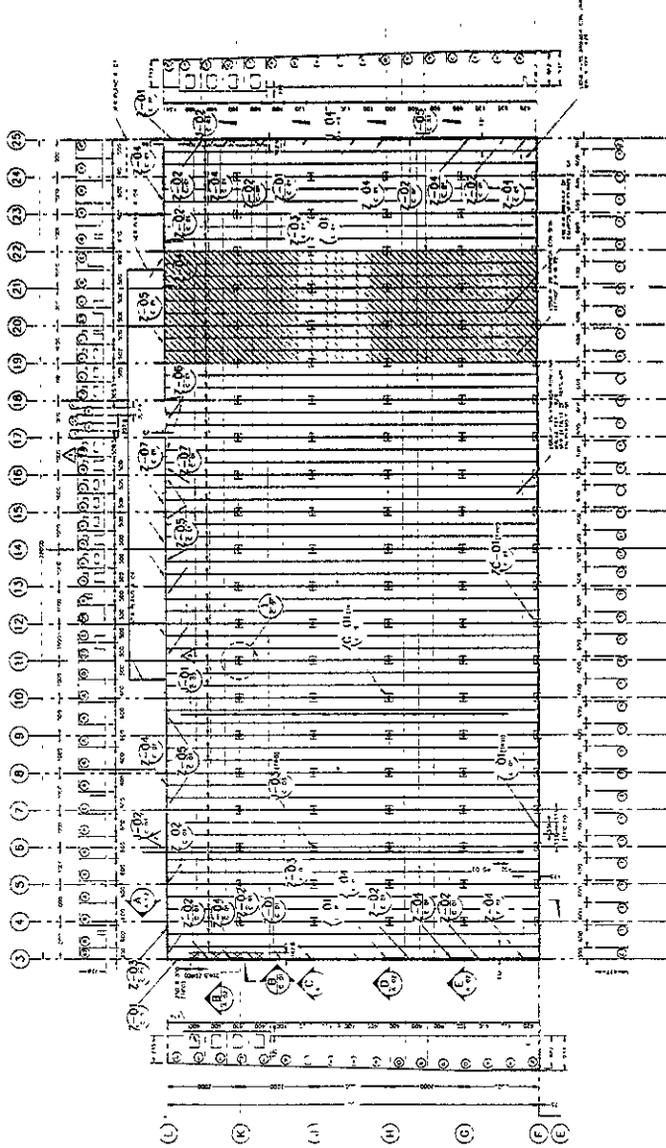
REVISIONES

BOJILLOS DE REFERENCIA

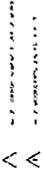


PLANTA CIMENTACION

PLANO No



PLANTA DE CIMENTACION



1. - F. CIMENTACION  
 2. - F. REFORZAMIENTO

1. - F. CIMENTACION  
 2. - F. REFORZAMIENTO

PLANO No



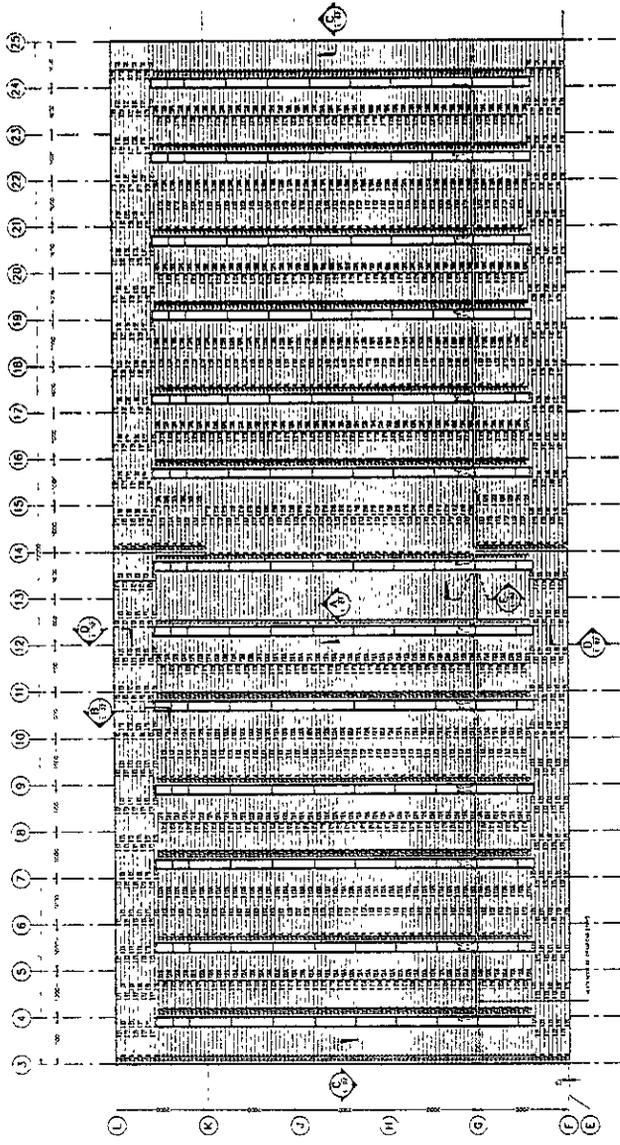
REVISIONES

OPUSCULO DE REFERENCIA



PLANTA DE LAJUNA

PLANO No.



AREA	NO. PAV.	LONGITUD	ANCHO	AREA
1	1	1.80	1.80	3.24
2	2	1.80	1.80	3.24
3	3	1.80	1.80	3.24
4	4	1.80	1.80	3.24
5	5	1.80	1.80	3.24
6	6	1.80	1.80	3.24
7	7	1.80	1.80	3.24
8	8	1.80	1.80	3.24
9	9	1.80	1.80	3.24
10	10	1.80	1.80	3.24
11	11	1.80	1.80	3.24
12	12	1.80	1.80	3.24
13	13	1.80	1.80	3.24
14	14	1.80	1.80	3.24
15	15	1.80	1.80	3.24
16	16	1.80	1.80	3.24
17	17	1.80	1.80	3.24
18	18	1.80	1.80	3.24
19	19	1.80	1.80	3.24
20	20	1.80	1.80	3.24
21	21	1.80	1.80	3.24
22	22	1.80	1.80	3.24
23	23	1.80	1.80	3.24
24	24	1.80	1.80	3.24
25	25	1.80	1.80	3.24

PLANTA DE LAJUNA

SE MUESTRAN EN CORCHES LOS ESPACIOS

A

1. Se muestra en corchete los espacios.  
 2. Se muestra en corchete los espacios.  
 3. Se muestra en corchete los espacios.  
 4. Se muestra en corchete los espacios.  
 5. Se muestra en corchete los espacios.  
 6. Se muestra en corchete los espacios.  
 7. Se muestra en corchete los espacios.  
 8. Se muestra en corchete los espacios.  
 9. Se muestra en corchete los espacios.  
 10. Se muestra en corchete los espacios.  
 11. Se muestra en corchete los espacios.  
 12. Se muestra en corchete los espacios.  
 13. Se muestra en corchete los espacios.  
 14. Se muestra en corchete los espacios.  
 15. Se muestra en corchete los espacios.  
 16. Se muestra en corchete los espacios.  
 17. Se muestra en corchete los espacios.  
 18. Se muestra en corchete los espacios.  
 19. Se muestra en corchete los espacios.  
 20. Se muestra en corchete los espacios.  
 21. Se muestra en corchete los espacios.  
 22. Se muestra en corchete los espacios.  
 23. Se muestra en corchete los espacios.  
 24. Se muestra en corchete los espacios.  
 25. Se muestra en corchete los espacios.

PLANO No

## V. CONCLUSIONES.

El sistema TILT-UP, es una revolución en México de los métodos y procesos constructivos, ofrece grandes ventajas que favorecen al desarrollo del país. Aunque hasta ahora solo se ha empleado en el sector industrial, se espera su difusión y uso en otras ramas que ocupan a la construcción.

Se ha mostrado durante este trabajo que el sistema TILT-UP, presenta diversas ventajas con respecto a los procesos constructivos tradicionales tales como Calidad, Economía y Libertad de diseño:

- En lo que respecta a la calidad, es inobjetable, que para una nave industrial los muros de concreto proporcionan características que permiten un óptimo desarrollo en el que se tienen altas medidas de seguridad, resistencia a factores de intemperismo, vida útil más larga y un bajo costo de mantenimiento durante el uso y operación del edificio.
- Durante la construcción, TILT-UP permite una importante reducción de los tiempos de ejecución, además, por sus características, da la posibilidad de lograr un ahorro energético cuando la nave se encuentra en operación, logrando de esta manera obtener una edificación económica.
- Por último, la libertad en el diseño facilita la adaptación del sistema para muchos tipos de construcciones, ventaja que permite llegar a todos los sectores productivos del país.

También se observó que el sistema presenta algunos inconvenientes, uno de estos es la reducción de la mano de obra, lo cual desde el punto de vista social puede representar un inconveniente ya que genera un número menor de empleos que los métodos constructivos tradicionales.

Este sistema no es aplicable en todas las situaciones, ya que por su proceso constructivo no es posible hacer edificios de más de cuatro niveles.

En nuestro país este método solamente se ha empleado en construcción de infraestructura para el sector industrial y los proyectos realizados han sido realizados principalmente para empresas transnacionales, se espera que en un futuro el sistema TILT-UP logre mayor difusión y así ampliar su rango de aplicación en proyectos para compañías nacionales y no solamente del sector industrial sino además del sector comercial y gubernamental.

La introducción al país de este tipo de tecnología favorece al desarrollo tanto de los métodos constructivos, como de los diversos sectores que requieren la infraestructura que proporciona la construcción a través de la ingeniería.

Por otro lado la inversión extranjera es un factor muy importante para lograr el desarrollo del sistema, ya que es ésta quien puede propiciar la confianza para el uso del sistema en la creación de sus espacios de producción.

Con las obras que se han realizado en el País mediante TILT-UP se demuestra la factibilidad de emplearlo no solo para el sector industrial, con la garantía de tener buenos resultados, sin embargo, cada usuario debe evaluar las opciones que tenga para desarrollar sus proyectos y no necesariamente TILT-UP será la mejor opción, simplemente es un método más que debe ingresar a la lista de opciones a considerar.

El sistema TILT-UP no es más que el conjunto de ideas y conceptos básicos de la ingeniería que permiten establecer una forma diferente de llevar a cabo las construcciones de edificios techados de hasta 4 niveles, sin embargo, esto no quiere decir que cualquier empresa pueda utilizar el sistema, para ello se requiere capacitación y cierta experiencia.

# Bibliografía.

## **Reglamento de Construcciones Para el Distrito Federal.**

1987.

## **Manual de Construcción en Acero.**

Instituto Mexicano de la Construcción en Acero.

Editorial Limusa, Tomo I.

1990.

## **Dayton Superior.**

"Tilt Up Construction Handbook".

1990 Rev. 1 – 93 A.

## **"Steel Joist and Joist Girders"**

Vulcraft

1991

## **Desing Floor Slabs On Grade.**

Boyd C. Ringo.

Robert B. Anderson.

The Aberdeen Group.

1992.

**Mecanica de Suelos.**

Eulalio Juárez Badillo.

Alfonso Rico Rodríguez.

Editorial Limusa, Tomos I y II.

1973.

**Práctica recomendable para la construcción de pavimentos y bases de concreto.**

Nueva serie IMCYC / 12.

ACI - 316 - 74.