



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

FACULTAD DE INGENIERIA  
División de Ingenierías Civil y Geomática

**“ELEMENTOS PREFABRICADOS PRETENSADOS EN  
SITIO DE UNA NAVE INDUSTRIAL”**

# **T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**I N G E N I E R O C I V I L**

P R E S E N T A

Roberto Chacón Borges

DIRECTOR DE TESIS:

M. I. Victoriano Armando Gallegos Suárez.

CD. UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DE 2006.

# Agradecimientos

## ***A mis abuelos:***

***Roberto Chacón Pineda, Gilberto Borges Nataren, Aurelia Serrato Saenz y Guadalupe García Solís.***

## ***A mis padres:***

***María Magdalena Borges Serrato y Francisco de Jesús Chacón García*** por todo su apoyo, guía, paciencia, orientación, confianza y cariño que me han proporcionado a lo largo de mi vida. Jamás terminaré de agradecer todo lo que han hecho por mí.

## ***A mis hermanos:***

***María del Carmen, Carlos Eduardo, Angélica, Marcos y Elías*** quienes han seguido mis pasos brindándome apoyo, cariño y comprensión.

## ***A la Universidad Nacional Autónoma de México***

Por proporcionarme una oportunidad dentro de sus filas desde el Nivel Medio para el día de hoy, culminar mis estudios Superiores.

## ***A la Facultad de Ingeniería***

Por otorgarme los conocimientos que me ha permitido llegar a este punto. También, por brindarme en el transcurso de la carrera la amistad de gente valiosa que al día de hoy son grandes amigos.

## ***Al M.I. Armando Gallegos Suárez.***

Quien siempre me ha brindado su apoyo y es pieza clave para la realización de este proyecto de tesis.

## ***y, a Tally***

Por todo su amor, cariño, apoyo y comprensión.

***Roberto Chacón Borges***

# Elementos Prefabricados y Pretensados en Sitio, de una nave industrial.

## I. Introducción

## II. Proyecto Arquitectónico.

- II.1 Localización.
- II.2 Descripción de Proyecto.
- II.3 Rehabilitación del suelo.
- II.4 Instalaciones Varias.

## III. Proyecto Estructural.

- III.1 Estructuración Adecuada.
- III.2 Determinación de Cargas.
- III.3 Análisis Estructural.
- III.4 Diseño Estructural.
- III.5 Secciones Definitivas.

## IV. Sistema Constructivo.

- IV.1 Definición de Moldes.
- IV.2 Colados en Sitio.
- IV.3 Pretensados en Sitio.
- IV.4 Procedimiento de Curado.

## V. Montaje de Elementos.

- V.1 Maquinaria y Equipo.
- V.2 Colocación de Columnas.
- V.3 Colocación de Trabes.
- V.4 Colocación de Losas.

## VI. Comparación de Costos.

- VI.1 Costos en Columnas.
- VI.2 Costos en Trabes.
- VI.3 Costos en Losas.
- VI.4 Costos en Muros.
- VI.5 Ventajas y Desventajas.

## VII. Conclusiones.

### Bibliografía.

---

# I. Introducción

Los parques industriales han sido desde hace varios años la mejor opción en la ubicación y reubicación de la industria dentro de un país.

El objetivo principal de la realización de los parques industriales es retirar de las ciudades a las industrias buscando el desahogo de esos grandes espacios ocupados por fábricas y equipos, estacionamientos, vialidades especiales y también, de altos índices de contaminación, ruido, molestias para la comunidad y el ambiente, entre otros.

Al ubicar a las industrias en parques industriales retirados de las zonas urbanas, se dan mucho mejores opciones a empresarios y propietarios para tener más espacios (por lo tanto más comodidad), un mejor manejo en su mercancía, empleo de maquinaria pesada, uso y suministro adecuado de energía eléctrica, vialidades apropiadas a las necesidades, suministro de agua potable, etc.

Para realizar la correcta proyección de un parque industrial, es necesario ejecutar muchos estudios para efectuar la obra en el lugar adecuado para que su funcionamiento sea el óptimo y cumpla sus objetivos primordiales de abasto y funcionalidad de productos a la hora que se requiere.

Es por esto, que la planeación debe ser minuciosa y tomar en cuenta absolutamente todos los rubros para que el lugar no carezca de los elementos básicos necesarios para seguir adelante en la producción continua y eficiente de sus productos.

Por lo anterior, debe de cumplirse con una red adecuada de transportes según las necesidades del parque industrial (red carretera, red ferroviaria, red portuaria, etc); sistemas de suministro de energía eléctrica de grandes capacidades, diseños correctos de vialidades dentro del parque (con espacios holgados para las maniobras de equipo grande, pesado o especial), abastecimiento de agua potable en gran escala para cumplir con el suministro necesario exigidos por las empresas, captación sobrada de aguas pluviales, negras o de ser su caso aguas con algún índice de contaminantes especiales fuera de lo normal, etc.

Como se observa, la ingeniería civil es la primera rama en ingresar a este tipo de proyectos buscado abrir caminos para que posteriormente las demás áreas puedan fácilmente instalarse y buscar su desarrollo de manera adecuada.

Existiendo los servicios básicos, la ingeniería civil también debe proporcionar soluciones adecuadas para albergar grandes y medianas industrias, es por esto que se requieren estructuras especiales las cuales puedan proteger, al personal, a la maquinaria y a los productos de factores externos que se presenten en el sitio.

Comúnmente, las naves industriales son las más recurridas para estos casos, debido a su alta eficiencia para cubrir grandes claros necesarios en estos casos.

La ingeniería estructural y de construcción proporcionan opciones para la fabricación de naves industriales; concreto y acero, son los materiales con más demanda, siendo este último el más utilizado dentro de la industria.

Los prefabricados (sean de acero o concreto) buscan una automatización y elaboración en serie y a gran escala de piezas (en una planta o en el lugar de la obra según sea el caso) las cuales son transportadas a la obra y montadas con ayuda de equipo pesado. Evitando con esto los costos en tiempos, cimbras y materiales, mano de obra, etc.

En el caso del acero, se puede llegar a tener grandes restricciones debido a que la fabricación de las piezas en este material no se puede dar en cualquier lugar debido a los procesos que se utilizan, por lo tanto, los lugares de fabricación de piezas de acero son sitios fijos y las obras tienen que adaptarse a estos, elevando en algunos casos el costo por transporte.

Tradicionalmente para naves de concreto prefabricado, las piezas se hacen pretensadas o postensadas, esto debido a que este tipo de elementos tienen mayor capacidad que los de concreto reforzado, por esto, las secciones pueden ser coladas en una planta prefabricadora o si se tiene la posibilidad, en sitio, todo esto debido a que la realización del concreto es más sencilla a comparación que las piezas de acero.

La prefabricación en sitio, es una propuesta económica e interesante debido a que se reducen de manera significativa los insumos provocados por transporte de la materia prima básica.

Día a día, se observan avances en el campo de los prefabricados, podemos citar como ejemplo que la realización de muros de concreto prefabricados ha dejado atrás el viejo molde pegar tabique o block con mortero y, aumentan de manera muy significativa los avances dentro de la obra además de reducir los costos de manera significativa.

Es así como el estudio y la aplicación de los prefabricados hechos en planta o en sitio, va tomando fuerza en el campo de la industria y con el paso del tiempo se convertirán en uno de los más solicitados en todos los campos de la construcción.

La intención principal de este trabajo, es presentar un caso real y práctico del análisis, diseño y construcción de una estructura a base de elementos prefabricados colados en sitio.

## II. Proyecto Arquitectónico

La realización de un adecuado proyecto arquitectónico es la base para llevar a buen término el proyecto ejecutivo.

Tenemos que partir de una adecuada planeación. Los primeros pasos que debemos dar, es asegurar la legalidad del terreno en la que se realizará el proyecto. Cumpliendo este punto, podemos trabajar tranquilamente en la realización del proyecto arquitectónico el cual consiste en realizar la primera propuesta formal de los espacios y forma del inmueble.

Debemos recordar que un paso fundamental del proyecto arquitectónico es compaginar con lo estipulado dentro de los reglamentos de construcciones, pues es muy común que se lleguen a tener buenas ideas de proyectos pero la reglamentación impide ciertos tipos de construcciones y nuestro proyecto no podría llevarse a cabo.

Otro paso importante que se da en el proceso de realización del proyecto arquitectónico es el levantamiento físico del predio (los resultados de este, deben siempre de ser iguales o muy parecidos con los presentados en la escritura de la propiedad).

Con los pasos anteriores dados tenemos los datos adecuados para comenzar con la idealización y realización del proyecto arquitectónico.

A la par en que se realiza el proyecto, se debe avanzar con los trámites, permisos y estudios necesarios para dar de alta el proyecto.

Para concluir en un adecuado proyecto arquitectónico, se debe trabajar en equipo y cumplir cabalmente con los puntos anteriormente citados. La comunicación entre los diferentes campos del proyecto ejecutivo es vital para llegar a una solución óptima y pronta.

## II.1. Localización

La nave industrial estudio de esta tesis, se encuentra localizada dentro de la ampliación del parque industrial Toluca 2000, en la calle 5-A, dentro del lote número 9, manzana 1, Toluca, Estado de México.

El terreno posee un área total de 7,436.47 m<sup>2</sup>. Un área construida de 4,900 m<sup>2</sup> de nave industrial y 300 m<sup>2</sup> de área administrativa en planta baja y planta alta.

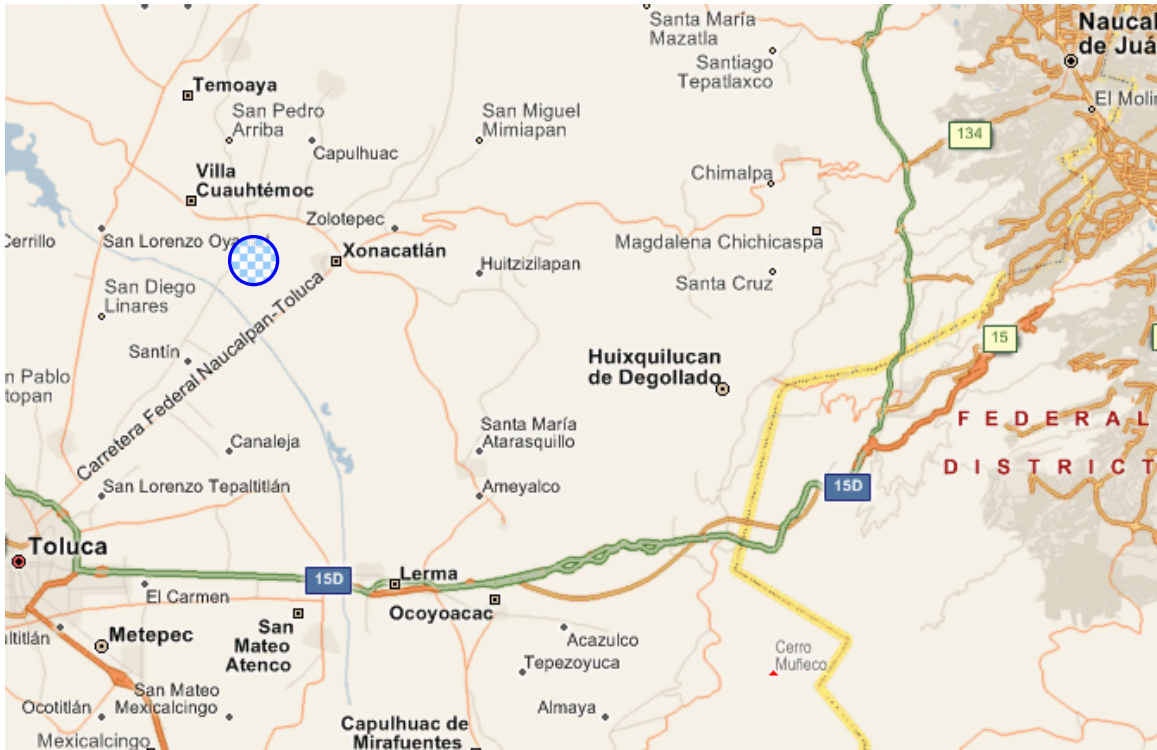
Tiene como colindancias; al norte un terreno baldío, al sur el lote 08, al este la calle 5-A y al oeste el lote 10.



Croquis a nivel local

Una de las vías de llegada al Parque Industrial es por la carretera Naucalpan – Toluca, saliendo por la 134. Pasando Xonacatlán el parque se encuentra a 5 minutos. El tiempo estimado del Distrito Federal al lugar es de aproximadamente 70 minutos, mientras que del sitio a Toluca son aproximadamente 15 minutos.

Existen maneras alternas de llegar al Parque, una de ellas es tomando la autopista México-Toluca para después entroncar con la Carretera Federal Toluca Naucalpan. Utilizando esta ruta el tiempo estimado llega a ser hasta 45 minutos saliendo del Distrito Federal.



Croquis a nivel carretero



## II.2. Descripción del Proyecto

En un periodo de dos años se construyeron 5 naves industriales dentro de la ampliación del Parque Industrial Toluca 2000, con un área aproximada a 25,000 m<sup>2</sup> de construcción, que siguieron este sistema de prefabricación en sitio.

El desarrollo de la construcción de cada una de las naves fue siempre de manera diferente. Se buscó, apoyados en los modelos de construcción de las naves anteriores evolucionar y perfeccionar las siguientes construcciones. La idea de optimizar costos y materiales es siempre un reto para el campo de la ingeniería. Por tanto, la ingeniería en planeación, estructuras y construcción buscaron desarrollar e implementar una obra más eficiente y funcional con la experiencia tomada de los casos anteriores.

Los elementos estructurales se construyeron utilizando como materiales base el concreto reforzado y presforzado colados en sitio.

En la nave construida dentro del lote 09, se realizó un nuevo análisis y diseño de la estructura buscando una mejora significativa en lo hecho en la nave del lote 08. Basándonos en la experiencia y en los avances tecnológicos conocidos se propuso como sistema de techo dobles T de sección variable con un espesor de 5 centímetros y peralte (también variable) en nervaduras desde 0.27 a 1.05 metros. Con este sistema se busco aprovechar las propiedades de los materiales y geometría de la sección, que tiene como características principales cubrir grandes claros y dentro de ella poseer el sistema de techo de la estructura (Fotografía II.2.1).



**II.2.1 Molde de losa doble T, se observan en la parte inferior los cartabones. También se aprecia la variación en la longitud de las nervaduras**

Para llevar a cabo el cambio en el sistema de techumbre (ya que anteriormente había sido con el uso de travesaños ASHHTO), se diseñó un molde de acero especial cubriera las necesidades que se presentaban en obra como.

El pretensado de los torones, el colado y curado de las piezas se realizó en sitio. Las columnas, aunque coladas en sitio y prefabricadas no fueron pretensadas. Simplemente se armó el cajón de la cimbra, se habilitó el acero y se coló, proporcionándole a estos un proceso de curado normal (Fotografía II.2.2).



**II.2.2 Losas doble T pretensadas y columnas de concreto reforzado.**

También, a manera de prefabricados colados en sitio se realizaron las travesaños tipo ménsulas en las cuales son apoyadas las losas doble T. (Fotografía II.2.3).



**II.2.3 Travesaños perimetrales en forma de L armadas, cimbradas y coladas en sitio**

La cimentación se realizó utilizando zapatas y candeleros de concreto reforzado colados en sitio. Los candeleros se colocaron con el objetivo de recibir a las columnas prefabricadas. Las zapatas-candeleros se encuentran diseñadas para soportar los efectos gravitacionales y accidentales que pudieran presentarse. Estos elementos no fueron prefabricados en sitio (aunque pudieron serlo). (Fotografía II.2.4).



**II.2.4 Colocación y armado de zapata y dado**

Para llevar a cabo el trazo, armado y la colocación de la cimentación previamente, ingreso la retroexcavadora para retirar el material donde serían desplantadas las zapatas, para posteriormente colar un firme de concreto. (Fotografía II.2.5).



**II.2.5 Firme de concreto pobre para desplante de cimentación**

Los sistemas de muros también tuvieron una notable evolución en el proceso constructivo ya que a diferencia de las naves anteriores (de colocar hiladas blocks de cemento-arena unidas con mortero), se optó, por colar muros de concreto reforzado en el piso y darles su tratamiento adecuado de curado para a su debido tiempo, descimbrarlos y montarlos en su lugar específico. (Fotografía II.2.6).



**II.2.6 Muros de concreto reforzado colados de manera horizontal**

Los elementos de concreto reforzado y presforzado en su gran mayoría fueron realizados con materiales de alta resistencia cumpliendo así con las exigencias para la construcción solicitadas por el reglamento.

En los únicos lugares dentro de la obra en las que se realizó la construcción empleando el método tradicional (concreto reforzado colado en sitio), fueron las zonas de oficinas en donde se manejaron trabes, columnas, zapatas, losas de concreto reforzado y muros de block de cemento-arena unidos con mortero.

El piso realizado como una losa de concreto reforzado de gran peralte y curado en condiciones normales. (Fotografía II.2.7).

Con estos elementos estructurales se dio origen a construcción de la nave industrial localizada en el lote número 09 del parque industrial Toluca 2000. Es una nave a dos aguas desplantada en un terreno de 55 metros de frente por 1400 de fondo con área total de 7436.47 m<sup>2</sup> dejando espacios de estacionamiento, casetas de vigilancia y oficinas según marca el reglamento de construcciones.

Se encuentra ubicada en zona II, se considera que es una estructura del tipo B con formas regulares así definida por el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal 2004 (RCDF 2004) y sus normas técnicas complementarias (NTC 2004), zona pluvial y campo abierto para el caso de diseño por viento. El suelo es del tipo arcillo-arenoso y limo-arenoso con una capacidad de carga de 14 ton/m<sup>2</sup>



**II.2.7 Sistema de Piso**

Se colocaron columnas de concreto reforzado a cada 10 metros de separación según la modulación entre ejes y 3 columnas al frente (y sobre cada eje) con separación de 24.10 metros cada una, formando en una dirección un marco con 10 crujeías de columnas y trabes tipo ménsula, y en la otra (tres columnas ligadas por la losa doble T).

La techumbre se realizó a base de una losa doble T apoyada de trabe a trabe con una longitud efectiva de 23.90 metros.

Los muros de fachada en las cuatro caras, son de concreto reforzado colados y montados en sitio.

En la parte del frente, se tienen el estacionamiento general y una zona especial para el tránsito de trailers, también, las oficinas en dos niveles con los servicios y espacios necesarios para realizarse un adecuado funcionamiento. Dentro de la nave se tiene la caseta de vigilancia y los servicios sanitarios, además, de regaderas para los servicios generales.

Además, son respetadas las áreas libres y verdes que marca el Reglamento de Construcciones. Cabe citar que el diseño se realiza basándose en el RCDF 2004 y sus NTC, ya que en el lugar no se tiene un reglamento que respalde y avale este tipo de construcciones.

## II.3. Rehabilitación del Suelo

Los terrenos se encuentran delimitados en esta zona marcada como ejidal, han tenido como propósito de toda la vida ser cultivados y engrandecer así a la producción de maíz de la zona, del municipio y del país.

Vale la pena citar que el terreno en condiciones naturales no se encontraba con los medios óptimos para recibir ningún tipo de estructuras sobre sí. Por esto, se buscó el apoyo de la Mecánica de Suelos que encontró una solución adecuada a la estabilidad del suelo.

Las recomendaciones principales resultado del Estudio de Mecánica de Suelos fueron estabilizar y sanar los terrenos y llevarlos a un punto de calidad adecuada en el cuál se desplantará la estructura de manera correcta.

La metodología sugerida por la Mecánica de Suelos para estabilizar el terreno es la siguiente:

1. Retirar del terreno la capa vegetal.
2. Excavar 105 centímetros de profundidad.
3. Estabilización del terreno con rodillo.  
Relleno de 45 centímetros con una cama de piedra. (Fotografía II.3.1).



II.3.1 Relleno a base de cama de piedra

4. Estabilización del terreno con rodillo.
5. Colocación de tierra mejorada (tepetate) de 60 cm. (Fotografía II.3.2).



**II.3.2 Material de relleno desplantado y terreno perfectamente compactado**

6. Compactaciones del tepetate en capas de 20 centímetros cumpliendo sus límites marcados en el 90% de compactación con prueba Proctor Estándar. (Fotografía II.3.3).



**II.3.3 Compactación de de tepetate con rodillo**

Para llevar a cabo estos fines se utilizó maquinaria pesada del tipo;

- Retroexcavadora 580-K (retiro de material).
- Motoconformadora 140-B (distribución de material).
- Vibro-compactador dinapac CA-25 (compactado de material).

- PIPA de agua con capacidad de 10 m<sup>3</sup> (riego en proceso de compactación).
- Camiones de volteo de 7 m<sup>3</sup> (recoger y dejar el material de desecho para compactación).
- PIPAS para riego asfáltico.



**II.3.4 Equipo utilizado para llevar a cabo la estabilización del terreno**

Las recomendaciones proporcionadas se llevaron a cabo y se logró estabilizar el terreno para el desplante adecuado de la estructura y con esto evitar riesgos como asentamientos o comportamiento incorrectos de la cimentación. En las fotografías II.3.5 y II.3.6 se observa la excavación que se realiza sobre el terreno estabilizado.



**II.3.5 Equipo utilizado para llevar a cabo la estabilización del terreno**





II.3.6. Corte de suelo estabilizado.

## II.4. Instalaciones Varias

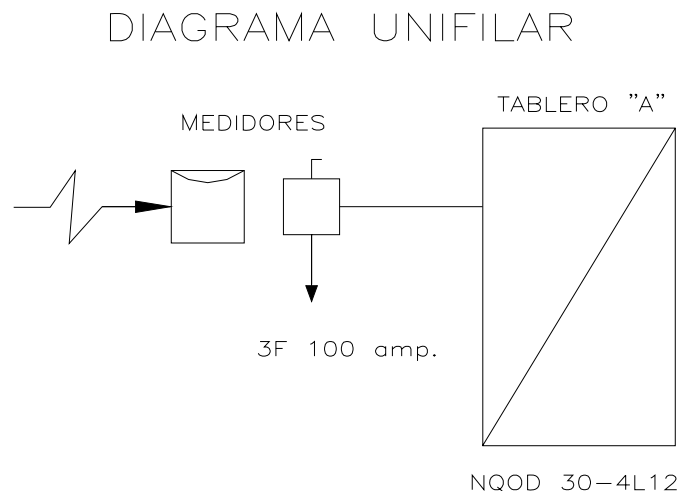
Las instalaciones en general requeridas para este tipo de proyectos son de un corte especial. Las maquinarias que se encontrarán laborando dentro de las naves industriales son de altas exigencias y necesitan de suministros especiales en los rubros eléctrico, potable, sanitario, ventilación, iluminación, seguridad contra incendios, etc.

Un ejemplo típico, es el tipo de cisterna que debe tener una nave para poder abastecer sus necesidades propias y legales (Reglamentos de Construcciones). También, el suministro de energía eléctrica debe de cumplir especificaciones mínimas necesarias considerando el consumo de grandes cantidades de energía. Además de estos requerimientos intrínsecos del proyecto, se agregan algunas exigencias que establece el municipio (según sea el caso), que hacen existan grandes detalles en el tema de instalaciones. En su mayoría, las peticiones del municipio y del Reglamento siempre son buscando un mejor funcionamiento del lugar a construir.

### Instalación Eléctrica.

La energía eléctrica es suministrada al parque industrial por Comisión Federal de Electricidad (CFE) con la *Subestación en Cerillos* (120 megavatios), tomando el parque industrial para su uso la cantidad de 23, 000 KVA. El municipio exige que para obras de esta magnitud se coloque una subestación eléctrica (40 megavatios) para el abasto local.

Se realizó dentro de la nave una instalación eléctrica que cubriera un tablero tipo NQOD 30- 4L 12, teniendo 3 números de fases y 4 hilos. Esquema E.II.4.1.



E. II.4.1 Diagrama unifilar



En el caso de la iluminación a base de energía eléctrica se colocaron accesorios según diseño cumpliendo las normas;

- a) Luminaria campana industrial aditivos metálicos 250 Watts, 220 Volts (8 piezas), de alta luminosidad y especiales para este tipo de casos. Estos elementos son los responsables de aportar luminosidad al interior de la nave (la dirección de la luz de arriba hacia abajo).
- b) Luminaria tipo Wall Pack 250 Watts, 220 Volts (3 piezas), de alta luminosidad a largas distancias, básicamente distribuidas en zonas de estacionamiento y zonas de carga y descarga. La dirección de la luz es reclinada de vertical a horizontal buscando apoyar los movimientos de quienes se encuentren en dichos lugares.
- c) Luminaria tipo arbotante 100 W, mediana luminosidad (7 piezas), localizadas siguiendo toda la fachada exterior de la nave proporcionando de luz en los andadores circundantes y controlada mediante apagadores sencillos.

El cableado se realizó visible con tubos conduit galvanizados fijados a la estructura de techumbre, de la misma manera la Luminaria Campana Industrial Aditivos Metálicos 250 Watts y 220 Volts fue taqueteada al sistema de techo.

Para la iluminación exterior, los tubos conduit se colocaron en la parte interior de los muros quedando la instalación totalmente oculta.

### **Instalación Hidráulica**

La instalación hidráulica alimenta únicamente hasta la zona de oficinas. La tubería en su totalidad fue construida en cobre tipo M. La cadencia de abasto de agua es la siguiente (Esquema II.4.3):

Los ramales principales de abastecimiento de la instalación hidráulica de la red municipal a la cisterna son de diámetro de 19 milímetros.

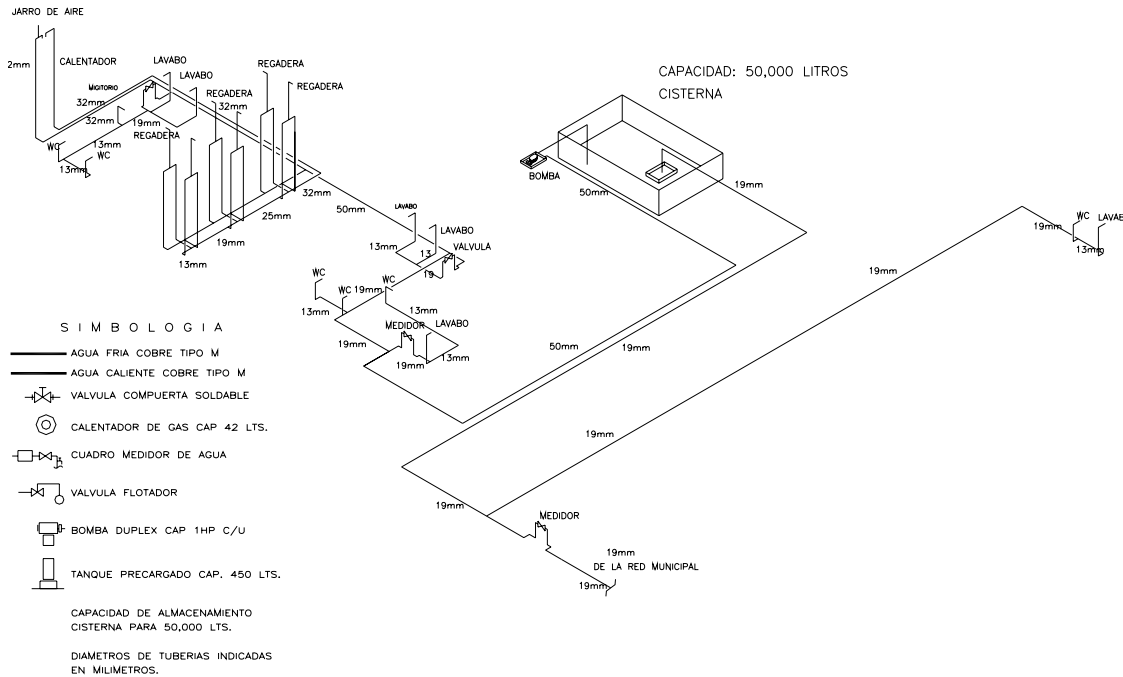
El agua proveniente de la red local del parque atraviesa la zona de medidores llegando así a una bifurcación que divide la toma a la zona de la cisterna y a los baños ubicados en caseta de vigilancia (todo esto con tubería de 19mm).

La cisterna con capacidad de 50, 000 litros se conecta a la salida una bomba de 1 HP. El flujo es impulsado en tubería de 50 milímetros de diámetro, algunos metros después es dividido y reducido en diámetro. Parte del flujo es llevado a un tanque elevado mediante tubería de 13 milímetros y de aquí se alimentan a los baños alojados en el segundo nivel.

La otra mitad del flujo, alimenta directamente (con tubería de 50 milímetros) la zona de baños y regaderas de la planta baja teniendo como destino final el calentador de agua. La dotación de diseño es 100 litros/día.

Los baños de hombres y los de mujeres poseen regaderas (6), mingitorios (5) y lavabos (5) en el primer nivel, únicamente un retrete y un lavabo en la planta alta y los mismos accesorios en la caseta de vigilancia.

Se tienen un calentador de gas de 42 litros que alimenta a la zona de regaderas.



### E. II.4.3 Isométrico Hidráulico General

## Instalación Sanitaria

La instalación sanitaria se realizó separando las aguas negras de las pluviales.

### ***Aguas negras (provenientes de sanitarios)***

Se hacen registros especiales para captarla y encausarla a la red de aguas negras locales. El agua es captada y conducida de la siguiente manera:

Tubería P.V.C. de 100 mm de diámetro en descarga del retrete.

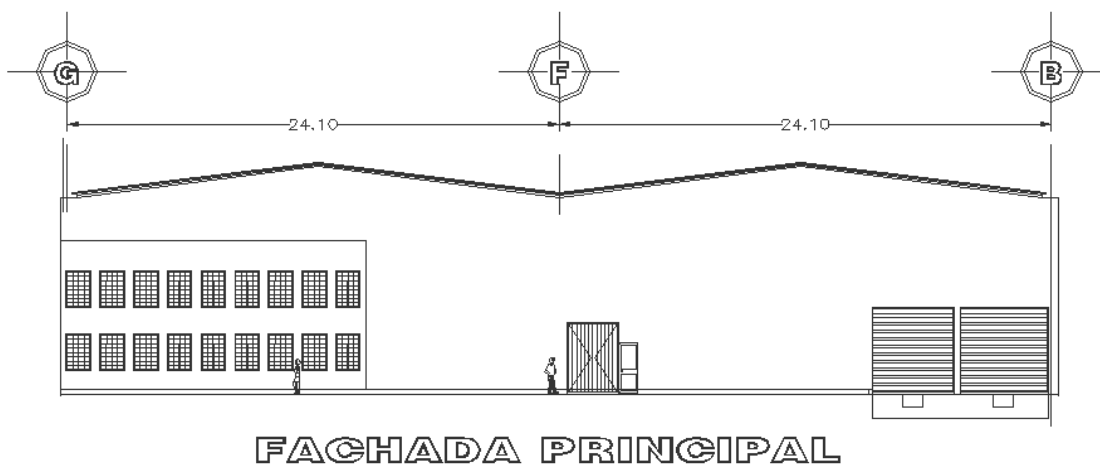
Tubería P.V.C. de 50 mm de diámetro para el agua emitida en las regaderas.

Tubería P.V.C. de 50 mm de diámetro para captación de lavabos.

La captación de aguas de retrete, regaderas y lavabos es dirigida a un registro de 60 x 80 cm x cm. Con tuberías de P.V.C. de 100 mm de diámetro es desahogado el flujo a la red de aguas negras del parque.

### ***Aguas pluviales***

Las descargas pluviales se proyectaron en 3 diferentes rutas debido a la naturaleza de tipo arquitectónico-estructural del proyecto. Esta virtud arquitectónica permitió suavizar las excesivas precipitaciones de lluvia del lugar. La estructuración a base de dobles T a dos aguas lleva parte del flujo al exterior de la nave y el agua restante a la parte central. Esquema E.II.4.4.



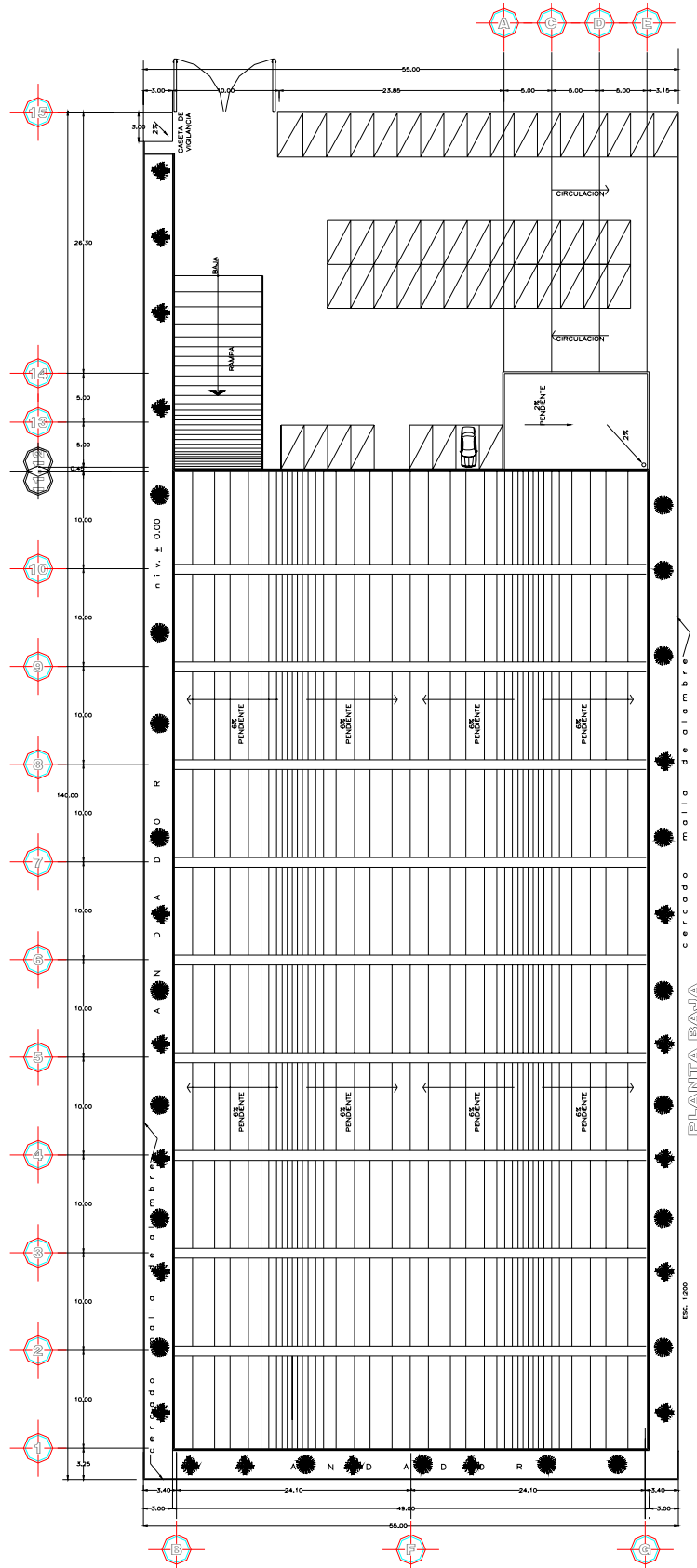
**E. II.4.4 Fachada principal que nos muestra la techumbre y captación pluvial.**

En la parte central el fluido es captado mediante un canalón de lámina que encausa el agua a ductos de P.V.C. de 150 mm de diámetro. Existen un total de 5 bajadas (ductos) de aguas que se encuentran intercaladas entre ejes. Cuatro de ellas (las exteriores) desembocan en registros de 60 x 80 cm x cm y una principal localizada en la parte central que desemboca en registro de 160 x 120 cm x cm.

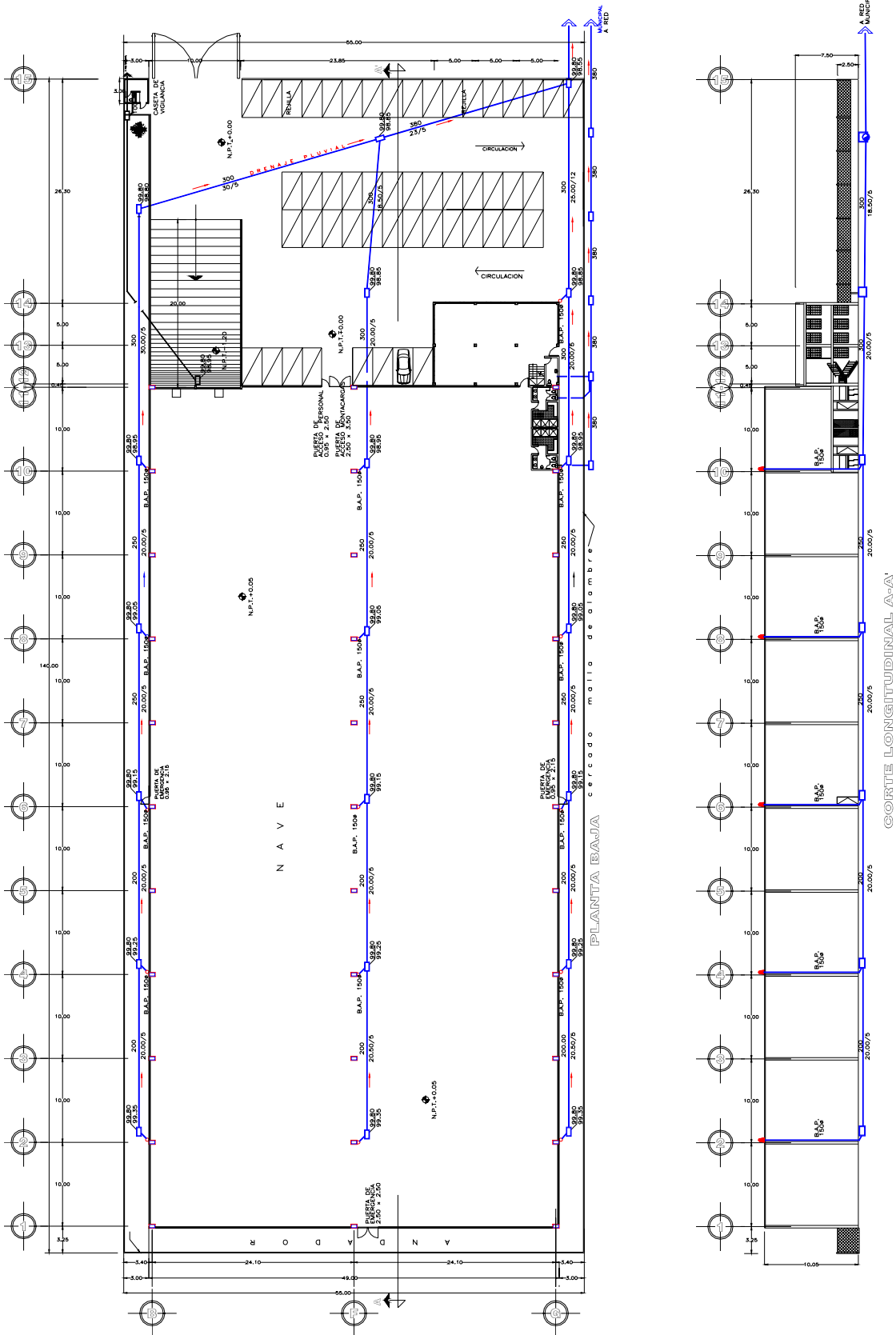
Los registros perfectamente comunicados unos con otros con tubería de asbesto-cemento, trasladan el agua hasta la parte extrema de la nave (zona de fachada) para llegar al registro principal. Los diámetros de las tuberías varían en su trayecto a la red municipal de 200 a 380 milímetros y se colocaron con pendiente de 5%.

El agua que va a la parte exterior de la nave también es captada por canalones de lámina que llevan el fluido a ductos de P.V.C. de 150 mm de diámetro. En el extremo izquierdo de la nave existen 6 ductos (en lugar de 5 como en la parte central de la nave). Estos descargan el agua en los registros tipo de 60 x 80 cm x cm. Los registros se encuentran unidos y avanzan hacia el frente de la nave rodeándola y descargando hacia el canal de aguas pluviales. Las tuberías varían de 200 a 380 mm de diámetro.

En el esquema E.II.4.5 se observa de manera más clara la distribución de carga pluvial sobre la nave. En E.II.4.6 se marca el sistema de captación y acarreo de las aguas pluviales a la red local.



E. II.4.5 Captación y bajada de aguas pluviales.



E. II.4.6 Sistema de captación de aguas pluviales.



En el extremo derecho de la nave la captación de las descargas pluviales trabajan bajo el mismo sistema que la margen izquierda. Existe una diferencia y esta estriba que en la margen izquierda se encuentra el registro principal para llevar y captar el agua pluvial a la red local. Por tanto, la captación por derecha y centro, llega un momento que tienen un quiebre en la dirección del flujo hacia la margen izquierda donde se unen a la tubería. Se utiliza tubería de diámetro de 200 milímetros al comienzo de la red, pero al avanzar esta los diámetros se incrementan pues la captación de agua va siendo acumulada, los diámetros aumentan de 200 a 250 y de 250 a 300 (todos los diámetros en milímetros). Fotografía II.4.2.



II.4.2. Colocación de tubería de asbesto-cemento

### **Instalaciones contra Incendios**

Estas se diseñan según el área construida, para estos casos (el área se encuentra entre 2500 y 5000 m<sup>2</sup>) es necesario proyectar para que en caso de un evento no deseado, funcionen al mismo tiempo 2 hidrantes, considerando que cada uno debe de tener un gasto de 2.82 l/s.

### **Impacto ambiental.**

Se hicieron estudios de impacto ambiental los cuales arrojaron que la construcción de las naves no causaba dificultad o impacto alguno a condiciones ambientales y, fue avalado por la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México.

### III. Proyecto estructural

En la elaboración de un proyecto (cualquiera que este sea), la planeación, es uno de los puntos clave para que la construcción (que sería la conclusión del proceso) se lleve a cabo de manera exitosa, *tomando como éxito una obra que es terminada en el tiempo estimado, con calidad aceptable, reducción a los menores costos, realización de estructura funcional y operativa.*

Llegar a cumplir las exigencias antes mencionadas no es una tarea fácil. Después de realizar una conceptualización y entendimiento total del proyecto, se domina perfectamente el manejo de este y se tienen ubicados cuales serán las actividades sencillas y cuales las que pueden causar algún problema o contratiempo de grandes consecuencias. Hay que remarcar que en algunas ocasiones, existen detalles de menor magnitud que, si no son considerados, se convierten en grandes problemas a resolver y que alteran los avances de la obra (por ejemplo, que se descomponga una grúa o que se acabe la gasolina de esta). Concluimos, que realizar un proceso adecuado de análisis teniendo en cuenta los mínimos detalles, es la clave para la obra exitosa.

Cabe citar que no cualquiera puede realizar un análisis adecuado de un proyecto. Únicamente ingenieros que poseen una gran experiencia y visión pueden acercarse a una verdadera planeación que, basado a su experiencia profesional, tienen conocimiento de factores que muchos ingenieros desconocen.

Dentro del aspecto técnico, el punto de partida es la realización del proyecto arquitectónico y estructural, es necesario, para que este llegue a buen fin, solicitar el apoyo de personas especialistas en el caso (arquitectos e ingenieros).

Los profesionales basados en su experiencia, conocimiento, manejo de reglamentos locales, etc, buscarán dar la mejor solución a tópicos como; proporcional a la obra los servicios adecuados, los espacios, la funcionalidad, la utilidad correcta, estética, seguridad (en cada uno de los espacios de la obra), comodidad, adecuados servicios de emergencia, iluminación, correcto aprovechamiento de energía eléctrica entre muchos otros.

Como se observa son muchos los rubros a cubrir, es por esto que se debe trabajar en equipo (y en conjunto) para que el fin y conclusión común; *“la obra”* se realice magistralmente independientemente del tamaño de esta.

En cuantas ocasiones hemos visto (o escuchado) que algún especialista propone lo mejor que el considera que puede dar su área, no observando, que su propuesta puede llegar a causar grandes incomodidades en otros rubros de la construcción. Esto, nunca puede ser la mejor opción para la obra, pues se estaría trabajando especialmente para satisfacer un campo y hemos visto que el éxito es cumplir en conjunto con más de un requisito.

Para el caso específico del proyecto estructural (motivo de análisis en este capítulo), el trabajo en equipo debe ser constante. El contacto entre arquitectos, ingenieros en instalaciones e ingenieros constructores y estructuristas será pues, una necesidad para que cada uno en su área pueda aportar lo mejor de sí.

En la etapa estructural se realiza como puntos medulares la idealización de la estructura, selección de materiales y secciones, análisis y diseño estructural (siendo este un proceso iterativo de selección), para concluir en la decisión de la geometría definitiva.

*“Por lo tanto, el proceso de diseño estructural es unidireccional, como paso inicial se imagina la estructura, después se analiza para finalmente dimensionar. Este proceso llega a ser complejo e iterativo, implica pasar varias veces por cada etapa a medida que la estructura evoluciona hacia su forma final”.*

La gran ventaja que ha tenido la construcción de esta nave es que anteriormente se construyeron 3 de un estilo muy similar y debido a esto, algunos de los procesos que se realizaron estaban resueltos o muy cercanos a su solución.

Si bien es cierto, se arriesgo en el cambio del sistema de techo y de fachadas para este caso, de ahí en fuera, el resto de los procesos fue realmente muy parecido.

Veremos a continuación con más detalle el proceso que se sigue en el desarrollo del proyecto estructural conveniente a esta obra.

## III.1. Estructuración adecuada

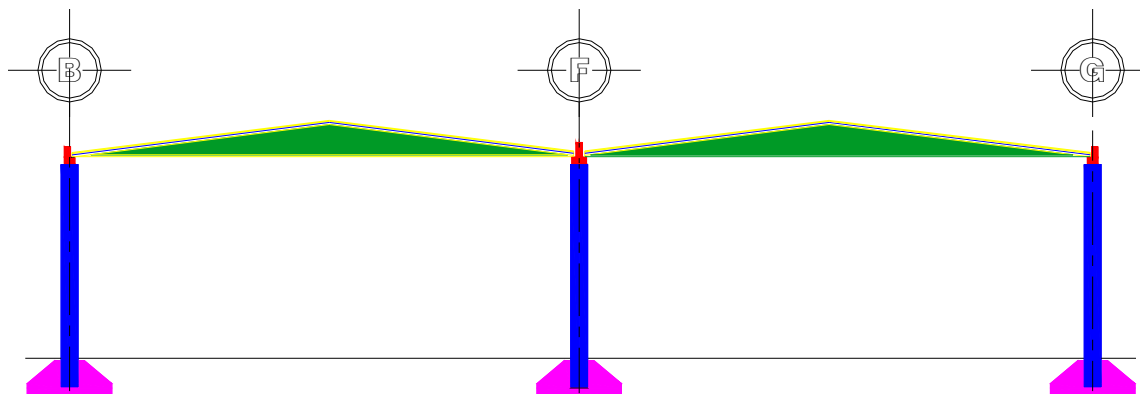
Para llegar rápidamente a una estructuración adecuada se dependen básicamente de dos factores que van de la mano; que la persona encargada de la estructuración posea la experiencia adecuada en el tipo de proyecto que se esta desarrollando y, que se tenga un vasto conocimiento en la reglamentación que existe en la zona.

La experiencia es un punto fundamental en la búsqueda de la solución estructural, pues con esta, se tiene la sensibilidad sobre el rango de valores de elementos mecánicos, las secciones, comportamientos, etc, que se presentarán o pueden presentarse en la estructura.

El conocimiento de la reglamentación es de vital importancia pues dependiendo la ubicación del predio cambian las reglas del juego y, puede darse el caso de que debido a la normatividad de la zona no sea posible llevar a cabo el proyecto en un caso extremo, u otro caso que puede presentarse, es que se exijan porcentajes altos de áreas libres, sistemas alternativos de captación de agua, cambios de uso de suelo, etc. Por lo tanto, ¿de que nos serviría tener en nuestras manos una solución arquitectónica estructural perfecta, estética y funcional, si no cumplimos con cláusulas marcadas en el reglamento que no nos permitirá llevarlo a cabo? Esto nos lleva a pensar seriamente en los dos factores que estamos tratando.

En el caso de la nave industrial ubicada en el lote 09, existieron detalles los cuales llevaron a que la estructuración tomará un camino definitivo. La solución se encaminada a que el sistema de techo fuera con traveses doble T de sección variable y que dentro de la misma se encontrara el sistema de techo incluido.

Los elementos de apoyo (traveses perimetrales y centrales) de concreto reforzado soportarían a las dobles T y transmitirían la carga a las columnas de concreto reforzado, que a su vez, enviarían todo a la cimentación (de zapatas aisladas) para realizar la descarga total al suelo. Esquema E.III.1.1.



E. III.1.1 Corte del sistema estructural idealizado.

La idea de la estructura se encontraba definida y únicamente faltaban algunos detalles por solucionar como la modulación de los ejes, la ubicación definitiva de los elementos estructurales, etc.

La definición de la geometría última de la nave no la proporcionó el análisis estructural precisamente. La normatividad nos indica que *la nave debía separarse 3.00 metros de los terrenos colindantes* y, esto fue lo que realmente concreto el dimensionamiento de los ejes de la nave y del molde doble T.

Se respetó la norma, y es por esto que en la fachada nacen 3 ejes (A, B y C) y dos de ellos (A y C) eje se separa 3.00 metros de las colindancias. La distancia entre ejes es 24.10 metros, por lo que la nave tienen un ancho total de 48.20 metros (medidas a ejes) y fachada de 49.00 metros (medidas a paños exteriores). La doble T se apoya entre trabe y trabe posee una longitud total de 23.90 metros (cubriendo ese mismo claro efectivo).

Del primer eje al último de la nave, se moduló (respetando las restricciones y) distanciando los ejes de columnas a cada 10 metros por lo que las trabes de apoyo (centrales y de extremo) con ménsulas se diseñaron para cubrir esta necesidad.

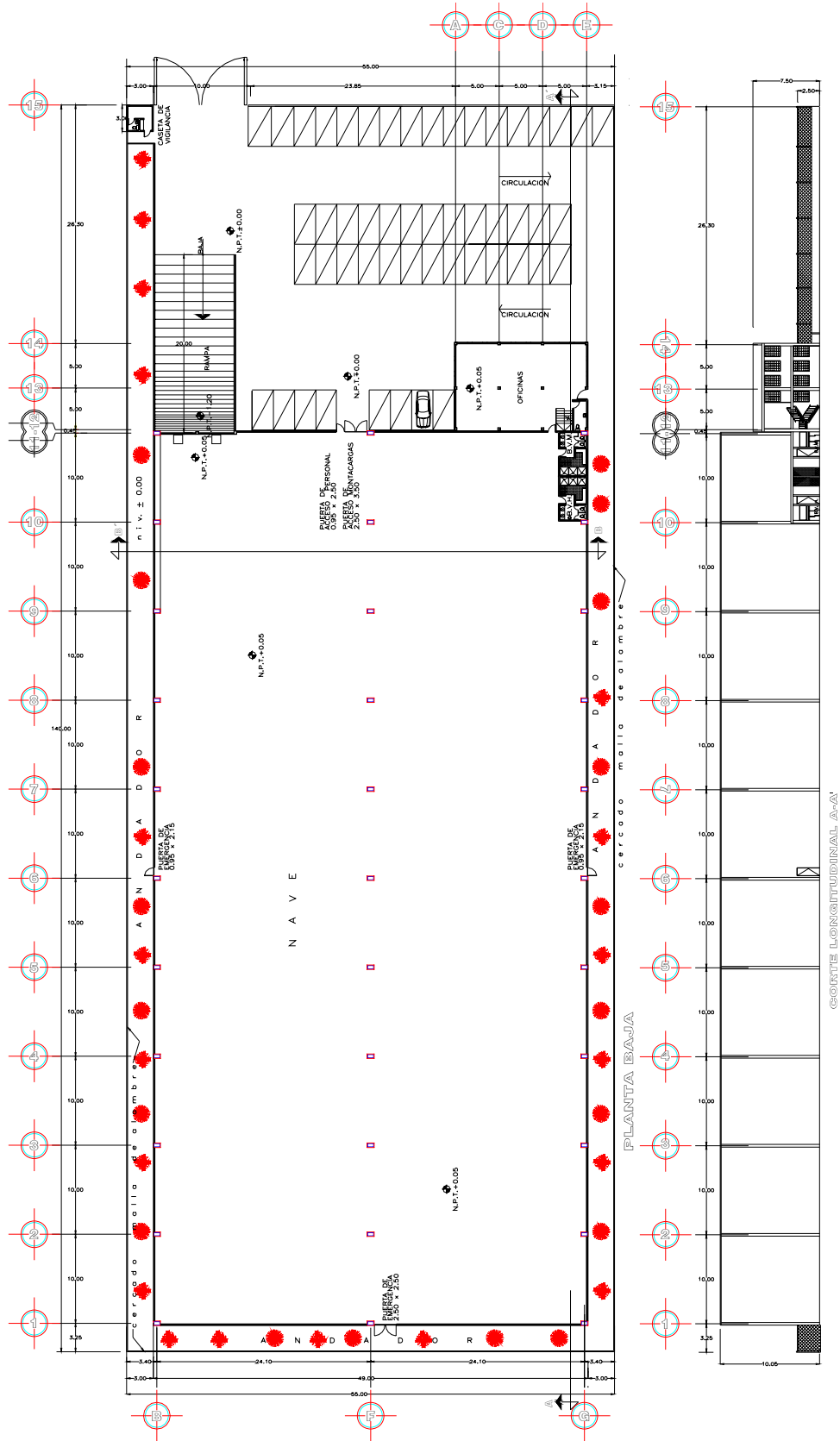
Las cargas llegan al suelo mediante zapatas aisladas unidas a candeleros (siendo una misma estructura) que aligeran la transmisión de esfuerzos al suelo gracias a la sección variable que va desde el candelero hasta la cimentación.

Los muros de fachada de concreto reforzado colados en sitio, son montados sobre un pequeño candelero perimetral que se encuentra unido a la cimentación que va de zapata a zapata en la parte inferior del muro, mientras que en la parte superior, el muro es fijado a la superestructura con soldadura de arco eléctrico utilizando electrodos de la serie E-70XX según AWS.

El sistema de piso se realizó de concreto reforzado de alta resistencia.

Dentro de la nave, se llevó a cabo la construcción de oficinas; el sistema constructivo es el tradicional a base de concreto reforzado y mampostería. Cimentación con zapatas aisladas de concreto reforzado, castillos y dalas de concreto reforzado como cuerpo de la estructura, muros divisorios y de fachadas con block de arena-cemento unidos con mortero, sistema de piso a base de concreto reforzado y sistema de techo con losas prefabricadas utilizando el sistema de vigueta y bovedilla.

Por último, la zona de estacionamiento fue colada con concreto reforzado de alta resistencia al igual que el sistema de piso, la diferencia entre uno y otro es el acabado final proporcionado, ya que en la zona de oficinas se realizó un acabado fino mientras que en la zona de estacionamiento se proporcionó un acabado totalmente rugoso.



E. III.1.2 Proyecto arquitectónico

## III.2. Determinación de cargas

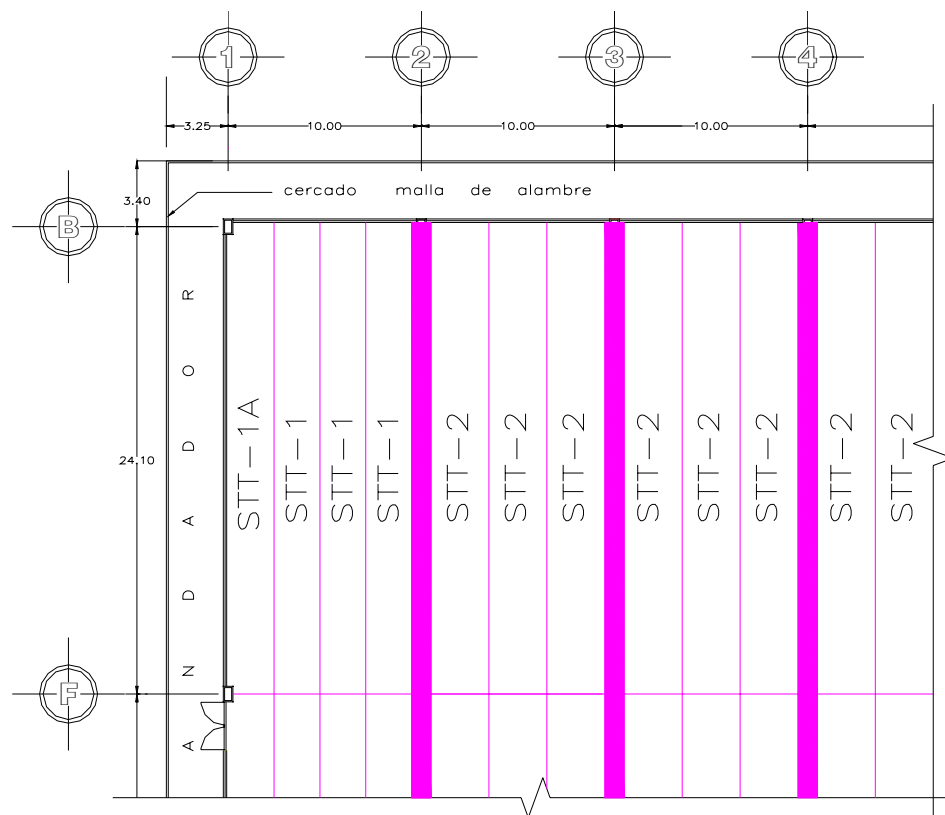
La determinación de las cargas que intervienen en el análisis y diseño estructural es uno puntos clave para obtener resultados lo más cercanos a la realidad y así, llevar a cabo un buen modelo.

La idealización de las cargas que se aplicarán a la estructura se evaluaron tomando cuenta las variables que nos marcan el RCDF y las NTC. Las variables consideradas son; las cargas gravitacionales o muertas, las cargas vivas o transitorias y las cargas accidentales.

### Cargas Muertas.

Se consideró en la evaluación, todos los pesos que intervienen en la estructura (dobles T y de los elementos de apoyo con ménsulas, instalaciones, impermeabilizantes, domos de iluminación y ventiladores, etc). Para el peso volumétrico del concreto se tomo el valor estándar de  $2.40 \text{ (t/m}^3\text{)}$ .

Cabe citar que al evaluar las cargas pertenecientes al sistema de techo, se encuentran variaciones debido a que existen 4 diferentes tipos de losas dobles T y, cada una de ellas descarga diferentes pesos. Esquema E.III.2.1.



E.III.2.1. Parte de la nave en la cual se muestran 3 diferentes tipos de STT.

La carga que posee cada una de las diferentes dobles T es la siguiente:

*Carga muerta de STT-1*

Peso propio de la estructura **275.00**  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

(doble t STT-1 con área de 2.375 x 23.90 [m<sup>2</sup>] y 15, 448.22 [kg])

Peso debido a instalaciones **10.00**  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

Impermeabilizantes y selladores **5.00**  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

---

**290.00**  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

*Carga muerta de STT-1A y 1B*

Peso propio de la estructura **265.00**  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

(doble t STT-1A-B con área de 2.505 x 23.90 [m<sup>2</sup>] y 15, 783.80 [kg])

Peso debido a instalaciones **10.00**  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

Impermeabilizantes y selladores **5.00**  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

---

**280.00**  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

*Carga muerta de STT-2*

Peso propio de la estructura **240.00**  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

(doble t STT-2 con área de 3.00 x 23.90 [m<sup>2</sup>] y 17, 061.55 [kg])

Peso debido a instalaciones **10.00**  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

Impermeabilizantes y selladores **5.00**  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

---

**255.00**  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

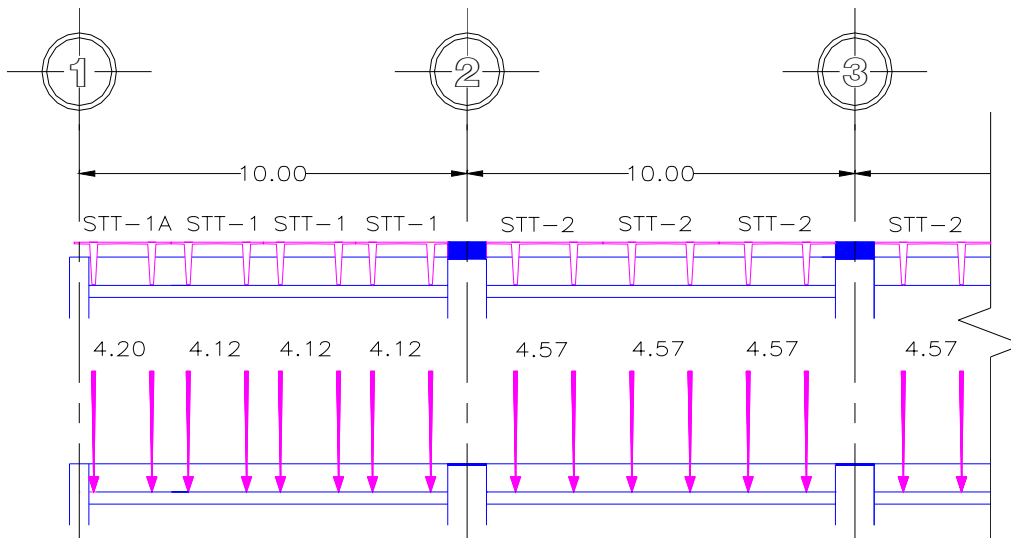


Conjuntado los valores anteriores se realiza un resumen de cargas. Tabla III.2.1.

Losa	Carga		
	Por [kg/m <sup>2</sup> ]	Total [kg]	Por nervadura [kg]
STT-1	290	16461.13	4115.28
STT-1A y 1B	280	16763.46	4190.87
STT-2	255	18283.50	4570.88

Tabla III.2.1

La configuración de las cargas dentro de la estructura se muestra en el siguiente esquema (E.III.2.2) y, más adelante se exhibe una fotografía en donde se muestra la configuración real de la estructura (Fotografía III.2.1).



E.III.2.2. Idealización de descargas de nervaduras a traveses portantes extremos.

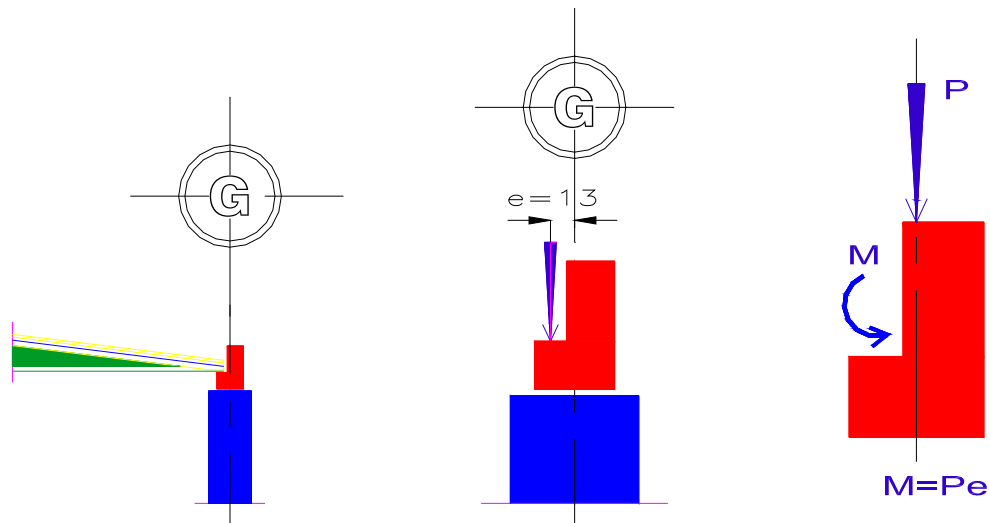


III.2.1. Configuración real de la estructura.

Dentro del sistema de cargas mostrado tenemos que comentar el siguiente punto en particular en la idealización de la estructura:

El programa con el que se realiza el análisis estructural (ETABS) considera que las columnas y traveses son líneas y, aunque son ingresados datos geométricos de estas, las líneas se unen unas con otras respecto a sus ejes centroidales. Lo mismo sucede cuando colocamos una carga en la estructura, esta dependiendo el plano de aplicación, será aplicada en el centro o eje del elemento.

Es por esto que, al realizar la transmisión de cargas de la nervadura al elemento trabe dentro del programa, la carga se coloca en el eje que guarda el elemento portante, pero esto no es lo que sucede en la realidad pues la carga que produce la nervadura a la trabe es en la zona del patín. Por lo tanto, para realizar de manera adecuada la idealización, debemos considerar un efecto local de torsión dentro de la trabe portante. Esquema E.III.2.3



**E.III.2.3 Idealización del momento local.**

Los valores de momento local se muestran en la tabla III.2.2

Losa	Carga por nervadura [kg]	Excentricidad [cm]	Momento [kg cm]
STT-1	4115.28	13	53498.66
STT-1A y 1B	4190.87	13	54481.25
STT-2	4570.88	13	59421.38

**Tabla III.2.2. Valores de momentos locales en traveses portantes extremos.**

Con lo anterior, la evaluación de las cargas muertas ha sido completada.

Cabe citar, que en la realización de este modelo no se tomó en cuenta el incremento de la carga muerta considerada en el punto 5.1.2 de las Normas

Técnicas Complementarias Sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones. Esta fracción nos indica que al peso muerto de losas de concreto habría que incrementársele 40 kg/m<sup>2</sup> debido a la colocación de capas de mortero en capa superior (colocación de pisos o rellenos de pendiente) e inferior (plafond o falso plafond para acabados estéticos) y que para este caso no aplica.

### **Cargas Vivas**

Se evaluaron con apoyo de las NTC 2004 en su capítulo “Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones”.

Se utiliza el apartado i) titulado como “Azoteas con pendiente mayor de 5%; otras cubiertas, cualquier pendiente” localizada en la tabla 6.1 “Cargas Vivas Unitarias”

W carga viva unitaria media	<b>5.00</b> $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$
W <sub>a</sub> carga viva unitaria instantánea	<b>20.00</b> $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$
W <sub>m</sub> carga viva unitaria máxima	<b>40.00</b> $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

En las tablas III.2.3 y III.2.4 observamos las cargas que se producen debido a las cargas vivas instantáneas y máximas sobre las dobles T.

<b>Carga viva unitaria instantánea</b>			
<b>Losa</b>	<b>Por [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Total [kg]</b>	<b>Por nervadura [kg]</b>
STT-1	20	1135.25	283.81
STT-1A y 1B	20	1197.39	299.35
STT-2	20	1434.00	358.50

**Tabla III.2.3. Cargas originadas debido a la carga viva unitaria instantánea.**

<b>Carga viva unitaria máxima</b>			
<b>Losa</b>	<b>Por [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Total [kg]</b>	<b>Por nervadura [kg]</b>
STT-1	40	2270.50	567.63
STT-1A y 1B	40	2394.78	598.70
STT-2	40	2868.00	717.00

**Tabla III.2.4. Cargas originadas debido a la carga viva unitaria máxima.**

Son desarrolladas únicamente cargas vivas instantáneas y máximas debido a que para las combinaciones de carga son las que se utilizan dentro del análisis.

En las tablas III.2.5 y III.2.6 se localizan evaluadas las cargas por torsión que se presentan en las traveses debido a la acción de la doble T.

<b>Losa</b>	<b>Carga por nervadura [kg]</b>	<b>Excentric [cm]</b>	<b>Momento [kg cm]</b>
STT-1	283.81	13	3689.56
STT-1A y 1B	299.35	13	3891.52
STT-2	358.50	13	4660.50

**Tabla III.2.5. Momentos locales en traveses portantes extremas debido a C.V.I.**

<b>Losa</b>	<b>Carga por nervadura [kg]</b>	<b>Excentric [cm]</b>	<b>Momento [kg cm]</b>
STT-1	567.63	13	7379.13
STT-1A y 1B	598.70	13	7783.04
STT-2	717.00	13	9321.00

**Tabla III.2.6. Momentos locales en traveses portantes extremas debido a C.V.M.**

Para el caso de la evaluación de cargas vivas caemos en un caso especial que el Reglamento de Construcciones recomienda considerar. La sugerencia se marca dentro del Reglamento con subíndice 8, textualmente dice:

*“ Además, en el fondo de los valles de techos inclinado se considerará una carga debida al granizo de 0.3 kN (30 kg) por cada metro cuadrado de proyección horizontal del techo que desagüe hacia el valle. Esta carga se considerará como una acción accidental para fines de revisión de la seguridad y se le aplicará los factores de carga correspondientes según la sección 3.4.*

Por lo tanto, las precipitaciones atmosféricas se colocarán dentro de los estados de carga accidental.

## **Cargas Accidentales**

- ***Precipitaciones pluviales.***

Se tiene conocimiento que el predio esta localizado dentro de una región (zona III) de fuertes lluvias y granizo. Es importante tomar en cuenta la participación de este tipo de eventos que la realidad nos ha mostrado que al presentarse de manera extraordinaria podría causar grandes estragos a las techumbres de las estructuras como a sus alrededores.

El peso considerado por precipitaciones 30 kg/m<sup>2</sup> de proyección horizontal del techo.

<i>Carga por precipitaciones atmosféricas de STT-1</i>	<b>30.00</b> $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$
(doble t STT-1 con área de 2.375 x 23.90 [m <sup>2</sup> ])	<b>1702.87</b> [kg]
Carga por nevadura	<b>425.72</b> [kg]
<i>Carga por precipitaciones atmosféricas de STT-1A y 1B</i>	<b>30.00</b> $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$
(doble t STT-1A-B con área de 2.505 x 23.90 [m <sup>2</sup> ])	<b>1796.08</b> [kg]
Carga por nevadura	<b>449.02</b> [kg]
<i>Carga por precipitaciones atmosféricas de STT-2</i>	<b>30.00</b> $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$
(doble t STT-2 con área de 3.00 x 23.90 [m <sup>2</sup> ])	<b>2151.00</b> [kg]
Carga por nevadura	<b>537.75</b> [kg]

En las tablas III.2.7 y III.2.8 se muestran los valores de carga y momento en trabes portantes originado por las precipitaciones atmosféricas

<b>Cargas por precipitaciones atmosféricas</b>			
<b>Losa</b>	<b>Por [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Total [kg]</b>	<b>Por nevadura [kg]</b>
STT-1	30	1702.88	425.72
STT-1A y 1B	30	1796.09	449.02
STT-2	30	2151.00	537.75

**Tabla III.2.7. Cargas originadas por precipitaciones atmosféricas.**

<b>Losa</b>	<b>Carga por nevadura [kg]</b>	<b>Excentric [cm]</b>	<b>Momento [kg cm]</b>
STT-1	425.72	13	5534.34
STT-1A y 1B	449.02	13	5837.28
STT-2	537.75	13	6990.75

**Tabla III.2.8. Valores de momentos locales en trabes portantes.**

▪ **Viento.**

En la evaluación de las cargas por viento, el RCDF 2004 nos indica que estructuras de este tipo deberán diseñarse como un campo abierto que es el caso más desfavorable para el diseño por viento. Al ser una nave localizada dentro de un parque industrial, se tienen que analizar las construcciones de los terrenos colindantes que para este caso son naves y campos abiertos.

Las normas de viento las cuales nos indican los siguientes valores de diseño.

**La estructura es de tipo 1 lo cual significa que se encuentra comprendida como poco sensible a las ráfagas y a los efectos dinámicos de viento. Incluye las construcciones cerradas techadas con sistemas de cubierta rígidos; es decir, que sean capaces de resistir las cargas debidas a viento sin que varíe esencialmente su geometría. Se excluyen las construcciones en que la relación entre altura y dimensión menos en planta es mayor que 5 o cuyo periodo natural de vibración excede de 1 segundo. Se excluyen también las cubiertas flexibles, como las de tipo colgante, a meno que por la adopción de una geometría adecuada, la aplicación de presfuerzo u otra medida, se logre limitar la respuesta estructural dinámica.**

Por lo tanto 
$$\frac{h}{b} = \frac{h_{\text{columnas}} + h_{\text{patín}} + h_{\text{doble t}}}{b_{\text{dimensión menor en planta}}} = \frac{8.80 + 0.30 + 1.05}{48.20} = 0.21$$

$$\frac{h}{b} = 0.21 < 5, \quad \text{Por lo tanto pertenece es una estructura tipo 1.}$$

El Reglamento nos indica que la estructura al encontrarse como tipo 1, deberá diseñarse y analizarse tomando en cuenta los efectos estáticos del viento.

Las expresiones matemáticas y variables que deben tomarse en cuenta para el diseño por viento son las mostradas a continuación.

Determinación de la velocidad de diseño  $V_D$ .

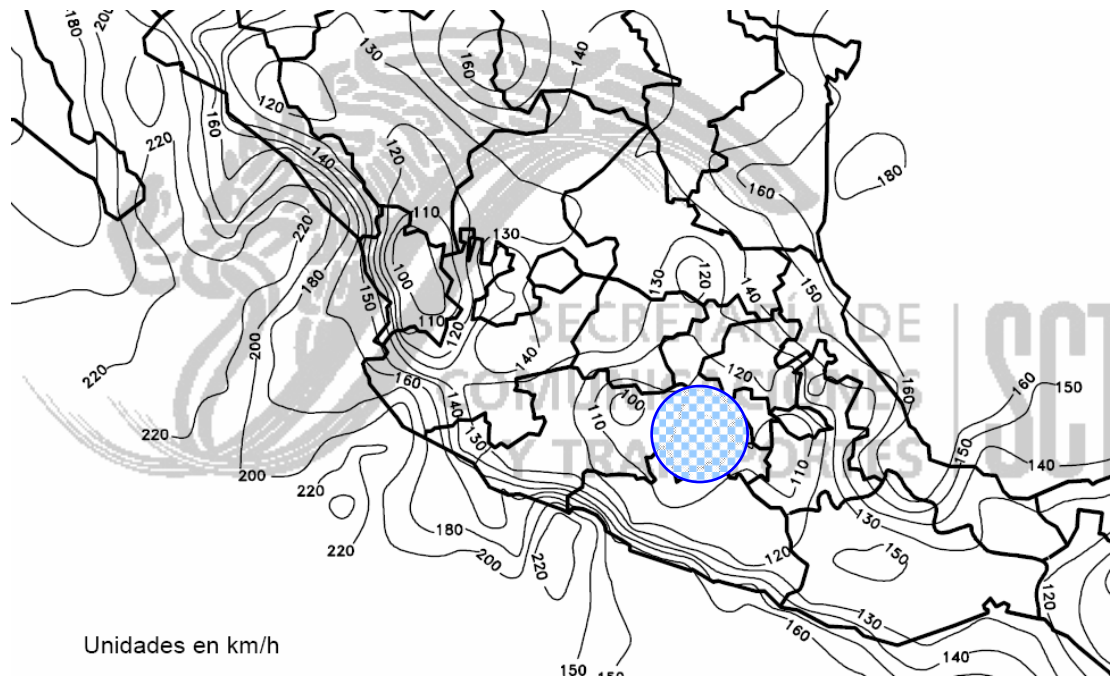
$$V_D = F_{TR} F_{\alpha} V_R$$

$V_D$  Velocidad de diseño

$F_{TR}$  factor correctivo que toma en cuenta las condiciones locales relativas a la topografía y a la rugosidad del terreno en los alrededores del sitio de desplante;  $F_{TR} = 1.00$

$F_{\alpha}$  factor correctivo que toma en cuenta la variación de la velocidad con la altura;  $F_{\alpha} = 1.00$ .

$V_R$  Velocidad regional según la zona que le corresponde al sitio en donde se construirá la estructura. Tomando como apoyo de las normas de viento N-PRY-CAR-6-01-004/01 (Esquema E.III.2.4.) de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.), la cual muestra las velocidades regionales del viento para estructuras tipo B, con un periodo de retorno de 5 años. Los valores observados son entre 100 y 110 km/h, por lo cual tomaremos el valor más desfavorable para el diseño.



E.III.2.4. Distribución de velocidades del viento a nivel nacional.

### Determinación de la presión de diseño, $p_z$ .

$$p_z = 0.048 C_p V_D^2$$

$p_z$  Presión de diseño

$C_p$  Coeficiente local de presión, que depende de la forma de la estructura.

La presión de de diseño esta dada por;

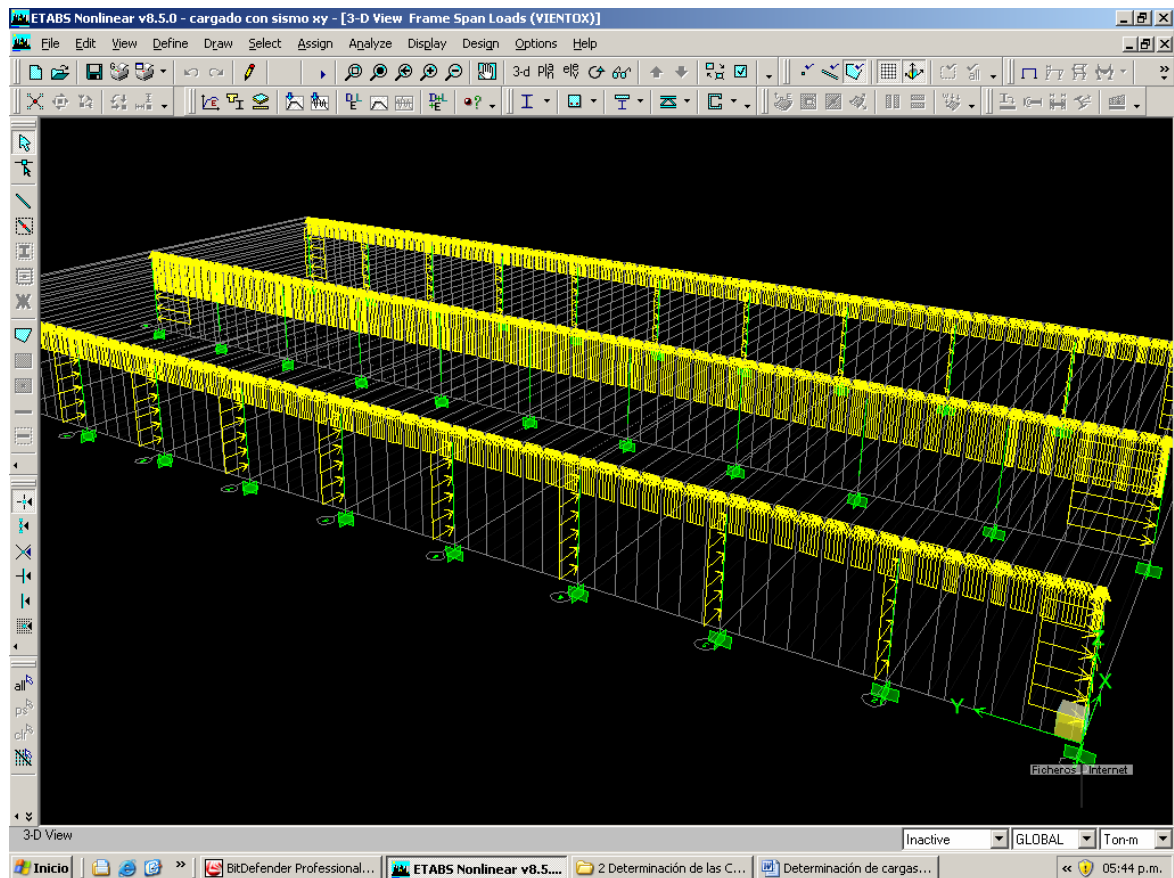
$$p_z = 0.048 C_p V_D^2 = 0.048 C_p (30.56)^2 \qquad p_z = 44.81 C_p$$

El coeficiente  $C_p$  se evalúa dependiendo las paredes de presión del viento y la dirección principal en la que pega el Barlovento.

Si el barlovento pega en la estructura siguiendo el eje Y, se tienen los siguientes coeficientes:

Superficie	$C_p$
Pared de Barlovento	0.80
Pared de sotavento	-0.40
Paredes laterales	-0.80
Techos planos	-0.80

En la fotografía III.2.2 se observan claramente el estado de carga de viento originado tomando al eje X como base del sistema.



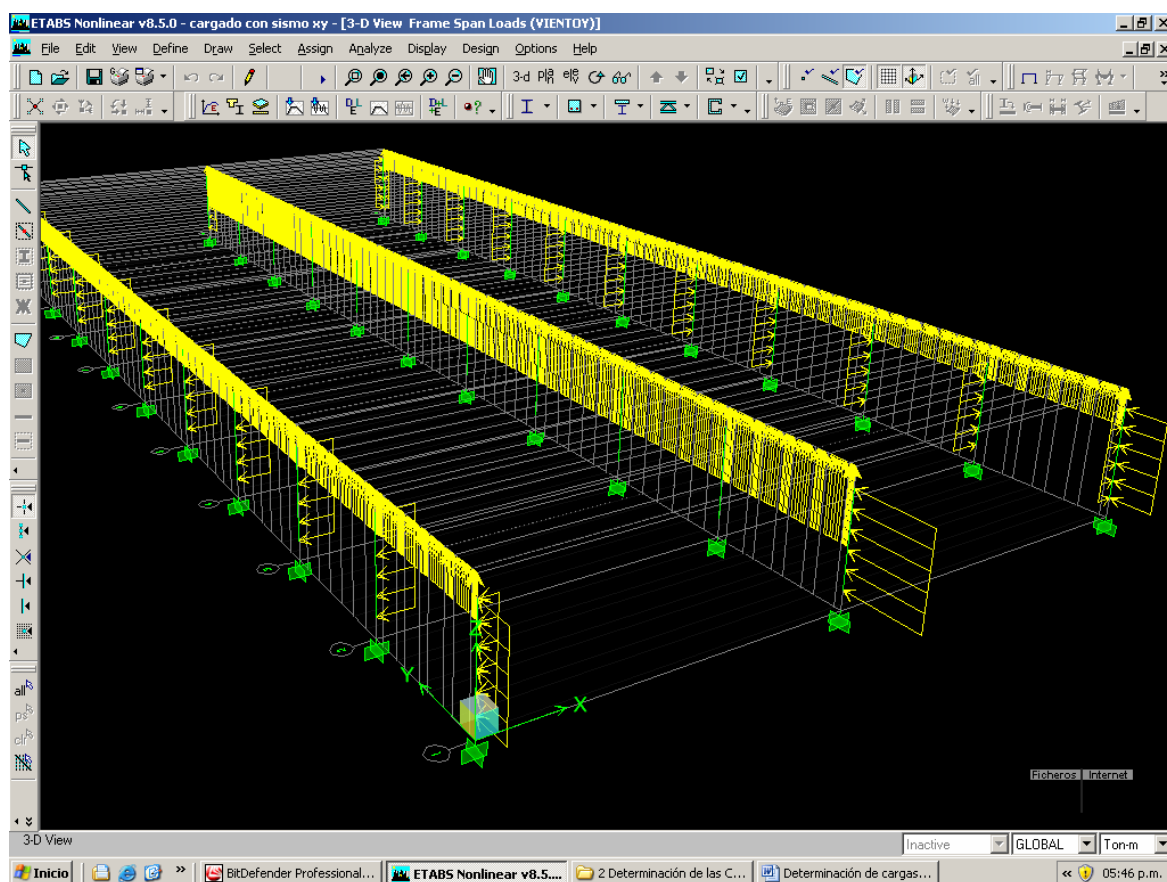
**III.2.2. Carga de viento cuando el barlovento es sobre el eje X (se observa el empuje en la dirección principal y la succión en las demás direcciones; caras extremas, cara posterior y cara superior).**



Si el barlovento pega en la estructura siguiendo el eje Y, se tienen los siguientes coeficientes:

Superficie	$C_p$
Pared de Barlovento	0.80
Pared de sotavento	-0.40
Paredes laterales	-0.80
Techos inclinados	-0.70
Techos planos	-0.80

En la fotografía III.2.3 se observan las cargas debidas al viento actuando en la estructura cuando en el análisis el barlovento actúa sobre el eje Y.



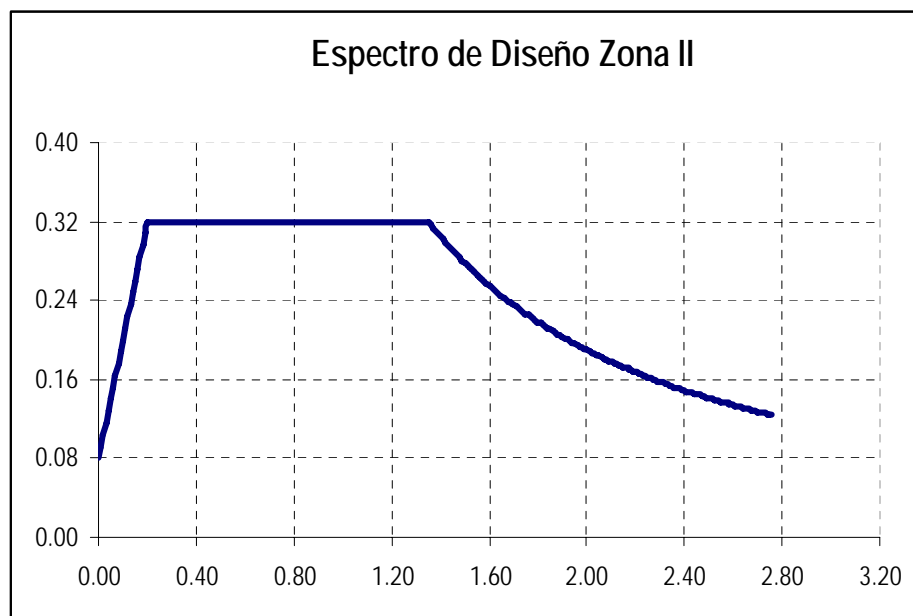
**III.2.3. Carga de viento cuando el barlovento es sobre el eje Y (se observa el empuje en la dirección principal y la succión en las demás direcciones; caras extremas, cara posterior y cara superior).**

Con lo anterior, el análisis por viento ha quedado cubierto y pasamos al último de los estados por analizar; el sismo.

▪ **Sismo.**

Los eventos sísmicos son mucho menos ocasionales que los provocados por viento. Aun así, debido a los daños observados por los efectos dinámicos se le da un peso superior al análisis sísmico aunque sus recurrencias sean menores. Según el Reglamento de Construcciones de Distrito Federal 2004 y dadas las características que se encuentran en la zona aportadas por el estudio de mecánica de suelos, debe considerarse para el diseño una zona II (***Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que esta constituida predominantemente por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros***), utilizando un coeficiente sísmico de 0.32. La estructura es considerada dentro del grupo B.

Por lo tanto el espectro de diseño que será utilizado para evaluar el sismo es el mostrado gráficamente en Esquema E.III.2.5. (zona II, valores ubicados dentro de la tabla 3.1 de la NTC para Diseño por Sismo 2004), formado por los siguientes parámetros;  $c = 0.32$ ,  $a_0 = 0.08$ ,  $T_a = 0.20$ ,  $T_b = 1.35$  y  $r = 1.33$ .



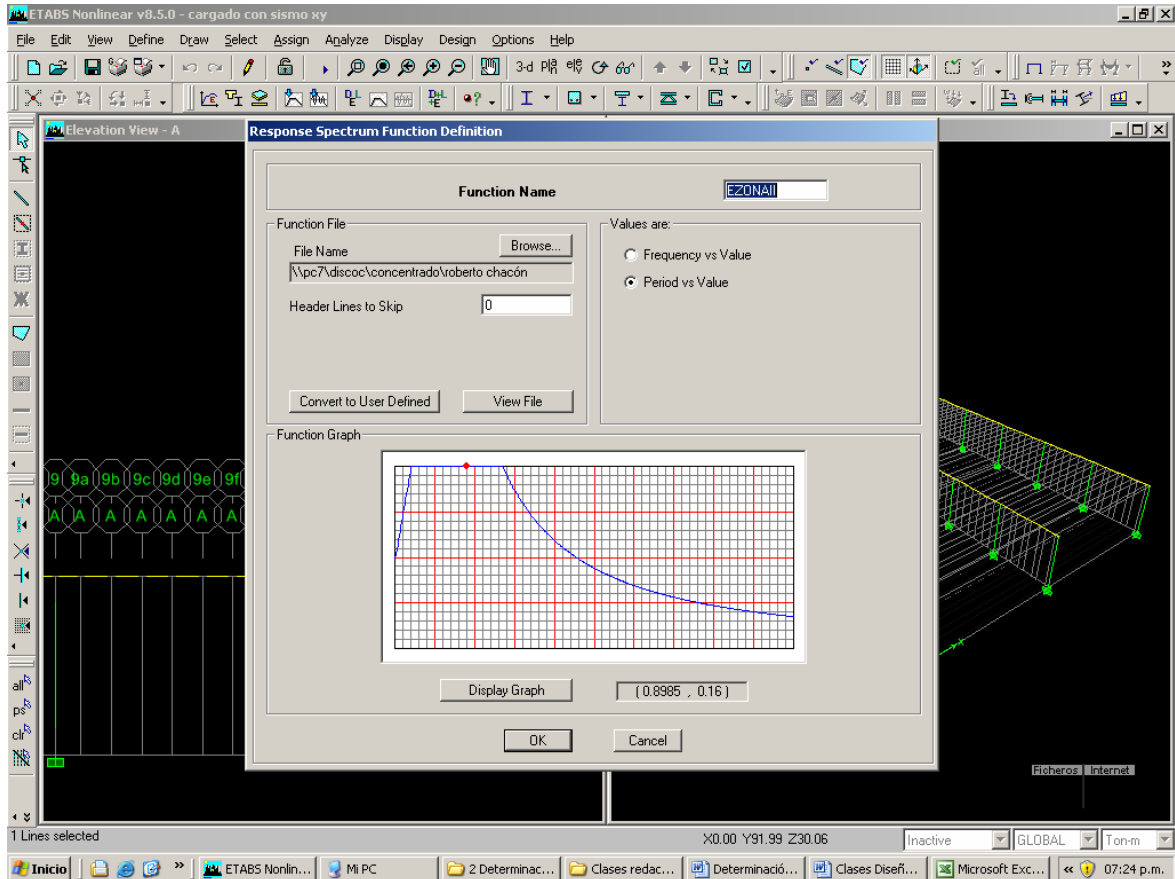
E.III.2.5. Espectro de diseño de la zona II.

Para completar el diseño sísmico, es necesario involucrar el factor de reducción sísmica ( $Q$ ). Este depende del tipo de estructura la cual se este diseñando. Para este caso es una estructura con  $Q=2$ .

La reducción sísmica se realiza dependiendo la zona en la que te localices dentro del espectro y del periodo natural de vibración del modo que se este considerando.

- 1)  $Q' = Q;$  si se desconoce T, o sí  $T \geq T_a$
- 2)  $Q' = 1 + \frac{T}{T_a}(Q - 1);$  si  $T < T_a$

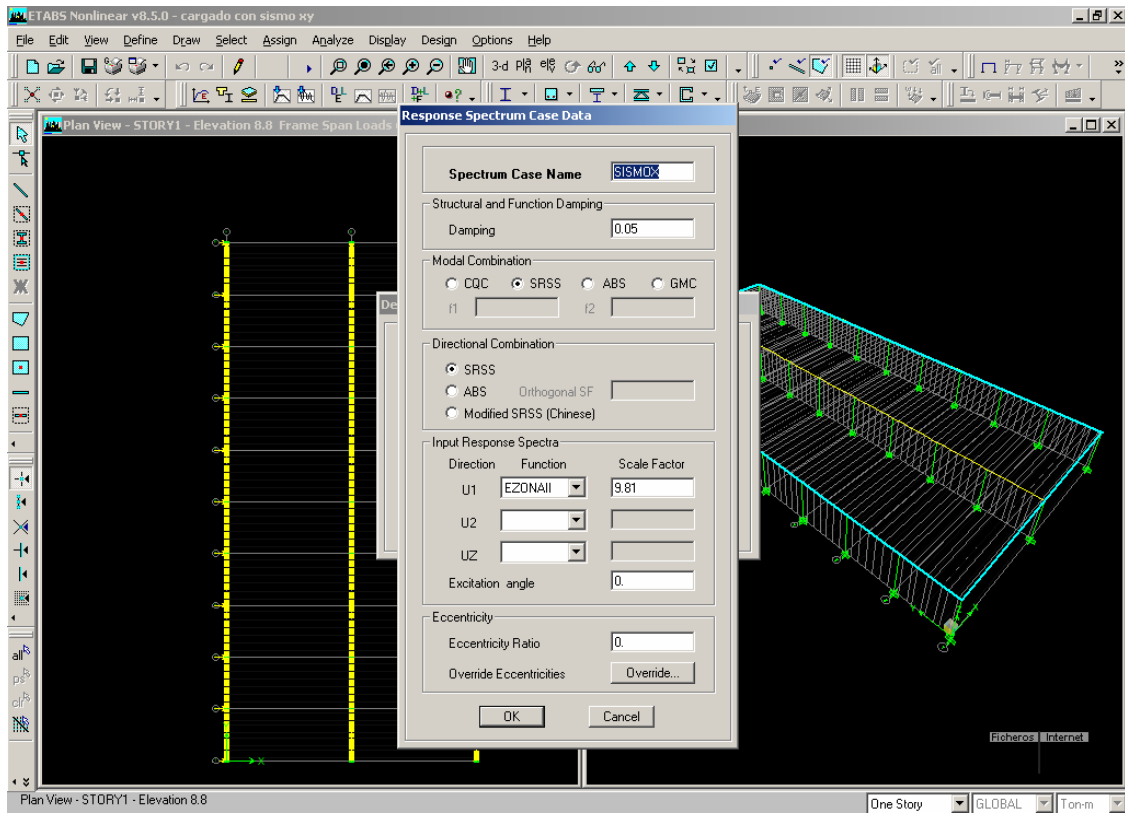
En el esquema E.III.2.6 se muestra el espectro de diseño ya reducido por el factor de reducción sísmica.



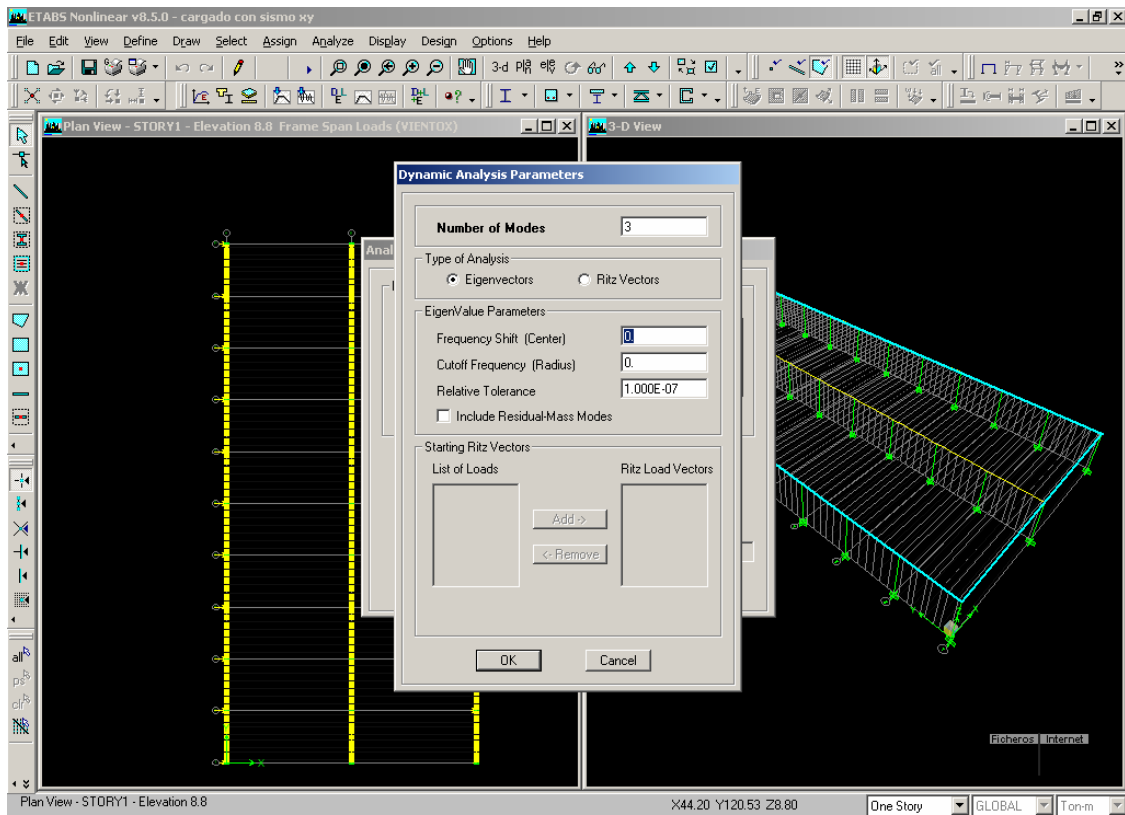
E.III.2.6. Espectro de diseño reducido por el factor de reducción sísmica

Para realizar un análisis dinámico modal dentro del programa de cómputo, únicamente debemos ingresar los datos precisos al programa. Se ingresa el espectro, el tipo de análisis, las direcciones donde se aplicará el espectro, los modos de vibrar, los tipos de pesos y masas que intervienen. Esquemas III.2.7 y III.2.8.

Tenemos ahora los estados de carga (con sus cargas) que intervendrán para la realización del análisis. Los resultados obtenidos del análisis estructural, nos llevarán al diseño estructural, en cual se revisará la estructura para que pueda soportar las acciones provocadas por las combinaciones de carga. En los siguientes subtemas se tocará el análisis y diseño estructural.



E.III.2.7. Direcciones en las que actúa el espectro.



E.III.2.8. Modos de vibrar indicados para la estructura.

### III.3. Análisis Estructural.

El análisis estructural es el proceso en el cual una estructura definida (no necesariamente definitiva) es sometida a la aplicación de cargas pudiendo en el procedimiento del análisis conocer el comportamiento y los efectos que causan dichas cargas a la estructura. Los elementos mecánicos provocados (efectos) serán diseñados aportando a la estructura resistencia adecuada para soportar los esfuerzos a los que esta o estará sometida.

Existen varios métodos para realizar el análisis estructural;

- Método de rigideces.
- Método de las flexibilidades.
- Método de Cross.
- **Programas computacionales, etc.**

El uso de programas de cómputo es simplemente el perfeccionamiento de alguno de los métodos de análisis tradicionales combinándolos con artificios matemáticos, electrónicos, tecnológicos y métodos numéricos, que hacen mucho más eficientes y precisos los procesos de análisis. El amplio y constante desarrollo de la tecnología ha hecho posible analizar con precisión modelos estructurales cada vez más complejos. Con esto se aprovecha la capacidad de las computadoras optimizando tiempo, esfuerzo y dinero de manera considerable. También, se han logrado evitar cálculos complicados y largos procedimientos (hechos a mano) los cuales con la nueva tecnología se reduce a segundos.

Es importante mencionar que los métodos utilizados para el análisis estructural se encuentran ubicados dentro de un rango elástico lineal.

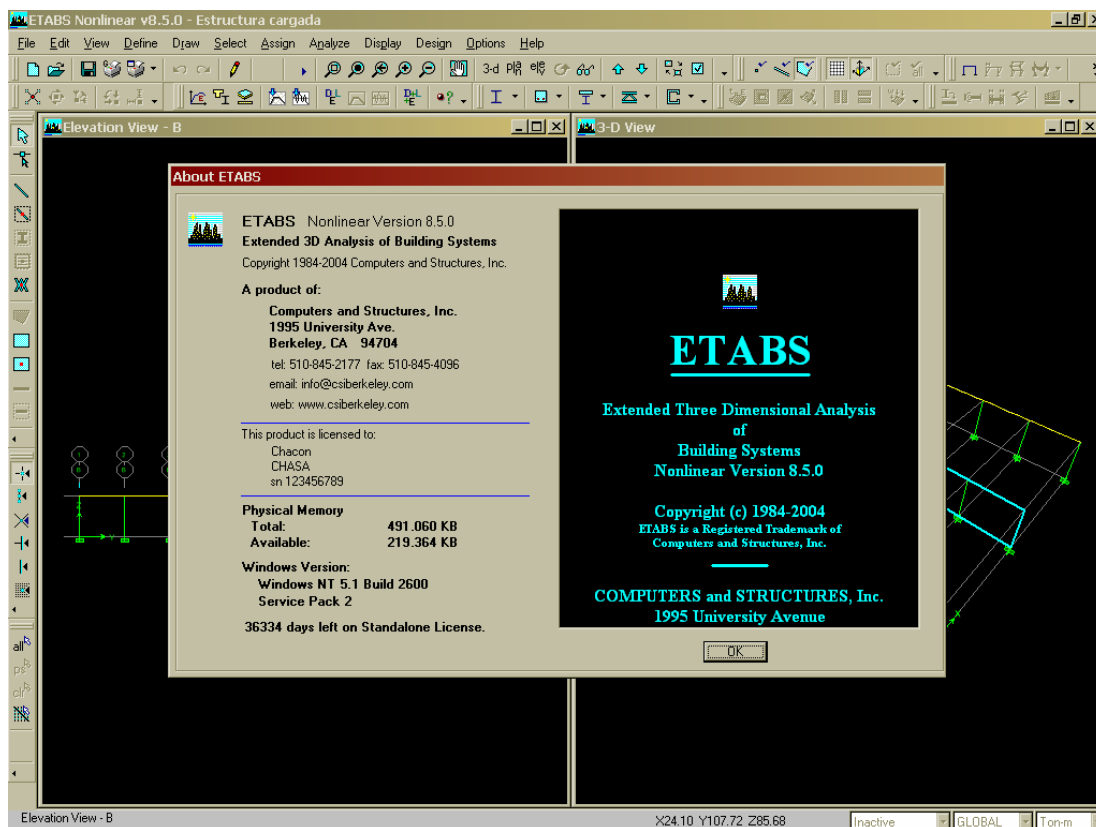
Para dar forma al modelo tridimensional de la nave industrial es necesario proponer secciones para realizar el primer análisis (primera corrida) y así de este análisis inicial obtener elementos mecánicos que actúan en la estructura para de manera posterior llegar a la fase de diseño o realizar otra revisión cambiando las propiedades de los materiales, secciones, etc.

Teniendo definida la estructura (con modulación de ejes, secciones y las cargas que intervendrán en el diseño), se realiza el modelo matemático que simulará a la estructura en un programa cálculo para su análisis.

La ventaja que tuvo esta nave en los procesos de análisis y diseño estructural es que, al ser esta la tercera nave (de ocho) que se construía, algunos de los procesos se encontraban garantizados y seguros. Es cierto que se arriesgo al buscar el cambio en los sistemas de techo, pero, esta fue la única modificación estructural significativa realizada al proyecto, por tanto todos los procedimientos fueron los mismos que en las naves anteriores y de aquí, que no se realizaran ya muchos procesos iterativos para llegar a las secciones definitivas.

## ETABS Nonlinear Version 8.5.0. Extended 3D Analisis of Buildings Systems (E.III.3.1.)

*El análisis y diseño estructural se realiza con ayuda de un programa especializado en el área; ETABS 8.5.0. Se pueden modelar edificios con diafragmas rígidos o sin ellos. Al ser el modelo tridimensional, cada nudo tiene seis grados de libertad, que pueden ser los seis independientes o tres independientes y tres dependientes, según estén ligados o no a un diafragma rígido. Los diafragmas rígidos son definidos al emplear tableros. Todos los tableros que tienen al menos un nudo en común, forman un diafragma rígido. Los nudos que están en el diafragma tienen tres grados de libertad independientes (desplazamiento vertical y rotaciones alrededor de los ejes horizontales) y tres dependientes desplazamientos horizontales y rotación alrededor del eje vertical). Los desplazamientos en las libertades dependientes son valuados por ETABS 8.5.0 en función de los desplazamientos del nudo maestro del diafragma. El nudo maestro de cada diafragma es establecido automáticamente por ETABS 8.5.0, haciendo las transformaciones apropiadas en las matrices de rigidez de los elementos. Los nudos que no están ligados a un diafragma, tienen sus seis grados de libertad independientes. ETABS 8.5.0 no tiene límites preestablecidos en cuanto a cantidad de nudos, miembros, etc. El límite se establece desde un punto de vista práctico en cuanto a la dimensión del modelo que pueda ser manejado.*



**E.III.3.1. Presentación del programa de computo ETABS.**

**TABLEROS** Los tableros en ETABS 8.5.0 cumplen dos funciones principales. La primera es permitir al usuario definir diafragmas rígidos. La segunda es permitir cargar los miembros en el borde según sus áreas tributarias. Los tableros que tienen tres o cuatro lados, ETABS 8.5.0 los considera “cargables”. Es decir que puede cargar las trabes que lo limitan, en función de la carga sobre el tablero. Cada lado puede estar constituido por varios miembros con la condición de que sean colineales. El área tributaria de cada lado lo determina ubicando las líneas que bisectan cada esquina y determinando sus puntos de cruce.

**MATRICES DE RIGIDEZ DE BARRAS** Las matrices de rigidez de las barras las genera ETABS 8.5.0 teniendo en cuenta la zona infinitamente rígida de los extremos, según el factor de zona rígida definido por el usuario. Las matrices incluyen las deformaciones por cortante. Las matrices son calculadas al momento de ser requeridas y se almacenan en memoria principal.

**MATRICES DE RIGIDEZ DE PANELES** Según los grados de libertad asignados a los nudos de cada panel ETABS 8.5.0 genera su matriz de rigidez. En todos los casos la matriz de rigidez la obtiene por integración numérica (Bathe, Wilson 1976). Para el elemento con dos grados de libertad por nudo, emplea el elemento cuadrilátero isoparamétrico en esfuerzos planos descrito en la referencia citada. Para el elemento con tres grados de libertad por nudo, emplea un elemento que tiene rigidez en las direcciones 1-2 de su plano además de la rigidez al giro alrededor de la dirección 3 (Ibrahimbegovic y col. 1990). Para el elemento con seis grados de libertad por nudo, emplea un elemento generado utilizando el de tres grados de libertad por nudo y el elemento de placas en flexión (Zienkiewicz 1971).

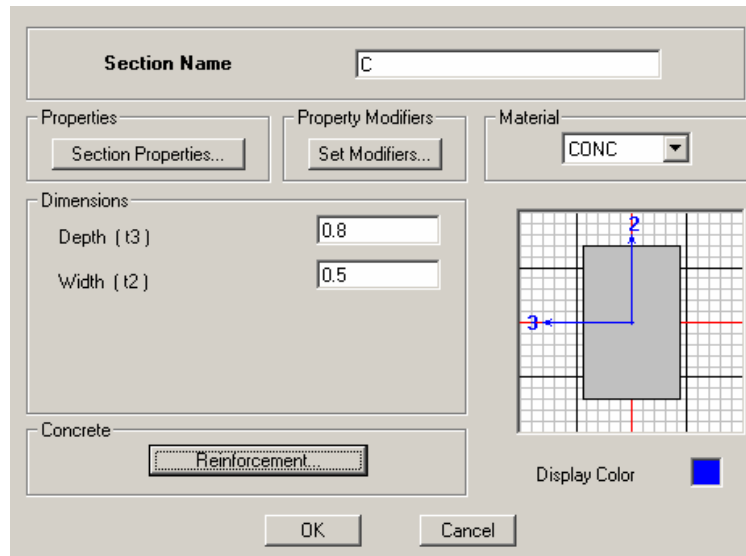
**MASAS** Para los valores de la matriz diagonal de masas ETABS 8.5.0 sigue el siguiente procedimiento: 1) Crea los vectores de carga que aparecen en la combinación para masas especificada por el usuario y los combina. 2) Del vector de cargas obtenido toma los valores que corresponden a desplazamiento en dirección Z. Estos valores, divididos entre la gravedad, los considera como la masa adherida al nudo correspondiente. 3) Obtiene la masa total y en centro de masas de los nudos que pertenecen al mismo diafragma. La masa así obtenida, la asigna a la masa traslacional en dirección X y dirección Y para el diafragma. 4) La masa rotacional la obtiene calculando el momento polar de inercia del diafragma y considerando la masa traslacional uniformemente repartida sobre el diafragma. 5) Los nudos que no pertenecen a un diafragma los considera solo con masa trasnacional adherida, sin masa rotacional.

**ANÁLISIS** El procedimiento de análisis empleado es el método matricial de rigideces. De la matriz de rigidez de la estructura se almacena en memoria sólo el perfil de la misma. Para la solución del sistema de ecuaciones se emplea el método de Gauss adaptado para trabajar la matriz perfilada. Si no hay suficiente memoria sigue un procedimiento de solución por bloques.

## Secciones y materiales

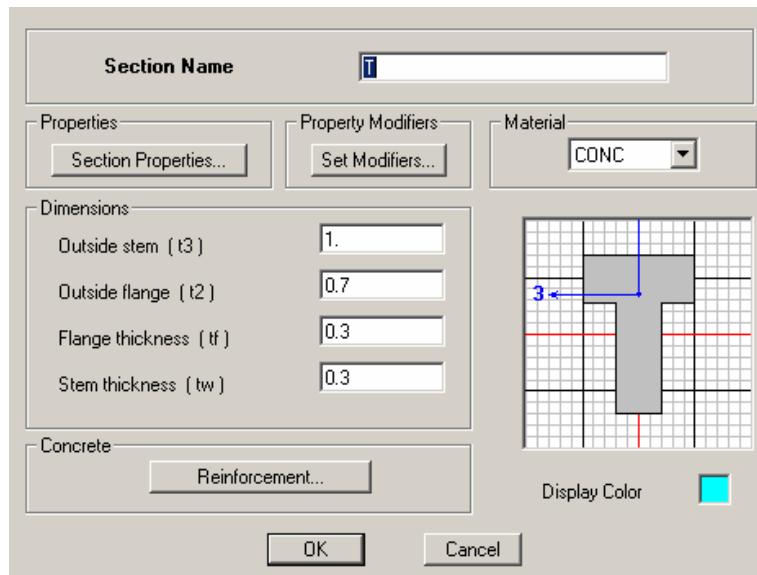
Para ingresar el modelo en el programa se determinan las primeras secciones. Estas se proponen en base a la experiencia u observación de proyectos similares.

Columnas de concreto reforzado de 10.50 metros de altura, módulo de elasticidad de  $2'078,460 \text{ (t/m}^2\text{)}$ , resistencia de  $300 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$  y dimensiones  $b=0.50$  y  $h=0.80$  metros. Esquema III.3.2.



E.III.3.2. Geometría de columnas en el modelo para ETABS.

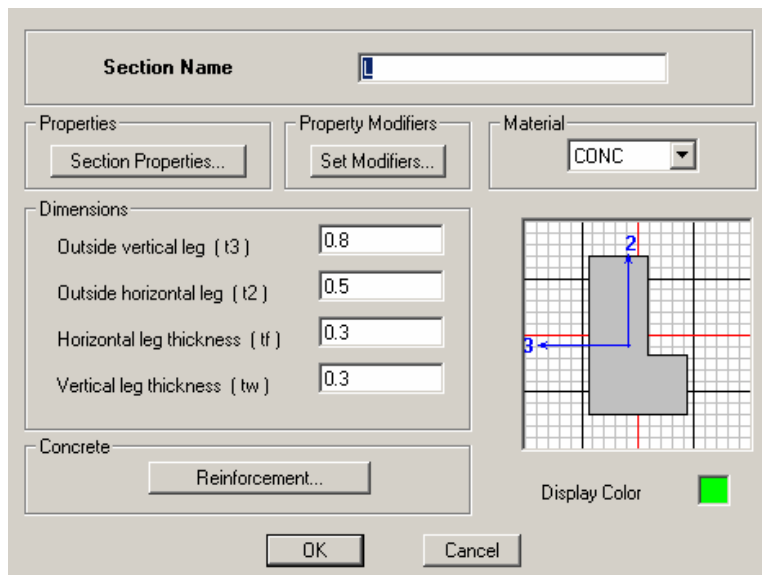
Trabes de apoyo centrales con ménsulas de concreto reforzado de 10 metros de largo, módulo de elasticidad  $2'078,460 \text{ (t/m}^2\text{)}$ , resistencia de  $300 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$  y dimensiones de 0.70 metros de ancho y peralte 1.00 metro. El espesor de la pieza es también de 0.30 metros. Esquema III.3.3.



E.III.3.3. Geometría de trabe portante central en el modelo para ETABS.



Trabes de apoyo perimetrales con ménsulas de concreto reforzado de 10 metros de largo, módulo de elasticidad 2'078,460 (t/m<sup>2</sup>), resistencia 300 (kg/cm<sup>2</sup>) y dimensiones de 0.50 metros de ancho y 0.30 de espesor, teniendo un peralte de 0.80 metros. Esquema III.3.4.



**E.III.3.4. Geometría de trabe de lindero en el modelo para ETABS.**

Dobles T con espesor de losa de 5 centímetros y nervaduras que varían en peralte de 0.27 a 1.05 metros, ancho de 2.375 metros y largo de 23.90 metros, en concreto presforzado, módulo de elasticidad de 2'244,994 (t/m<sup>2</sup>), resistencia del concreto de 350 (kg/cm<sup>2</sup>).

## Idealización del Modelo

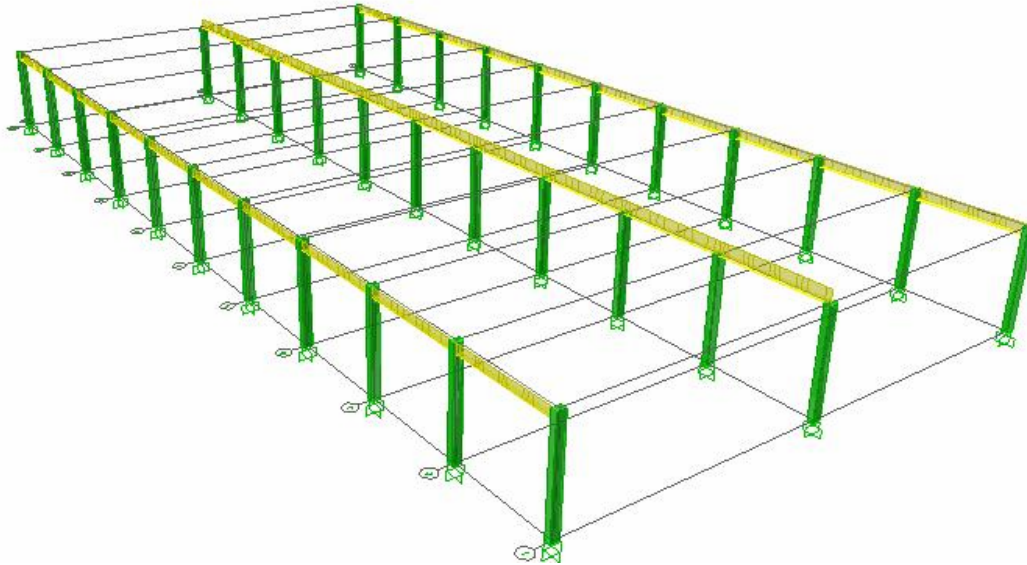
Con ayuda de los diseños de las naves anteriores llegamos de manera muy sencilla a la idealización de la estructura. Por lo tanto el modelo fue ingresado al *ETABS 8.5.0* de manera tridimensional para su análisis.

Se realiza un análisis tridimensional no tomando en cuenta un diafragma rígido pues este no existe. Lo que encontramos es un diafragma (semirígido) formado entre las dobles T y las trabes tipo ménsula.

Es realizado el modelo en ETABS quedando el esqueleto de la estructura como se muestra en el esquema E.III.3.5.

La estructura también pudiera ser revisada a mano tomando en cuenta que el diseño es en el plano bajo los siguientes casos:

- Columna única empotrada.
- Serie de 10 marcos continuos empotrados.



E.III.3.5 Modelo de la estructura en ETABS.

Estando lista la estructura, esta será cargada con cada uno de los estados de carga indicados en III.2. Determinación de cargas.

Cargado el sistema se realizan las siguientes 12 combinaciones de carga las cuales van afectadas por los factores que indican las N.T.C. sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones en el subtema 2.3 Combinación de las acciones. Las combinaciones se muestran en la tabla III.3.1.

Comb	Estados de carga con factor			
1	1.4 CM	1.4 CV1		
2	1.1 CM	1.1 CV1	1.1 SX	0.33 SY
3	1.1 CM	1.1 CV1	1.1 SX	-0.33 SY
4	1.1 CM	1.1 CV1	-1.1 SX	0.33 SY
5	1.1 CM	1.1 CV1	-1.1 SX	-0.33 SY
6	1.1 CM	1.1 CV1	0.33 SX	1.1 SY
7	1.1 CM	1.1 CV1	0.33 SX	-1.1 SY
8	1.1 CM	1.1 CV1	-0.33 SX	1.1 SY
9	1.1 CM	1.1 CV1	-0.33 SX	-1.1 SY
10	1.1 CM	1.1 CV1	1.1 VX	
11	1.1 CM	1.1 CV1		1.1 VY
12	Envolvente			

Tabla III.3.1

Siendo:

CM.- Peso propio de los elementos.

CV1.- Carga viva máxima.

CV2.- Carga viva instantánea.

SX.- Sismo en X.

SY.- Sismo en Y.

VX.- Viento en X.

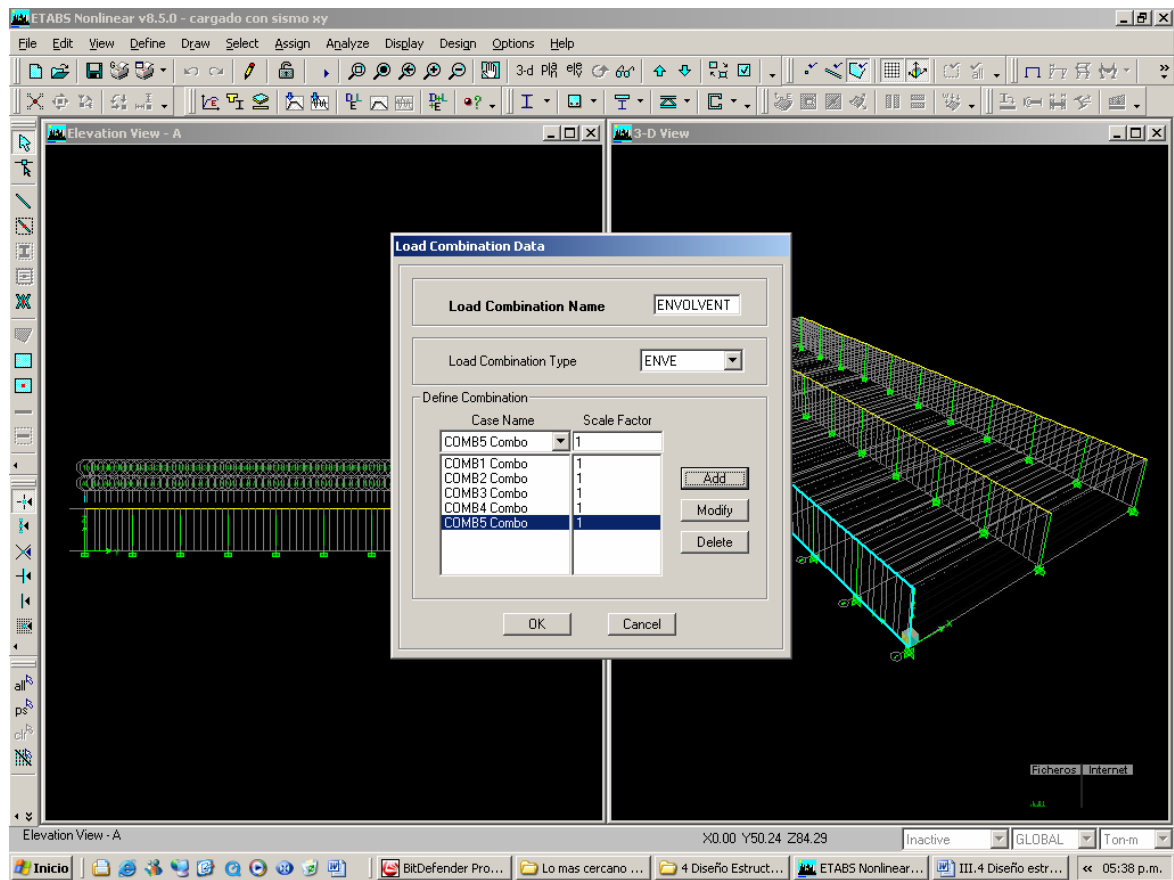
VY.- Viento en Y.

## III.4. Diseño Estructural.

El diseño estructural es un proceso que se aplica paralelamente al análisis ya que ambos son sistemas de tipo iterativo. Dependiendo de los resultados que el análisis nos proporcione realizaremos el diseño del refuerzo de los elementos estructurales.

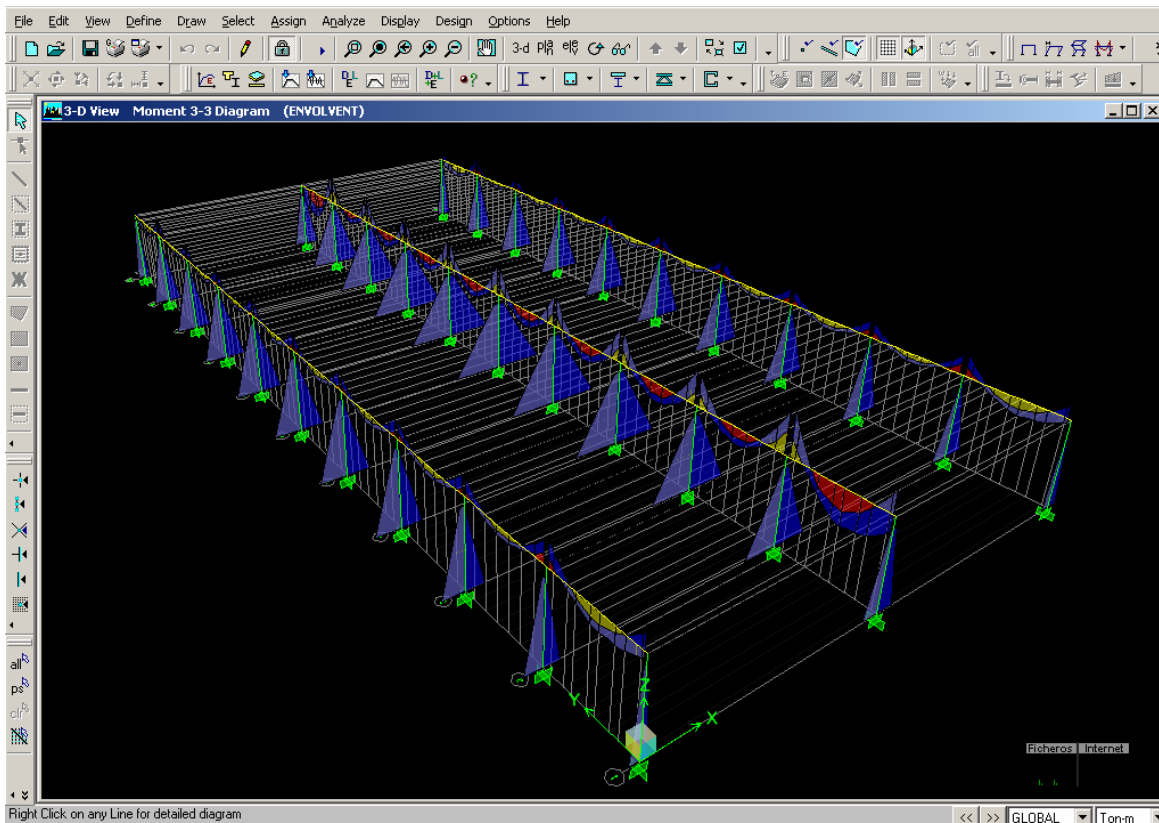
Es posible que los primeros resultados arrojados del análisis se encuentren fuera de rango real, de ser así, tendríamos que modificar la geometría de las secciones y tal vez los materiales de construcción y, en un caso extremo, un nuevo planteamiento del modelo. Esto llevaría a realizar otro análisis con la nueva estructuración. Este proceso se repetirá hasta llegar a la estructuración definitiva.

El diseño estructural de la nave se realizó tomando los elementos mecánicos más desfavorables en el arreglo resultado de la envolvente de todos los elementos provocados por las 11 combinaciones de carga, o sea, los valores máximos de todas las combinaciones especificadas. Esquema E.III.4.1.



E.III.4.1. Cargando envolvente en super ETABS.

La envolvente pues nos proporciona los elementos mecánicos mas desfavorables debido a las combinaciones de carga. Esquema E.III.4.2.



**E.III.4.2. Envolvente de los diagramas de momentos.**

Se realizaron 2 corridas diferentes utilizando en estas las combinaciones (11) mostradas en el tema anterior. De aquí se desprenden los elementos mecánicos que nos llevaran al diseño adecuado de la nave.

Haciendo la revisión de los resultados, *la carga axial* más desfavorable se presenta siempre en la primera combinación (de cargas verticales), aunque esta no posee gran desequilibrio en los momentos actuantes.

En cuanto a las aportaciones de momentos, se encuentra que la combinación del sismo en dirección X es la que aporta los elementos mecánicos más elevados. Por lo tanto, la que rige el diseño estructural.

El diseño de los elementos de concreto reforzado y presforzado; zapata, columna, trabe, losa, muro, y doble T se realizaron siguiendo el R.C.D.F. y su N.T.C. para diseño y construcción de estructuras de concreto, cumpliendo así con los parámetros de servicio y resistencia.

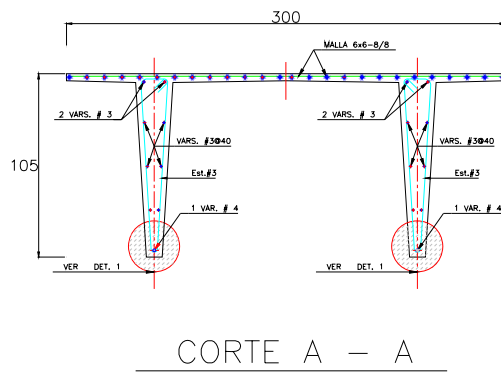
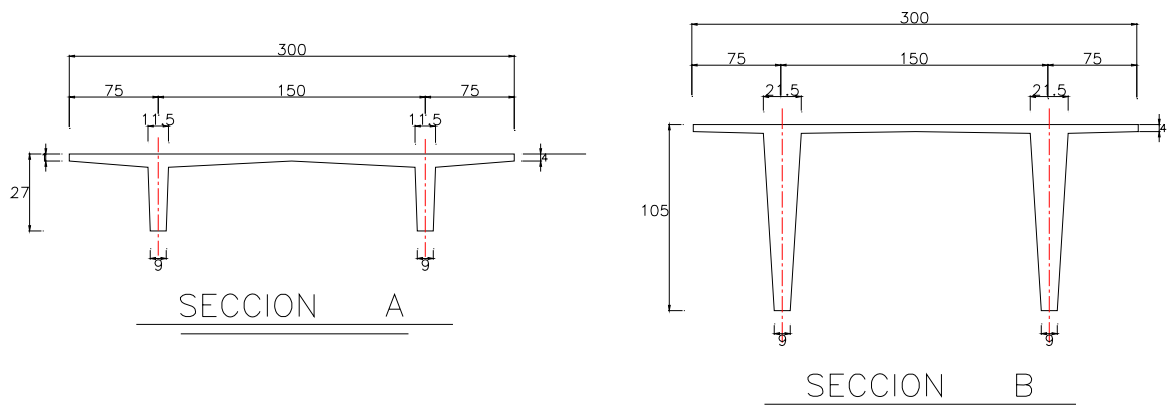
En el caso específico de la doble T, esta fue diseñada por separado debido a que dentro del análisis es un elemento aislado que transmite su carga como peso propio a las trabes tipo ménsula por medio de sus nervaduras.

### III.5. Secciones Definitivas.

Terminando el proceso iterativo de selección de los elementos mecánicos más desfavorables y cumpliendo con lo estipulado en el RCDF en el apartado de diseño estructural, son definidas las secciones definitivas que tendrá la nave industrial resultado del proceso de diseño.

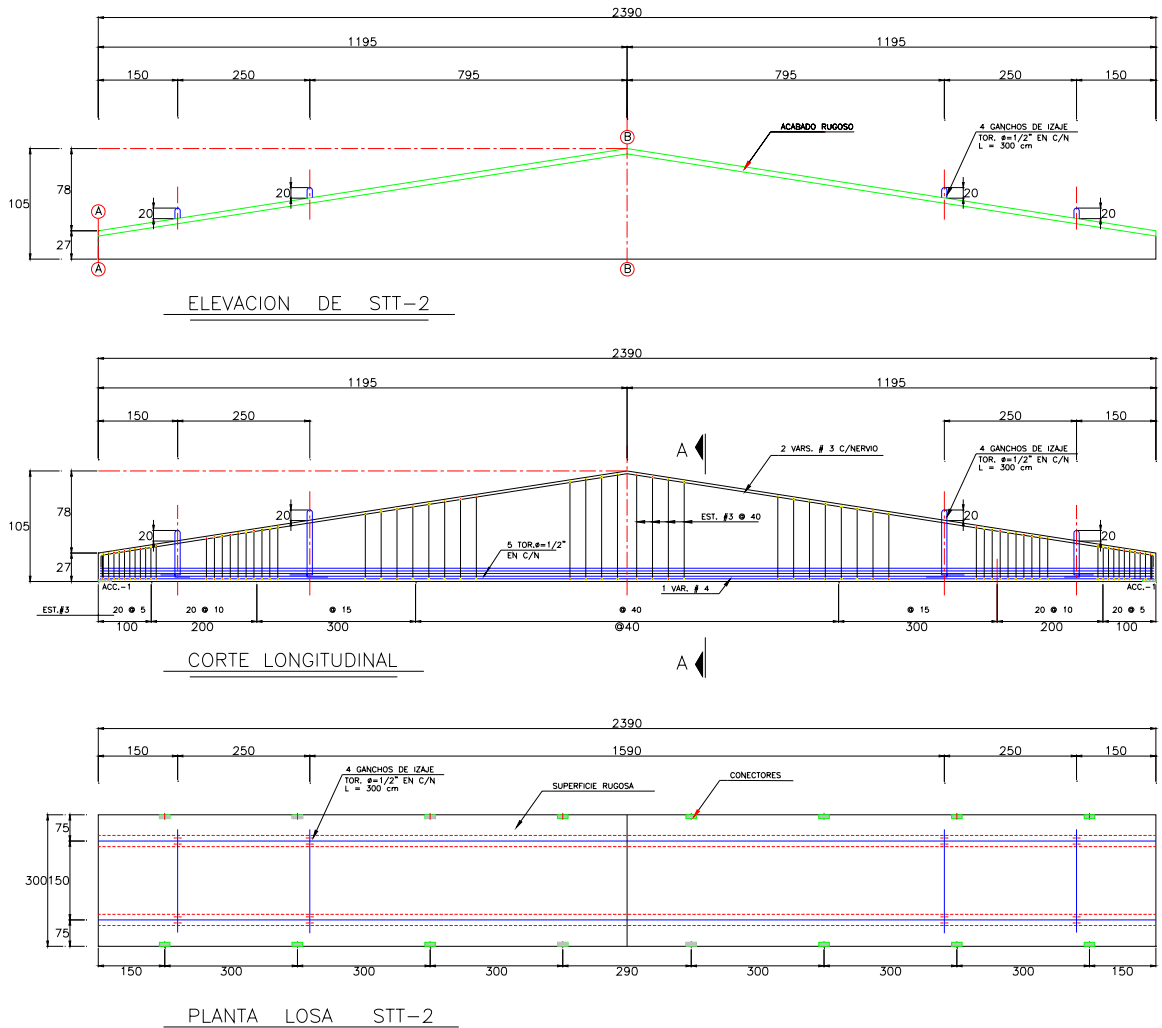
#### Dobles T

El sistema de techumbre no tuvo muchas modificaciones al propuesto inicialmente. Se diseñaron dos tipos de doble T, la variante existente entre estas es el ancho del elemento. 1) Las dobles T ubicadas en las crujías 2 y 9 poseen un ancho de 2.375 metros y 2) las dobles T ubicadas en crujías 1 y 10 tienen un ancho de 3.00 metros. En ambos casos, el peralte de losa es de 5 centímetros, se tienen un peralte variable en nervaduras de 0.27 a 1.05 metros, longitud del elemento de 23.90 metros. Esquemas E.III.5.1 y E.III.5.2



E.III.5.1. Cortes transversales y dimensiones de doble t

Se colocaron para el montaje de la pieza 4 ganchos de izaje (perfectamente indicados en la elevación y en el corte mostrado en E.III.5.2.). También, se observa que se ahogaron en la pieza y a manera de que quedaran a ras de la misma, placas de acero las cuales tienen como objetivo unir mediante soldadura una doble t con otra. Estas placas se colocan a cada 3 metros de distancia, se localizan en la parte superior de la pieza justamente en los bordes de las losas.



**E.III.5.2. Sección definitiva doble t. Elevación, corte y planta.**

El refuerzo longitudinal se realizó con alambre trenzado de 7 hilos de 1/2" (torones) con capacidad última del material de 19,000 kg/cm<sup>2</sup> (tensados a 13,300 kg cada uno) y, concreto de alta resistencia de 350 kg/cm<sup>2</sup>. Fotografía III.5.1. El refuerzo transversal con varillas de acero de 3/8" con resistencia nominal de 4200 kg/cm<sup>2</sup>.

Como se comento en el capítulo II en el tema de instalaciones, se busco un aprovechamiento máximo de la energía solar, debido a esto, se ubicaron a distancia de eje de columnas (a cada 10 metros) una franja de un metro de ancho de acrílico transparente, con esto se da un uso correcto a la energía luminosa solar y se ahorran 2 dobles T por eje.

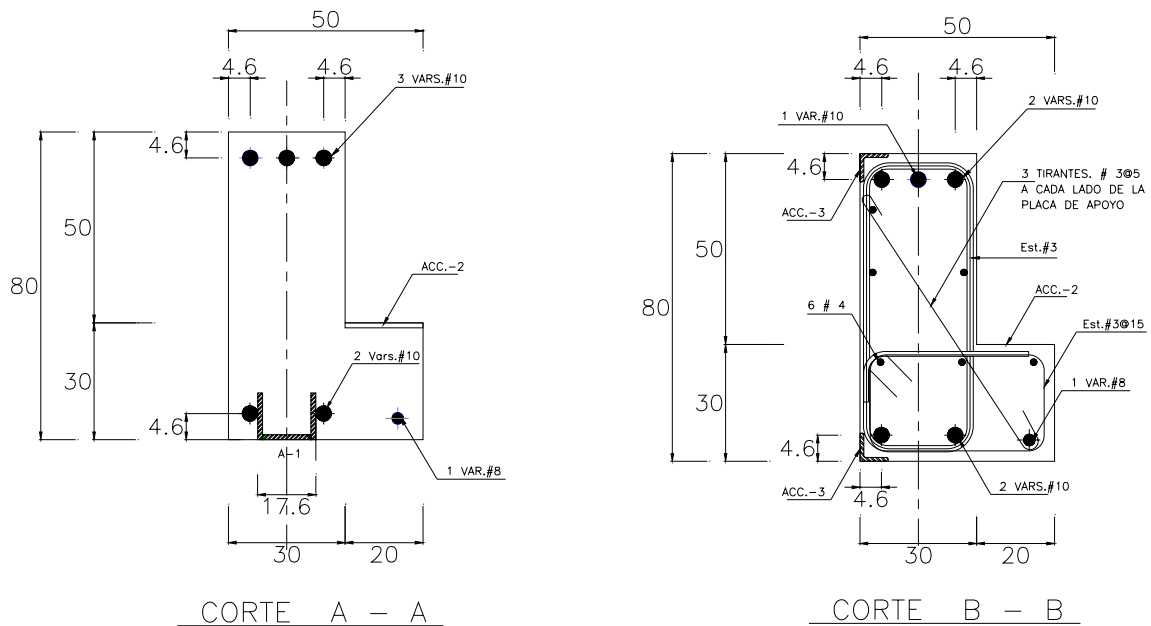


III.5.1. Torón trenzado de 7 hilos de 1/2".

## Trabes de apoyo con ménsulas

Existen 2 tipos de trabes de apoyo; perimetrales y centrales.

**Trabes perimetrales (tipo L)**, soportan la mitad del peso del sistema de techo (por lo tanto cargan la mitad del peso de toda la techumbre).



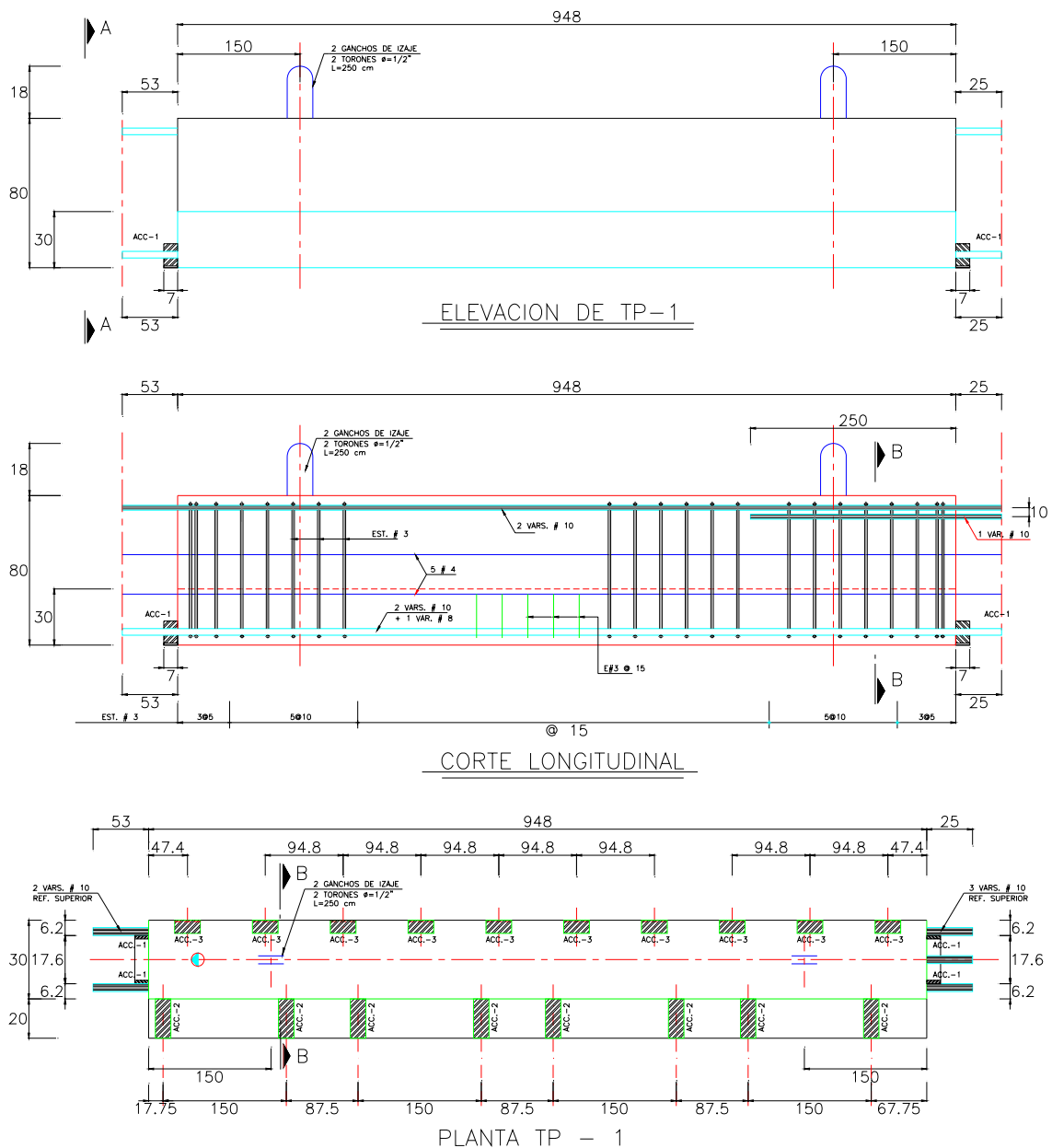
E.III.5.3. Geometría y armados de trabe portante perimetral (tipo L).

## Elementos prefabricados pretensados en sitio

La geometría resultante del diseño estructural es la siguiente; espesor en toda la pieza de 0.30 metros, 0.80 metros de peralte total y 0.50 metros de ancho en la parte inferior incluyendo el patín.

La pieza fue colada en sitio a base de concreto de 300 kg/cm<sup>2</sup>, reforzada con acero estructural de 4200 kg/cm<sup>2</sup>.

La cantidad de acero longitudinal es de 2 varillas del #10 en ambos lechos, colocándose un bastón del mismo calibre en la parte superior (zona de tensión). El refuerzo transversal con estribos del #3 a cada 15 centímetros. E.III.5.3 y E.III.5.4.



E.III.5.4. Diferentes vistas y datos de la trabe perimetral (tipo L).



Son ancladas en las traves tipo L, 3 tipos diferentes de accesorios, cada uno con funciones diferentes, pero con un mismo fin; que otro tipo de piezas se unan a la trabe portante.

El accesorio ACC-1 formado por una sección canal integrada por 3 placas (dos de ellas con las mismas dimensiones 10 x 15 x 1.6 cm x cm x cm y la placa base con 14.4 x 7 x 1.6 cm x cm x cm) tiene como objeto principal unir mediante soldadura a la trabe con la columna.

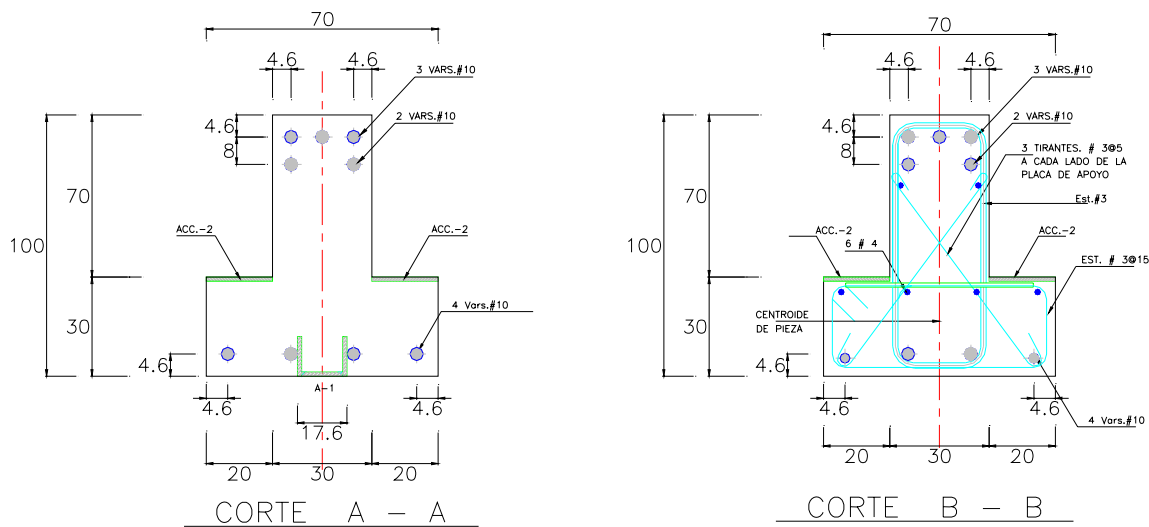
El ACC-2 formado por una placa (con dimensiones 20 x 15 x 0.95 cm x cm x cm) tiene como única función recibir directamente las nervaduras de la doble T y mediante soldadura, unir a los dos elementos y, el ACC-3 formado por un ángulo (de 7.62 x 12 x 0.40e cm x cm x cm) colocado a espaldas de la trabe será el apoyo para que los muros de concreto queden unidos a la trabe. E.III.5.3 y E.III.5.4.

Se le colocaron para el montaje de las piezas, 4 ganchos de izaje ahogados en las traves con torones de 1/2" en cada uno de los extremos del elemento a 150 centímetros de los paños exteriores.

**Las traves centrales (tipo T invertida)** se diseñaron para soportan el doble de carga que una trabe perimetral ya que reciben dobles T de ambos lados.

La geometría definitiva de la figura es la siguiente; el espesor en toda la sección es de 0.30 metros, el peralte total es de 1.00 metro. La zona del patín la longitud alcanza los 70 centímetros.

Los materiales y sistema de construcción son los mismos que para la trabe perimetral; concreto de 300 kg/cm<sup>2</sup> y acero de 4200 kg/cm<sup>2</sup>.



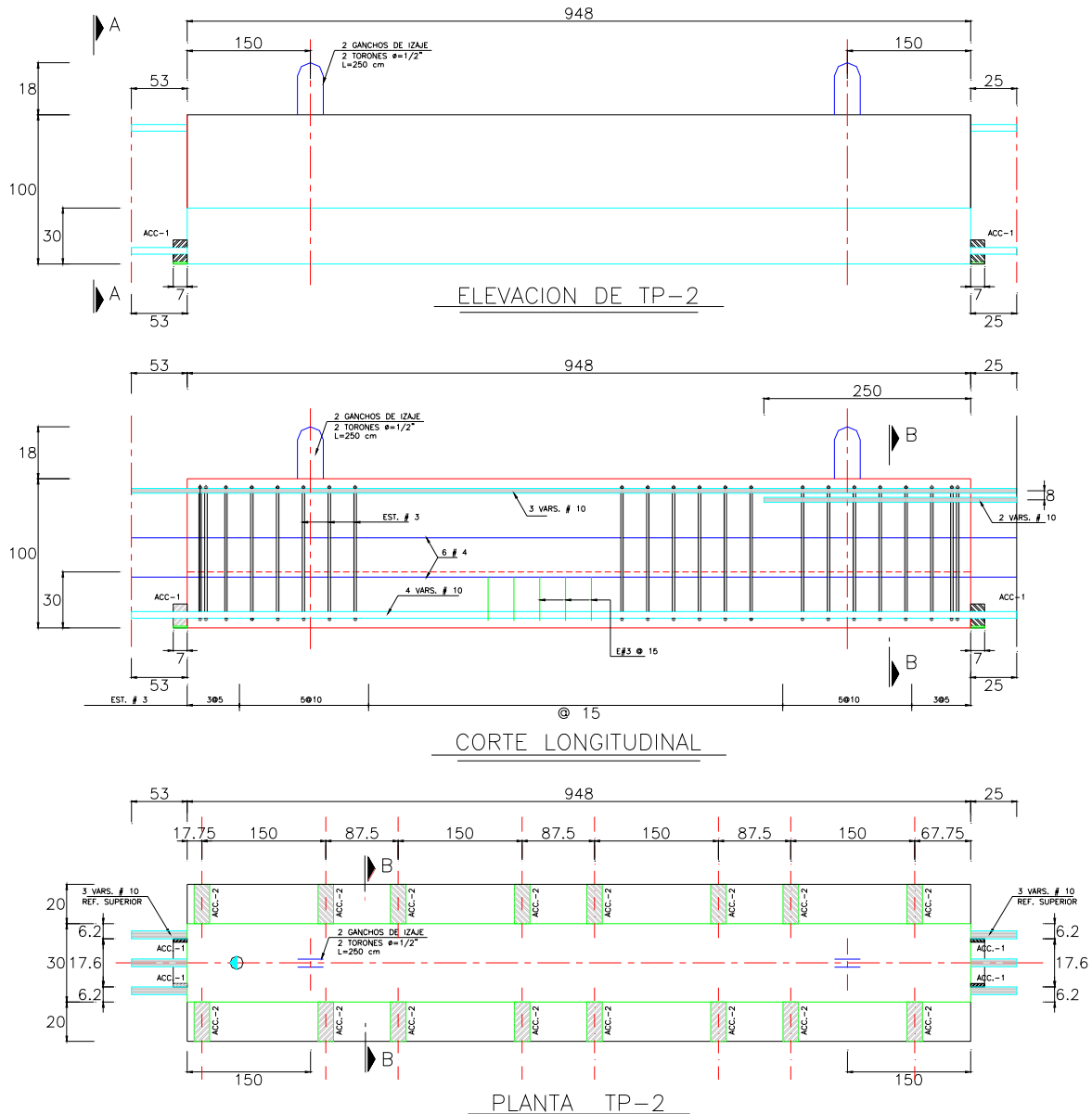
E.III.5.5. Geometría y armados de trabe portante central (tipo T invertida).

## Elementos prefabricados pretensados en sitio

El refuerzo se realiza con varillas del #10 en ambos lechos (3 en el superior y 4 en el inferior). Son colocados a cada 15 centímetros estribos como refuerzo transversal. E.III.5.5 y E.III.5.6.

La trabe central posee dos tipos de accesorios. ACC-1 como ACC-2 guardan las mismas dimensiones y posiciones que las mostradas para la trabe perimetral L. Los ganchos de izaje, también colocados de manera análoga a las perimetrales.

Tanto traveses portantes como traveses centrales cubren un claro de 10 metros.

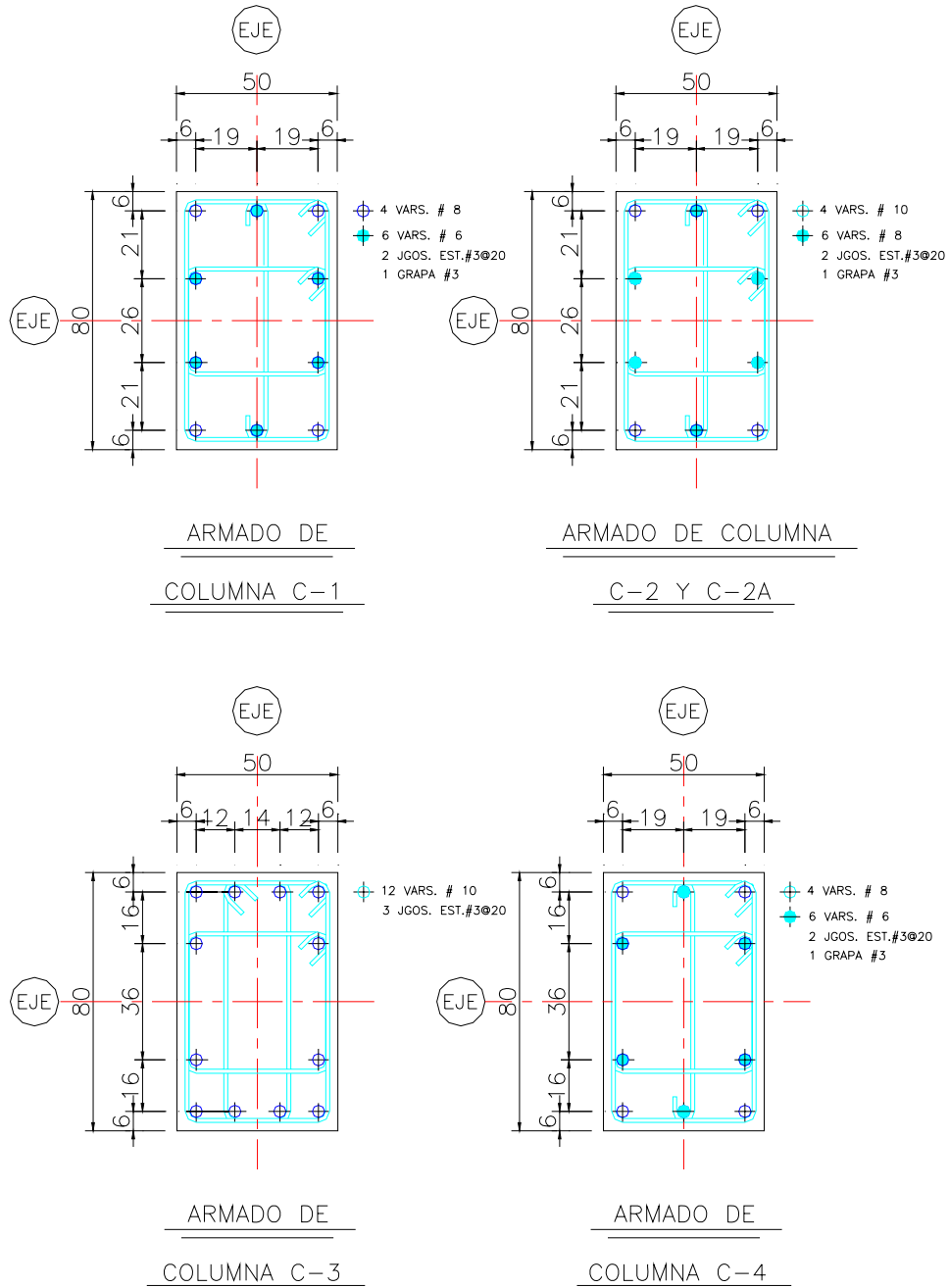


E.III.5.6. Diferentes vistas y datos de la trabe central (Tipo T invertida).

## Columnas

La geometría definitiva de las columnas no varío en absoluto de la propuesta inicial que se dio para el análisis; 0.80 x 0.50 m x m, y una longitud total del elemento colado de 10.00 metros. Esquema E.III.5.7.

Se realizaron básicamente 3 tipos diferentes de columnas con diferentes armados (todas con la misma geometría). Dentro del esquema E.III.5.7. se muestran 4 tipos de columnas.



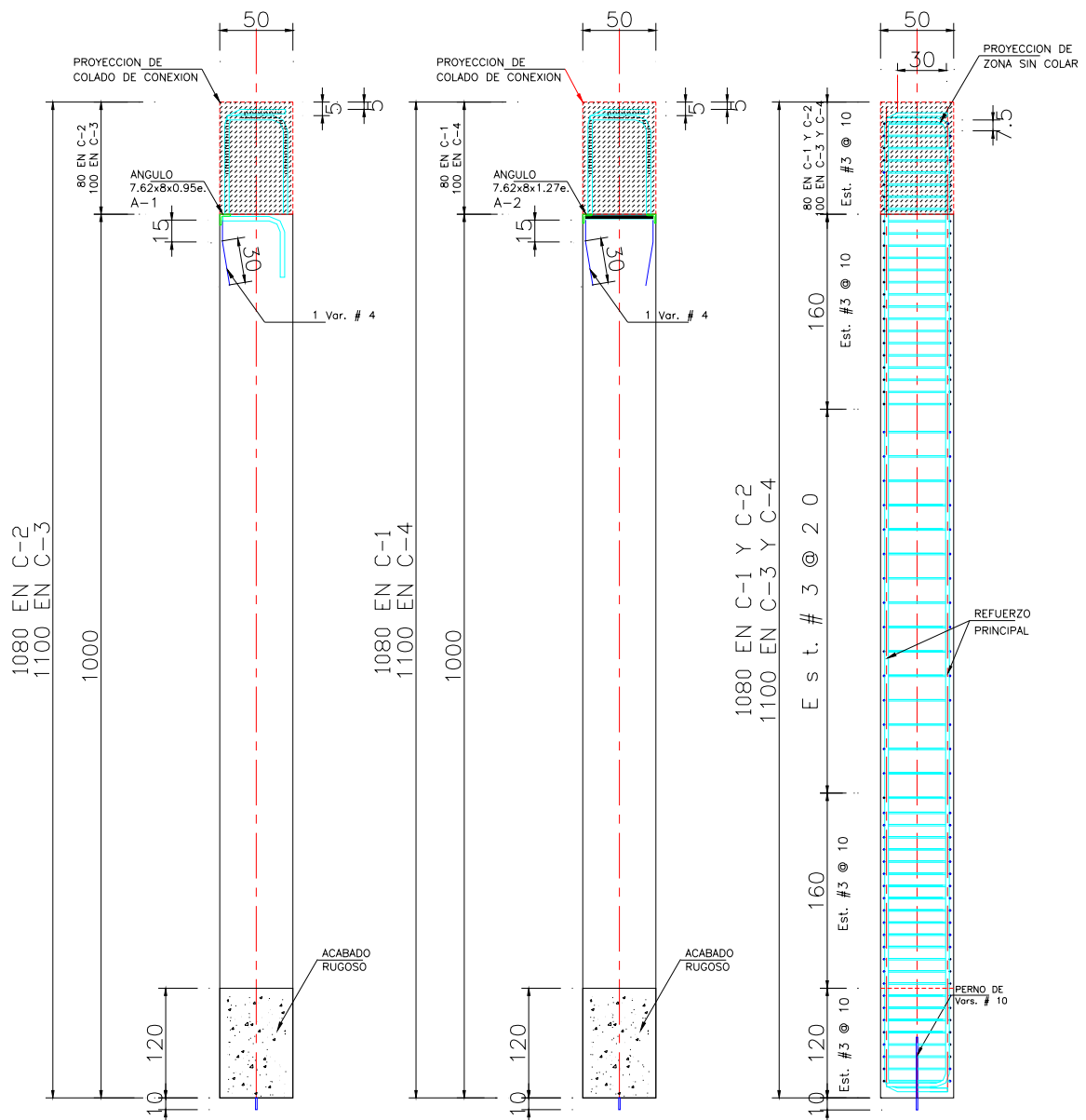
E.III.5.7. Tipos de columnas que intervienen en la estructura.

La columna 1 y la columna 4 poseen la misma cuantía de acero, siendo la diferencia entre ellas, la posición perimetral del acero.

- 10 varillas, 4 del # 8 y 6 del #6.
- 10 varillas, 4 del #10 y 6 del # 8.
- 12 varillas del # 10.

El refuerzo transversal se efectuó con varillas del número 3 separadas cada 10 centímetros en las partes extremas y a cada 20 en las centrales.

El material de construcción es concreto de 300 kg/cm<sup>2</sup>, reforzado con acero estructural de 4200 kg/cm<sup>2</sup> (mismo material y tipo de refuerzo utilizado para traveses).



E.III.5.8. Longitud total de colado en columnas.

El elemento columna fue colado en dos partes; la primera parte de 10 metros de longitud colada a nivel de piso y la segunda (dependiendo su ubicación) se colará ya que se encuentren montadas las columnas y las traveses de carga (debidamente soldadas), además, que se encuentren armados y cimbrados los nudos de rigidez. Si la columna es central, se colará un nudo de 1.00 metro de longitud, pero, si es perimetral, el nudo tendrá una longitud de 0.80 metros. E.III.5.8.

La columna será colocada dentro de un candelero teniendo una longitud de empotramiento de 1.20 metros (mostrada en E.III.5.8), la zona de la columna que descansará dentro del candelero tendrá que ser rugosa debido a que será rellena de una mezcla de cemento tipo grout buscando exista una buena adherencia entre los materiales. y a la vez, evitar que existan holguras y movimientos no deseados de la estructura. Para el montaje preciso de la pieza sobre el candelero, es colocado dentro de la pieza un perno nivelador que sale algunos centímetros de la columna, el perno deberá encajar en una ranura que se dejará en el candelero.

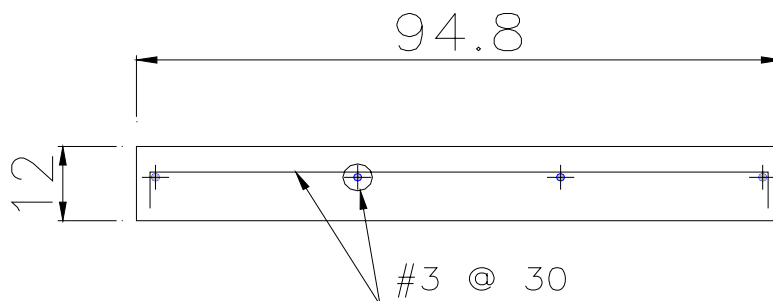
Los tipos de accesorios existentes en columnas son de dos tipos, varían dependiendo que la columna sea de esquina o central, de ser de esquina necesita de un accesorio para unirse con la trabe portante, pero, si es una columna central, se necesitará un accesorio doble para recibir las traveses de cada uno de los lados. El ángulo es del mismo calibre que el utilizado en las traveses de lindero.

*La altura efectiva colada de la columna (de piso a paño) es de 8.80 metros.*

## Muros de Fachada de Concreto

En esta nave se cambio el sistema de construcción de muros de fachada, del sistema convencional de construcción a base de block de cemento-arena pegado con mortero se paso a la construcción de las fachadas mediante muros de concreto reforzado colados en sitio en el piso.

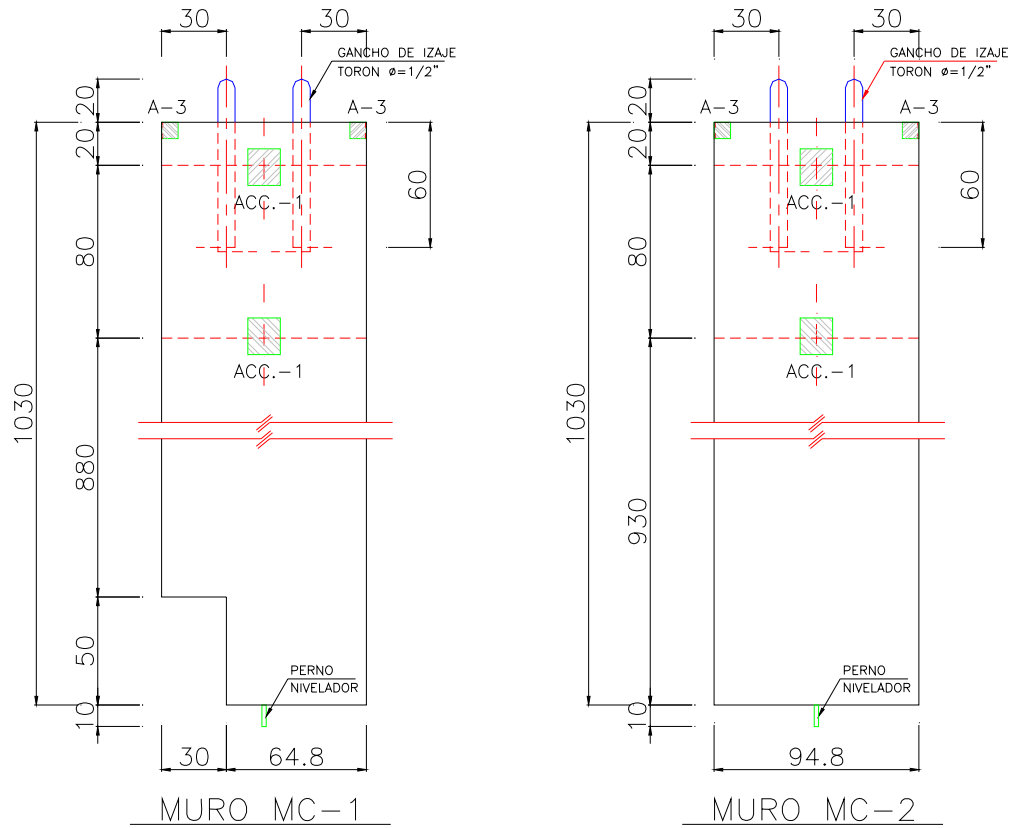
El concreto utilizado es de 300 kg/cm<sup>2</sup>, reforzado con acero de resistencia 4200 kg/cm<sup>2</sup>. La cantidad de acero suministrada fue con varillas el # 3 a cada 30 centímetros en ambos sentidos (Esquema III.5.9.). Se colocó en cada pieza 2 ganchos de izaje con torones de 1/2" en acero, cada uno colocado a 30 centímetros de los bordes.



**E.III.5.9. Cantidad y colocación de muros.**

Para el montaje, se realizó a 90 centímetros de profundidad una zapata (de 30 centímetros de peralte) que recibiría los muros y los mantendría centrados y a su distancia correspondiente gracias a su perno nivelador.

Se diseñaron 2 tipos de muros; extremos (MC1) y centrales (MC2). E.III.5.10.

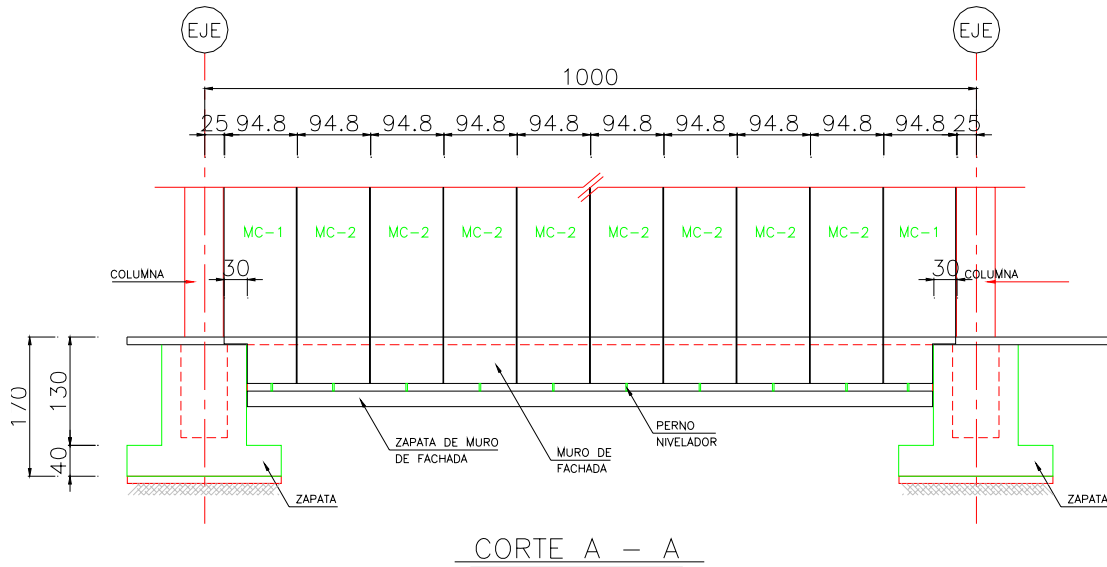


**E.III.5.10. Tipos y dimensiones de muros de concreto de fachada.**

Las dimensiones de los muros de concreto de fachada es de 10.30 metros de altura, 94.8 centímetros de ancho y 12 centímetros de espesor, recordando el detalle que se hará a los muros extremos para que se acoplen de manera adecuada a la estructura. E.III.5.9 y E.III.5.10.

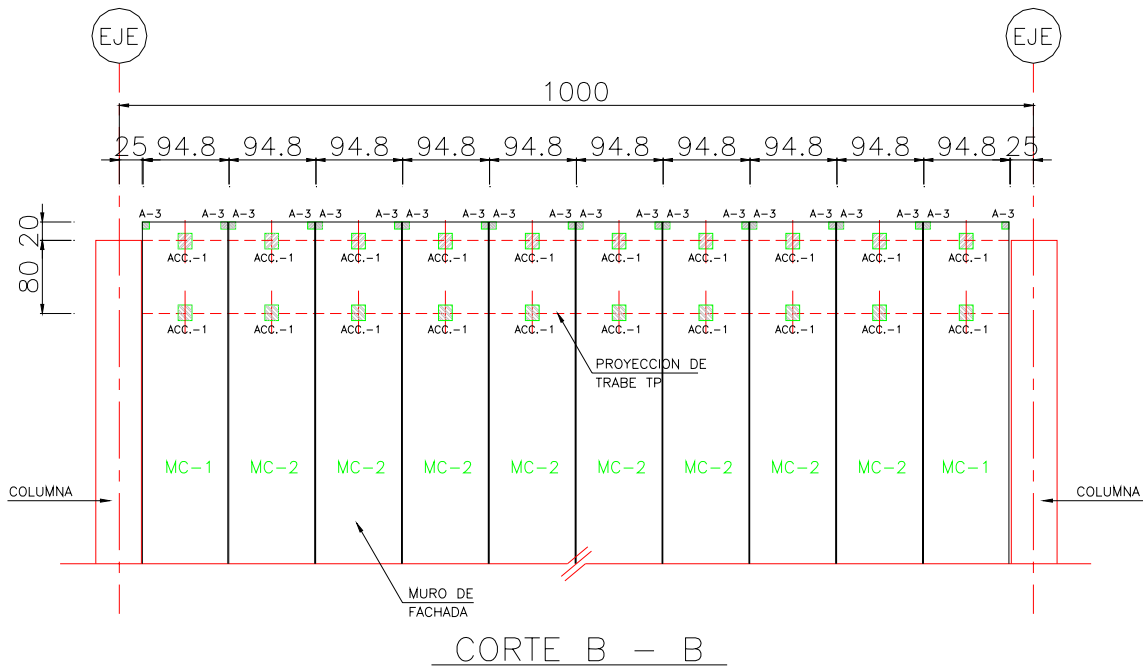
Los muros (MC-1) tienen la peculiaridad de no poseer una forma rectangular debido a que al ser colocados los muros 90 centímetros debajo del nivel del suelo, llegan a coincidir justamente con una parte extrema de la zapata que se encuentra a cada eje, por lo tanto, este tipo de muros tienen un detalle de reducción en uno de sus extremos buscando librar el dado de la zapata.

Los muros centrales (MC-2) guardan una geometría regular rectangular. En cada crujía son colocados 10 muros de concreto; 2 extremos y 8 centrales. En el esquema E.III.5.11. se muestra la cantidad y colocación de los muros MC-2.



**E.III.5.11. Cantidad y colocación de muros.**

Con la finalidad de unir al muro con elementos estructurales se colocaron dentro de los muros dos tipos diferentes de accesorios. ACC-1, tiene la finalidad de unir al muro con las traveses portantes, este accesorio está integrado por una placa de 17 x 15 x 0.40 cm x cm x cm. El ACC-3 está integrado por ángulos (del mismo calibre que el utilizado en las traveses portantes de lindero (7.62 x 7.62 x 0.40 cm x cm x cm), estos accesorios son colocados en las esquinas superiores de los muros y su finalidad única es la de unir a los muros entre sí. E.III.5.12.



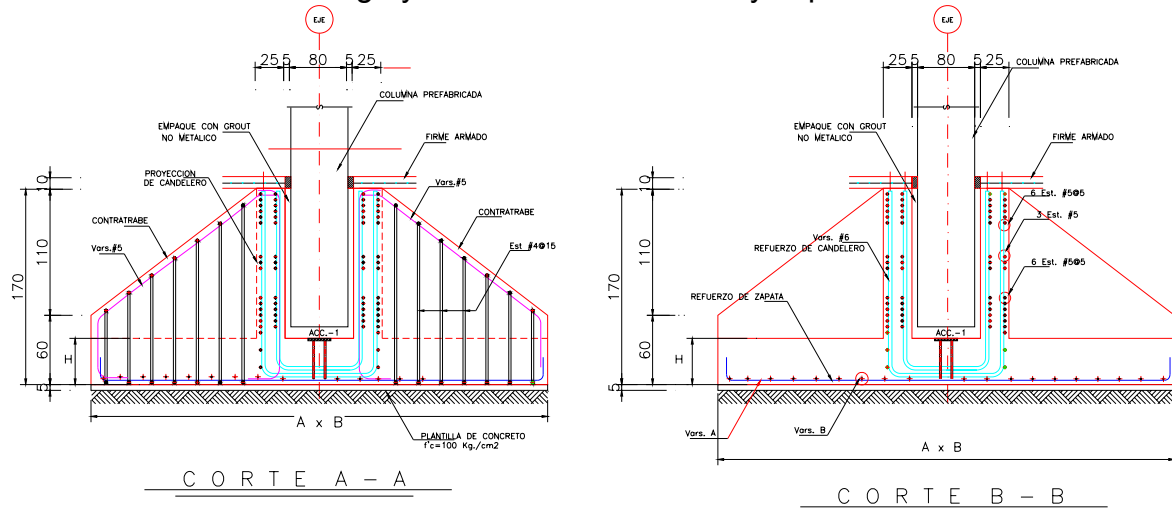
**E.III.5.12. Accesorios colocados en muros de fachadas.**

## Candeleros y Zapatas

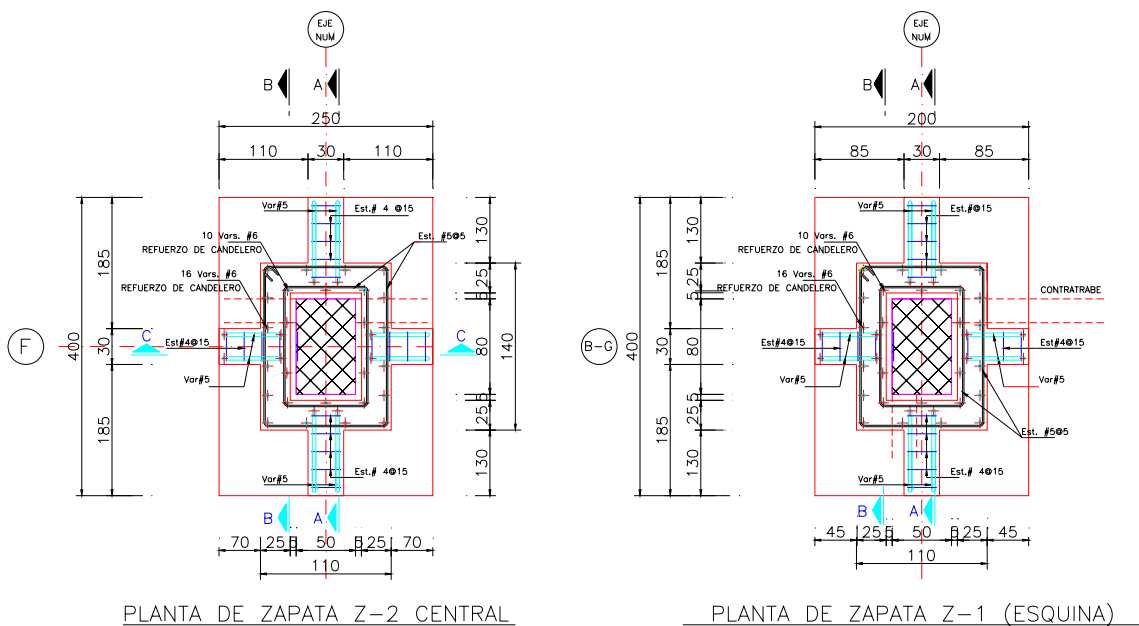
Los efectos provocados a la estructura por las combinaciones de carga llegan a la base de las columnas enviando todo a los elementos de la cimentación.

La cimentación de zapatas aisladas es a base de concreto reforzado. El concreto es de  $250 \text{ kg/cm}^2$  y el acero de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

Sobre las zapatas (como una misma estructura) existe un detalle de candelero el cual tiene como objetivo primordial recibir la columna de concreto prefabricado. La columna transmite la carga y esfuerzos a candelero y zapata.



E.III.5.13. Cimentación de la nave.



E.III.5.14. Cimentación de la nave.



Hablando de magnitudes de elementos mecánicos, los momentos que se presentan en la unión columna-candelerero-trabe son elevados, por esto se tuvo la necesidad de integrar una contratrabe (tipo cartabón) entre dado y zapata para que la transmisión de carga se hiciera de manera gradual al suelo. E.III.5.13.

Se realizaron 4 tipos diferentes de zapatas (E.III.5.14):

- a) Zapatas centrales para columnas (Z-1).
- b) Zapatas de esquina para columnas (Z-2).
- c) Zapatas perimetrales para columnas (Z-3).
- d) Zapatas perimetrales para recibir muros (Z-4).

En las primeras 3 zapatas (Z-1, Z-2 y Z-3) guardan patrones similares en material de construcción, refuerzo y profundidad. Concreto de 250 kg/cm<sup>2</sup> y refuerzo con varillas del # 5 con capacidad de 4200 kg/cm<sup>2</sup>. La contratrabe es armada en el sentido longitudinal con varillas del # 8 y en el sentido transversal se refuerza con estribos del # 4. El candelerero se encuentra armado e integrado a la zapata con varillas de # 6 a lo largo del elemento y estribos del # 5 en el sentido transversal. Los datos de los tipos de zapatas se encuentran localizados dentro de la tabla III.5.1. Los elementos son colocados a 1.70 metros de profundidad.

DATOS DE ZAPATAS					
TIPO DE ZAPATA	DIMENSIONES (cm)			VAR. A	VAR. B
	A	B	H		
Z - 1	400	200	40	#5@14	#5@20
Z - 2	400	250	40	#5@15	#5@20
Z - 3	200	150	25	#3@15	#3@15

**Tabla III.5.1. Tipos de zapatas con sus armados.**

La Z-4 es corrida y tiene como función única y primordial recibir los muros de concreto de fachada, para este caso no es necesaria la colocación de contratrabe debido a que el manejo de carga es menor.

La contratrabe es colada con concreto reforzado  $f'c = 250$  kg/cm<sup>2</sup> y reforzado con acero  $f_y = 4200$  kg/cm<sup>2</sup>, formando parrillas a cada 15 centímetros con varillas del número #3. E.III.5.11.

El ancho de las zapatas es de 70 centímetros y el largo es de columna a columna, se encuentran armadas con varillas del #3 a cada 20 centímetros, la profundidad de desplante es 90 centímetros y peralte de 20 centímetros.

## Sistema de piso, estacionamiento.

Los sistemas de piso se hicieron a base de concreto reforzado colados en sitio.

El peralte que guardan los pisos es del orden de 30 centímetros, el concreto se diseño para alcanzar una resistencia  $250 \text{ kg/cm}^2$ , se reforzó con acero de  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ . El refuerzo fue colocado con parrillas dobles de acero (una en el lecho inferior y otra en el superior), la separación de las varillas a 30 centímetros, buscando reforzar los esfuerzos provocados por el empuje del suelo y los que se presentaran en fases futuras, así como las condiciones de temperatura (efectos volumétricos y de contracción).

El estacionamiento, también de concreto reforzado baja un poco sus características a comparación de las losas coladas para el sistema de piso. Concreto  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ , acero  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$  y reducción del peralte a 15 centímetros.

Estos son los rubros que intervienen dentro de la estructuración y se encuentran ya todos definidos. El siguiente paso es realizar la construcción de la nave industrial. Por lo tanto, el trabajo de gabinete prácticamente ha concluido, este únicamente se encuentra en espera de alguna modificación o corrección que pueda salir en campo.



## IV. Sistema constructivo

En el campo de la ingeniería, la realización de un nuevo proyecto nos lleva a concluir que este siempre es un caso particular. Cada proyecto tiene sus características especiales, así como sus fortalezas, debilidades, al igual que un rango de soluciones específicas para el mismo. Es por esto, que la planeación es un punto fundamental en la realización exitosa de un proyecto. Desde este punto podemos visualizar y prever las problemáticas que se presentarán en el sitio o que golpearán a la obra no necesariamente presentándose en la misma.

En el caso de la ingeniería en general, es importante describir cada uno de los procesos que se realizará debido a que uno va atado de otro y, cualquier error o contratiempo se verá reflejado en tiempo y dinero.

La selección de los eventos claves es hasta cierto punto una tarea sencilla de apreciar, pero, complicada en su evaluación debido a que existen factores adversos difíciles de estimar, por ejemplo la descompostura de algún equipo.

Después de terminado el proceso de análisis y diseño estructural, la siguiente etapa es entrar de lleno a la construcción. Para satisfacer perfectamente las necesidades de esta, se debe definir de manera puntal y detallada el sistema constructivo que se llevará a cabo.

Para el caso de la nave industrial tratada en esta tesis, el proceso constructivo consta de los siguientes pasos ordenados:

- 1-Definición de moldes.
- 2-Realización de armados de acero.
- 3-Cimbrado de piezas.
- 4-Colados en sitio.
- 5-Procedimiento de curado.

Este proceso se aplica en la construcción de zapatas, columnas, trabes, muros y pisos. Pero, para la realización de las losas doble T, el sistema cambia, pues a la hora de cimbrarse la pieza, se aplica un pretensado que aporte la resistencia adecuada a los elementos.

Obviamente, el proceso constructivo no sería el mismo si realizáramos la nave industrial a base de perfiles de acero o si el proyecto fuese un edificio de 7 niveles de concreto reforzado o de mampostería.

Dentro de este capítulo explicaremos a detalle el sistema constructivo realizado para la nave industrial 9 localizada dentro del parque industrial Toluca 2000.

## IV.1. Definición de moldes

En el capítulo anterior se definió el armado y la geometría de las secciones con los que se llevará a cabo la construcción de la nave industrial.

La definición de los moldes (comúnmente llamados cimbras en el campo de la construcción), es una consecuencia lógica arrojada del dimensionamiento arquitectónico y estructural de las piezas. Las cimbras deben de satisfacer de manera precisa la geometría indicada dentro del proyecto estructural.

Se busco realizar la construcción lo más automatizada y prefabricada posible, teniendo como objetivo primario la optimización máxima en tiempos y costos. La mayoría de los elementos estructurales (a excepción de las zapatas con sus candeleros y pisos) se realizaron prefabricados, por lo tanto existen dos tipos de sistemas constructivos dentro de la obra, prefabricados de concreto reforzado y prefabricados de concreto presforzado.

### Prefabricados de concreto reforzado

Las columnas, trabes tipo ménsulas perimetrales y centrales, muros de concreto y pisos se realizaron *con un sistema prefabricado colado en sitio*.

Siguiendo la planeación del proyecto, al momento de la excavación y la estabilidad del terreno (inicio de actividades) se tenían 3 cuadrillas de fierros avanzando en la habilitados de acero (cortando varillas, haciendo anclajes, estribos, etc, Fotografía IV.1.1 y IV.1.2) y 2 de carpinteros (cada cuadrilla de 4 personas) en la fabricación de cimbras en madera.



IV.1.1 Cuadrillas de tierreros habilitando armados



**IV.1.2 Armados de nervaduras de doble t**

Los fierros avanzaron en la elaboración de los esqueletos de las dobles t, traves tipo ménsulas, columnas y muros de concreto. En las fotografías IV.1.2, IV.1.3. y IV.1.4. se observan los armados en acero de cada una de las piezas.

En IV.1.2. se observan las nervaduras de las dobles T terminadas. Mientras que en IV.1.3. se aprecia ya habilitado el esqueleto de las columnas (en proceso de cimbrado) y en IV.1.4. se encuentra el armado de una trabe portante en forma de T invertida terminada y lista para ser cimbrada.



**IV.1.3. Armados de columnas**



**IV.1.4. Armado de trabe tipo ménsula**

Al mismo tiempo en que los ferreros realizan los armados de las piezas, los carpinteros, trabajan en la elaboración de las cimbras madera para las mismas (trabes tipo ménsulas, columnas y muros de concreto). Fotografía IV.1.5. y I.V.1.6.



**IV.1.5. Cimbra de madera para columnas de concreto**

En las fotografía IV.1.5. se observa como van siendo armadas las cimbras para columnas, en este paso es aplicado a la cimbra desmoldante. Para finalizar (fotografía IV.1.6.) es colocando el armado de acero sobre la cimbra para encajonarla, amarrarla y terminar el proceso esperando el vaciado del concreto.



**IV.1.6. Cimbrado de columnas**

Para el caso de los muros de concreto, su cimbrado fue el más sencillo de todos. En el piso se colocó el desmoldante buscando evitar la unión entre concretos y, a cada metro y medio se ubicó una junta de plástico la cual separa un muro de otro y, que permitía hacer una producción en serie de muros. El armado de los muros se realizaba directamente sobre donde se haría el vaciado del concreto. Fotografías IV.1.7 y IV.1.8.



**IV.1.7. Molde de muro de concreto.**





IV.1.8. Prefabricación de muros en serie.

## Prefabricados de concreto presforzado

Las dobles T son el único elemento estructural presforzado en la obra, el armado de las nervaduras se realizó con acero de refuerzo de 4200 (kg/cm<sup>2</sup>) y el refuerzo principal con torones de ½" con resistencia última de 19000 kg/cm<sup>2</sup>, tensados a 13300 kg cada uno. Se colocaron 5 torones por cada nervadura de la doble T.

El molde de la doble t se realizó en acero alta resistencia, buscando un diseño eficiente y a la medida de las necesidades de la obra. Fotografía IV.1.9.



IV.1.9. Molde para losa doble t.

Como resultado de las necesidades de la obra, se diseñaron 2 tipos diferentes de dobles T. Cabe citar que ambos los casos se utilizó el mismo molde. La solución que se dio a este detalle fue que el molde tipo fue reducido con apoyo de perfiles metálicos y de madera. La madera era cortada con la longitud que se quería reducir de ancho de la pieza. Los trozos de madera se colocaban pegados al paño interno del molde y cada pieza de madera se colocaba a tres metros de distancia entre si. En el otro extremo y pegado a las piezas de madera, se coloca el perfil metálico el cual daba el límite de ancho a la pieza. Fotografía IV.1.10.



**IV.1.10. Molde para losa doble t.**

El molde fue construido por la empresa “Molde equipo internacional, S.A. de C.V.”, ubicada en Avenida del trabajo s/n, Barrio de Texcacoa Tepozotlan, Estado de México, C.P. 54600. Empresa dedicada especialmente a este tipo de proyectos.

La cimbra metálica fue llevada a la obra a temprana edad (en fase estabilización del suelo), con la idea de avanzar además de los armados y las cimbras (con fierros y carpinteros), en el colado de elementos.

La obra tenía muchas fortalezas y enormes ventajas (se tenían los procesos definidos, espacio suficientes para trabajo de armado y cimbrado, personal adecuado, equipo, herramientas, etc). Además de los atributos que se mostraban en obra, se dio la posibilidad de que se colocara una concreteira a escasos metros de la construcción, esto directamente se reflejo en los costos y en la reducción de tiempos de una manera significativa debido a que todo estaba a la mano y listo para cuando fuera necesario.

## IV.2. Colados en sitio

El 100% de la obra se coló en sitio debido a que por situaciones de costos y facilidad, el ingeniero estructurista (que es el responsable de la obra y quien posee más experiencia en este tipo de proyectos) recomendó la construcción de una concretera a pie de la obra la cual surtiría concreto según las necesidades.

Se utilizaron específicamente concretos de 4 denominaciones.

- Concreto para plantillas; 100 kg/cm<sup>2</sup>.
- Concreto en cimentación y pisos; 250 kg/cm<sup>2</sup>.
- Concreto en elementos estructurales; trabes, columnas y muros; 300 kg/cm<sup>2</sup>.
- Concreto en elementos estructurales en losas doble T; 350 kg/cm<sup>2</sup>.

Para evitar problemas en la calidad del concreto se contrato un laboratorio externo el cual supervisaría las calidades de los concretos en obra.

### Concreto para plantillas.-

Con calidad resistente baja de 100 kg/cm<sup>2</sup>, no olvidando que el concreto de estas características es únicamente para dar forma adecuada al terreno donde se trabajará y se tenga una obra más limpia evitando el contacto de los materiales de nueva construcción con el terreno natural. Fotografía IV.2.1



IV.2.1. Firme de concreto pobre

Se muestra a continuación la dosificación del concreto utilizado para el colado de las plantillas:

<b>Materiales</b>	<b>Cantidades</b>	
	<b>En kilos</b>	<b>En m<sup>2</sup></b>
Agua	200.00	0.200
Cemento	222.22	0.071
Grava	1024.00	0.382
Arena	908.77	0.372
Aire	2%	0.020

### **Concreto en cimentación y pisos.-**

El concreto en cimentación y pisos es de resistencia media-alta (250 kg/cm<sup>2</sup>), ya que los resultados en el diseño arrojaron que esto era lo necesario para que las piezas tuvieran un buen desempeño a lo largo de su vida útil. Fotografía IV.2.2.



**IV.2.2. Colado de pisos**

La dosificación para este tipo de elementos es la mostrada a continuación:

<b>Materiales</b>	<b>Cantidades</b>	
	<b>En kilos</b>	<b>En m<sup>2</sup></b>
Agua	200.00	0.200
Cemento	322.58	0.102
Grava	1024.00	0.382
Arena	808.41	0.296
Aire	2%	0.020

## Concreto en elementos estructurales; traveses portantes, columnas y muros.

El concreto estructural debe de cumplir varias características; la alta resistencia es la más destacada entre todas, pero no debemos olvidarnos del peso volumétrico, la permeabilidad, reacción a los sulfatos, etc.

Para cumplir con lo estipulado dentro del proyecto estructural, estos elementos se tenían que alcanzar capacidades de resistencia nominal a la compresión de diseño de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

Las altas resistencias son debidas básicamente al tipo de estructura.

Las traveses tipo ménsulas y columnas fueron coladas en sitio a nivel de piso. Fotografía IV.2.3.



IV.2.3. Trabe portante colada y descimbrada

A continuación, se muestra la dosificación que se siguió para alcanzar la resistencia de diseño de estos elementos.

Materiales	Cantidades	
	En kilos	En m <sup>2</sup>
Agua	200.00	0.200
Cemento	363.63	0.115
Grava	1024.00	0.382
Arena	767.36	0.282
Aire	2%	0.020

## Concreto en elementos estructurales en losas dobles T

En el caso de los presforzados, es necesario realizarlos con concretos de alta resistencia. Sabemos que los elementos tendrán que cubrir grandes claros, además, el diseño busca el equilibrio de fuerzas entre los bloques de esfuerzos de acero y concreto (siguiendo una teoría muy similar a la de los elementos de concreto reforzado) y, recordemos que la capacidad de los torones de acero es alta y para lograr el balance entre fuerzas, el concreto será de alta denominación.

El colado y detallado final fue realizado en obra. Fotografías IV.2.4., IV.2.5. y IV.2.6.



IV.2.4. Colado en sitio. Olla proporcionando concreto.



IV.2.5. Colado en sitio. Colocación y vibrado del concreto



**IV.2.6. Acabado final a la pieza de concreto.**

La dosificación para un concreto con estas características es la siguiente:

Materiales	Cantidades	
	En kilos	En m <sup>2</sup>
Agua	200.00	0.200
Cemento	416.67	0.132
Grava	1024.00	0.382
Arena	714.33	0.265
Aire	2%	0.020

Gracias a la calidad de la concretera y al respaldo del laboratorio se gozaba de una masa con revenimiento de 8 a 12 centímetros y, con esto se tenía la fluidez adecuada para el colado apropiado de todos los elementos.

Se utilizó en todas las piezas un aditivo superfluidificante y para el caso de los elementos de alta resistencia un reductor de agua, ambos a razón de 4 mililitros por kilogramo de cemento en la mezcla.

Los colados en sitio fueron de buena calidad debido al apoyo de la concretera, los residentes y el soporte, así como las recomendaciones y supervisión del laboratorio externo.

### IV.3. Pretensado en sitio

El sistema de techo que tendrá la estructura se realiza a base concreto presforzado utilizando vigas dobles T de sección variable en sus nervaduras y que posee un espesor de losa de 5 centímetros.

El esqueleto que le dará forma a la doble T se realizó utilizando acero estructural con denominación  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$  y se reforzó de manera extraordinaria a base de torones de alta resistencia ( $f_u=19,000 \text{ kg/cm}^2$ ) de diámetro  $\frac{1}{2}$ ".

El pretensado de los torones se efectuó en sitio. Fotografía IV.3.1



IV.3.1. Pretensado de torones

Se contó con el personal capacitado y autorizado para llevar a cabo la tensión correcta de los torones. Para realizar el pretensado se requería que el molde contara con orificios en sus partes extremas inferiores, lugar donde se realizaría la labor del pretensado.

La metodología para pretensar es la siguiente; 1) Se corta el torón respetando las longitudes que debe cubrir para el pretensado. 2) Se introduce el torón a través del molde de acero. El torón debe quedar con una longitud extra fuera del molde. 3) En uno de los extremo del molde se coloca un barrilete mordiendo cada uno de los torones que serán tensados. 4) Se prepara el gato de tensión. 5) En el otro extremo del molde, se introduce un barrilete y detrás de este, se introduce el gato que aporta la tensión al torón. 6) Se comienza a aplicar tensión al torón. El gato comienza la tensión gradual del alambre hasta llegar a los 13300 kg. 7) Llegada a la tensión de diseño, se coloca el barrilete que muerde el cable y proporciona la tensión.

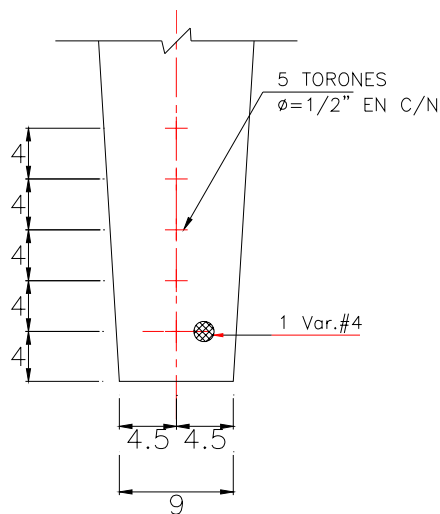


Los torones se encuentran tensos y buscan su forma original, pero los barriletes mantienen la tensión del elemento gracias a que se encuentran bien sujetos en los extremos del molde (cartabón). Fotografía IV.3.2.



IV.3.2. Torones pretensados.

Cada nervadura de doble t tiene en su interior 5 torones. Por lo tanto, cada doble T posee un total de 10 torones. Esquema IV.3.1. y fotografía IV.3.3.



Esquema IV.3.1. Corte en la zona de nervaduras.

Finalizado el proceso de tensión de torones, el siguiente paso es el vaciado del concreto para concluir con la fabricación de la pieza. Concluido el colado, el concreto de manera natural entra a un estado de calentamiento local. El tema siguiente detalla el proceso de curado apropiado que se le dio a estos elementos en la obra para que este calentamiento no afectará en la calidad, resistencia y eficiencia de las piezas.



**IV.3.3. Torones pretensados.**

## IV.4. Procedimiento de curado

Terminado el proceso de colado y detallado de las piezas. el concreto de manera natural y como parte de su proceso formación, inicia una reacción química en la cual eleva su temperatura de manera gradual.

De investigaciones realizadas se ha documentado que el concreto llega a alcanzar temperaturas entre 80° y 90° centígrados en esta reacción. Es por eso, que en el concreto llegan a presentarse grietas a temprana edad. El incremento de la temperatura demanda cantidades considerables de humedad, y para evitar agrietamientos por contracción y cambios volumétricos, debe proporcionársele al concreto un apoyo en este periodo.

Este tratamiento que se le da al concreto a partir del momento del colado es conocido como **curado de concreto**.

Por lo tanto, cuando una pieza es colada con éxito esta debe permanecer en reposo y bajo ciertas condiciones de clima y humedad durante un cierto periodo de tiempo (que es marcado perfectamente por las NTC 2004), para garantizar que las piezas serán de una calidad confiable y poseerán tanto la resistencia como la durabilidad adecuada en su periodo de vida útil. Al dársele el cuidado correcto al concreto en esta etapa, además de asegurar los puntos anteriores redimiríamos la retracción de secado (aparición o ausencia de agrietamiento superficial).

Los reglamentos nos marcan que una pieza colada, no debe ser descimbrada *a menos que tenga la resistencia suficiente para soportar su peso propio y otras cargas que actúen durante la construcción* (como cargas de materiales o en el caso de los prefabricados esfuerzos adicionales provocados por movimientos y montajes de las piezas), *así como para evitar que las deflexiones sobrepasen los valores nominales establecidos por el RCDF 2004.*

Recordemos que un curado inadecuado, puede disminuir a la mitad, la resistencia a compresión y a la cuarta parte, la durabilidad de un concreto.

Un curado adecuado siguiendo el RCDF 2004 se define nos dice: *el concreto debe mantenerse en un ambiente húmedo por lo menos siete días en el caso de cemento ordinario y tres días si empleo cemento de alta resistencia inicial. Estos lapsos aumentará si la estructura desciende a menos de 5 °C.*

Siguiendo esta parte de las normas, concluimos que necesitaríamos más tiempo del estimado para que el concreto llegue a las condiciones óptimas de uso, y eso sería una contradicción total a las políticas de la producción en serie.

Existen diferentes técnicas (también avaladas por el reglamento) para obtener un curado acelerado de calidad.

*Para acelerar la adquisición de resistencia y reducir el tiempo de curado, puede usarse el curado con vapor a alta presión, vapor a presión atmosférica, calor y humedad, o algún otro proceso que sea aceptado. El proceso de curado que se aplique debe producir concreto cuya durabilidad sea por lo menos equivalente a la obtenida con curado en ambiente húmedo.*

En obra se optó por realizar el curado de vapor a presión atmosférica, mismo que aceleró el proceso a un día. Obteniéndose así las características para que la pieza se mantuviera de pie por sí sola y, además, pudiese resistir los efectos del desmontaje de la cimbra metálica.

El proceso inicia cuando a la doble T se le da el acabado inicial es cubierta inmediatamente con una lona, cubriendo toda la superficie. Fotografía IV.4.1.



**IV.4.1. Doble T cubierta para inicio de proceso de curado.**

El laboratorio realizaba sus pruebas y dictaminaba que las piezas tenían del 70% al 80% la resistencia de diseño al momento de desmonte de la cimbras.

El curado se realizaba por un lapso de 20 horas, al final, se descubría la pieza, se desmontaba y se preparaba el molde para realizar el siguiente colado.

Los aditivos que eran colocados al concreto ayudaban de manera significativa al proceso de fraguado y curado. También, se aplicaba un aditivo desmoldante para no lastimar a la pieza al ser retirada del molde.

Cabe citar, que en más de una ocasión se intento colar más de una pieza doble T por día con el equipo que se contaba en campo, los resultados nunca fueron satisfactorios. El concreto no alcanzaba la consistencia ni la resistencia necesaria para llevarse a cabo tal fin; la pieza se agrietaba, en algunos casos se rompía o se despedazaba quedando partes de ella en el molde.

El curado acelerado únicamente se aplicó a las losas dobles T.

Para el caso de trabes, columnas y muros se les dio un cuidado de curado normal resultando que eran hidratados a cada 6 horas y cubiertos con material plástico impermeable.

El ciclo de curado con vapor es el siguiente:

1. Después del colado se debe esperar de 3 a 4 horas hasta que el concreto alcance su fraguado inicial, protegiéndolo con una lona para evitar la deshidratación de la superficie.
2. Se eleva la temperatura hasta 33° ó 35° grados centígrados durante una hora. En las siguientes 2 horas se elevará gradualmente hasta llegar a 70° u 80° centígrados. Fotografía IV.4.2.



**IV.4.2. Caldera generadora de vapor.**

3. El proceso de vaporizado durará de 6 a 8 horas manteniendo la temperatura entre 700° y 800° centígrados.
4. Seguirá un periodo de enfriamiento gradual cubriendo al elemento para lograr que el enfriamiento sea más lento y uniforme.
5. La duración total del proceso es de aproximadamente 18 horas, lo que permite, la utilización del molde todos los días.

Es importante respetar la metodología antes descrita para poder brindarle una buena calidad a las piezas. Esto se realizó de manera adecuada en obra bajo la supervisión constante de residentes, peritos, responsables de obra y laboratorios.

## V. Montaje de elementos

Hasta el momento, como parte de este trabajo se ha desarrollado el proyecto arquitectónico respaldado por los proyectos en instalaciones hidráulica, sanitaria, eléctrica y estructural.

Como resultado del Capítulo II “Proyecto estructural”, se obtuvieron las secciones definitivas de la nave industrial y, el siguiente paso es la realización de las piezas prefabricadas en sitio.

Para dar comienzo a la construcción, se tienen que desarrollar a la par los habilitados de esqueletos de acero así como la hechura de las cimbras. Este trabajo en conjunto dará como resultado la pieza debidamente cimbrada y lista para su colado. Cabe citar que momentos antes de realizar el cimbrado de la pieza, al molde en sus caras internas (donde recibirá la mezcla de concreto) se le aplicará desmoldante que evitará que concreto y cimbra se peguen y exista desprendimientos de partes de la pieza al momento de desmontar.

En el caso de las piezas de concreto reforzado simple, estas serán coladas a la brevedad, mientras que las losas recibirán un presfuerzo adicional.

El presfuerzo de la losa explicado dentro del Capítulo IV “Sistema constructivo” se realiza a base del tensado de torones. El trabajo se lleva a cabo con apoyo de un gato (dispositivo que ejerce la tensión) y barriletes (piezas que muerden el cable e impiden que la tensión aplicada disminuya).

Terminado el procedimiento de tensión se da paso al colado de la pieza. Dentro del colado se realiza el vibrado, detallado y acabado final a la pieza de concreto.

Al concluir el colado, la pieza es cubierta inmediatamente con lonas (para evitar su deshidratación superficial) y se deja reposar de 3 a 4 horas hasta que el concreto alcanza su fraguado inicial. Después de cubrir el tiempo estipulado comienza la inyección de vapor en un periodo 6 a 10 horas. Terminado el proceso de vapor, se deja reposar la pieza para que gradualmente baje su temperatura hasta llegar a la ambiental.

El proceso de curado dura aproximadamente 18 horas, al cumplirse este, la pieza esta perfectamente apta para desmoldarse y colocarse en su lugar específico (ya sea montarse en su lugar dentro de la estructura o colocarse en un espacio de almacenaje). Para asegurar el adecuado desmolde de las piezas, previamente se revisa la resistencia a compresión del concreto ( $f'c$ ) con muestras tomadas en el momento del colado. De ser este satisfactorio el resultado, los torones son cortados siguiendo un orden y, al terminar los cortes, comienza el descimbrado de la pieza.

El desmolde de piezas se realiza gracias al apoyo de equipo pesado (grúas y trailers). Las grúas son unidas con sus ganchos a los ganchos de izaje de los elementos a desmoldar, la grúa ejerce su fuerza y retira las piezas de los moldes. La grúa tiene tres posibles opciones; 1) colocar la pieza en el suelo, 2) colocarla en un trailer el cual la llevará a la zona de almacenaje ó 3) colocar directamente la pieza en su sitio dentro de la estructura.

Terminando el descimbrado, los moldes quedan vacíos y se comienza nuevamente con todo el proceso de construcción iniciando con el armado y cimbrado, colado, etc.

El manejo de equipo y maquinaria en una obra de elementos prefabricados es de los puntos delicados y de más relevancia en este tipo de construcciones.

La adecuada planeación y correcta logística tendrán siempre como resultado el éxito de la obra.

A continuación se desarrollará de manera detallada el montaje de elementos.

## V.1. Maquinaria y equipo

La maquinaria y equipo son uno de los rubros mas importantes y vitales en obras de concreto prefabricado, en estos, se invierten fuertes cantidades de dinero (ya sea en renta o compra del equipo que realiza el movimiento de las piezas y montajes de las mismas) y tiempo (pues terminada la producción en serie, el tiempo restante es utilizado en la colocación de elementos).

Recordemos que en un sistema tradicional de construcción con elementos prefabricados, lo común es realizar las piezas en planta y, cuando estas tienen las características adecuadas, se envían a la obra por medio de transporte terrestre.

Para este caso en particular, los elementos fueron colados en sitio economizándose de manera significativa los gastos por fletes de piezas. Por tanto es importante identificar el proceso de construcción en el que se encuentre la obra, pues de este dependerá el tipo de maquinaria que será utilizada para el satisfacer las necesidades de la misma.

En la construcción del la nave, claramente se observan 3 fases fundamentales (no siendo estas las únicas), de las cuales nos apoyaremos para describir la maquinaria y equipo empleado para la construcción de la nave industrial.

### Fase 1. Estabilización del suelo y cimentación

La maquinaria y equipo en la estabilización del suelo fueron analizados en el Capítulo II “Proyecto arquitectónico”, finalizada la estabilización del suelo inicia el proceso de cimentación.



V.1.1. Trazo definido de la excavación y comienzo de esta.



Para comenzar con la excavación debida a la cimentación es necesario que se realice el trazo topográfico de las zonas donde se retirará el material. Cuando el trazo se encuentra definido, entra en acción la retroexcavadora y retira el material llegando a una profundidad de desplante de 1.80 metros. Como se observa, la profundidad de desplante es mayor que la profundidad del suelo estabilizado, esto es debido a que el suelo se estabilizo en su totalidad porque este tendrá cargas sobre si que el tipo de suelo existente anteriormente no podría soportar. De hecho, las naves industriales tienen comúnmente esta particularidad, manejar amplias cargas dentro del espacio de trabajo. Fotografías V.1.1 y V.1.2.



**V.1.2. Excavación y retiro de materiales para desplante de zapatas.**

Finalizada la excavación, se compacta el suelo (con bailarina) dejando la superficie totalmente plana y lista para recibir una capa de concreto pobre, el cual tiene como único objetivo evitar que la pieza que será colada se contamine con material o partículas orgánicas del suelo. Fotografía V.1.3.

La zapata es armada, cimbrada y colada. Conforme se iban terminando las zapatas se tenía la necesidad de rellenar los huecos que quedaban sobre la cimentación. Para esto se emplearon bailarinas que son dispositivos maniobrados por 1 persona proporcionan al suelo una gran vibración, la cual tiene como resultado la compactación del mismo. (Fotografía V.1.4).



**V.1.3. Capa de concreto pobre que evita contaminación de cimentación con materia orgánica proveniente del suelo.**



**V.1.4. Compactación de material de relleno en zapatas.**

Para realizar una correcta compactación es necesario ir colocando agua sobre el material tratado en periodos no muy largos (Fotografía V.1.5). Recordemos que la prueba proctor es la que nos indica el grado de compactación en el que se encuentran el suelo. Es recomendable que esta se encuentre por encima del 90%.



**V.1.5. Cimentación cubierta y compactada.**

De esta manera es finalizado y cuantificado el equipo y maquinaria dentro del proceso de estabilización del suelo y cimentación.

## **Fase 2. Realización y transportación del concreto**

La concretera fue montada a pie de obra (Fotografía V.1.6), llevar esto a cabo no fue tarea sencilla pues el material y equipo necesarios para realizar muestras de concreto de calidad y funcionalidad no son de tipo convencional. Para un buen funcionamiento de la planta concretera se necesito:



**V.1.6. Transportación de silo a pie de obra.**

- Silo.- utilizado para dar almacenaje y protección al cemento de las inclemencias del tiempo. También, por su forma facilita la dosificación de material requerido. Fotografía V.1.7.
- Pipas.- Transportan agua al sitio. El agua es utilizada para múltiples actividades; colados de concreto, curado de piezas de concreto, riego en zonas de compactación, humedecido de cimbras previo al colado, etc. Fotografía V.1.7.
- Contenedores y banda de transporte.- los contenedores son equipos de almacenaje y transporte, en ellos se llevan al sitio materiales empleados para el colado del concreto; ya sea grava, arena o cemento. Este tipo de herramientas comúnmente vienen atadas a equipos sobre ruedas el cual facilita su transporte. La banda de transporte, es colocada inmediatamente después (y por encima) de los contenedores. Los contenedores tienen en su parte inferior una forma triangular la cual le permite depositar sobre las bandas cantidades precisas de material arrojadas de la dosificación. El material es arrojado a la banda, misma que lo transporta directamente a la olla. Fotografía V.1.7.
- Ollas revolvedoras.- reciben el material por parte de la banda (grava y arena) y del silo y lo mezclan perfectamente con agua dando origen al concreto, mientras sucede este proceso de mezclado, el concreto es transportado al lugar de la obra en el que se realizará su vaciado. Fotografía V.1.7.



**V.1.7. Concretera en funcionamiento. Se observa silo, contenedores de materiales, banda transportadora, pipas con agua y ollas revolvedoras de concreto.**

Dentro de este proceso de realización del concreto tomamos en cuenta la colocación del mismo. Cabe citar, que el vaciado de concreto se analiza dentro del Capítulo IV “Proceso constructivo”. No obstante, se considera de gran importancia hablar de la maquinaria y equipo empleados.

El vaciado del concreto se realiza directamente sobre los moldes de las piezas; la olla desaloja el concreto y este va siendo acomodado por el personal. En el acomodo, se proporciona vibrado al concreto para que este se acomode perfectamente dentro del molde, dejando la menor cantidad de espacios vacíos.

Finalizada la colocación del concreto dentro de los moldes, se inicia el curado acelerado del concreto, para llevar a cabo este, se utiliza la caldera generadora de vapor de agua que es inyectado a las piezas de concreto.

Existe un equipo de especial uso el cual tenía como función básica transportar concreto de alta resistencia utilizado para colar los nudos formados por traveses y columnas. La balsa, recibía 1 m<sup>3</sup> de concreto directamente de la olla, después, era tomada por la grúa y transportaba el material a la zona de colado donde se encontraba la estructura ya en perfectas condiciones para recibir el concreto.

### Fase III. Montaje de elementos

La construcción básicamente (saliendo de la cimentación) se enfoca al montaje de los elementos prefabricados. Existen detalles que no son prefabricados como el colado de pisos o de nudos en la nave pero estos se realizan mediante el apoyo de la concretora. La maquinaria y equipo empleado para el montaje es el siguiente:



V.1.8. Grúa para montaje de elementos de concreto.

Grúa.- es el equipo que más se utiliza en el transcurso de la obra, esta desde el inicio de la misma hasta el final, de esta dependen los avances más significativos de la obra. En el montaje se logró un claro ahorro debido a que de manera general se utilizó una grúa a lo largo de todo el proceso constructivo. Fotografía V.1.8.

La grúa tuvo como actividades primordiales;

- Montaje de cimbras metálicas.
- Descimbrado de las piezas.
- Movimiento de elementos de concreto a trailer de transporte.
- Colocación de piezas (dependiendo el calendario de avances, ya sea columnas, trabes o losas) en su lugar definitivo.
- Apoyo en movimiento de equipo pesado (bacha, cimbras, carrete de alambre de acero, tarimas con materiales, etc).

Es cierto que la grúa estuvo en constante movimiento, pero, es el objetivo primordial, que esta no tenga tiempos muertos para que sea realmente eficiente.

Trailer de transporte.- Encargado de transporta a las piezas de concreto de un lugar a otro (ya sea del sitio de descimbrado a la zona de almacenaje o de la zona de almacenaje al sitio de montaje final). Fotografía V.1.9.



**V.1.9. Grúa y trailer de transporte.**

El equipo y maquinaria descrito fue el utilizado a lo largo de la obra, con este se solucionaron los problemas y necesidades demandados.

## V.2. Colocación de columnas

Las columnas fueron el primer elemento prefabricado montado en la obra. Terminado el proceso de curado, las columnas fueron descimbradas y se encontraban listas para ser ubicadas en su sitio final.

Al ser la producción en serie, se necesitaba que las columnas fueran descimbradas lo más rápido posible para utilizar nuevamente las cimbras, por lo tanto, cuando el laboratorio indicaba que las piezas tenían la resistencia adecuada, las columnas eran descimbradas y llevadas a la zona de almacenaje y así iniciar nuevamente el proceso de creación de columnas.

El candelero junto con la zapata de la cimentación poseían las características adecuadas para recibir la columna y soportar sus cargas. Por lo tanto, era viable comenzar con el proceso de montaje de las columnas.

El procedimiento que siguió el montaje de las columnas fue el siguiente:

- La grúa se dirige hacia la zona de almacenaje de columnas. Fotografía V.2.1.



V.2.1. Zona de almacenaje.

- Con el gancho que posee la grúa sujeta a la pieza de concreto. El enganche se realiza uniendo el cable de alta resistencia proveniente de la grúa (sostenido por el gancho) con el torón que va atado a varillas las cuales atraviesan el elemento por un orificio que previamente se deja ahogado en la columna. Fotografía V.2.2.



**V.2.2. Columna tomada por la grúa.**

- La columna es colocada en los trailers de transporte para ser llevada a su sitio de montaje. Es necesario que para la maniobra una persona apoye al conductor de la grúa indicándole la trayectoria y colocación de la pieza. Fotografía V.2.3.



**V.2.3. Columna colocada en trailer de transporte.**

- La columna llega al sitio en el cual será colocada y se comienza con las maniobras de montaje. Fotografías V.2.4.





**V.2.4. Inicio de maniobras de montaje.**

- Haciendo maniobras, la grúa coloca la columna dentro del candelero. Fotografía V.2.5.



**V.2.5. Colocación de columna dentro de candelero.**

Recordemos que para tener más facilidad y precisión en el montaje de la columna, a esta se colocó en su parte extrema inferior un perno nivelador (pedazo de varilla ahogada en el elemento de concreto). El perno fue ubicado al centro de la sección de concreto de la columna el cual encajaría dentro del centro candelero.

- Es rellenado el espacio hueco entre columna y candelero mediante grout, Fotografía V.2.6. Este espacio es la mínima tolerancia que se deja para que la pieza pueda ser montada.



**V.2.6. Relleno de grout en espacio vacío entre columna y candelero.**

- La columna es nivelada. Fotografía V.2.7.



**V.2.7. Nivelación de columnas.**

- Se retiran los ganchos de unión entre columna y grúa.
- Se le da el cuidado adecuado al grout en su proceso de curado.

Así, finaliza el proceso de montaje de las columnas de concreto. Diariamente se colocaban alrededor de 4 a 5 columnas, terminado la colocación de las mismas en aproximadamente 2 semanas (33), tomando en cuenta que para las últimas piezas perfeccionaron las técnicas y se realizó todo más veloz, eficiente y metódico. Fotografía V.2.8.



**V.2.8. Colocación de columnas.**

## V.3. Colocación de traves

Siguiendo la metodología lógica de la obra, el siguiente paso a dar es el montaje de las traves tipo ménsula de lindero y centrales apoyadas entre columnas.

La rutina de montaje para las traves portantes de lindero (tipo L) y centrales (tipo T invertida) es la misma la metodología de colocación que la realizada para el montaje de columnas:

- a) La grúa visita la zona de almacenaje de las traves. Fotografía V.3.1



V.3.1. Zona de almacenaje de traves portantes.



V.3.2. Traves colocadas en trailer de transporte.

- b) La grúa sujeta la pieza tomándola de los ganchos de izaje, la levanta y la coloca en el trailer de transporte. Fotografía V.3.2.
- c) Se lleva trabe al eje en donde esta será colocada (dependiendo si es de lindero o central).
- d) La trabe es tomada por la grúa y se eleva cuidadosamente colocándose entre dos columnas, quedando simplemente apoyada entre ellas. Cabe citar que en este paso en especial tiene que haber personal autorizado (montado de la trabe) dirigiendo al conductor de la grúa para que este pueda tener la precisión adecuada y poder estacionar a las traves de manera precisa.



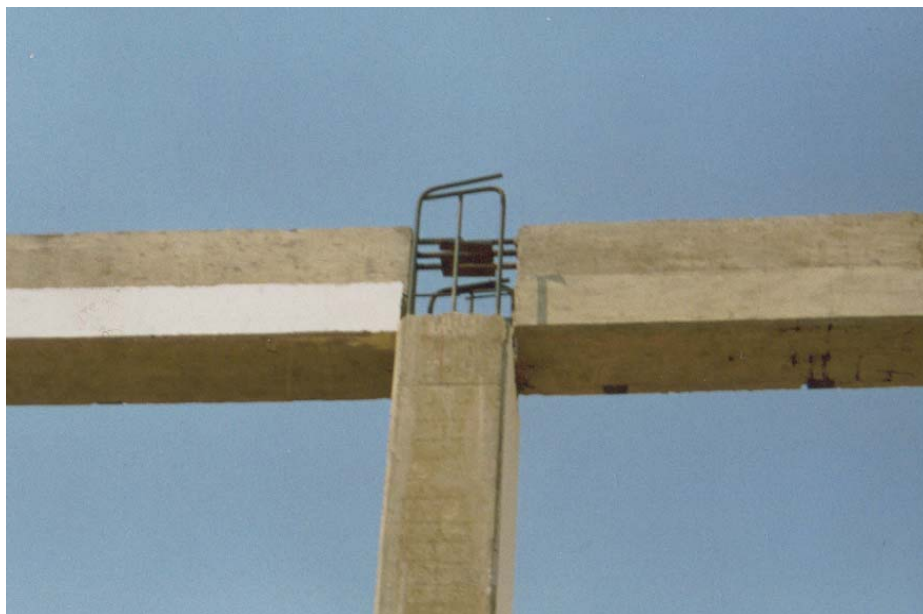
**V.3.3. Montaje de traves en columnas.**



**V.3.4. Columna montada (simplemente apoyada).**

A las traveses se les deja unas barbas (excedente de acero) las cuales deben permanecer dentro del área de las columnas. Fotografía V.3.3. y V.3.4.

- e) Montada la pieza, se aplica soldadura al arco eléctrico con electrodos de serie E-70XX en la unión entre trabe y columna. Recordemos que tanto en columnas como en traveses se dejaron ahogados accesorios de ángulo en los extremos y son unidos mediante soldadura buscando proporcionarle a la pieza estabilidad y soporte a alguna carga accidental (sismo o viento) que pueda presentarse.
- f) Se libera la trabe de los cables de grúa.

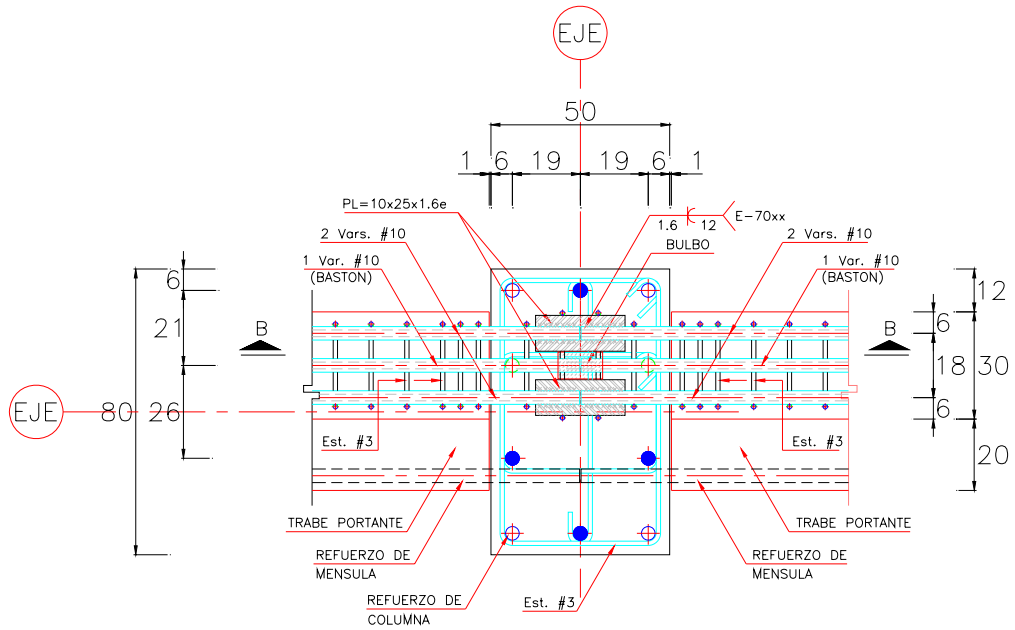


**V.3.5. Unión de acero mediante placa y soldadura entre traveses portantes.**

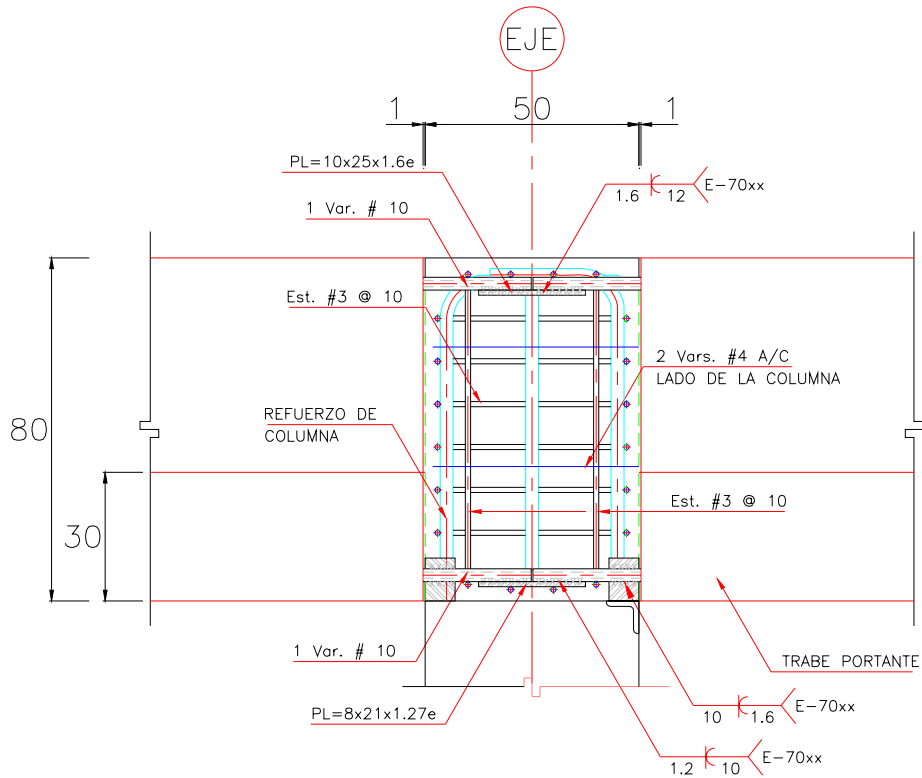
- g) Se realizan detalles de soldadura en los nudos. Montada la pieza, esta permanece lista hasta que la siguiente trabe es colocada, cuando esto sucede, el acero en forma de barbas en los extremos de las traveses son unidos unos con otros mediante placas de acero soldadas al arco eléctrico con electrodos de serie E-70XX según AWS, la cual, proporciona a los elementos estructurales la continuidad de acero que antes no poseía, cambiando las condiciones de apoyo originales (hiperestaticidad en el elemento). Fotografía V.3.5.

En los siguientes esquemas (E.V.3.1 y E.V.3.2) se observa con más detalle las conexiones soldadas entre placas y varillas.

- h) En el nudo se realiza el armado de un dado el cual servirá para dar forma y rigidez necesaria en las uniones. E.V.3.1 y E.V.3.2.



E.V.3.1. Conexión de barbas de acero entre traves portantes



E.V.3.2. Corte a la altura de nudos, se observa unión de aceros por medio de placas y soldadura.

i) Son cimbradas uniones entre traves y columnas. Fotografía V.3.6.



**V.3.6. Cimbrado de nudos.**

- j) Con ayuda de la bacha son colados los nudos.
- k) Se deja el nuevo elemento estructural (marco) en reposo para que este adquiera sus propiedades finales.
- l) Se le da seguimiento adecuado al proceso de curado de los nudos.

Con esta metodología se llevo el montaje de las trabes tipo ménsula. En total, se colocaron 30 trabes; 20 en los linderos y 10 en la parte central. El tiempo de colocación aproximado fue de 2 semanas y media. Fotografía V.3.7.



**V.3.7. Trabes portantes montadas.**



## V.4. Colocación de losas

Colocadas las columnas y traveses se tiene la estructuración base completa (esqueleto de la estructura). Siguiendo la planeación propuesta, se comienza el proceso de instalación del techo basado en el montaje de losas doble T y muros de fachada de concreto reforzado.

Como se analizó dentro del Capítulo IV “Sistema Constructivo”, la losa doble T fue armada, colada y curada como lo indican el reglamento de construcciones y sus normas técnicas complementarias. Posteriormente, se realiza el corte de los torones y la pieza recibe un pretensado inicial.



V.4.1. Descimbrado de losas.



V.4.2. Descimbrado de losas.

Finalizado el proceso de sistema constructivo la losa es descimbrada. Fotografías V.4.1 y V.4.2. El destino de la losa al ser descimbrada es la zona de almacenaje y aquí se mantiene en espera de turno para ser montada. La metodología de colocación es muy similar a la llevada a cabo con columnas y traveses. A continuación se describe el proceso de montaje con más detalle:

1. La grúa visita la zona de almacenaje de las losas. Fotografía V.4.3.



V.4.3. Zona de almacenaje.

2. Con el gancho, la grúa sujeta la pieza en los dispositivos de izaje especialmente diseñadas para la maniobra de montaje. Fotografía V.4.4.



V.4.4. Maniobra de colocación en trailer de transporte.

3. La losa es colocada en el trailer de transporte para ser llevada al lugar de su colocación. Fotografía V.4.5.



**V.4.5. Losa colocada en trailer de transporte.**

4. La doble T es llevada al sitio donde será colocada.
5. Lenta y cuidadosamente se eleva la losa y se coloca apoyada entre las ménsulas de las traveses portantes. Fotografía V.4.6. y V.4.7.



**V.4.6. Montaje de la losa con 1 grúa.**



V.4.7. Montaje de la losa con 2 grúas.

Al igual que en la colocación de los elementos anteriores, en esta parte del proceso debe haber personal en campo cercano a los puntos de interés con el objetivo de orientar al conductor de la grúa para que la colocación de la pieza se lo más rápido y eficiente posible.

6. Montada la pieza, se aplica soldadura al arco eléctrico entre las nervaduras de la doble T y las traveses portantes, la cual dará estabilidad a los elementos estructurales para soportar las acciones accidentales que puedan presentarse.



V.4.8. Losas montadas.

7. Se libera la grúa del izaje de la losa.
8. Se sueldan las placas que unen a las dobles T entre sí buscando que los desplazamientos se presenten de manera conjunta en toda la estructura.
9. Son resanados los detalles de imperfecciones entre doble T y doble T mediante un relleno plástico el cual evita grandes fugas de agua dentro de la estructura.
10. Se impermeabiliza la losa en toda su extensión.

Siguiendo esta metodología se colocaron 64 losas en un tiempo aproximado de 4 semanas de trabajo en conjunto. Se colocaban de 3 a 4 losas diariamente.

## V.5. Colocación de muros

Los muros de concreto son el último elemento que se coloca a la nave industrial. Los muros (al igual que columnas y traveses) son colados en sitio en serie. Cuando el tiempo y cuidados de curado han concluido, el montaje es el siguiente paso.

El montaje de muros sigue fundamentalmente la misma metodología de los elementos anteriores. Previamente tiene que realizarse una estructura de candelero a detalle. El muro prefabricado será desplantado sobre un canal de concreto (candelero corrido unido zapata a zapata) el cual tendrá funciones de arrostro así como de proporcionar la dirección y niveles correctos. Fotografía V.5.1.



V.5.1. Candelero para recibir muro.

Teniendo en cuenta la existencia y aportación del candelero puede entonces comenzarse con el proceso de montaje de los muros.

- a) La grúa visita la zona de almacenaje de los muros.
- b) Con el gancho, la grúa sujeta la pieza de los cables ahogados especialmente diseñadas para el enganche y las maniobras.

- c) El muro es colocado sobre el trailer de transporte. Fotografía V.5.2.



**V.5.2. Zona de almacenaje y colocación de muros en trailer de transporte.**

- d) Se lleva el muro de concreto al sitio de colocación.
- e) Cuidadosamente, el muro desciende en la zona del canal en que será colocado. Se maniobra con él hasta que se logra que la pieza encaje correctamente en la guía (canal) de concreto además, el muro posee un perno nivelador al igual que las columnas el cual debe conectarse perfectamente en el espacio destinado para ello. Fotografía V.5.3.



**V.5.3. Montaje de muros.**

En esta fase se requiere al apoyo de material humano (el cual pueda orientar al que maniobra la grúa y la colocación de los muros sea lo más preciso y eficiente.

- f) Fija la pieza, de pie y segura, se aplica soldadura en las partes superiores del muro (en la zona de placas), la cual unirá al muro de concreto con la trabe ménsula tipo lindero.
- g) La pieza es liberada de la grúa.
- h) Se rellenan espacios de imperfecciones con material plástico para evitar filtraciones.

Siguiendo esta metodología se colocaron un total de 283 elementos muro en un intervalo de 8 semanas, equivalente a 1.8 meses. La colocación fue de 6 a 8 muros diarios. Fotografía V.5.4.



**V.5.4. Muros completamente montados.**

Terminado de colocarse los muros, la nave esta prácticamente terminada faltando únicamente detalles para concluir su construcción.

Los detalles consistían en aplanar, tapar fugas, pintar, colocar herrería, instalaciones eléctricas, etc. La nave finalmente tuvo el siguiente terminado y detallado. Fotografías. V.5.5., V.5.6., V.5.7. y V.5.8.





V.5.5. Trabajo dentro de la nave.



V.5.6. Acabado interior de la nave.



V.5.7. Acabado exterior de la nave.



V.5.8. Acabado exterior de la nave.



**V.5.9. Acabado final de nave.**

## VI. Comparación de costos

Los costos son el punto principal para que una obra pueda realizarse o no. La capacidad económica es la que rige el tipo de construcción que se realizará y la calidad que se pondrá en materiales, acabados, mano de obra, etc.

Es común, que los inversionistas en el ámbito de la construcción (no necesariamente profesionistas, ingenieros u arquitectos) llevan la batuta en la toma de resoluciones en la obra y, frecuentemente las medidas que se toman van regidas por el ahorro personal o el de los socios, dejando de lado la seguridad y calidad de la obra. Es obvio que no todos los casos son los mismos y, conforme el tiempo avanza la figura de los **ingenieros civiles** toma la importancia y el peso que debería de tener, **tomar las mejores decisiones referentes a la obra**. Sin embargo, el tópico de los costos difícilmente se mejorará y la mística que tienen los *dueños* al parecer será la misma, *reducir los costos al mínimo*.

Hay que aclarar que la actividad que realiza el ingeniero civil no se encuentra divorciada con la economía de la obra, por el contrario siempre se lleva la misma corriente. El ingeniero propone después de un estudio a conciencia del proyecto, las soluciones más prácticas y seguras para el desarrollo de la obra. Es por esto que el ingeniero civil puede llegar a dar propuestas las cuales hagan que un sistema se comporte de manera más eficiente y segura teniendo precios adecuados al mercado.

La economía depende de un estudio adecuado del proyecto así como un análisis financiero. Tanto estudio como análisis nos llevan a identificar cuales son los rubros que más atacan a la obra y así tener en cuenta como nulificarlos, es aquí cuando la experiencia del planeador toma un papel fundamental. También, es necesario un grupo calificado de personal que tenga los conocimientos de cómo realizar un proyecto (en gabinete y en campo).

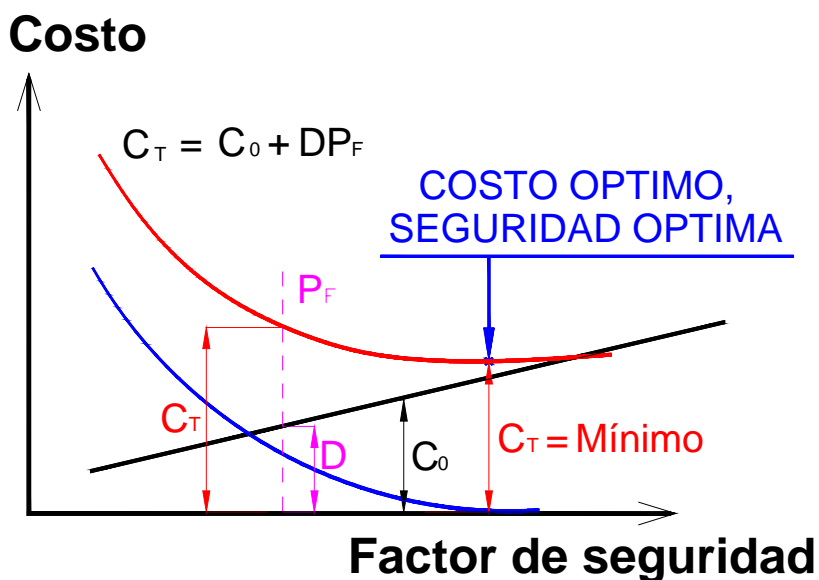
Como podemos observar existen demasiados costos a considerar, esto lleva a preguntarnos si; ¿es en realidad la construcción un buen negocio? Existen necesariamente:

- Gastos de demolición.
- Gastos de licencias.
- Gastos en estudio preliminares (topográficos y de mecánica de suelos).
- Gastos en proyecto arquitectónico.
- Gastos en proyecto estructural.
- Gastos en proyecto de instalaciones.
- Gastos en directores y corresponsables de la obra.
- Gastos en supervisión de obra.
- Gastos en mano de obra.

- Gastos en materiales en la construcción.
- Gastos de escrituración.
- Gastos en servicios básicos.
- Gastos en equipo de ventas.
- Gastos a obligaciones patronales.
- Gastos en impuestos del Estado.
- **Ganancias.**

Lo cierto es que aunque en el papel, los gastos son altos, la construcción es un campo noble que generalmente proporciona ganancias a quienes la rodean. Por tanto, lo mejor para la sociedad sería que se encontrará un balance entre economía, seguridad y funcionalidad (Esquema IV.1.), esto llevaría a que inversionistas e ingenieros tendrían que ponerse de acuerdo buscando la solución más viable.

Recordemos el mensaje claro mostrado por los Reglamentos de Construcciones a las sociedades y principalmente a quienes lo aplican: “Salvemos vidas” y “Patrimonios”.



E.VI. Factor de seguridad óptimo. Equilibra la seguridad de la estructura con su costo.

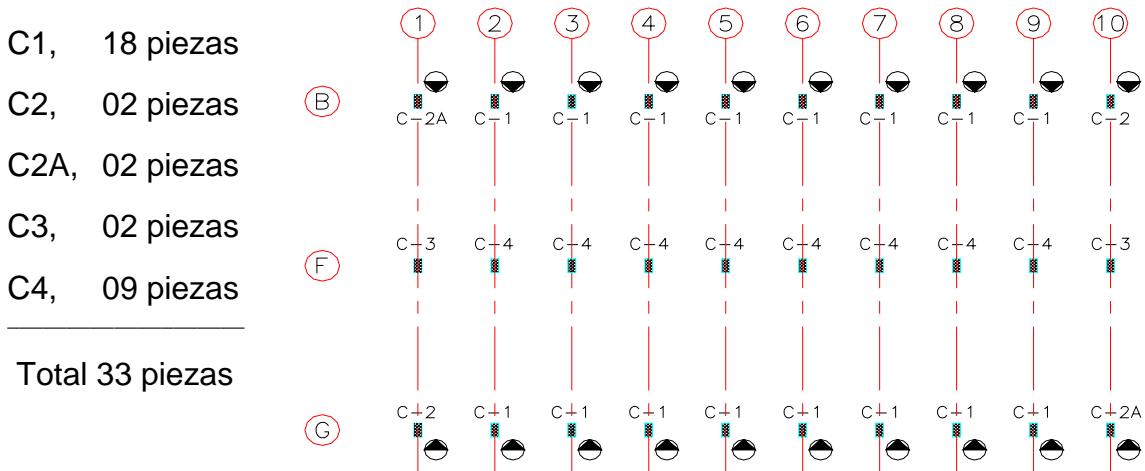
## VI.1. Costos de columnas

Las columnas son un elemento de vital importancia en la estructura, en ellas se traslada carga de niveles superiores (de toda la estructura) hasta llegar a la cimentación y descargar al suelo.

Las columnas desarrolladas para la nave son prefabricadas coladas en sitio. En la elaboración de las columnas, comienza a observarse las diferencias entre la construcción tradicional prefabricada y la prefabricada en sitio debido al movimiento de materiales y piezas dentro de la obra.

Las columnas construidas para este proyecto fueron un total de 33. El cálculo arrojó 5 tipos de columnas diferentes marcadas en planos como; C1, C2, C2A, C3 y C4 (Esquema VI.1.1). Todas poseen la misma sección (50 centímetros x 80 centímetros) y difieren (caracterizando unas de otras) en los armados, accesorios y ubicación dentro de la estructura.

El número de columnas por rubro es el siguiente:

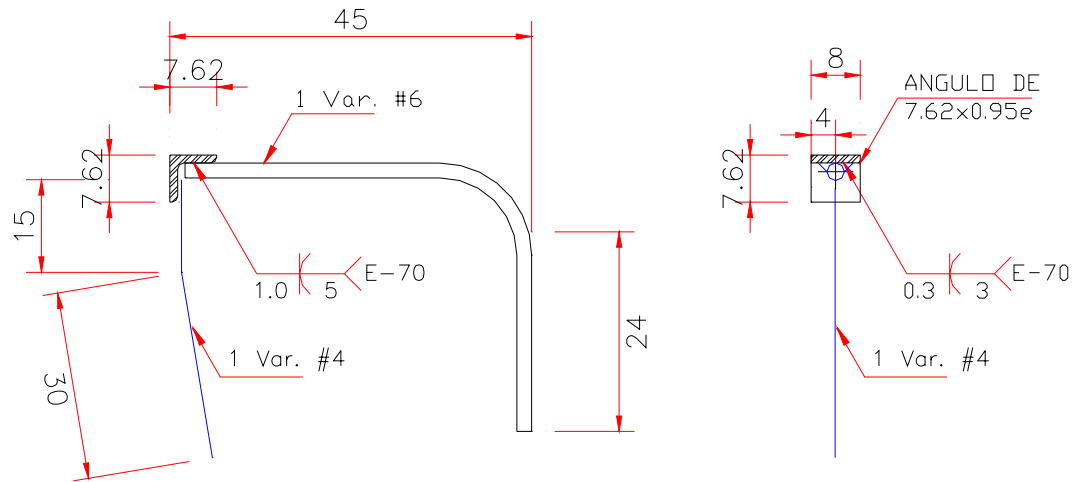


VI.1.1. Distribución de columnas.

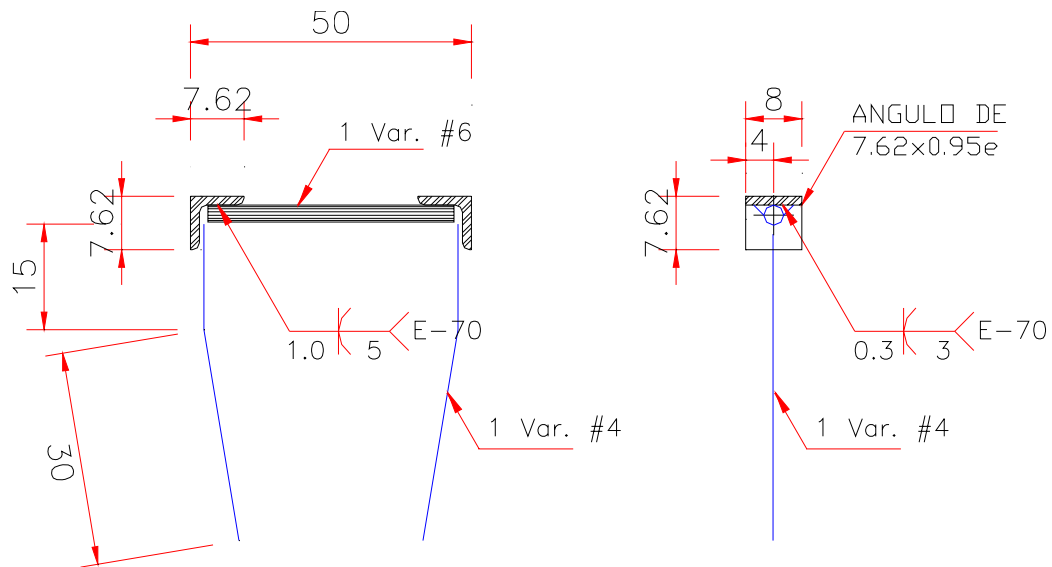
Las partes que conforman una columna terminada son; concreto, varillas de acero para refuerzo longitudinal, refuerzo transversal (estribos), perno regulador, accesorios (placas unidas mediante soldadura con varillas) y ganchos de izaje. Las piezas que conforman las columnas se explican dentro de los Capítulos II, III y IV de este trabajo.

Para llevar a cabo la cuantificación en los costos de construcción de la nave se evaluarán los consumos de cada uno de los materiales. Para el caso específico de cálculo de cantidades de concreto y refuerzo longitudinal y transversal en columnas nos apoyaremos de los esquemas E.III.5.7 y E.III.5.8. encontrados en el punto 5 del capítulo III.

En el caso de los accesorios, para evaluar las cantidades de varillas, placas o ángulos de acero requeridas para realizar los accesorios serán cuantificadas apoyándose en los esquemas E.VI.1.2. y E.VI.1.3.



**E.VI.1.2. Accesorio # 1 de columnas.**



**E.VI.1.3. Accesorio # 2 de columnas.**

Con lo anterior se realizó la cuantificación de todos los elementos que intervienen en la construcción de columnas en la obra. Los resultados de la cuantificación se muestran en la tabla VI.1.1.

Presentado el resumen total de la cuantificación se procede a buscar los costos que satisfagan a cada uno de los rubros.

Las cotizaciones obtenidas se realizaron de manera telefónica y por Internet. Se escogieron los costos más económicos en cuanto a los materiales y la mano de obra fue realizada por un arquitecto de confianza del dueño.

## Cuantificación de columnas

<b>Longitud total de columnas</b>	<b>330.00 [m]</b>
-----------------------------------	-------------------

<b>Concreto</b>	<b>132.00 [m<sup>3</sup>]</b>
-----------------	-------------------------------

		Varillas en metros lineales					Angulo	Torón
		#3	#4	#6	#8	#10	7.62x.95	½
<b>A c e r o</b>	Longitudinal			1890.00	1538.40	468.80		
	Transversal	12820.00						
	Accesorios		54.00	35.40			9.14	
	Torones							330.00
<b>Totales en metros lineales</b>		<b>12820</b>	<b>54</b>	<b>1925</b>	<b>1538</b>	<b>469</b>	<b>9</b>	<b>330</b>

		Varillas en kilogramos					Angulo	Torón
		#3	#4	#6	#8	#10	7.62x.95	½
<b>A c e r o</b>	Longitudinal			4224.15	6112.06	2909.84		
	Transversal	7166.38						
	Accesorios		53.62	79.12			98.02	
	Torones							255.75
<b>Totales en kilogramos</b>		<b>7166</b>	<b>54</b>	<b>4303</b>	<b>6112</b>	<b>2910</b>	<b>98</b>	<b>256</b>

Varillas	#3	#4	#6	#8	#10	Angulo	Torón
<b>Pesos [kg/m]</b>	0.559	0.993	2.235	3.973	6.207	10.72	0.775

Tabla VI.1.1. Resumen de cuantificación de conceptos de columnas prefabricadas.

Los costos se obtuvieron entre las fechas del 25 de octubre al 5 de noviembre del presente año. Por lo tanto la validez de estos se mantendrán vigentes durante aproximadamente dos mes (hasta febrero del 2007). Tabla VI.1.2.

El costo por pieza de columna prefabricada colada en sitio es de \$ 20,753.56. En este precio se incluye materiales, mano de obra, transporte local, conexiones, montaje, costos indirectos y utilidad.

Cabe citar que si la pieza se hubiera realizado en una prefabricadora el monto se incrementaría aproximadamente 14.41 % debido al transporte (equivalente a \$2,990.91 por pieza).



## Costos de columnas

<b>Materiales</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Importe</b>
Acero de refuerzo	4.82-8.19 kg	21983.34	\$ 146,048.90
Alambre recocido	13.03 kg	659.50	\$ 8,593.29
Acero de presfuerzo (gancho de izaje)	13.50 kg	294.11	\$ 3,970.52
Concreto $f'c=300$ kg/cm <sup>2</sup>	1122.00 m <sup>3</sup>	135.96	\$ 152,547.12
Lubricante en molde (desmoldante)	17.87 lt	17.33	\$ 309.77
Acero en accesorios (subcontrato)	21.50 kg	104.89	\$ 2,255.03
Casquillo de nivelación	5.00 pza	33.00	\$ 165.00
Cimbra madera en columna	343.64 m <sup>2</sup>	33.00	\$ 11,340.00
Materiales menores	325229.64 %	3.00%	\$ 9,756.89
			<b>\$ 334,986.53</b>
<b>Mano de obra</b>			
Armado y habilitado de acero de refuerzo	2.50 kg	21983.34	\$ 54,958.34
Mano de obra en columnas	500.00 m <sup>3</sup>	135.96	\$ 67,980.00
			<b>\$ 122,938.34</b>
<b>Equipo y herramienta</b>			
Equipo menor	457924.87 %	5.00%	<b>\$ 22,896.24</b>
<b>Costos indirectos y utilidad</b>		25.00%	<b>\$ 120,205.28</b>
<b>Fabricación C.V.</b>		Suma de montos (M+MO+EH+I)	<b>\$ 601,026.39</b>
<b>Tranporte Local</b>		0.50	<b>\$ 27,500.00</b>
<b>Montaje (renta 60000)</b>		0.50	<b>\$ 30,000.00</b>
<b>Fabricación y montaje</b>			<b>\$ 658,526.39</b>
<b>Conexiones</b>		4.00%	<b>\$ 26,341.06</b>
<b>Gran total</b>			<b>\$ 684,867.44</b>
<b>Total por pieza (33 piezas)</b>			<b>\$ 20,753.56</b>

Tabla VI.1.2. Resumen de costos de conceptos de columnas prefabricadas.

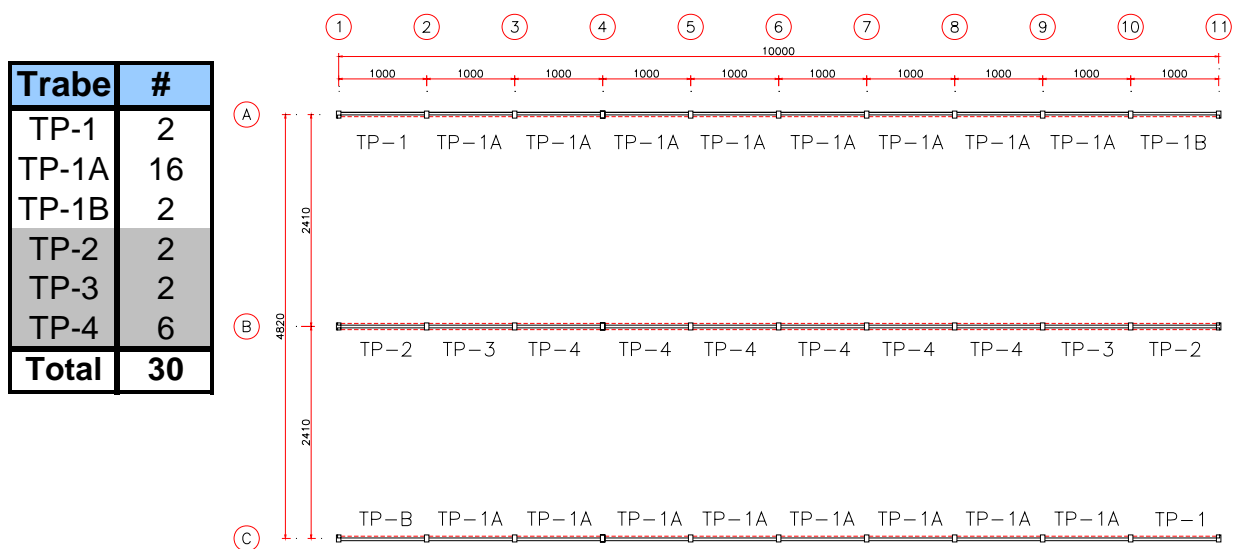
En total se tiene un ahorro por costos de transporte columnas es de \$ 98,700.00, que es el resultado de transportar 33 columnas a sitio considerando la renta de un trailer de 28 toneladas un tiempo de 0.70 meses. Se adiciona a la renta, el flete de cada uno de los viajes provocados por el transporte (16) y, la contratación de una persona que apoyará en el montaje y colocación de las piezas.

## VI.2. Costos de traves

Como hemos visto en el proceso de construcción de la nave industrial, existen 2 tipos diferentes de traves; traves tipo L y traves tipo T (invertida).

Se realizaron en total 30 traves, siendo 20 de lindero y 10 centrales. Recordemos que las traves son elementos prefabricados no pretensados y que la prefabricación fue realizada en sitio.

Estas a su vez se subdividen en 6 tipos diferentes de traves nombradas en proyecto como trave TP-1, TP-1A, TP-1B, TP-2, TP-3 y TP-4. Esquema E.VI.2.1.



E.VI.2.1. Distribución de traves.

Los primeros 3 elementos se encuentran ubicados en la periferia de la nave, mientras que los últimos son piezas localizadas en la parte centra.

Este tipo de elementos son conocidos en el campo de las estructuras prefabricadas como traves de portantes (pues su función principal es soportar a los elementos dobles T, pero a su vez son traves de rigidez, pues proporcionan esta propiedad a la estructura completando el marco con las columnas.

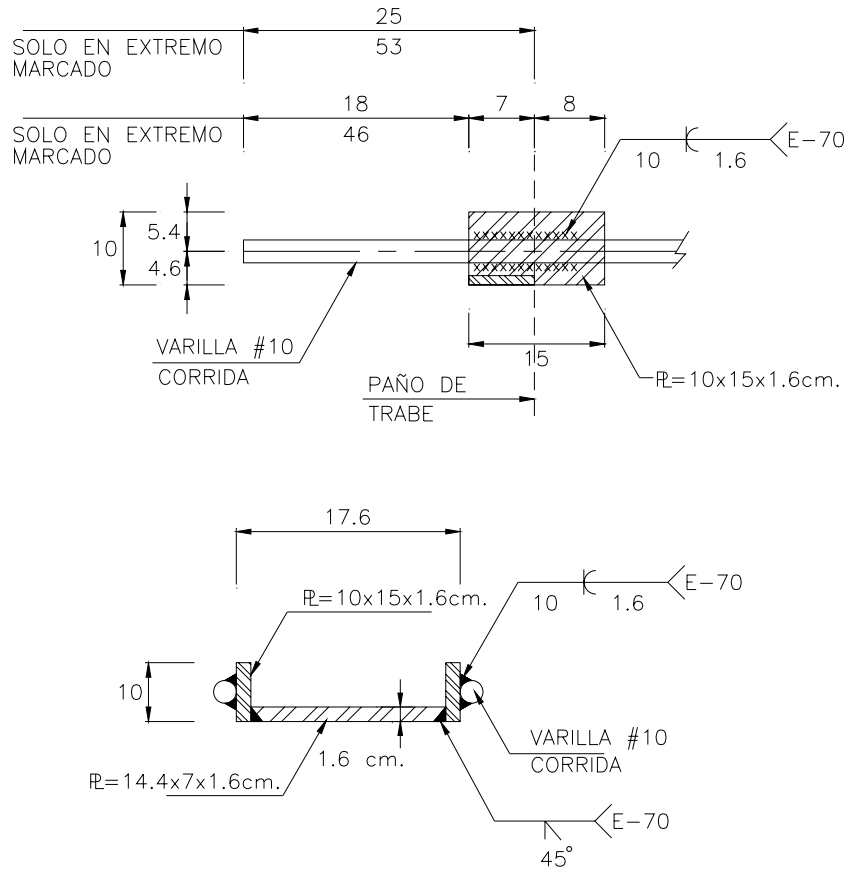
Para realizar la cuantificación de concreto y acero longitudinal y transversal empleados en las traves, nos apoyamos en los esquemas E.III.5.7 y E.III.5.8, localizados dentro del punto 5 en el Capítulo III.

El cálculo de los accesorios colocados en las piezas prefabricadas los cuantificaremos con apoyo de los esquemas E.IV.2.2., E.VI.2.3., E.VI.2.4 y E.VI.2.5.

## Accesorio 1 (A-1).

Este accesorio se presenta en absolutamente todos los elementos trabe localizados en la estructura (centrales como de lindero). Se coloca por pareja (una en cada extremo) ahogada en el concreto y previamente soldada al refuerzo longitudinal.

Este accesorio se encuentra formado por 3 placas que soldadas forman un canal (Esquema VI.2.2)



**E.VI.2.2. Accesorio # 1 de trabes portantes.**

El canal es soldado de los a las varillas de refuerzo longitudinal, tiene la característica que la placa debe quedar exactamente a paño de la trabe para esta ser soldada con la placa que presente la columna. El número total de accesorios es 60.

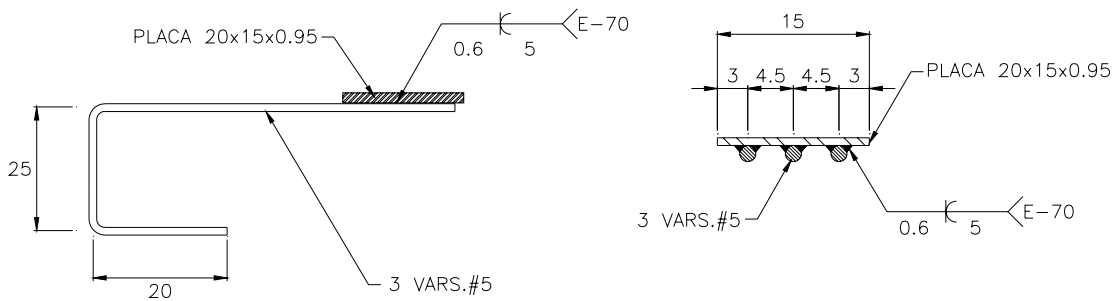
Los elementos que lo componen son:

- 2 placas de 10 x 15 x 1.6 (cm x cm x cm )
- 1 placa de 14.4 x 7 x 1.6 (cm x cm x cm )

## Accesorio 2 (A-2, traves tipo L)

El A-2 se encuentra dentro de las piezas tipo L, consta de los siguientes elementos. Esquema E.VI.2.3:

- Varillas del #5
- Placa de acero de 20 x 15 x 0.95 ( cm x cm x cm)



E.VI.2.3. Accesorio # 2 de trabe portante tipo L.

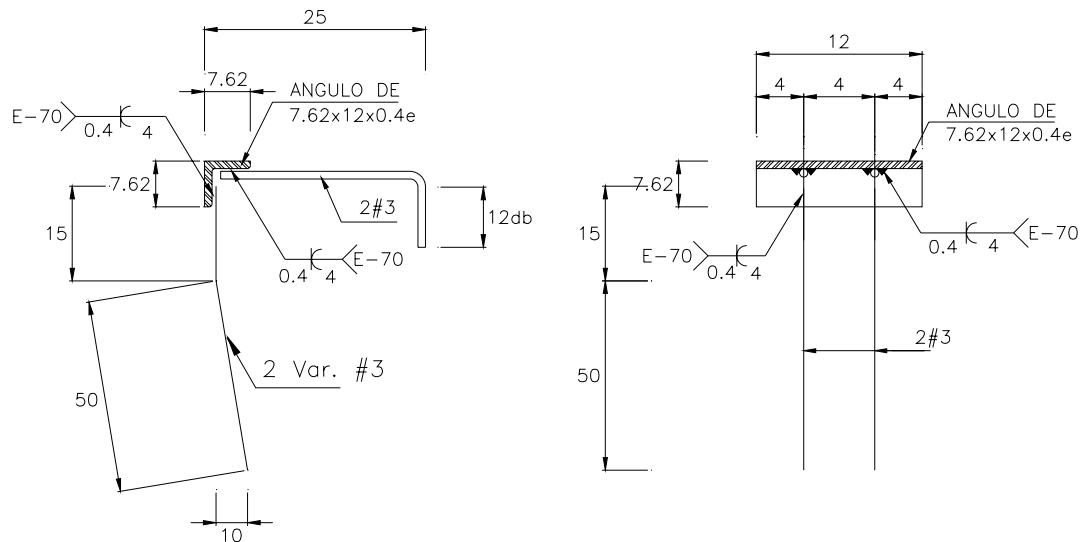
En cada pieza portante, se localizan 8 y 6 accesorios de este tipo.

## Accesorio 3 (A-3)

El A-3 es una pieza especial para las traves de linderos, en este accesorio unían (mediante soldadura) los muros prefabricados a la estructura.

El accesorio se encuentra compuesto por (Esquema E.VI.2.4.):

- 4 varillas del #3
- Angulo de 7.62 x 12 x 0.40 (cm x cm x cm)



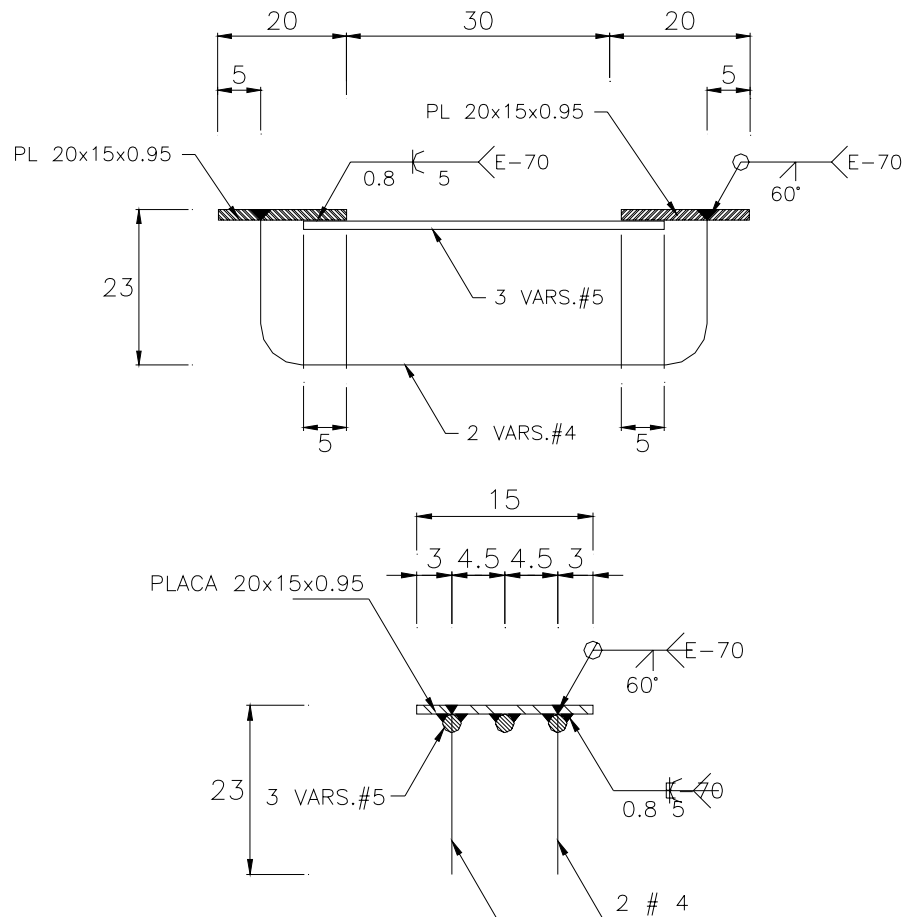
E.VI.2.4. Accesorio # 3 de trabe portante tipo L.

## Accesorio 2 (A-2, traves tipo T invertida)

Este accesorio es colocado en el elemento trabe T invertida (trabe central) y tiene como finalidad recibir a las dobles T en las partes centrales, aplicándose soldadura para realizar la unión entre ambos elementos.

El accesorio se encuentra formado por (Esquema IV.2.5.):

- 3 varillas del #4
- 2 varillas del #5
- 2 placas de 20 x 15 x 0.95 (cm x cm x cm)



**E.VI.2.5. Accesorio # 4 de trabe portante tipo T invertida.**

Con lo anterior se realizó la cuantificación de todos los elementos que intervienen en la construcción de traves en la obra. Los resultados de la cuantificación se muestran dentro de la tabla VI.2.1.

Presentado el resumen total de la cuantificación se procede a buscar los costos que satisfagan a cada uno de los rubros.

## Cuantificación Trabes

<b>Longitud total de trabes</b>	<b>284.40 [m]</b>
---------------------------------	-------------------

<b>Concreto</b>	<b>96.70 [m<sup>3</sup>]</b>
-----------------	------------------------------

		Varillas (m)					Placa (m <sup>2</sup> )		Angulo (m)	Torón (m)
		#3	#4	#5	#8	#10	10x15x1.6	20x15x.95	7.62	½
<b>A c c e s o r i o</b>	Longitudinal		1846.80		533.52	1332.10				
	Tranversal	9833.67								
	Accesorios	808	135.68	422.40			2.40	7.68	48	
	Torones									300
<b>Totales</b>		<b>10642</b>	<b>1982</b>	<b>422</b>	<b>534</b>	<b>1332</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>48</b>	<b>300</b>

		Varillas (kg)					Placa (kg)		Angulo (kg)	Torón (kg)
		#3	#4	#5	#8	#10	10x15x1.6	20x15x.95	7.62	½
<b>A c c e s o r i o</b>	Longitudinal		1833.87		2119.67	8268.34				
	Tranversal	5497.02								
	Accesorios	451.672	134.73	944.06			299.37	573.62	514.56	
	Torones									232.5
<b>Totales</b>		<b>5949</b>	<b>1969</b>	<b>944</b>	<b>2120</b>	<b>8268</b>	<b>299</b>	<b>574</b>	<b>515</b>	<b>233</b>

		Placas [kg/m <sup>2</sup> ]								
Varillas		#3	#4	#6	#8	#10	Angulo	Torón	10x15x1.6	20x15x.95
<b>Pesos [kg/m]</b>		0.559	0.993	2.235	3.973	6.207	10.72	0.775	124.49	74.69

Tabla VI.2.1. Resumen de cuantificación de conceptos de trabes prefabricadas.

Las cotizaciones obtenidas fueron mediante llamadas telefónicas y por Internet. Se escogieron los costos más económicos en cuanto a los materiales y la mano de obra fue realizada por un arquitecto personal de confianza del dueño.

Los costos se obtuvieron entre las fechas del 25 de octubre al 5 de noviembre del presente año. Por lo tanto la validez de estos se mantendrá vigente durante aproximadamente dos mes (hasta febrero del 2007). Tabla VI.2.2.

El costo por pieza de trabe prefabricada colada en sitio es de \$ 20,759.67. En este precio se incluye materiales, mano de obra, transporte local, conexiones, montaje, costos indirectos y utilidad.

Cabe citar que si la pieza se hubiera realizado en una prefabricadora el monto se incrementaría aproximadamente 11.49 % debido al transporte (equivalente a \$2,386.67 por pieza).

## Costos de traves

<b>Materiales</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Importe</b>
Acero de refuerzo	4.82-8.19 kg	20596.84	\$ 139,879.18
Alambre recocido	13.03 kg	617.91	\$ 8,051.30
Acero de presfuerzo (gancho de izaje)	13.50 kg	267.38	\$ 3,609.56
Concreto $f_c' = 300$ kg/cm <sup>2</sup>	1020.00 m <sup>3</sup>	99.60	\$ 101,593.02
Lubricante en molde (desmoldante)	17.87 lt	12.70	\$ 226.93
Acero en accesorios (subcontrato)	21.50 kg	1484.68	\$ 31,920.65
Cimbra madera en traves Portantes TPT	528.98 m <sup>2</sup>	10.00	\$ 5,289.84
Cimbra madera en traves rigidizantes	392.47 m <sup>2</sup>	20.00	\$ 7,849.44
Materiales menores	298419.93 %	3.00%	\$ 8,952.60
			<b>\$ 307,372.53</b>
<b>Mano de obra</b>			
Armado y habilitado de acero de refuerzo	2.50 kg	20596.84	\$ 51,492.09
Mano de obra en traves	450.00 m <sup>3</sup>	99.60	\$ 44,820.45
			<b>\$ 96,312.54</b>
<b>Equipo y herramienta</b>			
Equipo menor	403685.07 %	5.00%	<b>\$ 20,184.25</b>
<b>Costos Indirectos y utilidad</b>		25.00%	<b>\$ 105,967.33</b>
<b>Fabricación C.V.</b>		Suma de montos (M+MO+EH+I)	<b>\$ 529,836.65</b>
<b>Tranporte local</b>		0.60	<b>\$ 33,000.00</b>
<b>Montaje (renta 60000)</b>		0.60	<b>\$ 36,000.00</b>
<b>Fabricación y montaje</b>			<b>\$ 598,836.65</b>
<b>Conexiones</b>		4.00%	<b>\$ 23,953.47</b>
<b>Gran total</b>			<b>\$ 622,790.12</b>
<b>Total por pieza (30 piezas)</b>			<b>\$ 20,759.67</b>

Tabla VI.2.2. Resumen de cuantificación de conceptos de traves prefabricadas.

En total se tiene un ahorro por costos de transporte traves de \$ 71,600.00, que es el resultado de transportar 30 traves a sitio considerando la renta de un trailer de 28 toneladas un tiempo de 0.60 meses. Se adiciona a la renta, el flete de cada uno de los viajes provocados por el transporte (10) y, la contratación de una persona que apoyará en el montaje y colocación da las piezas.

## IV.3. Costos de losas

El sistema de piso se realizó a base de un sistema prefabricado pretensado de losas dobles T. Estas losas son conocidas dentro del mercado como losas ATT. La primera letra nos indica la forma que tendrá la losa (Forma de A, o sea a dos aguas), y las letras siguientes (TT) nos indican que la vista frontal se aprecian como dobles T.

Se optó por realizar este tipo de estructuras debido que son altamente eficientes, cubren grandes claros (aproximadamente 24.50 metros en nuestro caso) y reducen las cantidades de materiales que se utilizan en su fabricación.

La losa se encuentra compuesta por un esqueleto de acero formado por varillas del #3 y del #4. El refuerzo longitudinal esta compuesto por torones de media pulgada, mientras que los estribos son piezas de altura variable armadas con varillas del #3. Los patines de la doble T son reforzados con malla electrosoldada de calibre 6 x 6 – 8 x 8. (Los armados y detalles se localizan en el tema 5 “Secciones definitivas” en el capítulo III).

En total son 4 tipos de losas diferentes, 12 piezas SST-1, 2 SST-1A, 2 SST-1B y 48 SST-2, sumando un total de 64 piezas. Esquema VI.3.1.

Cada doble T cuenta con ganchos de izaje, accesorios y conector tipo en cada una de las piezas. A continuación describimos las componentes del conector tipo y del accesorio.

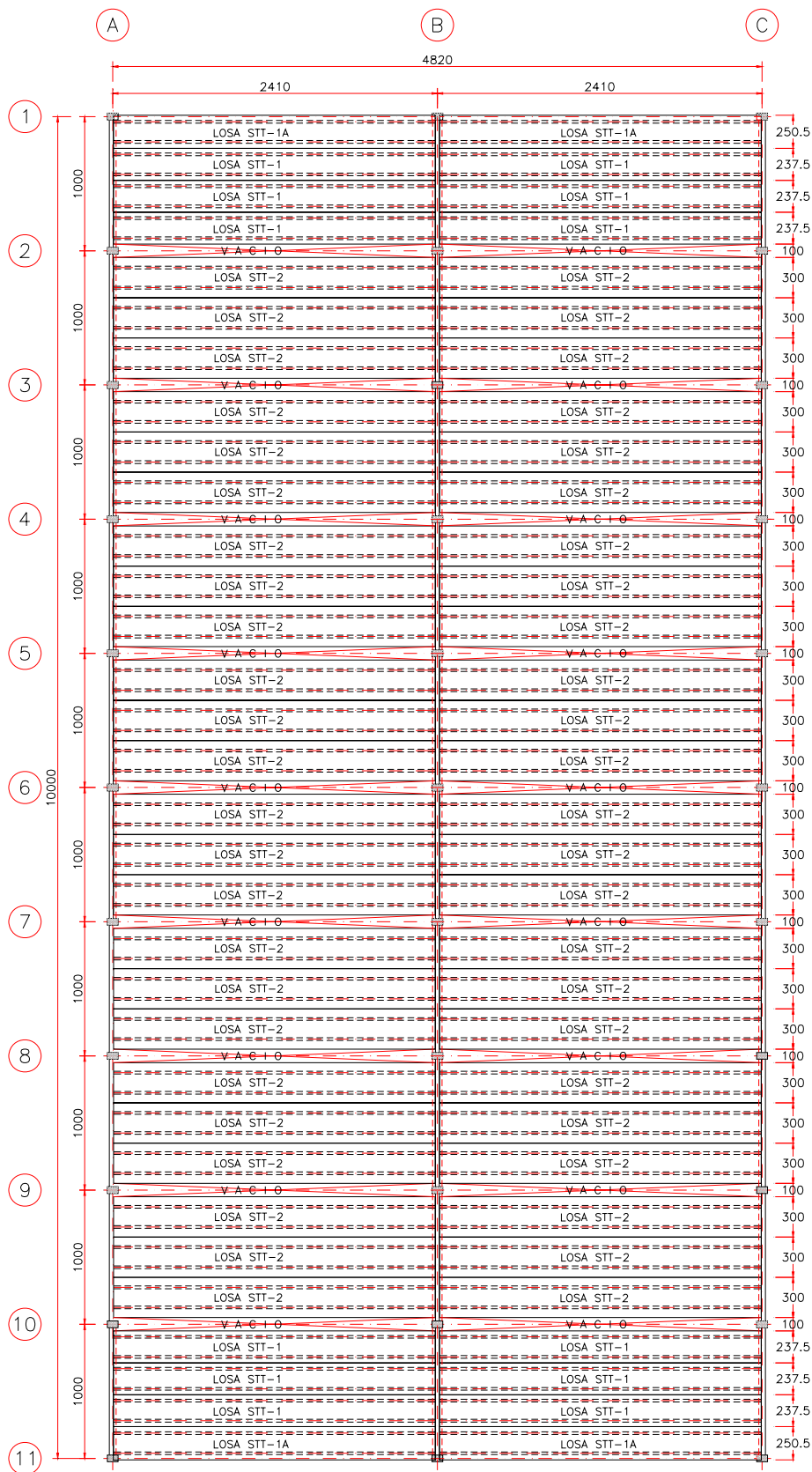
### Conector tipo

El conector es un artificio dentro de este tipo de estructuras el cual busca uniformizar el diafragma semirígido dentro del sistema de piso. E.III.5.2. El conector une las dobles T unas con otras mediante el apoyo de soldadura E-70 xx. Este conector es conocido en el ámbito de los prefabricados como conector sísmico y tiene como objetivo que las piezas se encuentren unidas y en caso de algún efecto dinámico que pudiera presentarse, las dobles T se desplacen todas hacia un mismo lugar y no lleguen a presentarse choques ente ellas.

Los problemas que se presentan en la unión de conectores, es que las dimensiones de la doble T no son exactamente las mismas unas con otras, comúnmente las losas quedan un poco desalineadas. Aun quedando levemente desfasadas, la soldadura puede llevarse a cabo. En los espacios vacíos presentados en las uniones, tiene que calafatearse para posteriormente colocarse la capa de impermeabilización.

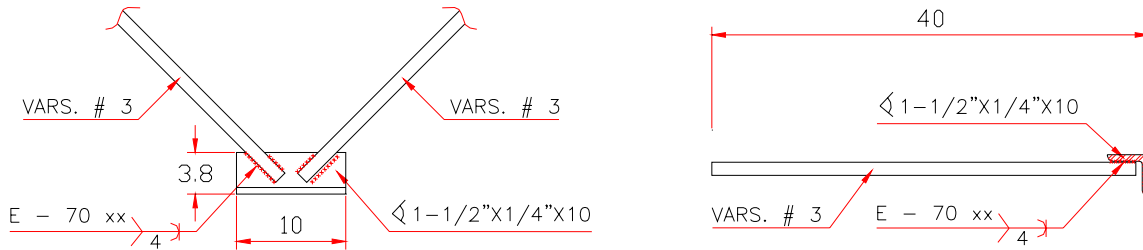


## Elementos prefabricados pretensados en sitio



**E.VI.3.1. Distribución de losas.**

Existen 16 conectores de unión en cada una de las piezas dobles T. Cada conector esta compuesto por dos varillas del #3 y un ángulo de lados iguales de 3.81 x 0.64 (cm x cm). Esquema VI.3.2.

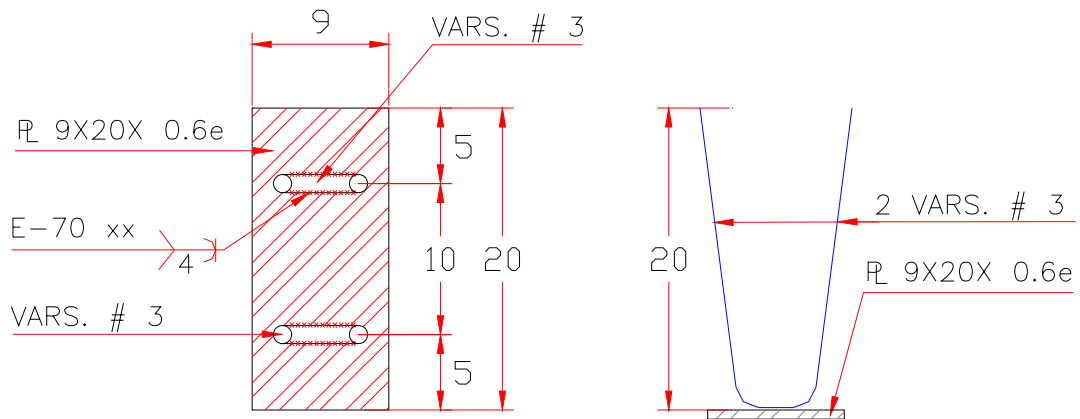


E.VI.3.2. Conector tipo en losas.

### Accesorio 1 (A-1)

El A-1 tienen la función principal de unir el sistema de piso con las traveses portantes. La placa ahogada dentro del extremo de la doble T en la zona de nervaduras será unida a la placa del accesorio A-2 de las traveses portantes.

Este accesorio se compone básicamente de dos elementos; 2 varillas del #3, y una placa de acero de 9 x 20 x 0.6e (cm x cm x cm). A las varillas se les proporcionará forma de U y serán soldadas a la placa de acero.



E.VI.3.3. Accesorio A-1 en doble T.

Con lo anterior se realizó la cuantificación de todos los elementos que intervienen en la construcción de dobles T de la obra. Los resultados de la cuantificación se muestran dentro de la tabla VI.3.1.

Presentado el resumen total de la cuantificación se procede a buscar los costos que satisfagan a cada uno de los rubros.

## Cuantificación losas

Longitud total de losas	1529.60 [m]
-------------------------	-------------

Concreto	444.78 [m <sup>3</sup> ]
----------	--------------------------

Barriletes	40 piezas
------------	-----------

	#3	#4	Torón 1/2"	6x6-8/8	Ang 3.81x 0.64	Placa 9x20x.6
Acero Longitudinal	18022.40	3100.65	15936.00	---	---	---
Acero Transversal	23033.12	---	---	---	---	---
Malla	---	---	---	4369.53	---	---
Conectores	819.20	---	---	---	102.4	---
Accesorios	230.40	---	---	---	---	4.608
Ganchos de izaje	---	---	6144	---	---	---
<b>Total en m y m<sup>2</sup></b>	<b>42105.12</b>	<b>3100.65</b>	<b>22080.00</b>	<b>4369.53</b>	<b>102.40</b>	<b>4.61</b>

	#3	#4	Torón 1/2"	6x6-8/8	Ang 3.81x 0.64	Placa 9x20x.6
Acero Longitudinal	10074.52	3078.94	12350.40	---	---	---
Acero Transversal	12875.51	---	---	---	---	---
Malla	---	---	---	4238.44	---	---
Conectores	457.93	---	---	---	356.352	---
Accesorios	128.79	---	---	---	---	229.29408
Ganchos de izaje	---	---	4761.6	---	---	---
<b>Total en kg</b>	<b>23536.76</b>	<b>3078.94</b>	<b>17112.00</b>	<b>4238.44</b>	<b>356.35</b>	<b>229.29</b>

Varillas	#3	#4	Torón	Malla	Angulo [kg/m] 3.81x0.64	Placas [kg/m <sup>2</sup> ] 9x20x.6
Pesos [kg/m]	0.559	0.993	0.775	0.97	3.48	49.76

Tabla VI.3.1. Resumen de cuantificación de conceptos de losas prefabricadas.

Las cotizaciones obtenidas fueron mediante llamadas telefónicas y por Internet. Se escogieron los costos más económicos en cuanto a los materiales y la mano de obra fue realizada por un arquitecto personal de confianza del dueño.

Los costos se obtuvieron entre las fechas del 25 de octubre al 5 de noviembre del presente año. Por lo tanto la validez de estos se mantendrá vigente durante aproximadamente dos mes (hasta febrero del 2007). Tabla VI.3.2.

El costo por pieza de losa prefabricada colada en sitio es de \$ 43,654.07. En este precio se incluye materiales, mano de obra, transporte local, pretensado, curado, costos indirectos, conexiones y montaje.

Cabe citar que si la pieza se hubiera realizado en una prefabricadora el monto se incrementaría aproximadamente 13.96 % debido al transporte (equivalente a \$6,078.13 por pieza).

## Costos de losas

<b>Materiales</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Importe</b>
Acero de refuerzo	4.82-8.19 kg	28478.80	\$ 233,867.33
Alambre recocido	13.03 kg	854.36	\$ 11,132.36
Acero de presfuerzo (longitudinal)	13.50 kg	14202.96	\$ 191,739.96
Ganchos de izaje	13.50 kg	2737.92	\$ 36,961.92
Concreto $f_c' = 350$ kg/cm <sup>2</sup>	1190.00 m <sup>3</sup>	458.12	\$ 545,166.85
Lubricante en molde (desmoldante)	17.87 lt	58.41	\$ 1,043.80
Malla electrosoldada 6x6/8x8	13.46 m <sup>2</sup>	4675.40	\$ 62,930.83
Acero en accesorios (subcontrato)	21.50 kg	104.89	\$ 2,255.03
Diesel (caldera curado acelerado)	5.20 lt	13743.70	\$ 71,467.25
Cimbra metálica en losa T	7812.50 pza	64.00	\$ 500,000.00
Materiales menores	1656565.33 %	3.00%	\$ 49,696.96
			<b>\$ 1,706,262.29</b>
<b>Mano de obra</b>			
Armado y habilitado de acero de refuerzo	2.50 kg	28478.80	\$ 71,197.00
Mano de obra en losas	380.00 m <sup>3</sup>	458.12	\$ 174,086.89
			<b>\$ 245,283.90</b>
<b>Equipo y herramienta</b>			
Equipo menor	1,951,546.19 %	5.00%	<b>\$ 97,577.31</b>
<b>Costos Indirectos y utilidad</b>	25.00%		<b>\$ 512,280.87</b>
<b>Fabricación C.V.</b>	Suma de montos (M+MO+EH+I)		<b>\$ 2,561,404.37</b>
<b>Transporte local</b>	1.00		<b>\$ 65,000.00</b>
<b>Montaje (renta 60000)</b>	1.00		<b>\$ 60,000.00</b>
<b>Fabricación y montaje</b>			<b>\$ 2,686,404.37</b>
<b>Conexiones</b>	4.00%		<b>\$ 107,456.17</b>
<b>Gran total</b>			<b>\$ 2,793,860.55</b>
<b>Total por pieza (64 piezas)</b>			<b>\$ 43,654.07</b>

Tabla VI.3.2. Resumen de cuantificación de conceptos de losas prefabricadas.

En total se tiene un ahorro por costos de transporte losas de \$ 389,000.00, que es el resultado de transportar 64 piezas a sitio considerando la renta de un trailer de 28 toneladas un tiempo de 2.50 meses. Se adiciona a la renta, el flete de cada uno de los viajes provocados por el transporte (64) y, la contratación de una persona que apoyará en el montaje y colocación de las piezas.

## VI.4. Costos de muros

Los muros son el último elemento de concreto prefabricado colado en sitio colocado en la nave industrial. Si bien es cierto que los muros no son tomados en cuenta como elementos estructurales, estos deben ser diseñados y fijados de manera adecuada a la estructura evitando así su desprendimiento o ruptura.

Cuando los muros adquieren la resistencia necesaria para ser montados, son tomados por la grúa y colocados en sus lugares correspondientes.

Entre pieza y pieza de muros queda inevitablemente un pequeño vacío el cual es producto de variaciones que se presentan en la etapa de colado. Estas ranuras son rellenas con silicón el cual actúa como resanador de grietas impermeable.

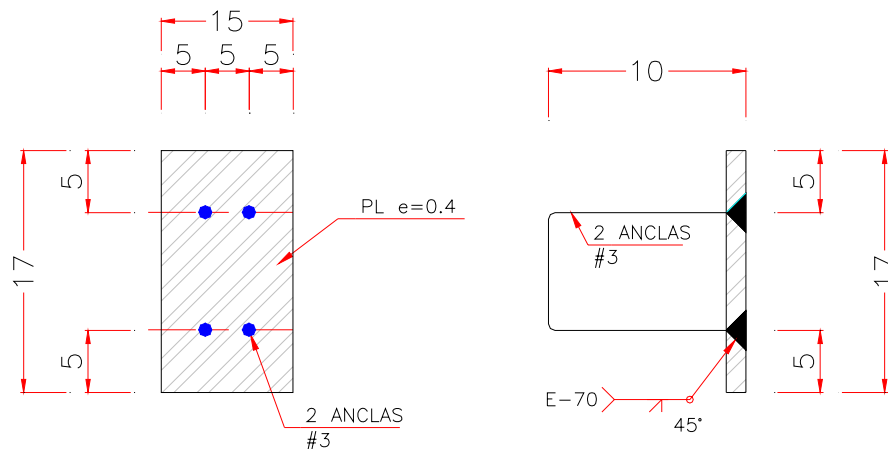
Se realizaron dos tipos de muros como se explica dentro del capítulo III “Proyecto estructural”. Se montaron un total de 283 muros, de los cuales 45 son del tipo MC1, 219 del tipo MC2, 10 son de forma MC2 pero con la mitad de longitud y 9 con forma de MC 2 con  $\frac{3}{4}$  de su longitud.

Para la cuantificación de concreto y acero nos apoyaremos en los esquemas E.III.5.9., E.III.5.10., E.III.5.11. y E.III.5.12. Los accesorios colocados en muros los evaluaremos con apoyo de E.VI.4.1. y E.VI.4.2. Son dos los tipos de accesorios dentro de la estructura y cada uno de ellos tiene una función especial.

### Accesorio 1 (A-1)

Tienen como función primordial realizar la unión entre los muros y las traveses portantes de linderos.

A-1 se encuentra formada por una placa de 15 x 17 x 0.40 cm x cm x cm y un par de anclas de varillas del #3 soldadas al elemento. E.VI.4.1.



E.VI.4.1. Accesorio 1 colocado en muros de concreto reforzado.

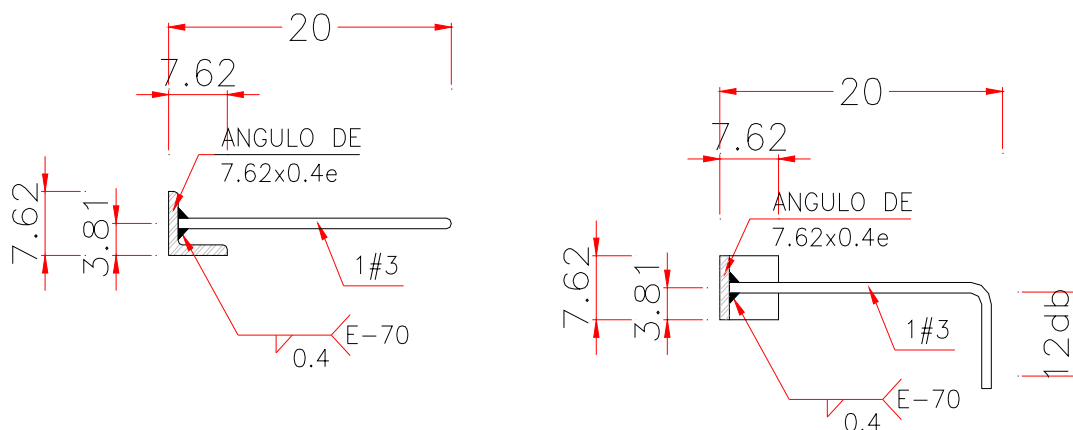
## Accesorio 2 (A-2)

Este accesorio se localiza dentro de las traveses portantes es por eso que el desarrollo de su cuantificación no se realiza en este punto, sino en el correspondiente a traveses portantes.

## Accesorio 3 (A-3)

Es colocado en las esquinas superiores de los muros y tiene la función única y específica de unir muros con muros.

A-3 esta formado por dos piezas, una varilla de acero del #3 y un ángulo de lados iguales de 7.62 x 0.40 cm x cm de espesor. E.VI.4.2.



**E.VI.4.1. Accesorio 1 colocado en muros de concreto reforzado.**

Con lo anterior se realizó la cuantificación de todos los elementos que intervienen en la construcción de los muros de la obra. Los resultados de la cuantificación se muestran dentro de la tabla VI.4.1.

Presentado el resumen total de la cuantificación se procede a buscar los costos que satisfagan a cada uno de los rubros.

Las cotizaciones obtenidas fueron mediante llamadas telefónicas y por Internet. Se escogieron los costos más económicos en cuanto a los materiales y la mano de obra fue realizada por un arquitecto personal de confianza del dueño.

Los costos se obtuvieron entre las fechas del 25 de octubre al 5 de noviembre del presente año. Por lo tanto la validez de estos se mantendrá vigente durante aproximadamente dos mes (hasta febrero del 2007). Tabla VI.4.2.

El costo por pieza de muro prefabricada colada en sitio es de \$ 3,796.78. En este precio se incluye materiales, mano de obra, transporte local, costos indirectos, conexiones y montaje.

## Cuantificación muros

<b>Longitud total de muros</b>	<b>2840.23 [m]</b>
--------------------------------	--------------------

<b>Concreto</b>	<b>319.16 [m]</b>
-----------------	-------------------

		Varilla		Placa (m <sup>2</sup> ) 15 x 17 x 0.40	Angulo (m) 7.62 x 0.40	Torón (m) ½
		#3	#8			
<b>A c e r o</b>	Longitudinal	11446.45				
	Tranversal	9816.48				
	Accesorios	361.89		10.20	43.1292	
	Torones					905.6
	Perno nivelador		127.35			
<b>Totales en m y m<sup>2</sup></b>		<b>21624.82</b>	<b>127.35</b>	<b>10.20</b>	<b>43.13</b>	<b>905.60</b>

		Varilla		Placa (m <sup>2</sup> ) 15 x 17 x 0.40	Angulo (m) 7.62 x 0.40	Torón (m) ½
		#3	#8			
<b>A c e r o</b>	Longitudinal	6398.57				
	Tranversal	5487.41				
	Accesorios	202.30		380.97	238.07	
	Torones					701.84
	Perno nivelador		505.96			
<b>Totales en kg</b>		<b>12088.28</b>	<b>505.96</b>	<b>380.97</b>	<b>238.07</b>	<b>701.84</b>

Varillas	Varillas		Placas [kg/m <sup>2</sup> ]	Angulo	Torón
	#3	#8	10x15x0.4		
<b>Pesos [kg/m]</b>	0.559	3.973	37.35	5.52	0.775

**Tabla VI.4.1. Resumen de cuantificación de conceptos de muros prefabricadas.**

Cabe citar que si la pieza se hubiera realizado en una prefabricadora el monto se incrementaría aproximadamente 20.24 % debido al transporte (equivalente a \$768.55 por pieza).

## Costos de muros

<b>Materiales</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Importe</b>
Acero de refuerzo	4.82-8.19 kg	13475.83	\$ 108,542.64
Alambre recocido	13.03 kg	404.28	\$ 5,267.70
Acero de presfuerzo (gancho de izaje)	13.50 kg	807.12	\$ 10,896.07
Concreto $f_c=300$ kg/cm <sup>2</sup>	1020.00 m <sup>3</sup>	328.73	\$ 335,309.50
Lubricante en molde (desmoldante)	17.87 lt	41.91	\$ 749.00
Acero en accesorios (subcontrato)	21.50 kg	662.38	\$ 14,241.09
Casquillo de nivelación	5.00 pza	283.00	\$ 1,415.00
Cimbra metálica en muros	70.97 m <sup>2</sup>	260.00	\$ 18,451.20
Materiales menores	494872.19 %	3.00%	\$ 14,846.17
			<b>\$ 509,718.36</b>
<b>Mano de obra</b>			
Armado y habilitado de acero de refuerzo	2.50 kg	13475.83	\$ 33,689.59
Mano de obra en muros	300.00 m <sup>3</sup>	328.73	\$ 98,620.44
			<b>\$ 132,310.03</b>
<b>Equipo y herramienta</b>			
Equipo menor	642028.38 %	5.00%	<b>\$ 32,101.42</b>
<b>Costos Indirectos y utilidad</b>	25.00%		<b>\$ 168,532.45</b>
<b>Fabricación C.V.</b>	Suma de montos (M+MO+EH+I)		<b>\$ 842,662.25</b>
<b>Tranporte Local</b>	1.50		<b>\$ 82,500.00</b>
<b>Montaje (renta 60000)</b>	1.80		<b>\$ 108,000.00</b>
<b>Fabricación y montaje</b>			<b>\$ 1,033,162.25</b>
<b>Conexiones</b>	4.00%		<b>\$ 41,326.49</b>
<b>Gran total</b>			<b>\$ 1,074,488.74</b>
<b>Total por pieza (283 piezas)</b>			<b>\$ 3,796.78</b>

Tabla VI.4.2. Resumen de cuantificación de conceptos de muros prefabricados.

En total se tiene un ahorro por costos de transporte muros de \$ 217,500.00, que es el resultado de transportar 283 piezas a sitio considerando la renta de un trailer de 28 toneladas un tiempo de 1.50 meses. Se adiciona a la renta, el flete de cada uno de los viajes provocados por el transporte (36) y, la contratación de una persona que apoyará en el montaje y colocación de las piezas.



## VI.5. Ventajas y desventajas

Se realizará a continuación un comparativo entre el sistema constructivo realizado en esta obra con el sistema constructivo tradicional prefabricado.

La diferencia máxima entre ambos sistema es que la prefabricación de los elementos estructurales se realizo en sitio, con lo cual los insumos provocados por la prefabricadora y los fletes son reducidos a cero. A continuación se presenta un cuadro comparativo entre el sistema de prefabricación tradicional y el sistema de prefabricados colados en sitio.

Concepto	Tipo de obra prefabricada		Diferencia
	Tradicionales	En sitio	
Trámites	Permisos, licencias, certificados, etc.	Permisos, licencias, certificados, etc.	Ninguna
Equipo de trabajo	Gestor, Arquitectura, Mecánica suelos, Estructuras, Constructor, Residente, Responsable de la obra, Contrato Grúa, Concretera, Contrato Prefabricadora y Contrato transporte de piezas.	Gestor, Arquitectura, Mecánica suelos, Estructuras, Constructor, Residente, Responsable de la obra, Contrato Grúa, Concretera y Contrato con suministrador de materiales.	Montos adicionales en sistema tradicional debidos a prefabricadora y transporte de piezas. El sistema en sitio tomará en cuenta al surtidor de materiales en al lugar.
Cimentación	Armada, cimbrada y colada en sitio	Armada, cimbrada y colada en sitio	Ninguna, por lo tanto el tiempo y costo es el mismo.
Columnas y trabes	Armadas y cimbradas en prefabricadora utilizando moldes tipo de acero. Coladas en planta prefabricadora.	Armadas y cimbradas en sitio utilizando moldes tipo de madera. Coladas en sitio.	Movimiento se realiza en sitio. El tiempo de fabricación es el mismo.
Losas	Armadas y cimbradas en prefabricadora utilizando moldes tipo de acero. Coladas en planta prefabricadora.	Armadas y cimbradas en sitio utilizando molde tipo de acero. Coladas en sitio.	Movimiento se realiza en sitio. El tiempo de fabricación es el mismo.
Muros	Armados y cimbrados en prefabricadora utilizando moldes tipo de acero. Coladas en planta prefabricadora.	Armados y cimbrados en sitio utilizando molde tipo de acero. Coladas en sitio.	Movimiento se realiza en sitio. El tiempo de fabricación es el mismo.
Curado	De alto rendimiento a base de vapor.	De alto rendimiento a base de vapor.	Se consume el mismo tiempo en ambos casos.
Decimbrado	Utilizando equipo pesado y colocando la pieza en la zona de almacenaje	Utilizando equipo pesado y colocando la pieza en la zona de almacenaje	Sin diferencia
Transporte	Montaje de pieza en trailers para trasladarlo a obra. En obra es descargado y colocado en zona de almacenaje.	Tranporte interno de la zona de almacenaje al sitio de montaje	Tranporte de la fabrica prefabricadora a la obra
Montaje	Utilizando equipo pesado (grúa).	Utilizando equipo pesado (grúa).	Sin diferencia
Detalles (soldadura)	Se realizan conexiones de piezas utilizando soldadura entre accesorios.	Se realizan conexiones de piezas utilizando soldadura entre accesorios.	Sin diferencia
Sellado, impermeabilizado y pintura	Sellado de orificios, impermeabilización y pintura de la nave.	Sellado de orificios, impermeabilización y pintura de la nave.	Sin diferencia

**Tabla VI.5.1. Cuadro comparativo entre sistema prefabricado convencional y sistema prefabricado colado en sitio.**

## VII. Conclusiones

Como resultados del ejercicio de esta tesis tenemos las siguientes conclusiones:

- Buena toma de decisiones al escoger realizar los colados de los prefabricados en obra.
- Promover la realización del prefabricados en sitio con calidad ya que se llegan a tener ahorros del entre el 14-16% debidos a transporte. Tabla VII.1.
- El costo de la estructura prefabricada es de \$ 1,029.61 por m<sup>2</sup> considerando columnas, trabes, losas y muros.
- Supervisión constante proporcionó calidad de la obra.
- Adición de laboratorios dentro de la concretera que brindaba certeza en los resultados de calidad del concreto.
- Obtención de mayor eficiencia en la construcción de piezas en sitio debido a que el tiempo que se emplea en el transporte se redujo hasta cero.
- Aunque el molde es de alto costo, este se amortizó rápidamente (en la construcción de tercera nave) debido a que esta no fue la única obra en la que se utilizó, de hecho, se han desarrollado más de 15 naves equivalentes a 75 000 m<sup>2</sup> siguiendo este sistema. De haberse realizado una sola nave con este tipo de sistema, definitivamente no sería costeable trabajar con prefabricados en sitio.
- Este sistema es una evolución del sistema de construcción de prefabricados tradicional que se presenta en el caso de que se tenga el espacio suficiente en sitio para realizar la prefabricación.

El uso de maquinaria (rentada o adquirida) y el transporte de las piezas al sitio son los costos que impactan en la obra prefabricada (estos términos en el caso de prefabricados se manejan conjuntos como un índice del costo total que se encuentra dentro del rango del 15-20%). Esta maquinaria pesada, es necesaria para llevar a cabo la construcción prefabricada y, de realizarse los colados en sitio, se incrementa un poco más debido a los insumos necesarios de la concretera.

Un par de buenos indicadores económicos para la obra prefabricada serían que la producción de las piezas se encontraran cercanos al lugar (o en el lugar) y, que el equipo que monta las piezas se encontrara en movimiento constante, pues esto sería señal que hay un avance continuo y planeados (los tiempos muertos y ociosos son muy dañinos y costosos para cualquier tipo de obra, en sistemas prefabricados aún más).

## Elementos prefabricados pretensados en sitio

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Costo	Diferencia
Columna colada en sitio	Pieza	33	\$ 22,790.22	\$ 752,077.20	\$98,700.00
Columna colada en planta	Pieza	33	\$ 25,781.13	\$ 850,777.20	
Trabe colada en sitio	Pieza	30	\$ 23,001.78	\$ 690,053.33	\$71,600.00
Trabe colada en planta	Pieza	30	\$ 25,388.44	\$ 761,653.33	
Losa colada en sitio	Pieza	64	\$ 41,427.86	\$ 2,651,382.80	\$389,000.00
Losa colada en planta	Pieza	64	\$ 47,505.98	\$ 3,040,382.80	
Muro colados en sitio	Pieza	283	\$ 3,726.39	\$ 1,054,567.23	\$217,500.00
Muro colados en planta	Pieza	283	\$ 4,494.94	\$ 1,272,067.23	

<b>Costo total de la obra prefabricada en sitio</b>	<b>\$5,148,080.56</b>
---	-----------------------

<b>Costo total de la obra prefabricada en planta</b>	<b>\$5,924,880.56</b>
--	-----------------------

<b>Ahorro debido al transporte</b>	<b>15.08%</b>	<b>\$776,800.00</b>
------------------------------------	---------------	---------------------

Tabla VI.1. Resumen de diferencias en costo de elementos prefabricados colados en sitio y elementos colados en planta prefabricadora.

A continuación se muestran algunas fotografías de la nave industrial terminada y en uso. (Fotografías VII.1, VII.2. y VII.3.).



VII.1. Interior nave terminada.



**VII.2. Nave terminada.**



**VII.3. Nave terminada.**



## Bibliografía

- Allen A.H. "INTRODUCCION AL CONCRETO PRESFORZADO". Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. 1979.
- Asociación Nacional de Industriales del Presfuerzo y la Prefabricación. "MANUAL DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS PREFABRICADAS Y PRESFORZADAS". Editores Reinoso Angulo Eduardo, Rodríguez Mario E, Betancourt Ribotta Rafael. 2000.
- Bazán Enríque, Meli Piralla R. "DISEÑO ESTRUCTURAL". 2ª edición, Editorial Limusa, Año 2001.
- Branson Dan. "DEFLEXIONES DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO Y PRESFORZADO". Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. Serie concreto estructural IMCYC. 1978.
- Branson Dan. "DISEÑO DE VIGAS DE CONCRETO PRESFORZADO". Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. Serie concreto estructural IMCYC. 1981.
- Chopra Anil K., Newmark Nathan M. "DISEÑO DE ESTRUCTURAS RESISTENTES A SISMOS". Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- González Cuevas O., Robles F. "ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO REFORZADO" 3ª edición, Editorial Limusa, Año 2000.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. "PRACTICA RECOMENDABLE PARA DOSIFICAR CONCRETO NORMAL Y CONCRETO PESADO". Nueva serie IMCYC. 1977.
- Meli Piralla Roberto. "DISEÑO ESTRUCTURAL" 2ª edición, Editorial Limusa, Año 2000.
- Nilson Arthur H. "DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO PRESFORZADO". 4ª edición, Editorial Limusa. 1998.
- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias 2004.
- [http://www.csiberkeley.com/products\\_SAP.html](http://www.csiberkeley.com/products_SAP.html)
- [http://www.csiberkeley.com/products\\_ETABS.html](http://www.csiberkeley.com/products_ETABS.html)

- <http://www.comp-engineering.com/downloads/manuals/ETABS/English/E-TUT-001.pdf>
- <http://www.construaprende.com/Tesis/Intro.html>
- <http://www.omerique.net/calcumat/analitica3.htm>
- <http://www.carreteros.org/normativa/estructuras/iap98/indice.htm>
- <http://www.costonet.com.mx>
- <http://www.anippac.org.mx>
- <http://www.imcyc.com/> (biblioteca virtual)
  - National Ready Mixed Concrete Association. Curado de concreto en el lugar. 1998.
  - Gómez Cortés José Gabriel. Importancia del curado en el concreto.
  - Mena Ferrer Manuel.. Madurez y curado del concreto.
  - Carranza Aubry R., Martínez Hernández R., Reinoso Angulo E., Conexión trabe columna de elementos prefabricados sin pernos ni soldadura. 1995.
  - Von E. Köln Luth. Aditivos desmoldantes para elementos de concreto prefabricado.
  - CEMEX, Temas técnicos y prácticos del concreto.