



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

EMPLEO DE LAS ESTRUCTURAS METALICAS  
EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
PRESENTA

MARIO FRANCISCO CERDAN GONZALEZ



ASESOR: ING. LUIS CANDELAS RAMIREZ

MEXICO, D. F.

-2002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/122/00

Señor  
**MARIO FRANCISCO CERDAN GONZALEZ**  
Presente

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

**"EMPLEO DE LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO"**

- I. INTRODUCCION
- II. ANTECEDENTES
- III. ACERO ESTRUCTURAL
- III. EL ACERO ESTRUCTURAL EN LA EDIFICACION
- IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION
- V. CASO PRACTICO
- VI. CONCLUSIONES

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

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

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria a 23 de octubre de 2000.  
EL DIRECTOR

  
M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO -  
GER/GMP/mstg.

*A mi Padre:*

*Porque con tu ejemplo siempre has dado testimonio de integridad, de cariño por tu familia y de valor ante la vida.*

*A mi Madre:*

*Por educarme e impulsarme siempre a progresar con coraje y decisión pero respetando a mis semejantes.*

*A Mamá José:*

*Por tu amor incondicional, tus cuidados desde siempre y tu gran calidad humana que contagia de alegría a todos los que te conocen.*

*A mis Hermanas:*

*Rosalba y Laura por ser ejemplo de autoformación y realización.*

*A Sandy:*

*Con profundo cariño y agradecimiento por tu gran apoyo, confianza, trabajo y dedicación para ayudarme a salir adelante realizando mis ilusiones y metas.*

## **AGRADECIMIENTOS**

---

**Esta tesis se realizó bajo la dirección del Ing. Luis Candelas Ramírez; Jefe del Departamento de Prácticas y Vinculación Profesional de la DICTYG de la UNAM.**

**Me gustaría agradecer profundamente al Ing. Luis Candelas Ramírez por su asesoría a lo largo de este trabajo; sus observaciones, apoyo y sobretodo su amistad para dar este gran paso.**

**De igual manera quiero agradecer a:**

**Ing. Héctor Rodríguez Soto, por su comprometida labor de enseñanza en pro de los alumnos de Ingeniería, por sus útiles consejos y experiencias primordiales para el desarrollo de este trabajo.**

**Arq. José Picciotto e Ing. Gilberto Torres, por las facilidades otorgadas para la consulta de valiosa información, fundamental para la elaboración de esta tesis.**

**Ing. Guillermo Casar Marcos y Arq. Gabriel Willson, por su amable atención, su generosa intervención en la consecución de importante material y su determinada posición para ayudarme.**

**Arq. Anel Warman de Picciotto Arquitectos, por su gentileza, disposición y profesionalismo en apoyo a esta causa.**

**Ing. Magdalena Saldivar, Gerente de la Comisión de Promoción y Uso del Acero, CANACERO. Por haber proporcionado el interesantísimo material bibliográfico que sirvió de base para esta investigación.**

**De forma muy especial agradezco a:**

**Ing. Vicente Villaseñor Bianchi y al Ing. José Antonio Fernández Paz, la oportunidad de ejercer esta noble profesión contando con su apoyo, confianza y comprensión en todo momento. Definitivamente su influencia ha sido determinante en mi formación profesional y humana.**

**Ing. Rodolfo Hernández porque con paciencia y sabiduría supo enseñarme el valor de la prudencia.**

# INDICE

---

## INTRODUCCION

### I. ANTECEDENTES

- I.1 El Acero. Su obtención y materia prima
- I.2 Breve semblanza de la industria siderúrgica
- I.3 Generalidades de los procesos de aceración

### II. ACERO ESTRUCTURAL

- II.1 Propiedades del acero
- II.2 Aceros estructurales modernos
- II.3 Uso de los aceros de alta resistencia
- II.4 Nuevos materiales

### III. EL ACERO ESTRUCTURAL EN LA EDIFICACIÓN

- III.1 El acero como material de construcción
- III.2 Ventajas
- III.3 Desventajas
- III.4 Perfiles de acero usados en la construcción

### IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS EN LA CONSTRUCCIÓN

- IV.1 Diseño estructural
- IV.2 Ingeniería
- IV.3 Abastecimiento de Material
- IV.4 Fabricación
- IV.5 Embarque
- IV.6 Montaje
- IV.7 Supervisión

### V. CASO PRÁCTICO

- V.1 Descripción del proyecto
  - V.1.1 Generalidades
  - V.1.2 Cimentación
  - V.1.3 Estructura
- V.2 Proceso constructivo
  - V.2.1 Montaje
  - V.2.2 Protección del acero contra el fuego
  - V.2.3 Control de calidad en campo
  - V.2.4 Seguridad en campo

### VI. CONCLUSIONES

### BIBLIOGRAFÍA

### ANEXOS

## **INTRODUCCION**

---

## **INTRODUCCION**

---

**Mario Francisco Cerdán González**

**Ingeniería Civil**

## INTRODUCCION

---

El propósito de esta tesis es colaborar con todos aquellos profesionales dedicados a la construcción con acero, proporcionando la información más reciente y los elementos de juicio que sustentan el cada vez más recurrente empleo de las estructuras metálicas en el proceso constructivo en México y en el Mundo; específicamente en zonas de alto riesgo sísmico.

En la práctica profesional he encontrado que además de la formación y la preparación matemática que caracteriza a la carrera de Ingeniería Civil, es muy importante también, tener una visión general del impacto que tiene cada una de sus áreas en el ámbito social, económico, ecológico y político; así como el contar con una cultura que nos permita conocer los antecedentes, entender la situación presente y vislumbrar el futuro del renglón en el que nos desempeñaremos.

Por ello, considero que dichos elementos deben presentarse con mayor énfasis desde la etapa de estudiante y procurar actualizarlos durante el ejercicio profesional; este trabajo aborda con esa intención el caso de las estructuras metálicas.

Son múltiples y muy diversas las razones por las que las estructuras metálicas se emplean con mayor frecuencia y ganan popularidad en la industria de la construcción. La versatilidad del acero como material estructural se hace patente al considerar su gran resistencia, poco peso, facilidad de fabricación y otras propiedades convenientes. Estas y otras ventajas del acero estructural se analizarán con detalle más adelante.

La adaptabilidad de las estructuras metálicas cumple con las expectativas de la nueva arquitectura y las necesidades de la industria actual. Por otra parte, la ingeniería estructural ha experimentado muchos cambios significativos durante las últimas cuatro décadas, y los conocimientos de la teoría estructural se extienden ya desde el rango elástico hasta el rango inelástico del comportamiento del material. Además con el mejoramiento de los aceros estructurales y de los métodos de fabricación se han proporcionado mayores incentivos para el desarrollo de técnicas de diseño y construcción.

La construcción con estructuras metálicas en nuestro país y específicamente en la Ciudad de México se ha visto impulsada por un hecho lamentable como lo fueron los sismos de 1985, que causaron graves daños, sobretudo en edificaciones de concreto. El temblor mostró con terrible claridad que el acero, además de sus ventajas para cubrir grandes claros y construir con mayor rapidez, es el mejor material para hacer edificios en zonas altamente sísmicas y con suelos difíciles de cimentar. El acero permite hacer estructuras más ligeras con cimentaciones menos profundas, lo que constituye un beneficio en tiempo y economía.

La fabricación y montaje de estructuras de acero, requiere de una organización de ingenieros y técnicos capacitados y concientizados de requisitos prácticos tales como técnicas de fabricación, posibilidad de realización, seguridad y economía. Parte importante de esta capacitación se obtiene a través de la práctica; y el objetivo principal de este trabajo es proporcionar y aclarar una serie de conceptos extras que generalmente se obtienen con base en la experiencia.

A continuación se hace una breve descripción del contenido de cada capítulo, que en conjunto, planean dar una idea general de los tópicos de interés tanto para el ingeniero que se desempeña en el medio, como para el alumno que cursa la asignatura de Construcción I, específicamente en el tema relacionado a los procedimientos de construcción de estructuras metálicas.

El primer capítulo define el acero y su materia prima: el hierro. Hace una reseña de este metal y realiza una breve semblanza de la industria siderúrgica y de los procesos de aceración.

El segundo capítulo se refiere al acero estructural, sus propiedades, tipos, avances y aplicaciones en la industria de la construcción.



## **INTRODUCCION**

---

El tercer capítulo habla sobre el acero estructural en la edificación, sus ventajas, desventajas, desarrollo y actualidades. Presenta los argumentos, ejemplos y opiniones de profesionales que han dedicado su vida a las estructuras metálicas. Además plantea los objetivos, criterios de selección y posibilidades de ejecución al construir con acero. Este capítulo contiene también información valiosa y práctica respecto a la disponibilidad de aceros estructurales en el mercado y las empresas nacionales que los producen.

El cuarto capítulo ilustra paso a paso el proceso que siguen las estructuras metálicas en la construcción. Y si bien, cada subtema sería suficiente materia de estudio por sí mismo, en este caso sólo se tratarán aspectos generales, dándoles un carácter práctico de tal manera que permita al estudiante de la materia tener una visión que lo introduzca al tema.

El quinto capítulo ejemplifica mediante un caso práctico lo que se describe en los capítulos anteriores enfocándose principalmente al montaje del edificio.

Finalmente, las conclusiones y recomendaciones que se obtienen como resultado del análisis llevado a cabo en este trabajo.

## **I. ANTECEDENTES**

---

### **CAPITULO I ANTECEDENTES**

---

Mario Francisco Cerdán González

Ingeniería Civil

## I. ANTECEDENTES

### I.1 EL ACERO. SU OBTENCIÓN Y MATERIA PRIMA

El acero es un metal que resulta de una mezcla de hierro y menos del 1.76% de carbono. El hierro contiene comúnmente más carbono, y los distintos procedimientos para obtener el acero consisten esencialmente en reducir esa proporción.

El hierro es un metal tenaz, dúctil y maleable, que se funde a 1535 grados Centígrados. Es de color grisáceo o negruzco y abunda en todas las regiones del globo formando diversos compuestos; no es exagerado decir que se trata del metal más importante del mundo. En términos monetarios vale menos que el estaño, el cobre o el aluminio, sin embargo en la vida moderna es un metal insustituible, ya que suministra la materia prima para hacer puentes, rascacielos, automóviles, herramientas y todo tipo de materiales industriales.

Los avances más importantes en el desarrollo de los metales han ocurrido en la fabricación y el uso del hierro y el acero. Actualmente, el hierro y el acero comprenden el 95% en peso de todos los metales producidos en el mundo.

Algunos historiadores y antropólogos afirman que el primer hierro descubierto por el hombre primitivo se hallaba contenido en los meteoritos provenientes del espacio. Sin embargo, otra versión atribuye a un hecho circunstancial la forma en que el hombre antiguo descubrió las primeras partículas de hierro dulce. Quizás al encender una hoguera sobre terreno ferroso y descubrir las diminutas piezas duras y brillantes resultado de la reacción entre los rescoldos de la fogata, convertidos en carbón incandescente y los óxidos del mineral depositados en el terreno. Este acontecimiento marcó sin lugar a dudas el punto de partida de la civilización actual.

Los antiguos forjadores extraían el hierro del mineral mediante la aplicación de calor a altas temperaturas. Una vez reducido el metal, lo sometían nuevamente al fuego, para ser moldeado por martilleo en las formas deseadas. Con algunas variaciones este proceso duró hasta el Renacimiento.

Esta etapa artesanal sólo mejoró con los primitivos hornos, agujeros cónicos practicados en el suelo, donde se amontonaban mineral de hierro mezclado con carbón de leña, al que se prendía fuego. El aire necesario para la combustión se introdujo al principio por tiro natural. Con el tiempo estos hornos se cubren de mampostería y forman el crisol. También por las elevadas temperaturas requeridas, se crean los fuelles hechos de pieles, posteriormente, hidráulicos y mecánicos para la inyección del aire. Ver figura I.1

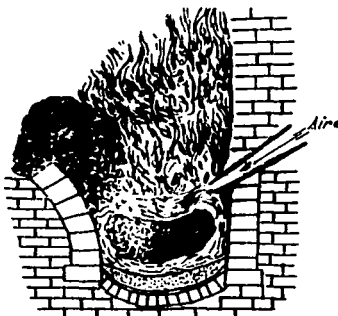


Figura I.1 Forja catalana

## I. ANTECEDENTES

Nacen así los llamados altos hornos que inician la etapa de fundición, dejando atrás la operación de forja. De tal manera, el producto obtenido de estos hornos no fue ya el hierro dulce forjable, sino un hierro impuro, el *arrabio*, que no era utilizable directamente. Fue necesario entonces transformarlo en hierro trabajable, mediante un segundo proceso llamado afinación que volvía a oxidar el metal líquido para quemar las impurezas.

Aparece entonces el acero, que desde entonces se produce en dos pasos: La obtención del hierro primario y la afinación o aceración de éste para lograr el acero propiamente dicho.

### I.2 BREVE SEMBLANZA DE LA INDUSTRIA SIDERURGICA

El primer acero seguramente se obtuvo cuando los otros elementos necesarios para producirlo se encontraron presente por accidente cuando se calentaba el hierro. Con el paso de los años, el acero se fabricó muy probablemente calentando hierro en contacto con carbón vegetal. La superficie del hierro absorbió algo de carbono del carbón vegetal que luego se martilló en el hierro caliente. Al repetir este proceso varias veces, se obtuvo una capa exterior endurecida de acero.

La era industrial de la siderurgia podría establecerse a partir de la segunda mitad del siglo XIX, cuando apareció el convertidor de Henry Bessemer, que constituyera una revolución en este campo. Con este horno en forma de pera, que gira alrededor de un par de muñones, dotado de una abertura superior, surge el proceso neumático que consiste en inyectar aire a presión por el fondo, a través del hierro fundido quemando así, la mayor parte de impurezas del metal. Desafortunadamente, el chorro de aire eliminaba algunos elementos provechosos como el carbono y el manganeso. Después se aprendió que esos elementos podrían restituirse añadiendo hierro especular, que es una aleación de hierro, carbono y manganeso; se aprendió además que, con la adición de piedra caliza en el convertidor, podría removerse el fósforo y la mayor parte de azufre.

Con el convertidor de Bessemer los metalurgistas tuvieron la posibilidad de producir acero en gran escala. Ver Figura 1.2

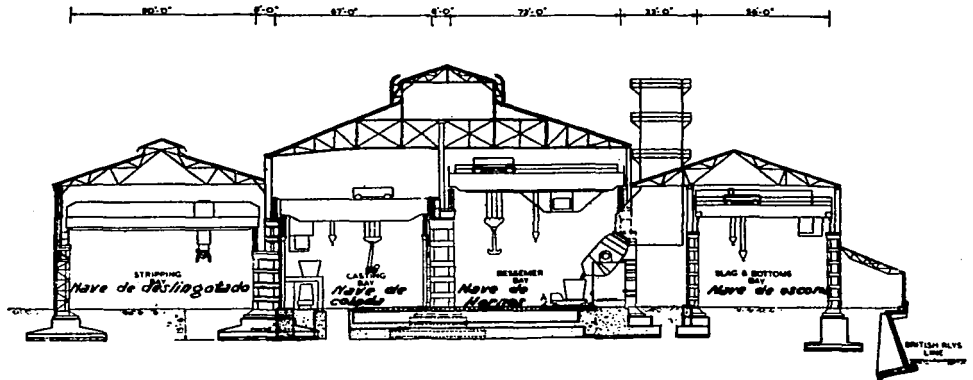


Figura 1.2 Sección de un taller de aceros Bessemer

## I. ANTECEDENTES

Poco antes, sin embargo, en 1747, Henry Cort había inventado el primero de los procesos industriales de aceración, conocido como "puedelado". Procedimiento efectuado en un horno de reverbero y que consiste en fundir el arrabio amasándolo al estado pastoso con escorias ferruginosas oxidantes, en las cuales se fija el exceso de carbono. Un cinglado posterior permite separar la escoria del metal. Sin embargo esta técnica era lenta, fatigosa y de bajo rendimiento. Pese a ello, su práctica fue común hasta la llegada, en 1855, del convertidor del inglés Bessemer.

En adelante, se sucederían frecuentes innovaciones en los procesos siderúrgicos. Aproximadamente en 1864 se establecieron los hornos Siemens-Martin para la fusión de la chatarra de acero. Fue el alemán Friedrich Siemens quien ideó un horno de alta temperatura, perfeccionando poco después por los franceses Martin, padre e hijo. Por medio de este horno de llama con aire precalentado fue posible fundir y sobrecalentar el acero, refundiendo la chatarra de este metal que no había sido hasta entonces utilizada. Ver figuras 1.3 y 1.4

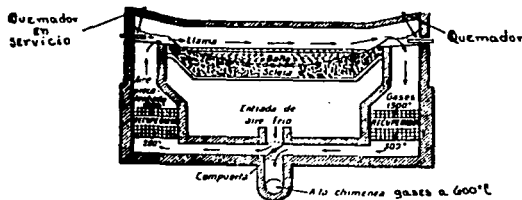


Figura 1.3 Sección convencional de un horno Siemens-Martin

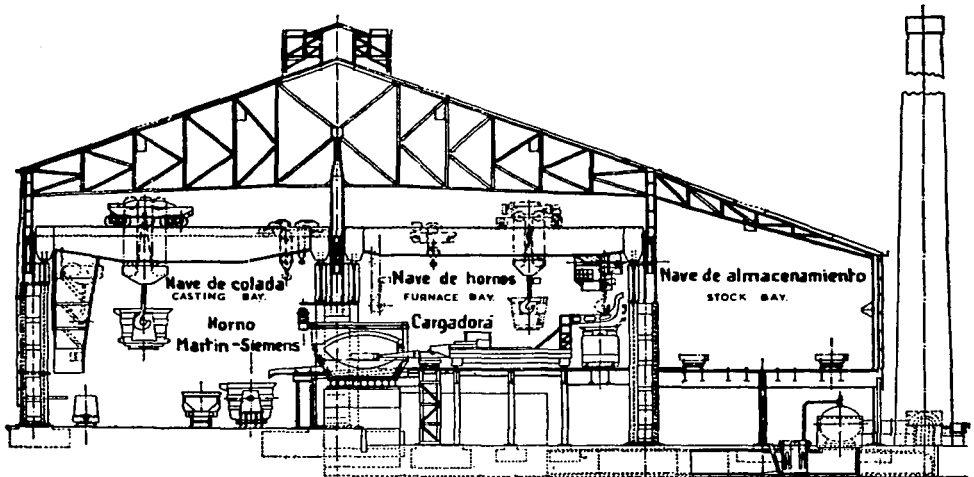


Figura 1.4 Sección de un taller de aceros Siemens-Martin

## I. ANTECEDENTES

Otro inglés, Gilchrist Thomas, introdujo en 1876 los revestimientos refractarios básicos. Con su convertidor fue posible la eliminación de fósforo y azufre. Ver figura I.5.

A fines del siglo XIX se abre la era de la electrometalurgia con el surgimiento de los hornos eléctricos de arco, en los que se alcanzan altísimas temperaturas para la producción de los aceros muy refinados y especiales.

La capacidad media de un horno de arco eléctrico es de 100 MT por fundición y su propósito es derretir o fundir el hierro en bruto, refinarlo y vertirlo cuando todavía se encuentra en estado líquido. Ver figura I.6.

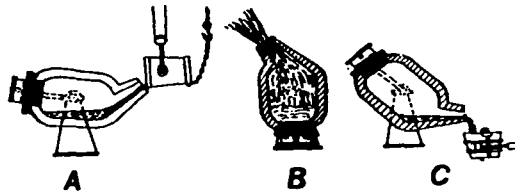


Figura I.5 Sección de convertidor Thomas en posiciones de A) Carga; B) Soplado; C) Colada

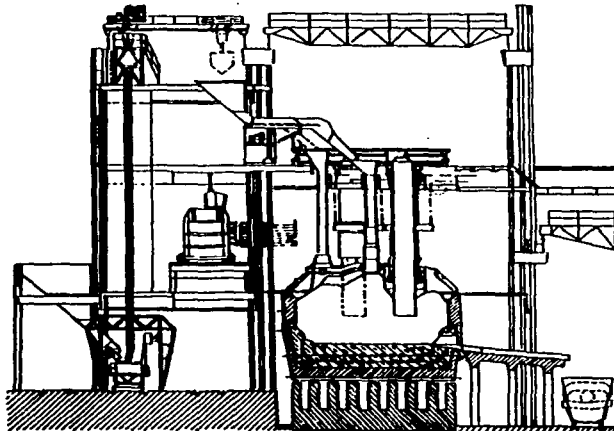


Figura I.6 Sección convencional de un horno eléctrico Siemens

Llegamos así al final de la década de los cuarenta del siglo XX con una estructura bien definida en la industria siderúrgica mundial: La producción de arrabio en altos hornos y la aceración por tres procesos diferentes, el Siemens-Martin, el de convertidores neumáticos y el de hornos eléctricos.

## I. ANTECEDENTES

Durante las últimas décadas ha continuado el desarrollo de nuevas técnicas e innovaciones para la obtención del acero. El adelanto más notable de la tecnología siderúrgica mundial sería la afinación con oxígeno en convertidores, iniciada en 1953 y que hoy día aún predomina.

Sin duda, con el desarrollo del proceso Bessemer y los avances subsecuentes aquí mencionados, se abrió la posibilidad de la fabricación del acero a precios competitivos, lo que estimuló el increíble desarrollo que ha tenido el acero estructural durante los últimos 100 años.

La tendencia actual a nivel mundial, busca mejorar los procesos tecnológicos de fundición y eficientar los sistemas de recolección de chatarra, con el fin de reciclarla. Dados los atributos del acero, se puede fundir infinidad de veces sin perder su calidad, no necesita de tratamientos químicos para convertirse en chatarra y gracias a sus características magnéticas puede recogerse fácilmente de los basureros, edificios demolidos o deshuesaderos de automóviles. Ver figura 1.7.

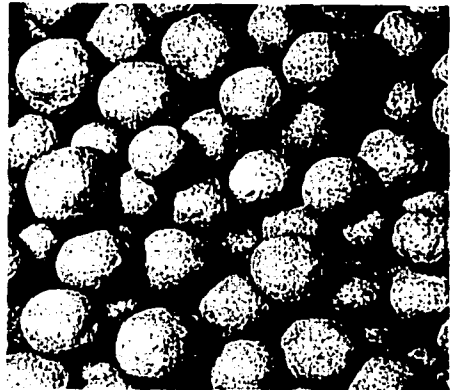
La tasa de reuso del acero (entre el 25 al 100% reciclado), es mucho más alta que la del vidrio o la del plástico. Hacer acero de chatarra resulta mucho más económico que producirlo de materiales vírgenes. Por ejemplo, en la producción de una tonelada de acero con chatarra se requiere 67% menos energía, 40% menos agua, 90% menos mineral de hierro y un ahorro importante en la utilización de carbón y piedra caliza. Además, cada tonelada de acero reciclado ayuda a la reducción en 86% de la contaminación del aire, y en 76% la contaminación de agua.

Actualmente cerca del 64% de todo el acero producido en el mundo es reciclado, y aunque las tasas de reuso varían considerablemente de país en país y de producto en producto, existe una vocación por enviar cada vez más chatarra a las fundidoras.



Figura 1.8 Mineral de hierro, materia prima del acero

Figura 1.7 Recolección de chatarra por medio de electroimán



# I. ANTECEDENTES

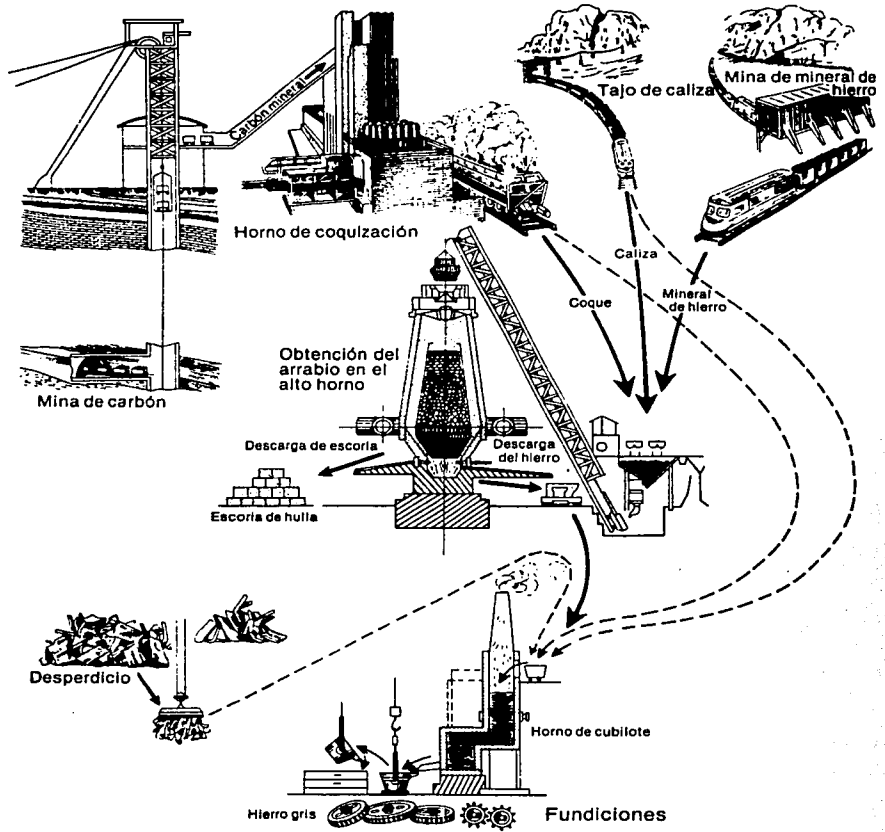


Figura I.9 Proceso de fabricación del acero



## I. ANTECEDENTES

### I.3 GENERALIDADES DE LOS PROCESOS DE ACERACION

El acero, tal como se ha definido, es una aleación de hierro con un porcentaje de carbono inferior al 1.76%. Como el arrabio (hierro bruto de primera fusión), del que se parte en general para obtener el acero, tiene de 3 a 4 % de carbono, es necesario eliminar la diferencia. Además el arrabio tiene impurezas, formadas principalmente por silicio, manganeso, fósforo y azufre, cuyo porcentaje conviene reducir o eliminar según el caso.

A partir de un arrabio cuya composición media es:

Fe / 93	C / 4	Si / 0.5 - 2	Mn / 1	P / 2 - 0.1	S / 0.05
---------	-------	--------------	--------	-------------	----------

Se desea obtener:

Fe / 98	C / 0.5 - 1.5	Si / 0 - 0.3	Mn / 0.3 - 0.6	P < 0.05	S < 0.05
---------	---------------	--------------	----------------	----------	----------

El exceso de carbono y las impurezas que le acompañan, se eliminan principalmente por oxidación, con excepción del azufre. Esta oxidación se realiza mediante el uso de:

- El oxígeno del aire en los convertidores Bessemer y Thomas
- El oxígeno puro en el caso de los oxiconvertidores
- O bien el oxígeno del óxido de hierro de la chatarra y mineral de hierro para los hornos Martin-Siemens y hornos eléctricos

En general el conjunto del proceso de convertir el arrabio en acero se denomina afino.

Fundamentalmente, el afino del arrabio para obtener acero se desarrolla en dos fases:

- Fase de oxidación, en la que se elimina el exceso del carbono, el silicio, el manganeso y el fósforo por la acción combinada de la cal
- Fase de reducción, en la que se elimina el azufre y se reduce parte del óxido ferroso formado en la fase de oxidación.

En la elaboración de los aceros especiales (aceros aleados) continúa la elaboración del acero con dos fases más:

- Una de dosificación en la que se añaden los elementos de aleación y se completa el desoxidado del hierro
- Otra de superafinado en la cual se completa la eliminación de impurezas.

En la actualidad se emplean principalmente, cuatro procedimientos para la fabricación de acero. Estos difieren esencialmente en el oxidante empleado para la eliminación de las impurezas y en la temperatura para la eliminación.

## I. ANTECEDENTES

Los cuatro procedimientos más utilizados en la actualidad para la fabricación del acero y sus variantes son los siguientes:

1. Afino por viento
  - a) En convertidores Bessemer (ácido)
  - b) En convertidores Thomas (básico)
2. Afino por oxígeno  
En oxiconvertidores
3. Afino en solera
  - a) En hornos Siemens-Martin (con revestimiento ácido)
  - b) En hornos Siemens-Martin (con revestimiento básico)
4. Afino en hornos eléctricos
  - a) Con revestimiento ácido
  - b) Con revestimiento básico

Como se puede observar de cada uno de los cuatro procedimientos anteriores, hay dos variantes en función del arrabio a tratar:

1. Si se parte de arrabios fosforosos es necesario eliminar el fósforo con cal, lo que exige que el revestimiento del horno sea de la misma naturaleza química que la cal, es decir básico sino se quiere que sea corroído.
2. Si se parte de arrabios poco fosforosos el revestimiento del horno puede ser ácido.

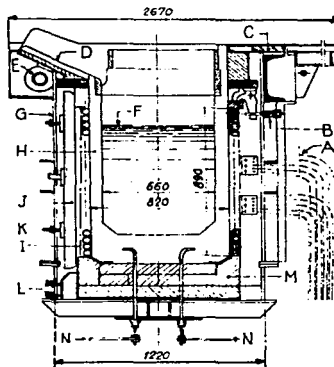


Figura 1.9 Horno eléctrico sin canal de alta frecuencia: A) cable de alimentación; B) pieza de conexión al arrollamiento; C) piso de trabajo del horno; D) piqueta de colada; E) eje de basculamiento; F) nivel de baño; G) cuba metálica; H) refractario; I) arrollamiento inductor; J) circuito magnético; L) fondo de la cuba (desmontable); M) ladrillos refractarios; N) toma de masa

## **II. ACERO ESTRUCTURAL**

---

### **CAPITULO II ACERO ESTRUCTURAL**

---

**Mario Francisco Cerdán González**

**Ingeniería Civil**

## II. ACERO ESTRUCTURAL

### II.1 PROPIEDADES DEL ACERO

Para entender el comportamiento de las estructuras de acero es importante que el ingeniero conozca las propiedades del acero. Por ello, es indispensable mencionar que los diagramas esfuerzo-deformación ofrecen parte de la información necesaria para entender cómo se comporta el acero ante una condición de carga determinada. No pueden desarrollarse métodos satisfactorios de diseño a menos que se disponga de información completa relativa a las relaciones esfuerzo-deformación del material que se usa. Por lo tanto, analizaremos la curva de esfuerzo-deformación del acero, destacando las propiedades y características, que de este material, se reflejan en dicha curva y que sirven como criterio de selección para su utilización en el diseño de estructuras metálicas.

#### CURVA ESFUERZO-DEFORMACION DEL ACERO

Si una pieza de acero estructural se somete a una fuerza de tensión, ésta comenzará a alargarse. Si se incrementa la fuerza a razón constante, la magnitud del alargamiento aumentará constantemente dentro de ciertos límites. Cuando el esfuerzo de tensión alcance un valor aproximadamente igual a un medio de la resistencia última del acero, el alargamiento comenzará a aumentar más rápidamente sin un incremento proporcional correspondiente de esfuerzo.

El esfuerzo máximo para el que todavía es válida la Ley de Hooke o punto más alto de la porción recta del diagrama esfuerzo-deformación se denomina *límite de proporcionalidad*. El esfuerzo máximo que un material puede resistir sin deformarse permanentemente se llama *límite elástico*. Este valor rara vez se mide, y para la mayoría de los materiales estructurales, incluido el acero, es sinónimo del límite de proporcionalidad. Por esta razón se usa a veces el término de *límite proporcional elástico*.

El esfuerzo en el que se presenta un incremento brusco en el alargamiento o deformación sin un incremento correspondiente en el esfuerzo, se denomina *esfuerzo de fluencia*; corresponde al primer punto del diagrama esfuerzo-deformación para el cual la tangente a la curva es horizontal. El esfuerzo de fluencia es para el proyectista la propiedad más importante del acero, ya que muchos procedimientos de diseño se basan en este valor. Más allá del esfuerzo de fluencia hay un intervalo en el que ocurre un incremento considerable de la deformación sin incremento del esfuerzo. La deformación que se presenta antes del esfuerzo de fluencia se denomina *deformación elástica*; la deformación que ocurre después del esfuerzo de fluencia, sin incremento de esfuerzo, se denomina *deformación plástica*. Esta última deformación es generalmente igual en magnitud a 10 o 15 veces la *deformación elástica*.

La fluencia del acero puede parecer una seria desventaja, pero en realidad es una característica muy útil; con frecuencia ha prevenido la falla de una estructura debido a omisiones o errores del proyectista. Si el esfuerzo en un punto de una estructura dúctil de acero alcanza el esfuerzo de fluencia, esa parte de la estructura fluirá localmente sin incremento en el esfuerzo, impidiendo así una falla prematura, esta propiedad permite que se redistribuyan los esfuerzos en una estructura de acero. Además las estructuras de acero tienen una reserva de deformación plástica que le permite resistir sobrecargas y golpes repentinos. Si no tuviese esta capacidad se podría fracturar como el vidrio u otros materiales frágiles.

Después de la región plástica se tiene una zona llamada *endurecimiento por deformación* en la que se requieren esfuerzos adicionales para producir deformaciones mayores. En la figura II.1 se muestra un diagrama típico de la curva esfuerzo-deformación para un acero estructural de bajo contenido de carbono. Sólo se muestra aquí la parte inicial de la curva, debido a la gran deformación que ocurre antes de la falla. En el punto de falla los aceros dulces tienen deformaciones unitarias que equivalen a valores que oscilan entre 150 y 200 veces los

## II. ACERO ESTRUCTURAL

correspondientes a la deformación elástica, la curva alcanza su esfuerzo máximo y luego desciende una pequeña distancia antes de que ocurra la falla de la probeta. En esta región de la curva se presenta una marcada reducción de la sección transversal.

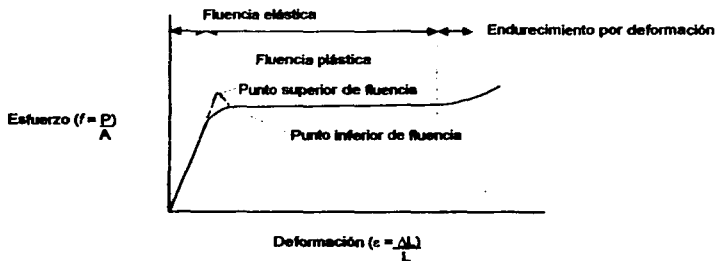


Figura II.1 Diagrama de esfuerzo-deformación característico de un acero estructural con bajo contenido de carbono.

La curva esfuerzo-deformación en la Figura II.1 es típica de los aceros estructurales dúctiles y se supone que es la misma para miembros sujetos a esfuerzos de tensión o compresión. La forma del diagrama varía con la velocidad de carga, el tipo de acero y con la temperatura. En la figura se muestra dicha variación; la línea interrumpida que incluye el punto de *fluencia superior* ocurre cuando un acero dulce se carga rápidamente, en tanto que la curva con la *fluencia inferior* se obtiene con una carga lenta.

Una propiedad muy importante de una estructura que no se ha esforzado más allá del punto de fluencia es que ésta recuperará sus dimensiones iniciales cuando se supriman las cargas. Si se esfuerza más allá de ese punto quedarán deformaciones permanentes posteriores a la carga. Si después de que las cargas se retiran, la estructura no recupera sus dimensiones originales, esto significa que se ha esforzado más allá de su punto de fluencia.

Un diagrama típico esfuerzo-deformación para un acero frágil se muestra en la Figura II.2. Desafortunadamente, la baja ductilidad o fragilidad es una propiedad asociada con la alta resistencia del acero (no necesariamente asociada a los aceros de alta resistencia). Como es conveniente tener a la vez alta resistencia y gran ductilidad, el proyectista tendrá que decidir entre los dos extremos o buscar un término medio entre ellos. Un acero frágil puede fallar repentinamente al sobrecargarse o durante el montaje debido a los impactos propios de los procedimientos de construcción o bien por fatiga.

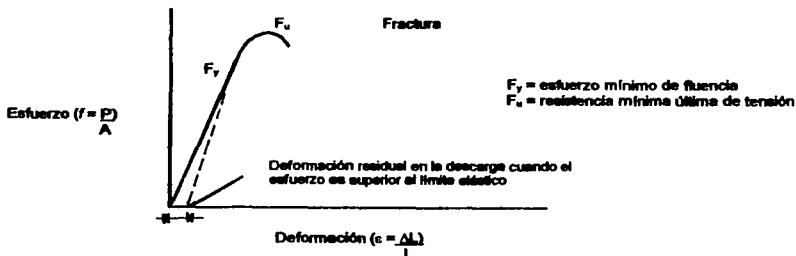


Figura II.2 Diagrama de esfuerzo-deformación característico de un acero frágil.

## II. ACERO ESTRUCTURAL

### II.2 ACEROS ESTRUCTURALES MODERNOS

Las propiedades del acero pueden cambiarse en gran medida variando las cantidades presentes de carbono y añadiendo otros elementos como silicio, níquel, manganeso y cobre. Un acero que tenga cantidades considerables de estos últimos elementos se denominará acero aleado.

La composición química del acero es de suma importancia en sus efectos sobre las propiedades estructurales del mismo, tales como la soldabilidad, la resistencia a la corrosión, la resistencia a la fractura, etc. El carbono presente en el acero incrementa su dureza y resistencia, pero al mismo tiempo reduce su ductilidad igual que lo hace el fósforo y el azufre. La ASTM (American Society of Testing Materials) especifican los porcentajes exactos máximos de carbono, manganeso, silicio, etc., que se permiten en los aceros estructurales. Aunque las propiedades físicas y mecánicas de los perfiles de acero las determina principalmente su composición química, también influye en ellas hasta cierto punto, el proceso de laminado, la historia de sus esfuerzos y estiramiento térmico aplicado.

Las investigaciones realizadas por la industria acerera han proporcionado diversos tipos de acero que satisfacen muchas de las demandas, de manera que actualmente existe una gran cantidad de aceros clasificados por la ASTM e incluidos en las especificaciones del LRFD (Load and Resistance Factor Design).

Una clasificación realizada por la ASTM agrupa a los aceros estructurales de la siguiente manera:

1. Aceros de propósitos generales (A36)
2. Aceros estructurales de carbono (A529)
3. Aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación (A441 y A572)
4. Aceros estructurales de alta resistencia, baja aleación y resistencia a la corrosión atmosférica (A242 y A588)
5. Placa de acero templada y revenida (A514).

En los párrafos siguientes se hacen algunas observaciones generales sobre estas clasificaciones de los aceros y en la tabla II.1 se muestran los siete aceros ASTM mencionados aquí, junto con algunas observaciones sobre sus usos y características. Se puede observar en la tabla que entre más delgado se lamina un acero, más resistente resulta.

#### ACEROS AL CARBONO:

Estos aceros tienen como principales elementos de resistencia al carbono y al manganeso en cantidades cuidadosamente dosificadas. Los aceros al carbono son aquellos que tienen los siguientes elementos (cantidades máximas):

1.7% de carbono  
1.65 % manganeso  
0.60 % de silicio  
0.60% de cobre

Estos aceros se dividen en cuatro categorías, dependiendo del porcentaje de carbono como sigue:

1. Aceros de bajo contenido de carbono (< 0.15%)
2. Acero dulce al carbono (0.15 – 0.29%). El acero estructural al carbono queda dentro de esta categoría.
3. Acero medio carbono (0.30 – 0.59%)
4. Acero con alto contenido de carbono (0.60 – 1.70%)

## II. ACERO ESTRUCTURAL

### ACEROS DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACION:

El término *baja aleación* se usa para describir arbitrariamente aceros en los que el total de elementos aleantes no excede al 5% de la composición total. Estos obtienen sus altas resistencias y sus propiedades por la adición a parte del carbono y manganeso, de uno o más agentes aleantes como el cromo, vanadio, cromo, silicio, cobre, níquel y otros. Se incluyen aceros con esfuerzos de fluencia comprendidos entre 40,000 y 70,000 lb/plg<sup>2</sup>. (2,815 y 4,926 kg/cm<sup>2</sup>). Estos aceros generalmente presentan mejor resistencia a la corrosión atmosférica que los aceros al carbono.

### ACEROS ESTRUCTURALES DE ALTA RESISTENCIA, BAJA ALEACION Y RESISTENTES A LA CORROSIÓN ATMOSFERICA:

Cuando los aceros se alean con pequeños porcentajes de cobre, se vuelven más resistentes a la corrosión. Al exponerse a la atmósfera, sus superficies se oxidan formándose una película impermeable adherida o "patinada" que impide una mayor oxidación eliminando así la necesidad de pintarlos. Este fenómeno ocurre después de un periodo que va de 18 meses a 3 años dependiendo del tipo de exposición (rural, industrial, luz solar directa o indirecta, etc.), y su aspecto cambia adquiriendo un color que va del rojo oscuro al café y al negro.

Estos aceros tienen gran aplicación en estructuras con miembros expuestos y difíciles de pintar como puentes y torres de transmisión, etc.; sin embargo, no son apropiados para usarse en lugares donde queden expuestos a brisas marinas, niebla o humos industriales corrosivos.

### ACEROS TEMPLADOS O REVENIDOS:

Estos aceros tienen agentes antes en exceso, en comparación con las cantidades usadas en los aceros al carbono, y son tratados térmicamente (templados y revenidos) para darles dureza y resistencia con fluencias comprendidas entre las 80,000 y 110,000 lb/plg<sup>2</sup>. (5,630 y 7,740 kg/cm<sup>2</sup>). El revenido consiste en un enfriamiento rápido del acero con agua o aceite cambiando la temperatura de por lo menos 871.18 °C a 148.9 °C o 204 °C. En el templado el acero se recalienta por lo menos a 621.16 °C y luego se deja enfriar.

Los aceros templados o revenidos no muestran puntos bien definidos de fluencia como lo hacen los aceros al carbono y los aceros de alta resistencia y baja aleación. En vista de ello su resistencia a la fluencia se define en función del esfuerzo asociado a una deformación unitaria del 0.2%.

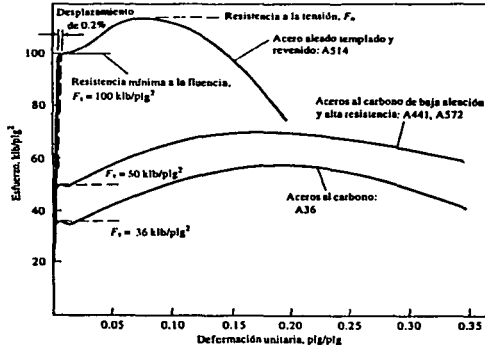


Figura II.3 Curvas esfuerzo-deformación para distintos tipos de aceros.

**Tabla II.1 PROPIEDADES DE LOS ACEROS ESTRUCTURALES**

Designación de la ASTM	Tipo de acero	Formas	Usos recomendados	Esfuerzo mínimo de fluencia *, Fy en $\text{klb/pulg}^2$	Resistencia especificada mínima a la tensión **, Fu en $\text{klb/pulg}^2$
A 36	Al carbono	Perfiles, placas y barras	Puentes, edificios y otras estructuras atornilladas, soldadas o remachadas	36 pero 32 si el espesor es mayor a 8 plg	50 - 80
A529	Al carbono	Perfiles, placas hasta 1/2 pulg	Similar al A36	42	60 - 85
A441	De alta resistencia y baja aleación	Perfiles, placas y barras hasta 8 pulg	Similar al A36	40 - 50	60 - 70
A572	De alta resistencia y baja aleación	Perfiles, placas y barras hasta 6 pulg	Construcciones atornilladas, soldadas o remachadas. No para puentes soldados de acero con $F_y = 55$ o mayores	42 - 65	60 - 80
A242	De alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión atmosférica	Perfiles, placas y barras hasta 4 pulg	Construcciones atornilladas, soldadas o remachadas, técnica de soldado muy importante	42 - 50	63 - 70
A588	De alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión atmosférica	Placas y barras	Construcciones atornilladas y remachadas.	42 - 50	63 - 70
A852	De baja aleación, templado y revenido	Placas sólo hasta 4 plg	Construcción soldada, remachada o atornillada; principalmente para puentes y edificios soldados. Técnica de soldado de importancia fundamental.	70	90 - 110
A514	Aleados templados y revenidos	Placas sólo hasta 4 plg	Estructuras soldadas con mucha atención a la técnica empleada; no se use si la ductibilidad es importante.	90 - 100	100 - 130

\* Los valores Fy varían con el espesor y el grupo

\*\* Los valores Fu varían con el grado y el tipo



## II. ACERO ESTRUCTURAL

La adopción de las especificaciones AISI para el diseño de miembros estructurales de lámina delgada formados en frío, introdujo otro grupo de aceros en el diseño de estructuras. Estos aceros se presentan en láminas y tiras de calidad estructural y son definidos, en general, por las especificaciones estándar de la ASTM.

Estos aceros de calibre delgado tiene puntos de fluencia mínimos que varían de 1,760 a 3,515 kg/cm<sup>2</sup>.

En la tabla II.2 se indican las propiedades mecánicas de los aceros de calibre delgado incluidos en las especificaciones AISI para propósitos estructurales. El acero A446 Grado E tiene una resistencia de fluencia de 5,625 kg/cm<sup>2</sup> y es un producto completamente endurecido usado para cubiertas de techo, no para aplicaciones estructurales principales.

Designación comercial	Designación ASTM	Grado	Espesor plg	Punto de fluencia o Resistencia de fluencia min. kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia última kg/cm <sup>2</sup>	Elongación min. en plg. Por ciento
Láminas de acero al carbono de calidad estructural laminadas en plano	A245	A	0.0449	1,760	3,160	23 - 27
		B	hasta	2,110	3,450	21 - 25
		C	0.2299	2,320	3,660	18 - 23
		D		2,810	3,870	15 - 20
Tiras de acero al carbono de calidad estructural laminadas en caliente	A303	A	0.0255	1,760	3,160	19 - 27
		B		2,110	3,450	18 - 25
		C	hasta	2,320	3,660	17 - 23.5
		D	0.2299	2,810	3,870	15 - 21
Láminas y tiras de acero de alta resistencia y baja aleación, laminadas en frío	A374		0.2499	3,160	4,570	20 - 22
			y menores			
Láminas y tiras de acero de alta resistencia y baja aleación, laminadas en caliente	A375		0.0710	3,520	4,920	22
			hasta 0.2299			
Láminas de acero de calidad estructural recubiertas de cinc	A446	A	0.1756	2,320	3,370	20
		B		2,600	3,660	18
		C	y	2,810	3,870	16
		D		3,520	4,570	12
		E	menores	5,620	5,770	1.5

Tabla II.2 Propiedades mecánicas de los aceros estructurales de calibre delgado

El primer acero utilizado en México para fines estructurales fue el ASTM-A7. Este tipo de acero se utilizó profusamente en la construcción remachada, la cual fue el primer tipo de construcción en nuestro país; posterior a la segunda guerra mundial cuando se desarrolló la soldadura, el acero A-7 que tenía problemas de soldabilidad por su alto contenido de carbono, fue sustituido por el ASTM-A36. El empleo de este acero fue muy frecuente hasta 1990, actualmente se sigue empleando pero también se están construyendo numerosas estructuras con acero ASTM-A572, inclusive con acero A-65. Sin embargo, a pesar de la diversidad existente en los aceros estructurales es importantísimo conocer su disponibilidad en el mercado, planear y programar su entrega, además de saber sus propiedades mecánicas para el diseño y la construcción de estructuras metálicas.

## II. ACERO ESTRUCTURAL

---

### II.3 USO DE LOS ACEROS DE ALTA RESISTENCIA

Existen otros grupos de aceros de alta resistencia como los de ultra alta resistencia con esfuerzos de fluencia entre 160,000 y 300,000 lb/plg<sup>2</sup>. (11,259 y 21,111 kg/cm<sup>2</sup>).

Los precios de los aceros aumentan con el incremento de su esfuerzo de fluencia, en consecuencia, el uso de aceros más resistentes resultará económico en miembros sujetos a tensión, sobre todo en aquellos sin agujeros para tornillos y remaches. Pueden producir ahorros considerables en vigas si las deflexiones no son de importancia. Otra fuente de ahorro la proporciona la construcción híbrida. En este tipo de construcción se usan dos o más aceros de diferentes resistencias, empleando los aceros más débiles donde los esfuerzos son menores y los aceros más resistentes donde los esfuerzos son mayores.

Entre los factores adicionales que pueden conducir al uso de los aceros de alta resistencia se cuentan los siguientes:

1. Alta resistencia a la corrosión.
2. Posibles ahorros en los costos de montaje, transporte y cimentaciones debido al menor peso.
3. Uso de vigas de menor peralte, que permita reducir las alturas de entrepiso.
4. Posibles ahorros en la protección contra fuego, ya que pueden utilizarse perfiles más pequeños.

La primera consideración que hacen muchos ingenieros al escoger un acero es el costo directo de los perfiles. Sin embargo, se deben tomar en cuenta otros factores como pesos, tamaños, módulos de sección, deflexiones, mantenimiento, fabricación y disponibilidad.

### II.4 NUEVOS MATERIALES

Recientemente algunas empresas mexicanas productoras de acero estructural se unieron a compañías estadounidenses para abastecer al mercado mexicano con una gama más completa de perfiles estructurales en diferentes calidades y tipos.

Con los nuevos perfiles importados del tipo W (IPR), las trabes armadas hechas con tres placas soldadas, que durante muchos años se fabricaron en taller por falta de perfiles disponibles en el mercado, están siendo sustituidas por secciones laminadas con ahorro en tiempo de fabricación, costos, apariencia, control de calidad y supervisión.

Otras empresas distribuidoras de perfiles estructurales de acero establecieron recientemente convenios comerciales con empresas extranjeras que fabrican secciones estructurales huecas de alta resistencia para distribuirlos en México. Estos perfiles son equivalentes a los PTR, PER o OR en grandes dimensiones y espesores y completan la gama de perfiles tubulares que en los años anteriores fue muy limitada y, desde el punto de vista de la fabricación, sustituyen las tradicionales soluciones de miembros armados hechos con dos ángulos en cajón.

## II. ACERO ESTRUCTURAL

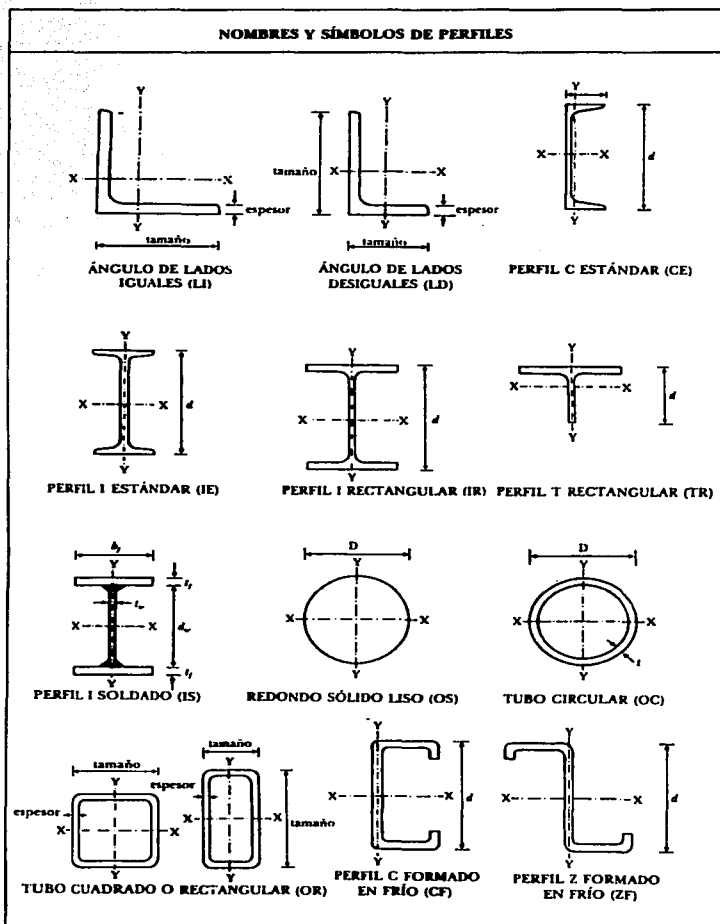


Figura II.4 Esquema de perfiles del manual IMCA

## II. ACERO ESTRUCTURAL

La losacero (lámina de acero acanalada, capa de concreto de 5 cm de espesor, malla electrosoldada y pernos conectores de cortante) constituye el sistema de piso más usual en la construcción de estructuras para edificios. Este sistema constructivo fue introducido en México desde hace más de 15 años y actualmente se ha popularizado y evolucionado por varias empresas, tanto nacionales como extranjeras. Los sistemas joist, conocidos como vigas de alma abierta o armaduras, permiten construir entrepisos salvando claros grandes, las fachadas integrales, las estructuras espaciales resuelven las cubiertas de grandes claros con o sin columnas de apoyo intermedias, las cubiertas laminadas y otros sistemas de piso y de cubierta completan los materiales de la construcción moderna.

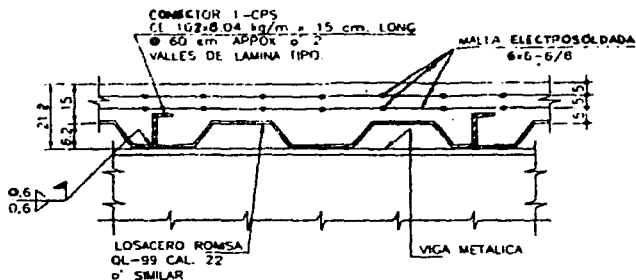


Figura II.5 Detalle tipo de losacero ROMSA

La influencia estadounidense y europea en el suministro de nuevos materiales, sistemas novedosos de construcción, e inclusive de edificios metálicos absolutamente prefabricados, se está observando en todo el país. Las modernas tiendas Sam's Club, HomeMart, Blockbuster, bodegas Aurrera, por citar algunos ejemplos, son estructuras de acero importadas con tecnología Butler de Kansas City, Missouri.

Muchas de las estructuras espaciales, que nuevamente se han puesto de moda en la época actual, proceden de San Sebastián, España. Los modernos perfiles decorativos y estructurales para la arquitectura moderna proceden de España y Francia.

Como conclusión de lo anterior, se cuenta actualmente con una gama cada vez más completa de perfiles estructurales y materiales complementarios de procedencia nacional y extranjera para la construcción con acero, que se fabrican con normas de calidad reconocidas internacionalmente y que completarán los materiales de la arquitectura metálica moderna.



Figura II.6 Nave constituida por vigas de alma abierta o armaduras

### **III. EL ACERO ESTRUCTURAL EN LA EDIFICACION**

---

### **CAPITULO III EL ACERO ESTRUCTURAL EN LA EDIFICACION**

---

Mario Francisco Cerdán González

Ingeniería Civil

### III. EL ACERO ESTRUCTURAL EN LA EDIFICACION

#### III.1 EL ACERO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Si bien es cierto que en México siempre se ha edificado más con concreto reforzado que con acero estructural, hoy día este material tiene un lugar bien merecido en la industria de la construcción y resulta cada vez más común ver edificaciones de gran altura o de arquitecturas caprichosas, cuya realización ha sido posible mediante el uso del acero.

Haciendo un rápido recorrido por la historia de la construcción en acero en nuestro país, podemos identificar que data de más de un siglo. El Palacio de Bellas Artes es el ejemplo más representativo de la construcción antigua en acero en la Ciudad de México y a lo largo de los años se ha dividido en cinco épocas bien definidas: la primera abarca desde el siglo XIX hasta 1942, la segunda de 1942 a 1957, la tercera de 1957 a 1976, la cuarta de 1976 a 1985, la quinta de 1985 hasta nuestros días. En general, esta clasificación obedece a la ocurrencia de sismos de gran intensidad que han causado graves daños y a la evolución como consecuencia de lo anterior, del reglamento de construcción.



Figura III.1 Palacio de Bellas Artes

El desarrollo de las estructuras de acero en la primera época fue posible a la creación de Fundición de Monterrey (mayo de 1900), empresa pionera que durante muchos años produjo aceros para fines estructurales. En el pasado, a excepción de esta fundidora, la industria siderúrgica mexicana descuidó el mercado de los edificios de acero, abasteciendo el mercado con perfiles estructurales de muy baja calidad, precios altos, mal servicio, tiempos de entrega largos, nula promoción y difusión del acero como material de construcción.

El concreto reforzado dominó durante muchos años prácticamente la industria de la construcción, excepto la fabricación de estructuras de puentes para ferrocarril y de naves industriales. El tipo de construcción utilizado en este primer periodo fue la construcción remachada y el acero de batalla fue obviamente el ASTM A7. La Torre Latinoamericana constituye en México el final de la construcción remachada. A raíz de la segunda guerra mundial, la industria siderúrgica tuvo un notable desarrollo y en 1941 se fundó Altos Hornos de México, S.A. de C.V., iniciando operaciones en 1944, dos años después de que se publicó el segundo reglamento de construcciones en México.

### III. EL ACERO ESTRUCTURAL EN LA EDIFICACION

---

Como consecuencia de la segunda guerra mundial, la soldadura constituyó a partir de los años cincuentas, el principal proceso para la fabricación de elementos estructurales, desplazando con importantes ventajas al remache, el cual ha caído en desuso en nuestros días. El temblor de El Angel de julio de 1957 estableció la pauta para modificar de manera definitiva el diseño sísmico: la Cd. de México se zonificó de acuerdo con el tipo de suelo, se establecieron reglas generales para aumentar la rigidez lateral a las estructuras de acero, se limitaron los desplazamientos de entrepiso para tomar en cuenta los efectos de torsión y se previeron holguras entre edificios adyacentes con objeto de evitar el golpeteo durante sismos de gran intensidad. Sin embargo, debido a la posición guardada por la industria siderúrgica nacional, principalmente en el periodo comprendido entre los años 1960 a 1990, el acero dejó de ocupar muchas aplicaciones sobre todo en construcción urbana, donde este material es el más conveniente desde el punto de vista de comportamiento sísmico estructural, principalmente en la Cd. de México, por sus condiciones especiales de elevado riesgo sísmico y tipo de suelo.

En estos 30 años, se estableció un círculo normal vicioso entre las empresas productoras de acero, los diseñadores y fabricantes de estructuras, no se producían perfiles estructurales porque no había demanda en el mercado, los diseñadores no especificaban los perfiles de acero porque no había en el mercado. Los fabricantes, por su parte, vendían caras las estructuras porque tenían que construirlos en taller a partir de una materia prima de muy baja calidad, la cual debía someterse a una serie de operaciones (corte, enderezado, etc.) elevando su costo original y con desperdicios importantes.

Lo anterior se debió a la falta de competencia ya que en varios casos existía un solo productor por perfil y la gama de perfiles era muy limitada.

Pero continuando con el orden cronológico de la construcción en acero en México, fue en 1976 cuando concluyó la tercera época con la publicación de otra versión del reglamento de construcciones. En esta versión el cambio más importante correspondió a la introducción del factor de ductilidad del sistema estructural elegido. Este reglamento fue considerado como uno de los más completos y avanzados a nivel mundial y sirvió de consulta a otros países ubicados en zonas de alto riesgo sísmico.

El Reglamento de Construcciones de 1987 castiga severamente a las estructuras tanto de acero como de concreto, los coeficientes sísmicos se vuelven a modificar. No obstante, las propiedades intrínsecas del acero lo hacen más idóneo para construcciones sismorresistentes.

La construcción en acero se ha desarrollado lenta pero consistentemente. Sin embargo la tardanza le ha hecho perder competitividad frente a otros tipos de construcción; hasta que en 1990, a raíz de la apertura de las fronteras y las negociaciones para el Tratado de Libre Comercio, las empresas productoras realizan sus primeros esfuerzos al modernizar sus plantas y vender acero estructural en México. La situación ha cambiado y hoy en día el servicio a clientes está mejorando. Existe una gama más completa de aceros en diversas modalidades y tipos, por lo que se considera que la modernización de la industria siderúrgica puede contribuir de manera significativa al desarrollo de la estructura de acero.

### III. EL ACERO ESTRUCTURAL EN LA EDIFICACION

#### III.2 VENTAJAS

El acero estructural, a pesar de su elevado costo, es el material ideal para construcción, especialmente para estructuras ubicadas en zonas sísmicas, por las ventajas que a continuación se indican:

1. **Material homogéneo.** El acero es un material homogéneo que tiene magníficas propiedades de resistencia, ductilidad, tenacidad, capacidad para absorber energía, alta resistencia a la fatiga, durabilidad, uniformidad, elasticidad y soldabilidad.
  - 1.1 De acuerdo con su alta resistencia, dentro de ciertos límites, el acero se comporta de manera satisfactoria cuando está sometido a diversos tipos de esfuerzos (tensión, compresión, flexión, flexocompresión, torsión, etc.). Estas propiedades le dan mayores niveles de seguridad a una estructura sobre todo cuando está sujeta a esfuerzos causados por cargas accidentales, principalmente sismo o viento, ya que estas fuerzas pueden ocasionar inversiones de esfuerzos. Además la alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será poco el peso de las estructuras; esto es de gran importancia en puentes de grandes claros, en edificios altos y en estructuras con malas condiciones en la cimentación.  
La mayor relación de resistencia y rigidez por unidad de volumen lo convierte en un material conveniente en edificaciones ubicadas en zonas sísmicas y en terrenos de baja capacidad de carga (la disminución de peso es igual a la reducción de costos en la cimentación) y en obras en las que el peso propio de la estructura es un porcentaje importante de la construcción.
  - 1.2 La ductilidad del acero es la propiedad que tiene este material para soportar grandes deformaciones sin fallar al someterse a grandes esfuerzos de tensión. Cuando se prueba a tensión un acero con bajo contenido de carbono, ocurre una reducción considerable de la sección transversal y un gran alargamiento en el punto de falla, antes de que se presente la fractura. Un material que no tenga esta propiedad probablemente será duro y frágil y se romperá al someterlo a un golpe repentino.  
En miembros estructurales sometidos a cargas normales se desarrollan altas concentraciones de esfuerzos en varios puntos. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente en esos puntos, evitándose así fallas prematuras. Una ventaja adicional de las estructuras dúctiles es que, al sobrecargarlas, sus grandes deflexiones ofrecen evidencia visible de la inminencia de la falla.
  - 1.3 Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. Un miembro de acero cargado hasta que se presentan grandes deformaciones será aún capaz de resistir grandes fuerzas. Esta es una característica muy importante porque implica que los miembros de acero pueden someterse a grandes deformaciones durante su fabricación y montaje, sin fracturarse, siendo posible doblarlos, martillarlos, cortarlos y taladrarlos sin daño aparente. La propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades se denomina tenacidad. Esta propiedad es especialmente útil para evaluar la resistencia a choques o impactos que lógicamente tienen lugar en sismos de gran intensidad. Recordemos que muchos edificios que presentaron daños estructurales durante los sismos de 1985 fue precisamente debido al golpeteo de edificios adyacentes.
  - 1.4 La alta resistencia a la fatiga del acero le permite soportar muchos ciclos de carga y descarga, o bien, de tensión o compresión antes de que sobrevenga la ruptura. Esta propiedad también es de mucha importancia, especialmente en casos de condiciones de esfuerzo que aunque por su intensidad no necesariamente son grandes, su repetibilidad en sismos de duración considerable constituye un estado incipiente de falla.



### III. EL ACERO ESTRUCTURAL EN LA EDIFICACION

---

- 1.5 Respecto a la durabilidad de las estructuras de acero podemos afirmar que de contar con el mantenimiento adecuado, la vida útil de dichas estructuras puede prolongarse casi indefinidamente. Además, investigaciones realizadas en los aceros modernos, indican que bajo ciertas condiciones no se requiere ningún mantenimiento a base de pintura.
  - 1.6 Por el hecho de ser un material uniforme, las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo, como es el caso de las estructuras de concreto reforzado.
  - 1.7 La elasticidad del acero permite al diseñador de estructuras plantear una serie de hipótesis muy aproximadas al comportamiento real, gracias a que sigue la ley de Hooke hasta esfuerzos bastante altos. Los momentos de inercia de una estructura de acero pueden calcularse exactamente, en tanto que los valores obtenidos para una estructura de concreto reforzado son relativamente imprecisos.
  - 1.8 La soldabilidad del acero es la propiedad que le permite ser unido a otro elemento de su misma especie, lo cual le otorga una enorme ventaja como material de construcción por la gran versatilidad que esto representa.
2. **Peso.** La estructura metálica pesa considerablemente menos que una estructura de concreto para la misma geometría y cargas. El consumo de acero estructural por metro cuadrado en edificios, diseñados después de los sismos de 1985, indica que para un diseño adecuado dicho consumo es del orden de 80 kg/m<sup>2</sup>.
  3. **Fuerzas sísmicas proporcionalmente menores.** Las fuerzas sísmicas que actúan en la estructura de un edificio se determinan multiplicando la masa de este por su aceleración de respuesta, por lo que se desprende, que mientras más pequeña sea la masa del inmueble (carga muerta), menor será la vulnerabilidad al daño por sismos. El acero es apropiado para reducir la carga muerta. Gracias a su elevada resistencia, se puede aumentar el número de pisos con un incremento relativamente pequeño de la carga muerta.
  4. **Proyecto arquitectónico.** Mayores espacios rentables por la esbeltez de las columnas, flexibilidad en el diseño que permite claros más grandes, volados más audaces, paredes oblicuas, aperturas en piso y características estéticas especiales que resultan más difíciles y costosas en el concreto.
  5. **Gran eficiencia constructiva.** La construcción en acero se basa en procesos constructivos simples y modernos, utilizando técnicas industriales que no requieren de equipos sofisticados, lo que la hace eficiente. En general, el trabajo de construcción de una obra resuelta con acero debe representar un porcentaje importante de los procesos que se llevan a cabo en el taller de fabricación de estructuras, quedando pendiente un porcentaje mínimo de trabajo para el proceso de montaje.
  6. **Ampliaciones de estructuras existentes.** Las estructuras de acero se adaptan muy bien a posibles adiciones. Se pueden añadir nuevas crujeas e incluso alas enteras a estructuras de acero ya existentes, y los puentes de acero con frecuencia pueden ampliarse. Dicho de otra manera, una montura de acero puede adaptarse con relativa facilidad a los cambios arquitectónicos, adaptaciones de pisos, ampliaciones, reforzamientos y otros aspectos estructurales y arquitectónicos.
  7. **Economía en los acabados.** Debido a la gran resistencia del acero, los peraltes de vigas, traveses y armaduras de los marcos rígidos que forman parte de una estructura metálica son menores que los de concreto, logrando con esto la reducción de la altura total de un edificio, es decir, los edificios metálicos tienen una altura menor con el mismo número de pisos que los de concreto. La experiencia en la construcción de varias edificaciones metálicas ha mostrado que las reducciones en la altura de entrepisos acumuladas en un edificio de 20 niveles son equivalentes a la altura de 2 pisos completos, y por consiguiente, se obtiene mayor economía

### III. EL ACERO ESTRUCTURAL EN LA EDIFICACION

en los acabados y revestimientos de los muros y fachadas. Visto de otra manera, la estructura de acero permite que un edificio tenga mayor posibilidad de número de pisos que uno de concreto para las mismas alturas.

8. **Rapidez constructiva.** La rapidez en la construcción probablemente sea otra de las ventajas importantes de la estructura de acero, ya que mientras en el lugar de la obra se esta construyendo la cimentación, al mismo tiempo en taller se fabrica la estructura, quedando pendiente únicamente el montaje. Además el acero puede hacerse ciento por ciento prefabricado en un ambiente controlado que garantiza su calidad minimizando la influencia de las condiciones meteorológicas en la construcción.
9. **Propiedades diversas.** Otras ventajas importantes del acero estructural son:
  - 9.1 Gran facilidad para unir diversos miembros por medio de varios tipos de conectores como son la soldadura, los tornillos y los remaches.
  - 9.2 Gran capacidad para laminarse en una gran cantidad de tamaños y formas.
  - 9.3 Reuso posible después de desmontar una estructura.
  - 9.4 Posibilidad de ser vendido como chatarra aunque no pueda usarse en su forma presente.
  - 9.5 Limpieza de obra.
  - 9.6 Métodos de reestructuración rápidos en estructuras dañadas por sismo.

Son otras ventajas que hacen muy conveniente al acero en construcciones sismorresistentes. No se trata de afirmar que el acero es el material perfecto para la construcción, ya que cada proyecto requiere un cuidadoso estudio económico para determinar la solución definitiva del tipo de estructura que se utilizará, sino demostrar que las propiedades y ventajas del acero pueden ser favorables para la construcción de estructuras ubicadas en zonas sísmicas, en las que se debe aprovechar al máximo las características de los materiales.



Figura III.2 Edificio Insurgentes Sur 553 (Oficinas y Hotel)

## III. EL ACERO ESTRUCTURAL EN LA EDIFICACION

### III.3 DESVENTAJAS

1. **Costo de la estructura.** Quizá la principal razón que mencionan los diseñadores estructurales, consultores, constructores y fabricantes para explicar el uso todavía limitado de la estructura de acero en la construcción de edificios, en comparación con las estructuras de concreto, sea su elevado costo. Esta razón se mantiene en nuestro medio a pesar de que la estructura de concreto está más castigada por los reglamentos actuales de construcción. El acero estructural por definición es el material básico de la estructura metálica, la que a su vez requiere el uso de otros materiales o insumos complementados como la soldadura, tornillería, pintura, por lo que el incremento de los costos del acero hace necesaria la optimización de dicho material en cada una de las etapas del proceso constructivo de una obra en acero. La estructura de acero debe proyectarse, diseñarse y fabricarse de manera que se logre una obra segura económica y estética. Lamentablemente el proceso general de construcción de una obra de acero implica la participación de empresas distintas que cuentan con controles de calidad diferentes, dando como resultado en algunos casos edificaciones sin la calidad total. El precio del kilogramo de acero estructural fabricado y montado en estructuras convencionales y en calidad NOM-B-254 o ASTM A36 es del orden de \$11.50; el precio de la materia prima varía dependiendo del tipo de perfil (la placa se consigue en el mercado a \$4.40 kg; los perfiles IPR en acero A-36 en \$5.50; los perfiles tubulares cuadrados y rectangulares formados en frío en A-50, en \$7.8, etc.). La experiencia en construcción en acero indica que el costo de fabricación y montaje representa un poco más del doble del costo de la materia prima. Cabe señalar que en México, la mano de obra es barata y la materia prima es cara; mientras que en los Estados Unidos de América y Canadá, los materiales son baratos y la mano de obra es cara. En estos países la diferencia de precio de perfiles estructurales en calidad A-65, A50 y A-36 no es significativa mientras que en México, las diferencias de costo si son importantes.
2. **Costo de mantenimiento.** La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al aire y al agua y, por consiguiente, deben pintarse periódicamente. El uso de aceros intemperizados para ciertas aplicaciones, tiende a eliminar este costo, pero por el momento sigue considerándose una desventaja. Afortunadamente en estructuras de edificios de tipo urbano este problema no tiene importancia, debido a que los elementos estructurales están recubiertos y por consiguiente protegidos. Sin embargo es importante proteger la estructura durante el proceso de construcción con objeto de conservar íntegramente sus propiedades.
3. **Costo de la protección contra fuego.** Aunque algunos miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen considerablemente durante los incendios, cuando los otros materiales de un edificio se queman. Han ocurrido muchos incendios en edificios vacíos, en los que el único material combustible era el mismo edificio. El acero es un excelente conductor de calor, de manera que los miembros de acero sin protección pueden transmitir suficiente calor de una sección o compartimento incendiado de un edificio a secciones adyacentes del mismo edificio e incendiar el material presente. En consecuencia, la estructura de acero de un edificio puede protegerse con materiales con ciertas características aislantes o el edificio deberá acondicionarse con un sistema de rociadores para que cumpla con los requisitos del código de construcción. En un incendio serio, el acero pierde sus propiedades mecánicas a una temperatura del orden de 600 grados centígrados, y a partir de este momento tiene un comportamiento plástico, es decir, se deforma sin incrementar los esfuerzos a que está sometido. La experiencia ha demostrado que la protección de estructuras de acero contra fuego es cara y en ocasiones puede representar hasta un 5% del costo de fabricación de la estructura. No obstante lo anterior, el diseño y la protección contra incendios debe ser una exigencia de los reglamentos de construcción de todos los países del mundo y debe aplicarse de manera indistinta a edificios metálicos o de concreto.

### III. EL ACERO ESTRUCTURAL EN LA EDIFICACION

4. **Vibración.** Se dice que las estructuras de acero vibran demasiado. En lo que se refiere a la mayor sensibilidad de las personas a las vibraciones y oscilaciones de las estructuras metálicas; este aspecto es parte de un buen diseño, sin embargo, además de satisfacerse las condiciones de seguridad, se necesita cumplir con requisitos de servicio, funcionamiento y confort con base en los reglamentos vigentes.
5. **Flexibilidad.** La mayor parte de los estructuristas y diseñadores opinan que un edificio de acero se deforma más que uno de concreto. Las limitaciones de las deformaciones horizontales de una estructura tienen varios objetivos: evitar daños en elementos no estructurales, muros, fachadas, y desde luego prevenir el fenómeno de golpeteo en caso de sismo de gran intensidad. Este aspecto es básicamente de diseño y se resuelve eligiendo el sistema estructural adecuado al tipo de suelo, zona sísmica y características de la estructura.
6. **Susceptibilidad al pandeo.** Entre más largos y esbeltos sean los miembros a compresión, mayor es el peligro de pandeo. Como se indicó previamente, el acero tiene una alta resistencia por unidad de peso, pero al usarse como columnas no resulta muy económico ya que debe usarse bastante material, sólo para hacer más rígidas las columnas contra el posible pandeo.
7. **Fractura frágil.** Bajo ciertas condiciones, el acero puede perder su ductilidad y presentarse una fractura frágil en lugares con concentración de esfuerzos. Las cargas que generan fatiga junto con temperaturas muy bajas, agravan la situación.
8. **Fatiga.** Otra característica inconveniente del acero es que su resistencia puede reducirse si se somete a un gran número de inversiones del signo del esfuerzo, o bien, a un gran número de cambios de la magnitud del esfuerzo de tensión. (Se tienen problemas de fatiga sólo cuando se presentan tensiones) En la práctica actual se reducen las resistencias estimadas de tales miembros, si se sabe de antemano que estarán sometidos a un número mayor de ciclos de esfuerzos variables que cierto número límite.

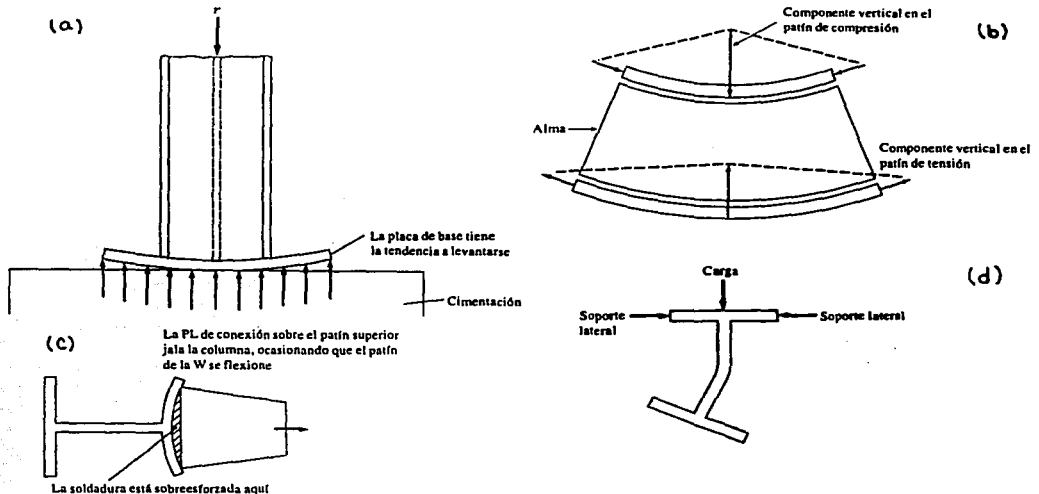


Figura III.3 Algunos posibles problemas al diseñar con acero : a) Deformación de placa base, b) Aplastamiento del alma; c) Pandeo local del patín; d) Pandeo lateral del alma

### III. EL ACERO ESTRUCTURAL EN LA EDIFICACION

#### III. 4 PERFILES DE ACERO USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN

El acero estructural puede laminarse en forma económica en una gran variedad de formas y tamaños sin cambios apreciables en sus propiedades físicas. Generalmente los miembros estructurales más convenientes son aquellos con grandes momentos de inercia en relación con sus áreas. Los perfiles I, T y C tienen esta propiedad.

Los perfiles se denominan en forma abreviada para su uso en planos, especificaciones y diseños. Este sistema está estandarizado, de modo que todos los molinos de laminación pueden usar la misma nomenclatura para fines prácticos de trabajo. Por lo general, los perfiles de acero se designan por la forma de sus secciones transversales.

El Instituto Mexicano de la Construcción en Acero A.C. (IMCA) publicó el Manual de Construcción en Acero basado en el manual ABD del American Institute of Steel Construction, Inc. (AISC). Este manual que consta de varios volúmenes contiene información valiosa y práctica respecto a la disponibilidad de perfiles empleados en la construcción, sus propiedades, tablas de dimensiones, especificaciones para Diseño, Fabricación y Montaje de Estructuras de Acero.

El IMCA consideró conveniente designar los perfiles de acero con sólo dos letras, una ideográfica y la otra abreviatura de su descripción, en vez de las tres o más siglas tradicionales. A continuación se indican las equivalencias.

LI es APS de lados iguales  
LD es APS de lados desiguales  
CE es CPS  
IE es IPS  
IR es IPR

TR es TPR  
IS es IPC  
OR es PTR o PER  
CF es CPL2  
ZF es ZPL2

NOMBRE	DESIGNACION	UNIDADES
1. Angulo de lados iguales	LI tamaño y espesor	mm X mm
2. Angulo de lados desiguales	LD tamaño y espesor	mm X mm X mm
3. Perfil C estándar	CE $d$ X Peso	mm X kg/m
4. Perfil I estándar	IE $d$ X Peso	mm x kg/m
5. Perfil I rectangular	IR $d$ X Peso	mm X kg/m
6. Perfil T rectangular	TR $d$ X Peso	mm X kg/m
7. Perfil I soldado	IS ( $b_r$ X $t_r$ ) / ( $d_w$ X $t_w$ )	(mm x mm)/(mm X mm)
8. Redondo sólido liso	OS D	mm X mm
9. Tubo circular	OC D X t	mm X mm
10. Tubo cuadrado o rectangular	OR tamaños y espesor	mm X mm X mm
11. Perfil C formado en frío	CF $d$ X cal	mm X cal
12. Perfil Z formado en frío	ZF $d$ X cal	mm X cal

### III. EL ACERO ESTRUCTURAL EN LA EDIFICACION

Debido a que se siguen importando perfiles de los Estados Unidos, principalmente vigas I, es necesario hacer una clara distinción entre las vigas estándar americanas (llamadas vigas S) y las vigas de patín ancho (llamadas vigas W) ya que ambas tienen forma de I. La superficie interna del patín de una sección W es paralela a la superficie externa, o bien, casi paralela con una pendiente máxima de 1 a 20 en el interior, dependiendo del fabricante.

Las vigas S, que fueron los primeros perfiles de vigas laminadas en los Estados Unidos, tienen una pendiente de 1 a 6 en el interior de sus patines. Debe notarse que los espesores constantes o casi constantes de los patines de las vigas W, a diferencia de los patines ahuecados de las vigas S, facilitan las conexiones. Las vigas de patín ancho representan hoy en día casi el 50% de todos los perfiles estructurales laminados. Ver figura III.4.

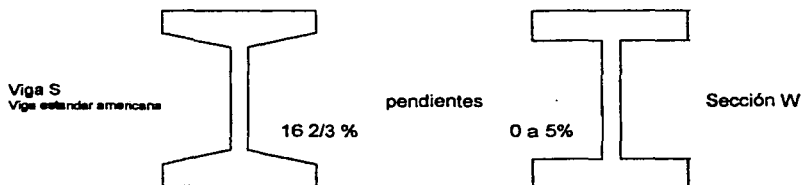


Figura III.4 Esquemización de una viga S y una sección W

Además de los perfiles de acero laminados en caliente, se tiene también perfiles de acero doblados en frío. Estos se fabrican doblando hojas delgadas de acero al carbono o de baja aleación en prácticamente cualquier sección transversal deseada. Estos perfiles, que pueden usarse como miembros ligeros con techos, pisos y paredes, varían en espesor entre 0.01 plg y 0.25 plg. Los perfiles más delgados suelen usarse como paneles. Si bien el trabajado en frío se reduce algo la ductilidad, también incrementa en alguna medida la resistencia. Bajo ciertas condiciones, las especificaciones permiten el uso de estas mayores resistencias. Ver figura III.5.

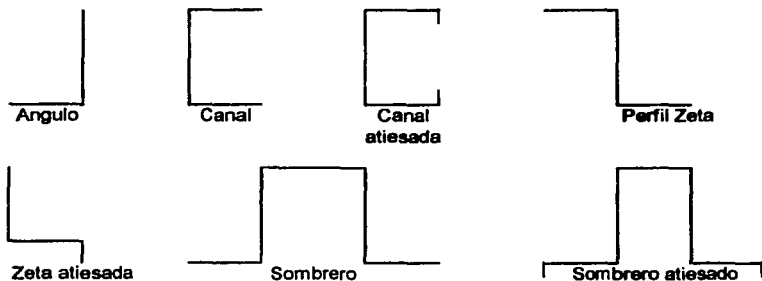


Figura III.5 Perfiles doblados en frío

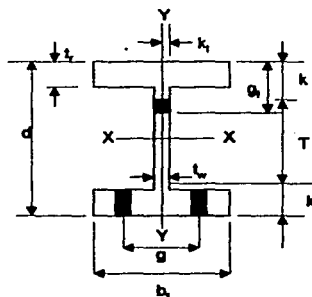
El estudiante debe consultar el manual IMCA para obtener información acerca de los perfiles laminados, por ejemplo, sobre pesos por metro, anchos, espesores, peraltes, localización de ejes, distancia entre ellos, momentos de inercia, módulos de sección, radios de giro, así como otras propiedades necesarias según el caso del que se trate.

### III. EL ACERO ESTRUCTURAL EN LA EDIFICACION

Para ejemplificar lo anterior seleccionemos un IR de 406 X 53.7

Esto significa:

- a) IR Perfil I Rectangular  
 b) 406 406 mm de peralte total  
 c) 53.7 53.7 kg / m



En el manual IMCA encontraremos la siguiente información al respecto:

#### IR Perfil I Rectangular Dimensiones

Designación		Peralte	Alma	Patin		Distancia			Gramil	Sujetadores		
d X peso		d	tw	bf	tf	T	k	k/	g	g/	Diámetro máximo en patin	
mm X kg/m	inX lb/ft	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	in
406X53.7	16X36	403	7.5	177	10.9	346	29	19	90	75	28.6	1 1/8

#### IR Perfil I Rectangular Propiedades

Peso	Area	Criterio de sección compacta				rT	d/Af	Eje XX			Eje YY			Const. de torsión J	Módulo de sección plástica	
		bf / 2t	F <sub>y</sub>	d / tw	F <sub>y</sub> '			I	S	r	I	S	R		Z <sub>x</sub>	Z <sub>y</sub>
		kg/cm	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm	kg/cm <sup>2</sup>			cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm		cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>
53.7	66.4	8.1	4527	53.8	1604	4.5	2.08	18847	928	16.5	1020	115	3.9	22.5	1048	117

Donde:

$$F_y = (545 / (bf / 2t))^2$$

F<sub>y</sub>' = Esfuerzo de fluencia máximo teórico, basado en la relación peralte / espesor del alma, abajo del cual un determinado perfil puede considerarse "compacto" para cualquier combinación de esfuerzos axiales y de flexión, en kg/cm<sup>2</sup>. Ver especificaciones IMCA sección 1.5.1.4.1.4

rT = Radio de giro de una sección que comprende el patin de compresión y 1/3 del área del alma en compresión, tomado con respecto a un eje en el plano del alma, en cm.

Af = Área del patin en compresión, en cm<sup>2</sup>.

I = Momento de inercia de una sección en cm<sup>4</sup>.

S = Módulo de sección elástica, en cm<sup>3</sup>.

r = Radio de giro que gobierna el diseño, en cm

## **IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION**

---

### **CAPITULO IV EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION**

---

Mario Francisco Cerdán González

Ingeniería Civil



## **IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION**

---

En México existe amplia experiencia en el diseño y construcción de estructuras de acero. De acuerdo con el proceso de diseño y construcción de edificios de acero que se emplea en México, los involucrados en un obra son:

Propietario (P)

Geotecnista (G)

Proyectista arquitectónico o arquitecto (A)

Director responsable de obra (DRO)

Corresponsables (C)

Corresponsable en seguridad estructural. Proyectista estructural, diseñador o calculista (CSE)

Corresponsable en desarrollo urbano y arquitectónico (CDUA)

Supervisor (S)

Productores y distribuidores de acero (PA)

Fabricante de estructuras metálicas (FEM)

Detallista (D)

Montador (M)

Autoridad (Licencia, reglamentos, normas y especificaciones de diseño)

Es importante destacar que la calidad de una estructura de acero está sujeta a un proceso sofisticado y al cumplimiento estricto de las normas y especificaciones que rigen cada una de las etapas de proyecto, por lo que debe existir una comunicación constante y efectiva entre todas las personas que de una u otra manera participan en la ejecución y desarrollo de una obra con este tipo de material.

El camino que siguen las estructuras de acero en el proceso constructivo se describe, de manera general:

1. Proyecto estructural (Diseño estructural)
  - 1.1. Selección del tipo de estructura
  - 1.2. Evaluación de cargas
  - 1.3. Modelaje
  - 1.4. Análisis por sismo
  - 1.5. Análisis estructural
  - 1.6. Diseño estructural
2. Ingeniería de proyecto
  - 2.1. Planos de diseño
  - 2.2. Planos de detalle
  - 2.3. Conexiones
  - 2.4. Lista avanzada de materiales
  - 2.5. Planos de montaje
3. Abastecimiento de materiales
4. Fabricación
  - 4.1. Enderezado
  - 4.2. Trazo
  - 4.3. Corte
  - 4.4. Habilitado
  - 4.5. Armado
  - 4.6. Soldadura
  - 4.7. Pintura

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

---

5. Embarque
6. Montaje
  - 6.1. Conocimiento y evaluación del lugar de la obra
  - 6.2. Selección del equipo
  - 6.3. Manejo y almacenamiento
  - 6.4. Método de montaje
7. Supervisión

Cada una de estas etapas consta a su vez de varios procesos ordenados, lógicos y consecutivos que de manera integral conforman un proyecto estructural.

### IV.1 DISEÑO ESTRUCTURAL

Es el resultado de un proceso que concluye con la elaboración de planos estructurales, que sirven de base para la elaboración de los planos de taller. En general el procedimiento de diseño que sigue básicamente las siguiente secuencia:

#### IV.1.1 Selección del tipo de estructura

Esta etapa es la más importante del diseño estructural. Se definen las dimensiones generales de la estructura: distancia entre los ejes, alturas de entrepiso (geometría básica de la estructura). También se define el tipo de estructura y de materiales que se utilizarán, perfiles más convenientes (laminados en sus diversas modalidades, secciones soldadas, miembros armados, armaduras o vigas de alma abierta, etc), sistemas de piso, y tipos de conexiones (soldadas, atornilladas, etc). Los aspectos económicos y estéticos son los más importantes que influyen en la decisión del tipo de estructura que se utilizará en una obra, y dependen de los lineamientos arquitectónicos.

En esta etapa queda determinado en gran parte el resultado final. Una elección bien razonada de la geometría de la estructura, tipos de miembros y conexiones, conduce a soluciones convenientes desde el punto de vista de seguridad, economía, factibilidad y funcionalidad.

#### **Seguridad**

Una estructura no sólo debe soportar con seguridad las cargas impuestas, sino soportarlas en forma tal que las deflexiones y vibraciones resultantes no sean excesivas y alarmen a los ocupantes o causen grietas en ella.

#### **Economía**

La economía de las estructuras está en manos del diseñador, quien debe poner en práctica todos sus conocimientos de análisis, comportamiento de materiales y diseño, así como aprovechamiento óptimo de los materiales disponibles en el mercado.

El proyectista siempre debe tener en mente la posibilidad de abatir los costos de la construcción sin sacrificar la resistencia. Algunas de las prácticas empleadas que coadyuvan a esta economía son por ejemplo, el uso de miembros estructurales estándar, uso de conexiones y detalles simples y el uso de elementos y materiales que no requieren un mantenimiento excesivo a través de los años.

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

---

### **Factibilidad**

Otro objetivo es el diseño de estructuras que puedan fabricarse y montarse sin mayores problemas. Entre más sepa sobre los problemas, tolerancias y márgenes de taller y campo, mayor será la posibilidad de que sus diseños resulten razonables, prácticos y económicos. Este conocimiento debe incluir información relativa al envío de los elementos estructurales de la obra (por ejemplo, el tamaño máximo de las partes que pueden transportarse por camión o ferrocarril) así como la disponibilidad de mano de obra y equipo de montaje. Quizá el proyectista deba hacerse la pregunta, "¿podría yo erigir esta estructura si me enviaran a montarla?"

### **Funcionalidad**

Por último el proyectista debe dimensionar las partes de las estructuras de manera que éstas no interfieran con las partes mecánicas (tuberías, ductos, etc) o arquitectónicas.

Es muy importante que en esta etapa de diseño el proyectista establezca recomendaciones generales al arquitecto para orientarlo en cuanto a la selección de claros económicos, ventajas y desventajas de la estructura metálica, perfiles y conexiones convenientes, ya que la experiencia del diseñador muchas veces define este tipo de aspectos, pero la decisión del arquitecto es determinante en esta parte inicial del proyecto.

### IV.1.2 Evaluación de cargas

Quizá la tarea más importante y difícil que debe enfrentar un diseñador de estructuras, es la estimación precisa de las cargas que recibirá una estructura durante su vida útil. No debe dejarse de considerar cualquier carga que pueda llegar a presentarse. Después de que se han estimado las cargas, es necesario investigar las combinaciones más desfavorables que puedan ocurrir en un momento dado.

En edificios convencionales para oficinas, las acciones más comunes que debe tomar en consideración el proyectista son:

1. **Acciones permanentes**, que son relativamente fáciles de determinar debido a su naturaleza estática y características de los materiales utilizados en una edificación. Dichas acciones se denominan cargas muertas. Estas son el peso propio de la estructura y otras cargas permanentemente unidas a ésta, como el peso de los pisos, muros, cubierta de techo, instalaciones mecánicas y eléctricas y muros divisorios.
2. **Acciones variables**, que incluyen las cargas vivas, que son aquellas que pueden cambiar de lugar y magnitud.
  - 2.1. Cargas móviles son aquellas que se mueven bajo su propio impulso: camiones, gente, grúas, etc.
  - 2.2. Cargas inmóviles son aquellas que pueden ser desplazadas; muebles, materiales de almacén, nieve, etc.
  - 2.3. Cargas de piso se definen como el peso mínimo de las cargas vivas usadas en el diseño de edificios y están especificadas en los códigos de construcción de cada localidad.
  - 2.4. Cargas de tránsito son cargas concentradas de magnitud variable a las que generalmente están sujetos los puentes, grúas viajeras, etc.
  - 2.5. Cargas de impacto causadas por la vibración de las cargas móviles

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

### 3. Acciones accidentales, viento o sismo, denominadas también cargas laterales.

3.1. Las fuerzas de viento actúan como presiones sobre las superficies verticales a barlovento, como presiones o succiones sobre superficies inclinadas a barlovento (dependiendo de la pendiente) y como succiones sobre superficies planas y superficies verticales o inclinadas a sotavento. Las magnitudes de la carga de viento varían con la localidad geográfica, las alturas sobre el nivel del terreno que rodean a los edificios, incluyendo otras estructuras y algunos otros factores, como la pendiente de la superficie donde actúan y la velocidad del viento, etc.

Barlovento: Dirección de donde viene el viento.

Sotavento: Dirección a donde va el viento

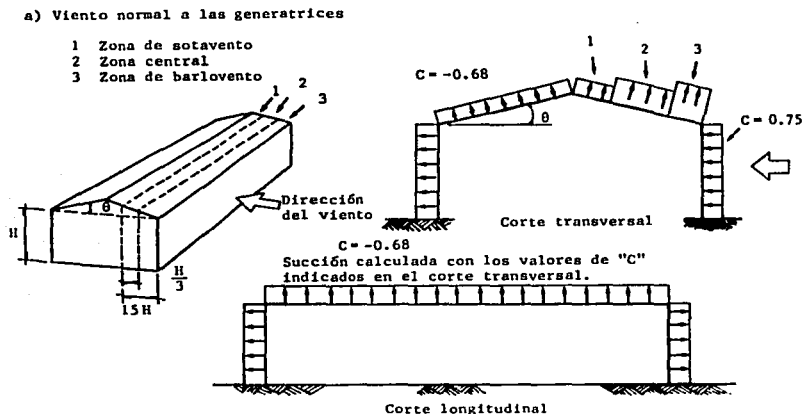


Figura IV.1 Efectos de barlovento y sotavento sobre estructura de una y dos aguas

θ	VALORES DE "C"			
	SUPERFICIE DE BARLOVENTO			SUPERFICIE DE SOTAVENTO
	ZONAS			
	DE BARLOVENTO	CENTRAL	DE SOTAVENTO	
< 15°	-1.75	-1.00	-0.40	-0.68
15° < θ < 65° tómese el mayor de los signos	-2.1 + 0.023 θ ó 0.012 θ	-1.2 + 0.013 θ ó 0.007 θ	-0.40	-0.68
> 65°	0.75	0.75	0.75	-0.68

Tabla IV.1 Valores del coeficiente de empuje para cubierta de una y dos aguas

#### IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

---

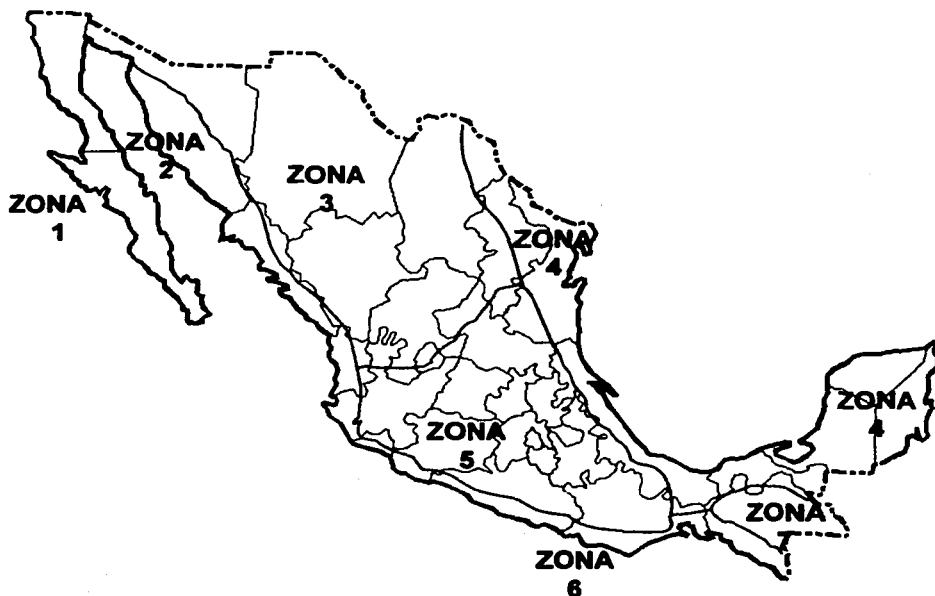


Figura IV.2 Regionalización sísmica de la República Mexicana

3.2. Las cargas sísmicas que actúan sobre la estructura durante un terremoto son efectos internos de inercia, que resultan de las aceleraciones a que se sujeta la masa del sistema. Las cargas reales dependen de los siguientes factores:

- a) Intensidad y carácter del movimiento del suelo, en el lugar en que se origina el temblor, y forma de transmisión al edificio.
- b) Propiedades dinámicas del edificio, tales como sus modos y periodos de vibración y sus características de amortiguamiento.
- c) Masa del edificio como un todo, o de sus componentes.

En general, en edificios de baja y mediana altura, el diseño queda regido por la conducción de carga que incluye sismo y no por viento. El diseñador deberá contar con información suficiente del lugar donde se construirá la obra. La falta de información adecuada puede conducir a diseños conservadores o escasos, desde el punto de vista de seguridad estructural.

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

La tabla IV.2 indica los valores de las velocidades regionales, para periodos de recurrencia de 50 a 200 años, es decir, con probabilidades asociadas de excedencia de 2% y 5%, respectivamente. Las velocidades regionales que se muestran, son representativas de toda una zona y pueden ser estrictamente aplicables en localidades especificadas dentro de ella.

Zona edílica	Velocidad regional (km/h)		
	Estructuras grupo A ( $T_R = 200$ años)	Estructuras grupo B ( $T_R = 50$ años)	Estructuras Grupo C
1	105	90	No  requieren  diseño  por viento
2	150	125	
3	125	115	
4	185	160	
5	90	80	
6	170	150	
7	95	90	

**NOTAS:**  
 $T_R$  es el periodo de recurrencia  
 Clasificación de estructuras de acuerdo con el manual de diseño de obras civiles C.F.E. inciso 4.2

Tabla IV.2 Velocidades regionales V

En aquellos lugares donde se tengan registros de velocidades máximas de viento, estas se podrán emplear para determinar las velocidades de diseño.

Para fines de diseño por viento las estructuras pueden clasificarse, de acuerdo al criterio de seguridad aconsejable, de la siguiente manera:

### Grupo A

Pertenecen a este grupo aquellas estructuras que, en caso de fallar, causarían pérdidas directas o indirectas excepcionalmente altas en comparación con el costo necesario para aumentar su seguridad. Tal es el caso de plantas termoeléctricas, torres de transmisión, centrales telefónicas, hospitales, escuelas, estadios, salas de espectáculos, templos. Museos y locales que alojen equipo especialmente costoso en relación con la estructura.

### Grupo B

Pertenecen a este grupo las estructuras en las que el cociente entre el costo de una falla y el costo de incrementar la resistencia es de magnitud moderada.

Este es el caso de presas, plantas industriales, comercios, casas para habitación privada, hoteles, edificios de apartamentos u oficinas, y todas aquellas estructuras cuya falla pueda poner en peligro a otras construcciones de este grupo o del grupo A.

### Grupo C

Pertenecen a este grupo estructuras en las que no es justificable incrementar su costo para aumentar su resistencia, ya que su falla por viento no implica graves consecuencias, ni puede, normalmente, causar daños a estructuras de los grupos anteriores. Ejemplos: bardas con altura menor de 2.5 m, bodegas provisionales para la construcción de obras pequeñas, etc.

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

### REGIONALIZACION SÍSMICA DE LA REPUBLICA MEXICANA

Con base en la más reciente información geológica y tectónica del país, así como también en datos estadísticos sobre magnitudes e intensidades sísmicas registrados desde principios de siglo, se trazaron las curvas de intensidad sísmica correspondientes a periodos de recurrencia determinados. A partir de estas curvas, se regionalizó la República Mexicana como se muestra en la figura IV.3 en cuatro zonas, siendo la A la de menor intensidad sísmica y la zona D la de mayor intensidad sísmica.



Figura IV.3 Regionalización sísmica de la República Mexicana

Otro factor que debe considerarse en el diseño sísmico es la condición del suelo:  
De acuerdo con su rigidez, los terrenos se clasifican en tres tipos:

Tipo I Terreno firme, como tepetate, arenisca medianamente cementada, arcilla muy compacta o suelo con características similares.

Tipo II Suelo de baja rigidez: como arenas no cementadas o limos de mediana o alta compacidad, arcillas de mediana compacidad o suelos de características similares.

Tipo III Arcillas blandas muy compresibles.

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

### IV.1.3 Modelaje (Modelo de análisis)

Este procedimiento consiste en idealizar la estructura como un conjunto de marcos ortogonales representados por los ejes de las trabes y las columnas. En la medida en que el modelo de la estructura represente lo más fielmente posible a la estructura real, más confiables serán los resultados obtenidos del análisis estructural.

Los sistemas estructurales que se han utilizado en México a lo largo de la estructura metálica son los siguientes:

- Marcos rígidos.** Estructuras simples, columnas y vigas, desde el punto de vista de diseño y fabricación convenientes para estructuras de poca altura, ya que para construcciones de mediana o gran altura se vuelven críticos los efectos de las fuerzas horizontales, por lo que es necesario aumentar de manera importante las dimensiones de los elementos estructurales para obtener la rigidez y resistencia necesarias contra las cargas accidentales. Por otro lado, la ductilidad puede ocasionar deformaciones excesivas llegando a producir fallas por inestabilidad.
- Marcos contraventeados.** Estructuras de menor peso y mucho más rígidas y resistentes que los marcos rígidos no contraventeados. Son marcos con la adición de diagonales de contraventeo concéntricas en V, X. La gran rigidez y resistencia de este sistema permite que la estructura tenga un mejor comportamiento durante la ocurrencia de un sismo, reduciendo los daños, no obstante existen algunos problemas respecto al comportamiento de las diagonales bajo carga cíclica.
- Marcos con contraventeos excéntricos.** En estas estructuras, las diagonales no llegan a los nudos, por lo que se introducen excentricidades en las conexiones. Son estructuras dúctiles en las que las deformaciones inelásticas se confinan a regiones en las que no afectan de manera adversa la resistencia y estabilidad de conjunto de una estructura.
- Muros de cortante y marcos contraventeados con marcos rígidos.** Es la combinación de los sistemas descritos anteriormente con el uso de muros de cortante. Este sistema es el más utilizado en las estructuras de edificios altos, en las que los muros de los núcleos de elevadores, escaleras y servicios resisten las fuerzas sísmicas laterales y otra parte de las cargas sísmicas son resistidas por los marcos rígidos. Este sistema resulta económico también para edificios de mediana altura (de 10 a 20 pisos).

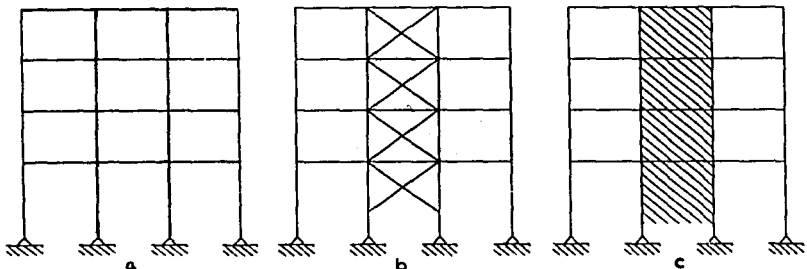


Figura IV.4 Sistemas de marcos: a) Marcos rígidos; b) Marcos contraventeados; c) Marcos de cortante



## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

### IV.1.4 Análisis por sismo

En este análisis los parámetros más importantes que determinan la magnitud de las fuerzas sísmicas, son el coeficiente sísmico y el factor de comportamiento sísmico ( $Q$ ). El primero se determina según la zonificación geotécnica donde se va a construir la edificación y según el tipo de estructura que se está considerando (Grupo A o B). Si el proyectista ha considerado un valor de 3 ó 4 para el factor de comportamiento  $Q$ , entonces se trata de un proyecto a base de marcos dúctiles. Los requisitos que debe cumplir son múltiples y simultáneos. En caso de que no se cumpla alguno de ellos, el proyecto es erróneo y debe revisarse con un valor de  $Q$  igual a 2.

Los requisitos para marcos dúctiles son geométricos (relaciones entre los anchos de traveses y columnas, dos ejes de simetría en traveses y columnas, soldaduras de filete continuas entre patines y almas, relaciones ancho-grosor máximas en placas que constituyen la sección transversal, longitudes de soporte lateral máximas, relaciones de esbeltez y de cargas máximas) y constructivos (no se permiten agujeros ni empalmes en traveses en zonas de posibles articulaciones plásticas).

Además de la verificación de la ductilidad de los marcos, es necesario revisar si la estructura cumple con los requisitos de regularidad. Si no cumple alguno de ellos, el factor de comportamiento sísmico debe reducirse en un 20%.

Existen algunos aspectos no considerados en las normas de diseño. Por ejemplo, de acuerdo con la filosofía de diseño en zonas sísmicas, se requiere que exista una alta hiperestaticidad en la estructura para que se puedan presentar articulaciones plásticas en algunas zonas y se disipe energía, en tanto, otras deben quedar dentro del intervalo elástico. Si se tiene marcos con sólo dos columnas no puede ser el caso. Aunque se diseñen perfectamente bien para cumplir con los requisitos de ductilidad en los elementos y las juntas, no es posible que se lleguen a factores de comportamiento sísmico de 4. Lo más razonable es considerar un valor menor y no exigir tanta ductilidad a la estructura.

Después de que se han definido las secciones que conforman cada uno de los miembros estructurales, en términos de resistencia o capacidad, es necesario revisar las deformaciones esperadas para las cargas de servicio, tanto verticales como las ocasionadas por la acción del viento o sismo.

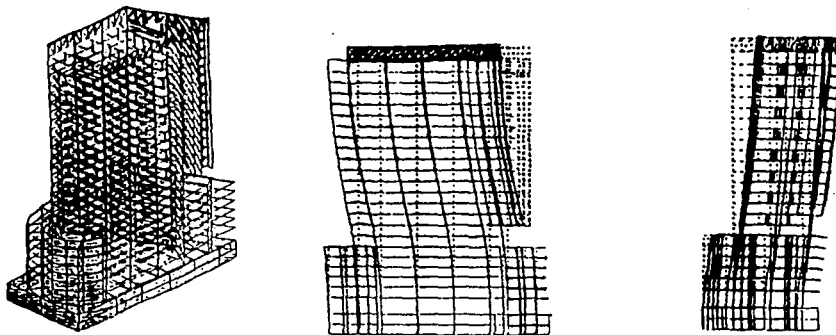


Figura IV.5 Simulación del efecto de una carga sísmica sobre una estructura

## **IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION**

---

### **IV.1.5 Análisis estructural**

Una vez que se ha definido el modelo de la estructura y se han evaluado las acciones que obran en ésta, se procede al análisis estructural.

En términos generales, el análisis estructural es el proceso donde se determinan las fuerzas internas como: momentos flexionantes, cortantes, deformaciones y a menudo también las cargas que producen la falla de la estructura. Con el conocimiento de estos elementos y de las propiedades de los materiales de la estructura se puede valuar el margen de seguridad.

Existen diferentes métodos de análisis estructural y también un buen número de programas de computadora, desarrollados en México y de procedencia extranjera, cada uno de éstos tiene sus propias suposiciones, bases teóricas y limitaciones; y constituyen una herramienta de diseño indispensable para la ejecución del proyecto estructural, debido fundamentalmente al ahorro de tiempo en el diseño. SAP 90, ETABS, STRUDL, P-FRAME, STAAD-III/IS, Revisión 17,1993, RAMSTEEL, CONXPRT-AISC, ESDS, SCALE, SteelModeler, MicasPlus, SAFE-2000, DISACERO, etc.

Varios programas disponibles en México analizan y diseñan de manera integral las estructuras, con apego a las normas mexicanas y con cierta facilidad permiten hacer los ajustes necesarios de los diversos miembros que forman parte de la estructura, con la finalidad de optimizarla. Otros efectúan análisis más sofisticados que incluyen los efectos de segundo orden o el comportamiento no lineal de las estructuras.

### **IV.1.6 Diseño estructural**

Un diseño racional en acero se basa en una amplia disponibilidad de perfiles estructurales en el mercado, sistema estructural eficiente, uso adecuado del material (claros convenientes), desarrollo de la ductilidad del acero, velocidad constructiva, diseño económico, al obtener estructuras prefabricadas más livianas que las de concreto (aprovechamiento óptimo del acero), facilidad para fabricar las conexiones, reducción de la aplicación de soldadura en campo, mayor empleo de conexiones atornilladas, fabricación y montajes precisos, ingeniería de detalle completa, utilización de elementos idénticos para reducir el número de marcas en las estructura (se reduce el costo de fabricación y se cometen menos errores), diseño de conexiones a momento de vigas columnas en los marcos resistentes a fuerzas laterales, etc. En el diseño de una estructura de acero debe considerarse también la protección anticorrosiva y contra fuego.

En el diseño, debe tomarse en cuenta varios factores que pueden hacer que la estructura de acero tenga un comportamiento no dúctil, debido a la presencia de algún fenómeno de inestabilidad: pandeo local, pandeo lateral o pandeo lateral por flexotorsión o pandeo de conjunto. Así mismo, deben considerarse otros factores que influyen en el comportamiento dúctil del acero: alto contenido de carbono, bajas temperaturas, estados triaxiales de esfuerzos, velocidad de aplicación de carga (impacto), fatiga y fallas de tipo frágil.

Las propiedades que definen la respuesta sísmica de una estructura son resistencia, rigidez, amortiguamiento, ductilidad y capacidad de disipar o absorber energía. El arte de diseñar contra sismos no consiste en construir estructuras capaces de resistir las fuerzas horizontales (aunque esta capacidad es parte de un buen diseño), sino también implica obtener sistemas estructurales que se caractericen por contar con una adecuada combinación de estas propiedades.

#### IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

---

En los últimos años se han desarrollado disipadores o dispositivos de energía (aisladores de base, amortiguadores, contraventeos con disipadores) en los Estados Unidos de América, Nueva Zelanda, Japón, México y en otros países de alto riesgo sísmico. Los sistemas de contraventeo, trabajando ante la presencia de dispositivos cuya función principal es disipar y transformar la energía cinética generada por un sismo en energía térmica, tienden a reducir las deformaciones en las estructuras y, por lo tanto, los esfuerzos generados por la acción de estas fuerzas. Los aisladores de base absorben la mayor parte de los movimientos del suelo cuando ocurre un sismo, haciendo que los mismos transmitan únicamente una fracción de los impulsos sísmicos a la superestructura y, por consiguiente, las fuerzas sísmicas producidas por el movimiento inercial de las masas del edificio. Los amortiguadores-disipadores de energía disipan internamente la energía que absorbe una estructura durante la ocurrencia de un sismo suplantando en una gran parte a la energía que la estructura disipa por trabajos inelásticos del sistema estructural o ductilidad. Los disipadores de energía que se están probando en México son los de fricción, los de material elastomérico, los de placas de acero flexionado. Con esta innovaciones se espera pues, que la estructura metálica pueda tener mayor participación en nuestro medio.

Por otra parte, una rigidez suficiente de la estructura evita deformaciones excesivas mayores que las prescritas en las normas de diseño vigentes, este aspecto es muy importante en estructuras de acero, principalmente en la dirección de menor momento de inercia de las columnas.

Se debe verificar que el desplante de la estructura sea adecuado. En caso de tener momentos elevados en la base, no será suficiente con tener placas base y anclas. Debe contarse con atiesadores con suficiente rigidez para lograr que se conserve la perpendicularidad de la estructura respecto al desplante.

Respecto a las especificaciones de diseño la mayor parte de los países de América Latina, utilizan las especificaciones de uso en los Estados Unidos de América, particularmente del American Institute of Steel Construction AISC (Specification for Structural Steel Buildings-Allowable Stress Design and Plastic Design). Esta práctica que desde hace muchos años se sigue en México, se debe a numerosas razones: los perfiles para la construcción que produce la industria siderúrgica mexicana, se laminan con dimensiones del sistema inglés y son una parte de los que se producen en los Estados Unidos de América, la influencia tecnológica de Estados Unidos por la cercanía con México, buena parte de los programas de análisis y diseño estructural que se utilizan en México proceden de Estados Unidos y se basan en métodos de diseño adoptados por el AISC.

El AISC reconoce tres métodos de diseño para estructuras de acero:

- a) Diseño elástico o por esfuerzos permisibles
- b) Diseño plástico
- c) Diseño basado en factores de carga y resistencia (Load and Resistance Factor Design)

En México, el primero es el que tradicionalmente se emplea, los dos últimos, pocas veces se utilizan, a pesar de que el diseño elástico pronto pasará a la historia.

Con la edición de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal ya se dispone de un buen documento de diseño, que con relativa frecuencia se ha actualizado. No obstante, estas normas son de carácter obligatorio exclusivamente para el Distrito Federal y muchos diseños que se efectúan en ciudades importantes del país como Monterrey, Guadalajara y varias ciudades del norte, tiene diferencias importantes con relación a diseños efectuados en la Ciudad de México, debido a que el diseño integral en estos lugares, se basa en las normas estadounidenses, incluyendo la determinación de las acciones permanentes, variables y accidentales.

## **IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION**

---

### **IV. 2 INGENIERIA**

Un buen diseño nunca estará completo si no existe una comunicación entre el diseñador y el fabricante de estructuras metálicas. El detallado incluye la preparación de dibujos o planos de taller. En México, es práctica común que el fabricante elabore los planos de taller con base en los planos estructurales que prepara el diseñador. Los planos de taller, como se verá más adelante, deberán contener detalles completos y precisos de la estructura y sus conexiones, así como de los anclajes y todo aquello que pueda dar lugar a diferentes interpretaciones.

#### **IV.2.1 Planos de diseño**

El objeto de los planos generales es proporcionar a los detalladores todas las informaciones necesarias para la preparación de los planos de taller. Los planos generales pueden considerarse como una presentación gráfica de las conclusiones de la memoria de cálculo.

Un plano de diseño debe contener las siguientes informaciones:

- a) Dimensiones principales de la estructura, ya sea entre ejes o libres, de acuerdo con las necesidades de cada caso.
- b) Características generales de todos los elementos estructurales
- c) Informaciones de solicitaciones y cargas. Generalmente se indican los esfuerzos de las conexiones principales; las conexiones secundarias se cubren con una nota en el sentido de que deben proyectarse para desarrollar la capacidad resistente de los elementos conectados.
- d) Diseño completo o forma típica de las conexiones más importantes de la estructura, como por ejemplo, las bases de columnas.
- e) Suficientes notas respecto a especificaciones, normas y otras directivas que sea necesario seguir durante el cálculo de detalles.

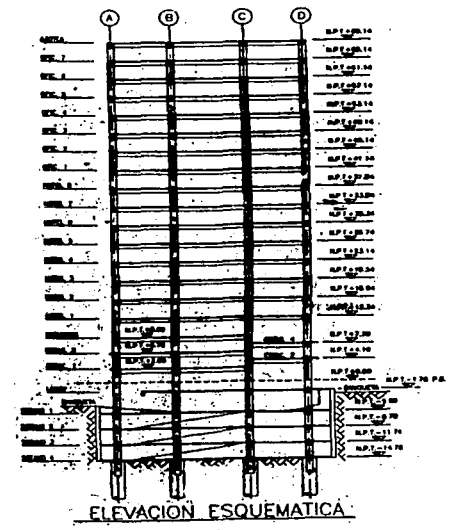
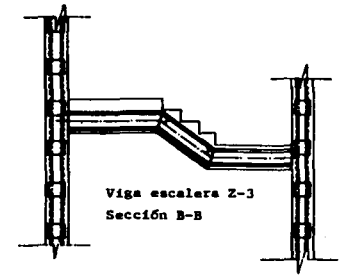
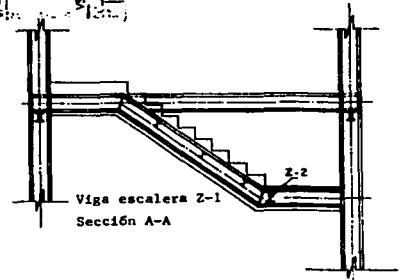
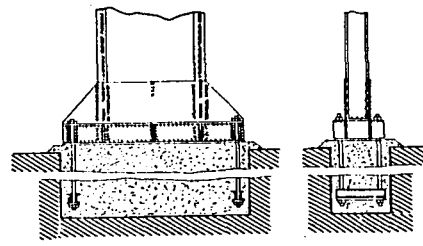
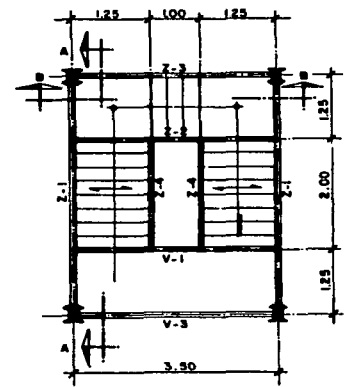
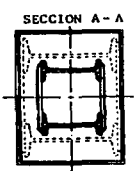
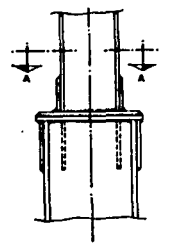
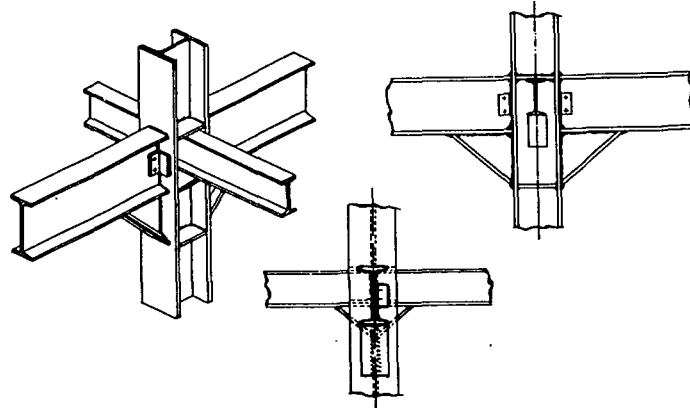
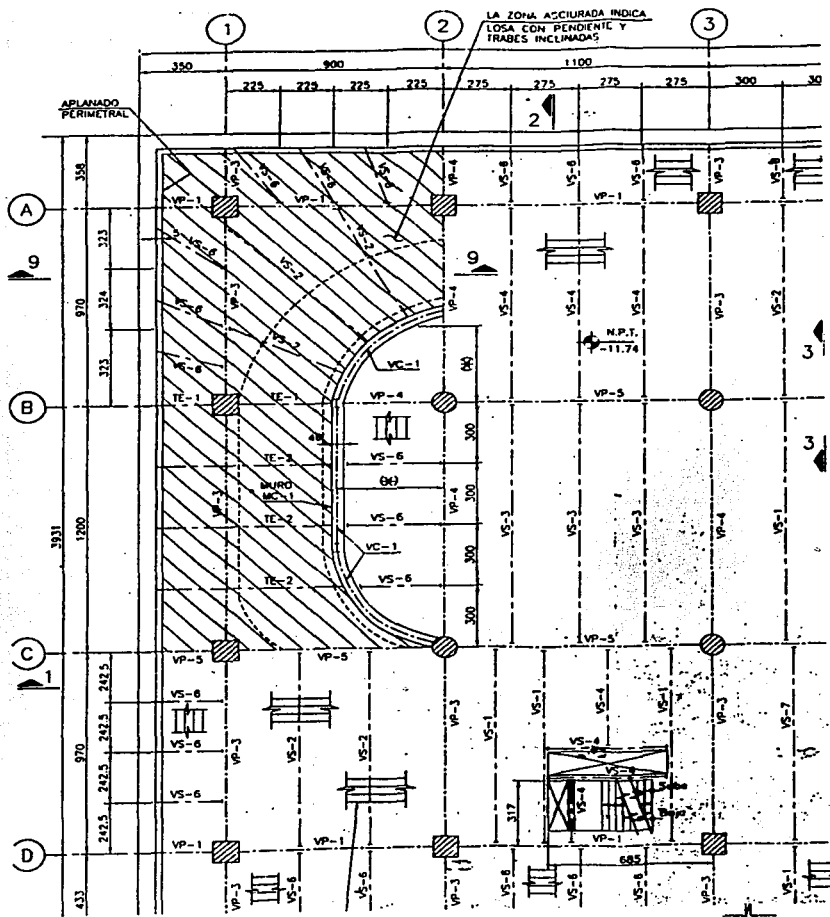
#### **IV.2.2 Planos de detalle**

Los planos bien elaborados deben tener cuatro características fundamentales: claridad, precisión, rapidez y economía. Para lograr lo anterior, es necesario establecer un sistema de dibujo que presente planos completos y de excelente calidad.

El objeto de los planos de detalle es proporcionar al taller las informaciones necesarias para construir la estructura. Es conveniente, además, incorporar en el plano la lista de materiales para facilitar el trabajo de taller.

Los planos de detalle muestran cada elemento estructural con sus dimensiones completas. En su elaboración se siguen, en general, símbolos y convenciones internas de cada Planta, que tienden a simplificar el trabajo.

En los planos de detalle se sigue, generalmente, una ordenación que corresponde al orden de elaboración en el taller y la secuencia de montaje en el terreno.



**NOTAS GENERALES.**

- 1.- CONCRETO  $f_c=250$  kg/cm<sup>2</sup>, CLASE-1 (ESTRUCTURAL) EN LOSAS Y RAMPA
- 2.- ACERO DE REFUERZO  $F_y=5000$  kg/cm<sup>2</sup> EN MALLA ELECTROSOLDADA Y CUMPLIRA CON LA NORMA NOM B-253 Y B-290
- 3.- ANTES DE PROCEDER A CONSTRUIR ESTA OBRA SE DEBERA VERIFICAR LA CONCORDANCIA DE LAS COÍAS Y NIVELES DE ESTE PLANO CON LAS DE LOS PLANOS ARQUITECTONICOS CORRESPONDIENTES.

**NOTAS GENERALES DE ACERO**

- 1.- EL ACERO ESTRUCTURAL SERA TIPO A.S.T.M. A-36, CON  $F_y=7531$  kg/cm<sup>2</sup>. PARA VIGAS SECUNDARIAS VS-1, VS-2, VS-3, VS-4, VS-5, VS-6, VS-7, VC-1, VC-2 Y EN CONECTORES DE LOSA.
- 2.- EL ACERO ESTRUCTURAL SERA TIPO A.S.T.M. A-572, Gr. 50 CON  $F_y=3515$  kg/cm<sup>2</sup> PARA VIGAS PRINCIPALES VP-1, VP-2, VP-3, VP-4 Y VP-5.
- 3.- TODA LA SÓLDADURA SERA AL ARCO ELECTRIC.
- 4.- EN SOLDADURA MANUAL SE UTILIZARAN ELECTRODOS E-70xx.
- 5.- EN SOLDADURA AUTOMÁTICA SE EMPLEARA UNA COMBINACION DE ELECTRODO Y FUNDENTE QUE PRODUZCA UNA SOLDADURA DE RESISTENCIA IGUAL A LA OBTENIDA CON ELECTRODOS E-70xx.
- 6.- LAS SOLDADURAS SE HARAN SIGUIENDO LA NORMA DE LA A.W.S. D1.1-98. (A.W.S. = SOCIEDAD AMERICANA DE SOLDADURA).
- 7.- TODAS LAS SOLDADURAS SE HARAN POR OBREROS CALIFICADOS
- 8.- ESTE PLANO NO ES DE FABRICACION SOLO SE MUESTRAN PERFILES Y CONEXIONES TIPO.

**PLANO DE DISEÑO (Ejemplo)**

- Se indican:
- Ejes alfanuméricos
  - Dimensiones principales
  - Características generales
  - Conexiones principales
  - Notas y especificaciones

#### IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

Debe tenerse presente que en obras de importancia, la preparación de planos de detalle debe ser oportuna antes de iniciar los trabajos de fabricación. El orden siguiente es típico para un edificio industrial:

- a) Listas avanzadas de materiales
- b) Pernos de anclaje. Este plano debe prepararse con mucha anticipación respecto al resto, pues los pernos deben entregarse antes de concretar las cimentación
- c) Columnas y placas de apoyo
- d) Vigas porta-grúas
- e) Arriostramiento
- f) Escaleras, plataformas y otros detalles
- g) Planos de montaje y conexiones en el terreno

El número de planos de detalle es considerablemente mayor que el de diseño. En términos generales, el número de planos de diseño para edificios industriales puede variar entre 1 y 10.

Los planos de fabricación son documentos muy importantes ya que garantizan el éxito de una obra, y a partir de éstos se puede tener una definición exacta de las características de la estructura antes de fabricarla.

Lo anterior requiere que en los planos de ingeniería básica estén debidamente plasmados la estructuración, las escuadrías de los elementos estructurales, los perfiles que forman los miembros estructurales, el criterio de las juntas, el tipo de acero y los sujetadores empleados, los tamaños de las soldaduras y el diámetro de los tornillos, para formar un conjunto de piezas y obtener como resultado una estructura absolutamente prefabricada.

En México, la experiencia en la fabricación de estructuras de acero ha demostrado que por muy sencilla que sea una obra de acero, es indispensable la elaboración de los planos necesarios de detalle, de lo contrario habrá numerosos errores en detrimento de la calidad final de la estructura. Actualmente, varios fabricantes están realizando esfuerzos importantes para actualizar y mejorar sus sistemas tradicionales de trabajo, elaborando planos de taller asistidos por computadora



Figura IV.6 Departamento de Ingeniería

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS EN LA CONSTRUCCION

### IV.2.3 CONEXIONES

El diseño y fabricación de las conexiones, es uno de los aspectos trascendentes y más difíciles que rodean el proyecto estructural. Las estructuras de acero, las conexiones deben ser capaces de transmitir cargas axiales, fuerzas cortantes y momentos flexionantes. Algunas veces las juntas se diseñan para resistir un tipo específico de esfuerzos que en otras ocasiones, como suele ocurrir, por un caso de tipo de cargas distribuidas continuas entre sus elementos. Únicamente la junta debe estar preparada para resistir las combinaciones de diferentes efectos por ejemplo cargas y momentos horizontales.

A medida que una junta proporciona mayor funcionamiento eficiente es lo que se refiere a trabajos y reduciendo cualquier número de otros métodos especiales para conectar los miembros de una estructura de acero, las necesidades de empuje. Un empuje, el uso de estos métodos, declina a favor de las conexiones, soldadas y empalmes.

Las conexiones soldadas son ventajosas económicamente debido a que se eliminan elementos de acero en algunas conexiones. Una ligera discontinuidad requiere menos trabajo en taller. Sin embargo, el procedimiento de inspección superficial en una estructura de acero durante el proceso de fabricación, requiere mano de obra calificada y dificulta la inspección visual.

Las conexiones empalmadas presentan las siguientes ventajas: pueden ser más rápidas en ser instaladas, reduciendo el costo de construcción, reduciendo la inspección visual y la sustitución de los miembros que se han dañados o se reemplazan de estos.

Se le atribuye la culpa que para reducir el tiempo de construcción de las estructuras de acero se produce el empleo de conexiones de acero y de empalmes en acero.

Las juntas de empalmes deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) Disponibilidad. Una conexión de una junta debe proporcionar espacio de que la conexión pueda ser fabricada. El costo de que las juntas sean ventajosas aumenta el tiempo de montaje y una junta que usa pocas herramientas por un número mínimo de personas especializadas.
- b) Disponibilidad. El empleo de juntas que requieren el empleo de continuos, supone siempre un costo de montaje de los miembros de la estructura que forman parte de la estructura debido a la posibilidad de proporcionar estos miembros.
- c) Disponibilidad. El costo de las juntas puede representar una parte importante del costo total de una estructura de acero, de manera que se de ciertos límites mantenerlo dentro de límites razonables. Las principales características que afectan el costo de las conexiones son:
  - El costo de los miembros que forman la junta (columnas, tornillos, placas o rebajos de perfiles laminados (perfiles de acero), miembros, perfiles T, etc.)
  - El costo de la mano de obra necesaria para fabricar la junta con las preparaciones que requieren los miembros que la forman.
  - El costo del equipo de montaje necesario, el tipo de junta obliga a que la pieza sea sostenida mientras se efectúan las uniones en taller.
- d) Precisión geométrica aceptable. Es necesario que las conexiones cumplan con requisitos mínimos de precisión geométrica, con el fin de que permitan la unión de los elementos que forman una estructura, sin necesidad de hacer ajustes, que siempre elevan el costo del montaje de manera importante. No obstante, las juntas deben diseñarse con tolerancias, ya que por mucho cuidado que se ponga en la fabricación, tanto de éstas como de los elementos prefabricados que van a unir, siempre existen pequeños errores de dimensiones. Por otra parte, si la junta requiere de un ajuste demasiado afinado, las operaciones de montaje se complican.

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

- e) Estabilidad durante el montaje. De manera general, se recomienda diseñar las juntas, de modo que permitan cierto grado de sujeción durante el montaje. De no ser así, es necesario emplear equipo de izaje para sujetar las piezas prefabricadas, mientras se efectúan las uniones, con el consiguiente aumento de tiempo de montaje, costo de la mano de obra, material y equipo auxiliar.

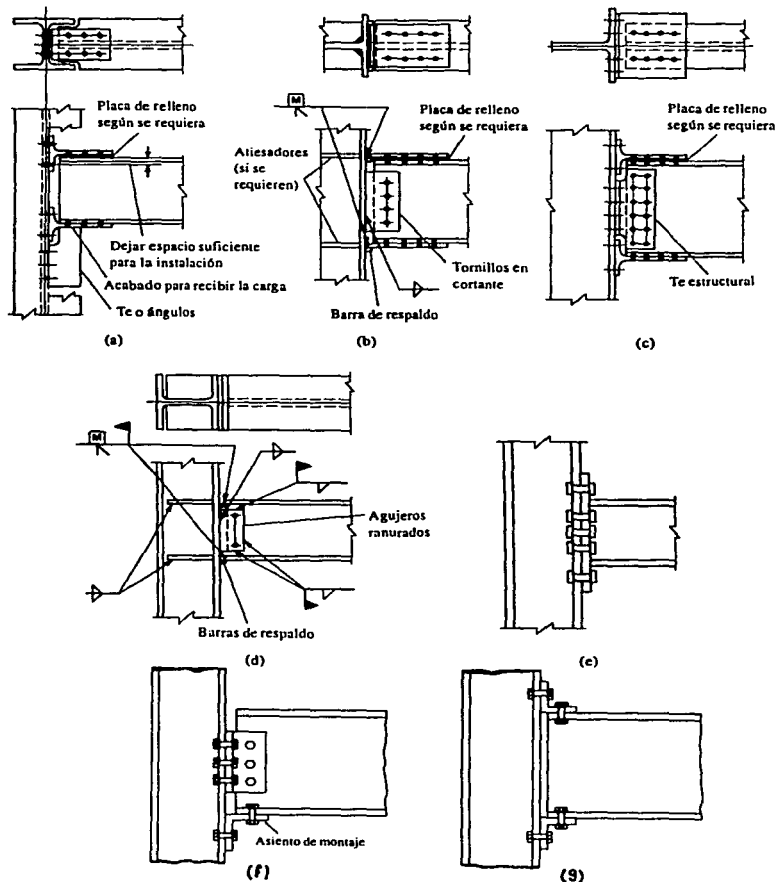


Figura IV.7 Diferentes tipos de conexiones



## **IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION**

---

### **IV.2.4 Listas avanzadas de materiales**

La obtención del acero necesario para una construcción es un proceso que no debe presentar problemas, como ocasionar demoras de consideración. Todo taller de estructuras debe mantener acero de existencia normal en sus bodegas, pero debido a la gran variedad de dimensiones existentes, y con el objeto de reducir el capital inmovilizado, las existencias deben reducirse al mínimo necesario para no entorpecer la producción. En consecuencia, en obras de consideración, es necesario adquirir gran parte del acero, ya sea en barracas de acero u ordenando laminaciones especiales.

Con el objeto de ganar tiempo, antes de preparar planos de detalle, y tomando como base los planos de diseño, es conveniente preparar listas de materiales, denominadas "listas avanzadas", en las cuales se indican, en forma lo más aproximada posible, las cantidades, dimensiones de los diversos elementos. Dichas listas son utilizadas para efectuar las compras de material.

Las diferencias que resultan después de obtenidas las listas definitivas de materiales tomadas de los planos de detalle, se ajustan con el acero de existencia normal (stock), que, en esta forma desempeña el papel de un estanque regulador.

La forma precisa y detallada del arreglo de esta lista de materiales puede ser diferente de acuerdo a cada fabricante. Esencialmente son similares a la mostrada en la Tabla IV.2.

Refiriéndose a la Tabla IV.2 los renglones numerados consecutivamente para identificar cualquier material o cualquier partida directamente. Cada línea es dividida en columnas que serán llenadas por el departamento de dibujo como sigue:

- a) Número total de piezas incluidas en cada partida
- b) Una descripción completa de cada partida requerida dando dimensiones finales
- c) Una indicación de la longitud extra que deberá ser provista para el corte de terminado o ajuste si es requerido
- d) Marcas de identificación y notas de ayuda

La forma también deberá tener columnas que deberán ser llenadas por el departamento de compras. Estos espacios son usados para mostrar las dimensiones y el número de piezas de cada partida de como fueron ordenadas.

## LISTA DE AVANCE

CLIENTE: \_\_\_\_\_

ESTRUCTURA: \_\_\_\_\_

DEPARTAMENTO DE DIBUJO

DEPARTAMENTO DE COMPRAS

Lin	No. de piezas	Perfil	Descripción	Long.		Marcas	No. de piezas	Descripción	Longitud		Part.
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											

Especificación

Elaborada por:

Contrato No.:

Inspección

A cargo de:

Fecha:

Tabla IV.2

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

### IV. 2.5 Planos de montaje

Con el propósito de lograr un montaje ágil y sin error, se generan un conjunto de planos de montaje. Estos planos deberán mostrar la localización de cada uno de los elementos que constituyen la estructura a través de una marca asignada para su rápida identificación, así como el ensamble con otros elementos.

Los planos de montaje usualmente muestran, además de la marca de montaje de la pieza, su orientación y sentido. Por otra parte, el apoyo que proporcionan al montador para la visualización de la obra, es fundamental ya que en él se logran identificar ejes, dimensiones de áreas y espacios, mismos que pueden ser empleados para la realización de las múltiples maniobras llevadas a cabo en una obra. Estos planos cuentan con información complementaria de gran ayuda como niveles, distancia entre ejes, detalles tipo, cortes y vistas, así como representaciones de las conexiones empleadas para el ensamble de los elementos; dicho de otra manera, los planos de montaje son una información muy valiosa que le permiten al montador, estando en el campo, recrear en su mente las condiciones de cualquier nivel, espacio o sitio de la obra sin desplazarse a él e integrarlo al resto de la misma.

Los planos de montaje incluyen un plano de localización de anclas. Este dibujo localiza todas las anclas y su posición en la cimentación, además de indicaciones sobre niveles y altura libre de las mismas.

En algunas ocasiones, para ahorrar tiempo o adelantar el proceso se pueden implementar algunas copias de los planos estructurales como planos de montaje añadiendo las marcas e instrucciones correspondientes. Sin embargo, esto es un artificio y no la norma, ya que la forma, escala, tamaño, color y otros detalles aparentemente superficiales, constituyen un lenguaje familiar entre las partes involucradas.

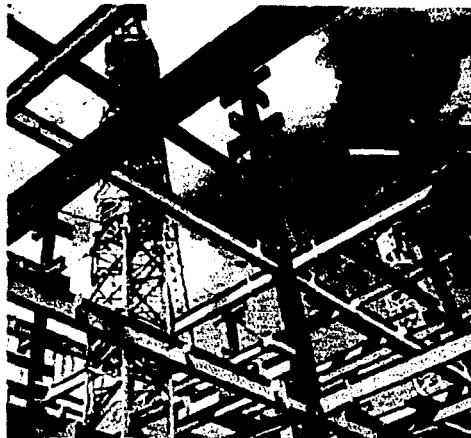
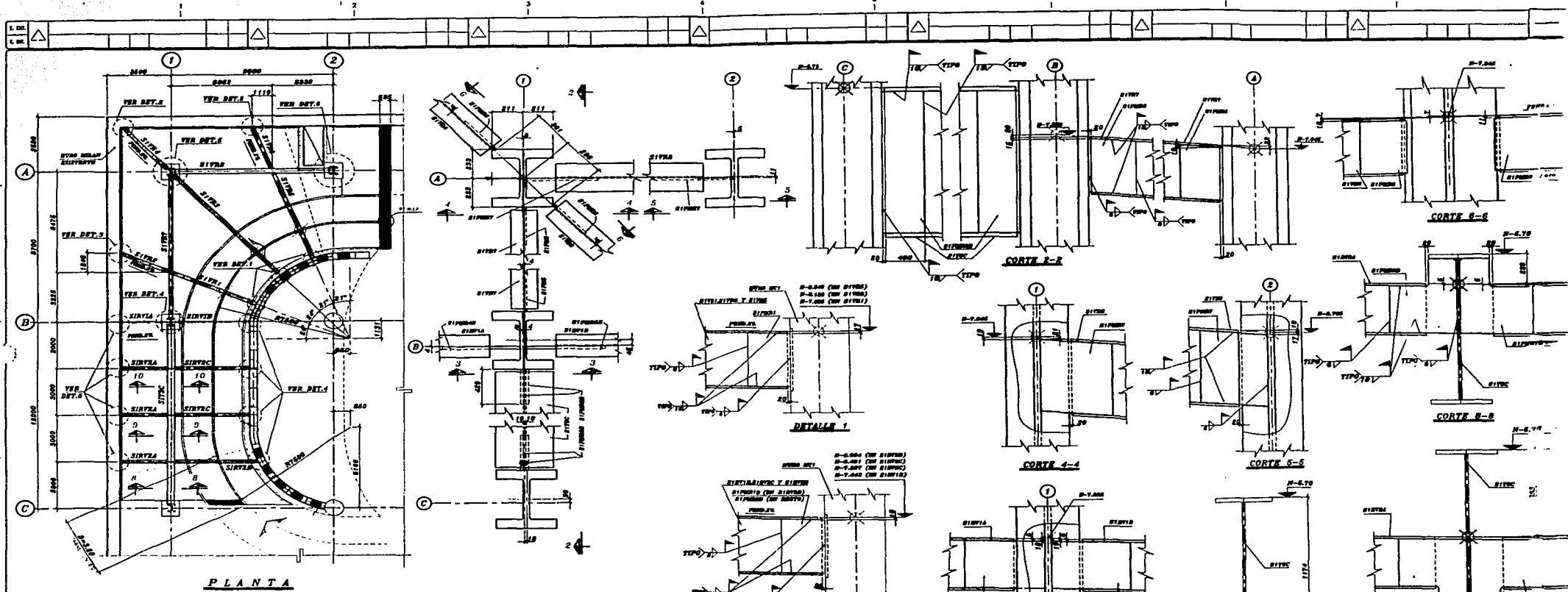


Figura IV.8 Edificio Insurgentes Sur 553. (Observe muñones en columnas)

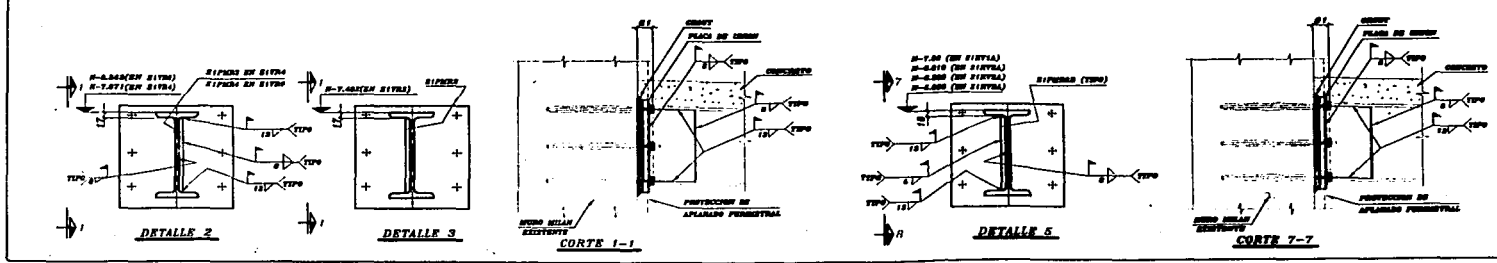


PLANTA

**PLANO DE MONTAJE (Ejemplo)**

Se indican:

- Ejes alfanuméricos
- Dimensiones generales, espacios y distancias en la obra
- Marca de las piezas, posición y orientación que ocupan dentro de la obra
- Conexiones tipo
- Niveles, detalles, cortes y vistas
- Angulos y radios



## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

### IV.3 ABASTECIMIENTO DE MATERIAL

Respecto a la distribución del acero estructural usado en la construcción, la posición geográfica de las compañías siderúrgicas permite atender adecuadamente a los usuarios de todo el país. Una prueba es la expansión de algunas empresas en puntos estratégicos o corredores industriales, que permiten atacar determinados mercados. Entre las que más destacan se encuentran AHMSA, HYLSA, IMEXSA, SICARTSA, TAMSA, ACERIAS, VILLACERO, Compañía Siderúrgica de Guadalajara, Siderúrgica Tultitlán, Siderúrgica de Mexicali, Industrias CH.

AÑO	AHMSA	HYLSA	IMEXSA	SICARTSA	TAMSA	ACERIAS	TOTAL
1990	3096	1882	-	1802	503	1451	8737
1991	2659	1924	-	1455	517	1409	7964
1992	2550	1938	954	1194	380	1443	8459
1993	2584	2027	1354	1165	391	1678	9199
1994	2490	2181	1761	1345	427	2056	10260
1995	3103	2463	2254	1439	550	2338	12147
1996	3393	2722	2426	1337	737	2557	13172
1997	3505	3060	2867	1459	746	2581	14218
1998	3677	2797	3123	1283	685	2617	14182
1999	3382	3078	3570	1864	532	2873	15299
2000	3044	2408	2289	1435	547	2100	11823
2001	2980	2650	2976	1305	540	2305	12756

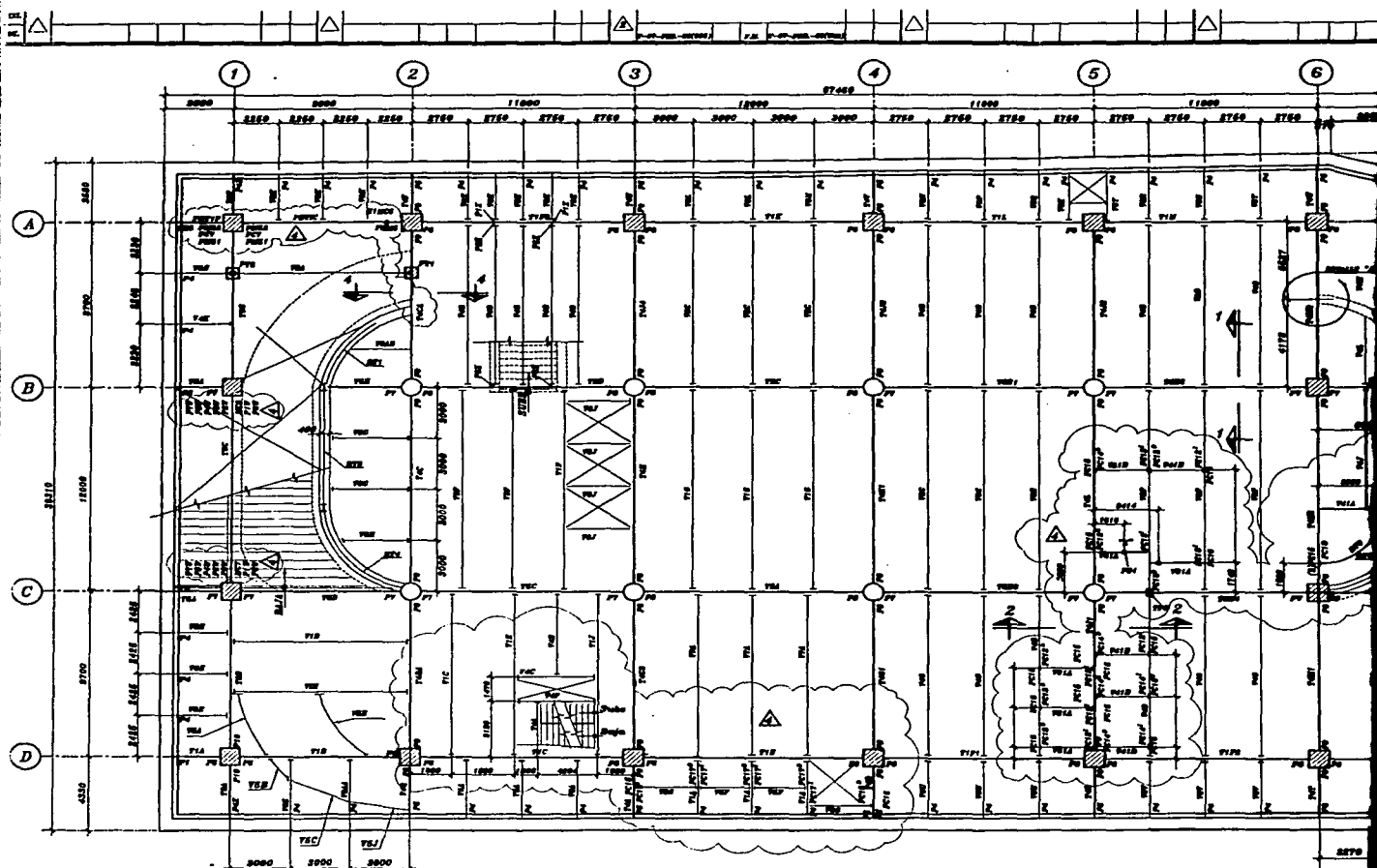
**VILLACERO** Principal productor nacional de productos no planos

**IMSA** Mayor productor de acero recubierto del país

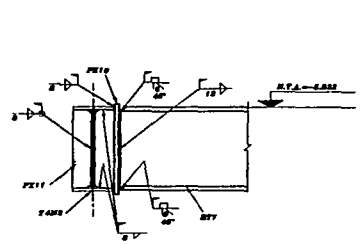
**Industrias CH** Uno de los mayores fabricantes de aceros especiales, tubos con costura y perfiles comerciales.

Para hablar de eficiencia en la entrega resulta necesario referirse a una correcta planeación de los procesos constructivos.

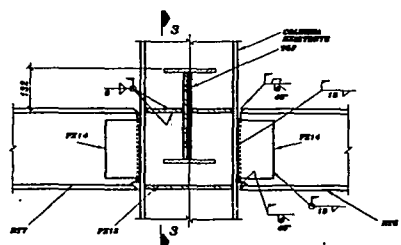
En muchos casos los problemas de aprovisionamiento de acero se deben a la falta de información de la producción disponible, asunto que debiera considerarse desde las primeras etapas del proyecto; de ahí la importancia de promover un canal de comunicación más directo entre quienes diseñan, fabrican y construyen. Sin embargo, a pesar de contar con la información necesaria es muy importante considerar la calidad con que cambia el escenario de aprovisionamiento y tomar las decisiones con oportunidad y en coordinación con las partes involucradas, para así evitar modificaciones que se reflejan en tiempo y por ende en costo.



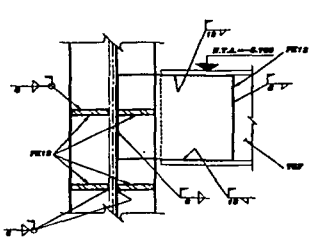
PLANTA ESTACIONAMIENTO SOTANO 1



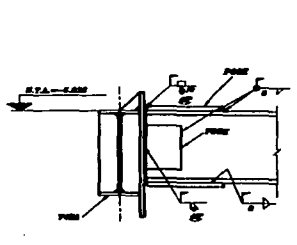
DETALLE A



DETALLE B



CORTE 3-3



CORTE 4-4

## **IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION**

---

### **IV.4 FABRICACION**

La fabricación de estructuras metálicas, se debe realizar en talleres especializados que cuenten con instalaciones y equipos adecuados y una cuidadosa selección de personal (obreros calificados, trazadores, soldadores, montadores, etc.). En estas instalaciones, la estructura de acero nace y sale absolutamente terminada y prefabricada, de acuerdo con procesos industrializados modernos y con un programa de control de calidad en cada una de las operaciones que se realizan. La fabricación debe apearse estrictamente al cumplimiento de las normas internacionales que la rigen. Los trabajos que se realizan en el taller para la fabricación de estructuras metálicas: recepción de material, enderezado, trazo, corte, habilitado, armado, soldadura, pintura, embarque, manejo y almacenamiento; deben vigilarse constantemente para asegurar la calidad de la estructura.

#### **IV.4.1 Enderezado**

Todo el material que se vaya a utilizar en estructuras debe enderezarse previamente, excepto en los casos en que por condiciones de proyecto tenga forma curva. El enderezado se hará de preferencia en frío, por medios mecánicos, pero puede aplicarse también calor, en zonas locales. La temperatura en las zonas calentadas medida por medio de procedimientos adecuados, no debe sobrepasar 650 °C.

#### **IV.4.2 Trazo**

Consiste en describir sobre el material, mediante una línea o serie de ellas los cortes que constituyen la forma o el contorno del mismo. Así como la posición, separación y ángulos existentes entre varias piezas.

#### **IV.4.3 Corte**

Los cortes pueden hacerse con cizalla, sierra o soplete. Los cortes con oxígeno, de preferencia se harán con equipos guiados mecánicamente y no a mano libre. Los bordes cortados de esta manera que vayan a estar sujetos a esfuerzos importantes, o sobre los que se vaya a depositar metal de soldadura, deberán estar razonablemente libres de muescas. Se permitirán muescas o imperfecciones ocasionales de no más de 5 mm de profundidad, pero las de dimensiones mayores se eliminarán con esmeril. Todas las esquinas entrantes tendrán un radio mínimo de 13 mm y estarán libres de muescas.

Los extremos de piezas que transmitan compresión por contacto directo tienen que prepararse adecuadamente por medio de cortes muy cuidadosos, cepillado u otros medios que proporcionen un acabado semejante, ya que pueden presentarse concentraciones de esfuerzos en las zonas donde se presenten las irregularidades, ya sea por exceso de oxígeno en el caso de utilizar equipo de oxicorte, o bien por la presencia de muescas en el caso de utilizar cizalla.

Actualmente, gracias a nuevas técnicas que utilizan algunos talleres en la fabricación de estructuras como el CNC (Computerized Numeric Control), con procesos automatizados en las etapas de corte en frío con sierra, taladro, marcado y corte térmico, se reduce de manera importante el tiempo de construcción de una estructura de acero, lo que da como consecuencia una fabricación precisa, rápida y económica.

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

---

### IV.4.4 Habilitado

Se refiere a la preparación del material antes de ser sometido al siguiente proceso, garantizando que la superficie del mismo esté libre de costras, escoria, óxido, grasa, pintura o cualquier impureza, debiendo quedar tersa, uniforme y libre de rababas, y no presentar desgarraduras, grietas u otros defectos que puedan disminuir la eficiencia de la junta; se permite que haya costras de laminado que resistan un cepillado vigoroso con cepillo de alambre.

### IV.4.5 Armado

Es el proceso que junta entre si los varios elementos de que se compone una pieza. Esta operación elemental debe contar con la coordinación y conocimiento de los procesos anteriores para resultar adecuada a la sencillez de su definición. Además requiere de habilidades y conocimiento por parte del armador de técnicas de armado, sujeción temporal de elementos, especificaciones de separación entre ellos, alineamiento y soldadura, así como respuesta del material sometido a efectos térmicos.

A continuación se hacen algunas observaciones básicas en el proceso de armado:

- a) Los puntos provisionales de soldadura deberán limpiarse y fundirse completamente con la soldadura definitiva o, de no ser así, deberán removerse con un esmeril hasta emparejar la superficie original del metal base.
- b) Al armar y unir partes de una estructura o de miembros compuestos se seguirán procedimientos y secuencias en la colocación de las soldaduras que eliminen distorsiones innecesarias y minimicen los esfuerzos de contracción.
- c) Durante el proceso de armado debe evitarse que los empates o uniones queden en un mismo plano.
- d) Durante la colocación de las partes que se unirán entre si no debe haber distorsiones, deformaciones y en el caso de ser unidas por tornillos, de ninguna manera deben agrandarse los agujeros. Una concordancia pobre entre agujeros es motivo de rechazo.



Figura IV.9 Taller de fabricación de estructura equipado con CNC



## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

### IV.4.6 Soldadura

En 1801, Sir Humphry Davy, descubrió cómo crear un arco eléctrico al acercar dos terminales de un circuito eléctrico de voltaje relativamente alto. Aunque por lo general se le da crédito por el descubrimiento de la soldadura moderna, en realidad pasaron muchos años, antes de que la soldadura se efectuara con el arco eléctrico. Su trabajo fue de la mayor importancia para el mundo estructural moderno, pero es interesante saber que mucha gente opina que su mayor descubrimiento no fue el arco eléctrico, sino más bien un asistente de laboratorio cuyo nombre era Michael Faraday. Varios europeos idearon soldaduras de uno u otro tipo en la década de 1880 con el arco eléctrico, mientras que en Estados Unidos la primera patente para soldadura de arco fue expedida a favor de Charles Coffin, de Detroit en 1889.

El proceso de soldadura consiste en unir dos piezas de metal mediante la aplicación de calor intenso, presión o ambas cosas para fundir los bordes del metal en forma tal que se unan por fusión permanentemente.

La soldadura de arco o soldadura eléctrica es el proceso de más amplia aceptación como el mejor, el más económico, el más natural y el más práctico para unir metales. En el proceso de soldadura manual por arco, el soldador provisto de un electrodo adecuado, sujeta el cable de tierra a la pieza de trabajo y ajusta la corriente eléctrica para "hacer saltar el arco", es decir, para crear una corriente intensa que salte entre el electrodo y el metal. Enseguida mueve el electrodo a lo largo de las líneas de unión del metal que ha de soldar, dando tiempo suficiente para que el calor del arco funda el metal. El metal fundido, procedente del electrodo, o metal de aporte, se deposita en la junta, y junto con el metal fundido de los bordes, se solidifica para formar una junta sólida.

En general, los cuatro procesos de soldadura de arco eléctrico más comunes en estructuras de acero, son:

- Soldadura de arco eléctrico con electrodo recubierto (SMAW). Es el proceso eléctrico de utilización más amplia. Al calentarse, el fundente que es el recubrimiento del electrodo, se evapora formando una barrera protectora en torno al arco y a la soldadura evitando que el oxígeno y el nitrógeno contenidos en el aire formen con el metal soldado óxidos y nitruros debilitantes. Otras funciones desempeñadas por el recubrimiento del electrodo son la adición de desoxidantes o limpiadores para refinar la estructura granular del metal de la soldadura y la formación de una película de escoria, de endurecimiento rápido que protege la zona fundida de soldadura. El desarrollo del proceso manual de este procedimiento pronto se aplicó a las máquinas soldadoras semiautomáticas y automáticas.

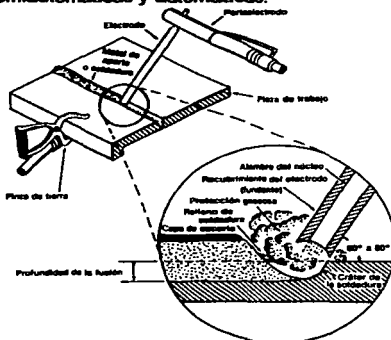


Figura IV. 10 Soldadura de arco eléctrico protegido

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

- b) Soldadura de arco sumergido (SAW). Es un procedimiento semiautomático o automático. Se emplea uno o dos electrodos metálicos desnudos, y el arco se protege mediante una cubierta, de suministro independiente, de un fundente granular fusible. No hay evidencia visible del arco en este método. El arco, el electrodo fundido y el pocillo fundido de soldadura están completamente sumergidos en el fundente conductor de alta resistencia.

Una cabeza de soldadura de diseño especial alimenta el electrodo continuo y fundente en forma separada. Variando la composición química del fundente puede soldarse una variedad de metales y aleaciones en diversos tipos de juntas. Sin embargo, la soldadura de arco sumergido es primordialmente un proceso de producción que se emplea para soldaduras en línea recta, especialmente en la formación de marcos para cajas.

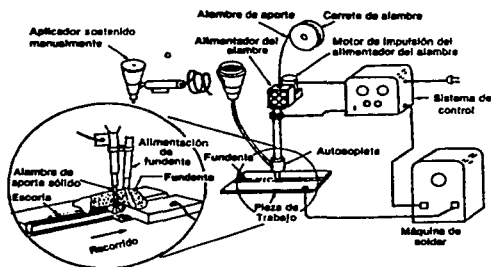


Figura IV.11 Parte de un sistema para soldadura de arco sumergido

- c) Soldadura protegida con gases (GMAW). Existen dos de estos procedimientos. En ambos, los gases protectores se obtienen de una fuente separada (un cilindro), y el arco se establece entre electrodos metálicos desnudos y la pieza de trabajo aterrizada o conectada a la tierra. Los gases salen de un collarín protector enfrente del electrodo y en torno al mismo, para formar la atmósfera protectora. En la soldadura de arco de tungsteno con gas, los electrodos son de tungsteno no consumible. La atmósfera protectora se forma por medio de gases de aporte externo, y el metal de aporte necesario se suministra por medio de varillas de soldadura. En la soldadura de arco metálico con gas, el electrodo es un metal de aporte continuo, protegido por gases de aportación externa. Existen varios procesos de soldadura de arco, tales como la soldadura de arco sumergido, la soldadura con hidrógeno atómico y la soldadura de arco sumergido, la soldadura con hidrógeno atómico y la soldadura de arco con plasma, pero los procesos mencionados en el párrafo anterior son los más comunes, y se estudiarán con mayor extensión más adelante.

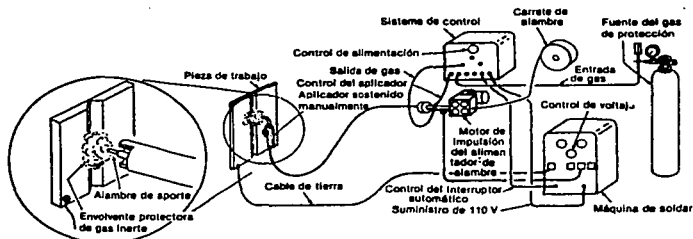


Figura IV.12 Partes componentes de un conjunto típico para soldadura GMAW o MIG

#### IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

- d) Soldadura con electrodos con núcleo de fundente (FCAW). Es una versión especializada del proceso de soldadura de arco metálico, en la cual el electrodo es un alambre hueco relleno de fundente alimentado en forma continua. La composición y función del fundente son, en esencia, las mismas que en el caso del electrodo recubierto. La ventaja de este proceso radica en su adaptabilidad a los métodos de aplicación semiautomático y automático.

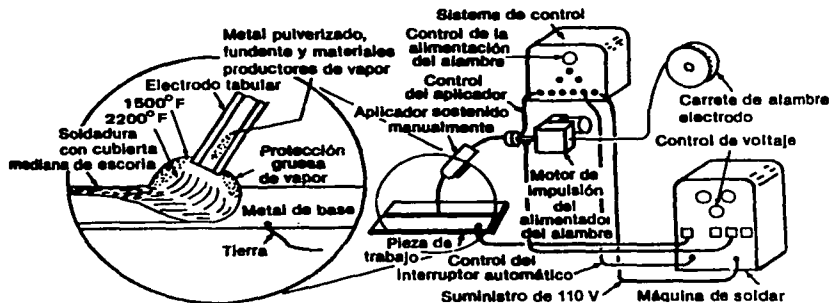


Figura IV. 13 Partes componentes de un sistema para soldadura de arco metálico usando electrodo con núcleo de fundente.

#### IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

Respecto al tipo de electrodos comúnmente empleados en el proceso de soldadura para aceros con contenido bajo y medio de carbono, se denominan según la clasificación AWS E-4510 y E-6010, E-6011, E-6012, E-6013, E-7014, E-7015, E-7016, E-7018, E-6020, E-6024, E-6027 y E-7028. El electrodo E-4510 es un electrodo desnudo; los demás, todos ellos de la serie E-6000, son electrodos recubiertos.

Los electrodos E-7018 y E-6010 tienen características favorables en construcción soldada.

El electrodo E-6010 es excelente para el punteado profesional por su ductilidad y su cualidad de penetración profunda. Sus propiedades físicas son excelentes y, cuando se le aplica correctamente, sus depósitos satisfacen las normas más exigentes en inspección.

El electrodo E-7018 produce soldadura sólida y confiable en aceros difíciles, tales como los de alto contenido de azufre, alto contenido de carbono y bajo contenido de elementos de aleación. Su recubrimiento, ligeramente más grueso y con contenido de hierro pulverizado, lo hace generalmente más fácil de usar que los otros tipos de bajo hidrógeno. Por estas razones, son los electrodos que más se usan.

A continuación se muestra la tabla cuya utilidad es saber interpretar la designación de los electrodos revestidos según la AWS (American Welding Society- Asociación Norteamericana de Soldadura).

- a) El prefijo E designa la soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido.
- b) Los primeros dos dígitos de números de 4 dígitos y los primeros 3 dígitos de números de 5 dígitos indican la resistencia mínima a la tensión de la soldadura.

E60XX	60,000 lb/pulg <sup>2</sup> resistencia mínima a la tensión
E70XX	70,000 lb/pulg <sup>2</sup> resistencia mínima a la tensión
E110XX	110,000 lb/pulg <sup>2</sup> resistencia mínima a la tensión
- c) El penúltimo dígito indica la posición:

EXXIX	En todas posiciones
EXX2X	Posición plana y filete horizontal
EXX3X	Posición plana únicamente
- d) El sufijo (Ejemplo: EXXX-A1) indica la aproximación de aleación en la soldadura depositada:

A1	0.5% Mo
B1	0.5% Cr, 0.5% Mo
B2	1.25% Cr, 0.5% Mo
B3	2.25% Cr, 1% Mo
B4	2% Cr, 0.5% Mo
B5	0.5% Cr, 1% Mo
C1	2.5% Ni
C2	3.25% Ni
C3	1% Ni, 0.35% Mo, 0.15% Cr
D1 y D2	0.25% - 0.45% Mo, 1.75% Mn
G	0.5% min. Ni, 0.3% min. Cr, 0.2% min. Mo, 0.1% min. V, Mn (únicamente se requiere un elemento)

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

Por otra parte en la Tabla IV.3 se describen las características generales de los electrodos de la serie E-60XX y E-70XX.

Clasificación de electrodos AWS - ASTM*	Categoría de la soldadura	Características generales
<b>RESISTENCIA MINIMA A LA TENSION: 60,000 lb/pulg<sup>2</sup></b>		
E-6010	Congelante (1)	El metal fundido de la soldadura se endurece rápidamente; es adecuada para soldar en todas las posiciones con corriente directa de polaridad invertida; tiene bajo régimen de depósito y forma un arco de profunda penetración; puede usarse para soldar todo tipo de juntas.
E-6011	Congelante (1)	Similar a la E-6010, con la excepción de que puede usarse con corriente alterna y con corriente directa.
E-6012	Seguidora	Mayor rapidez de avance y soldaduras menores que la E-6010; CA o CD, polaridad directa; penetración menor que la de la E-6010. Se usa principalmente para soldaduras de una pasada en lámina metálica delgada y en las posiciones plana, horizontal y vertical hacia abajo.
E-6013	Seguidora	Similar a la E-6012, con la excepción que puede usarse con CD (cualquier polaridad) o con CA.
E-6027	De relleno	Alto régimen de depósito, por contener su recubrimiento alrededor del 50% de polvo de hierro. Su uso principal se encuentra en las soldaduras de varias pasadas, de ranura profunda y de filete, en la posición plana o en filetes horizontales, usando CD (cualquier polaridad) o CA.
<b>RESISTENCIA MINIMA A LA TENSION: 70,000 lb/pulg<sup>2</sup></b>		
E-7014	De relleno y congelante	Mayor régimen de depósito que la E-6010; utilizable con CD (cualquier polaridad) o con CA; se usa principalmente para soldaduras inclinadas y cortas y para soldaduras de filete horizontal.
E-7018	De relleno y congelante	Adecuada para soldar aceros al carbono de contenido bajo y mediano (0.55% C máx.) en todas las posiciones y tipos de juntas. Tiene la mejor calidad y propiedades mecánicas de todos los electrodos de acero dulce; utilizable con CD de polaridad invertida o con CA.
E-7024	De relleno	Mayor régimen de depósito que la E-7014; adecuada para soldadura de posición plana y filetes horizontales.
E-7028	De relleno	Similar al tipo E-7018; se usa para filetes horizontales y soldaduras de filete en ranura, en posición plana.

Tabla IV.3 Electrodos recomendados \* para soldadura fuera de posición:

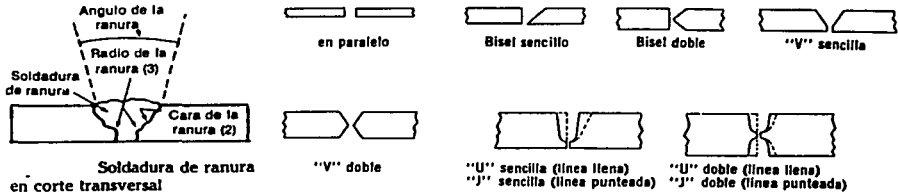
\* Las soldaduras E-6020, E-7015 y 37016 no se incluyen, por su utilización limitada. Sólo los electrodos hasta 3/16 pulg de diámetro pueden usarse en todas las posiciones de soldar (plana, horizontal, vertical y de sobrecabeza o hacia arriba).

(1) Cuando se les usa para soldar metales laminados, estos electrodos tiene características de soldadura seguidora-congeladora.

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

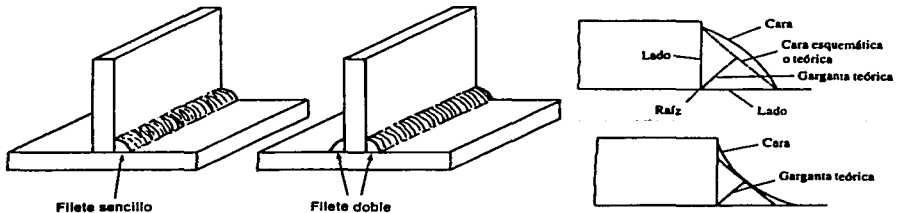
Los tres tipos básicos de soldadura empleados en construcción soldada son de ranura, de filete y de tapón. Estas se definen de la siguiente manera:

- a) Las soldaduras de ranura se hacen en la ranura que queda entre dos piezas de metal. (Ver figura).



- b) Las soldaduras de filete son similares a las de ranura, pero se hacen con mayor rapidez que éstas, y a menudo se les prefiere en condiciones similares por razones de economía. Pero, la soldadura de un solo filete no son a veces tan resistentes como las soldaduras de ranura, si bien una soldadura de doble filete se compara favorablemente en cuanto a resistencia (Ver figura).

Las soldaduras de filetes cóncavos tiene su máxima eficacia cuando la dirección del esfuerzo es transversal a la junta.



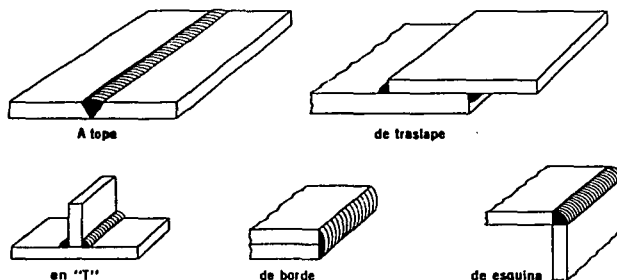
- c) Las soldaduras de tapón y de agujero alargado sirven principalmente para hacer las veces de remaches. Se emplean para unir por fusión dos piezas de metal cuyos bordes, por alguna razón, no pueden fundirse. (Ver figura).



Existen dos tipos adicionales de soldadura, los cuales tienen su principal aplicación para reconstruir superficies desgastadas, estas son: soldadura de cordón y de ondeadas.

#### IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

Por otra parte, de acuerdo con la posición relativa de los elementos por soldar, los cinco tipos de juntas son: a tope, de traslape, en T, de borde y de esquina. La elección del tipo de soldadura depende de aspectos económicos, requisitos estructurales y facilidad de ejecución (Ver figura).



Las soldaduras a tope son las más eficientes pero requieren más trabajo y cuidado en su ejecución.

Los factores que afectan el proceso de soldadura son el espesor de las piezas por unir, la posición de éstas, las facilidades propias del fabricante y la disponibilidad de soldadores calificados.

La fabricación de juntas soldadas requiere una serie de cuidados en su diseño y ejecución que involucren al proyectista, al soldador y al supervisor capacitado, a fin de asegurar una buena calidad de las uniones soldadas. Un descuido en esta parte, puede originar soldaduras defectuosas con la consiguiente debilitación de las conexiones y probablemente sea la razón por la que en la soldadura se esté perdiendo confianza, particularmente en trabajos de campo, donde el factor tiempo en la ejecución tienen un papel importante.

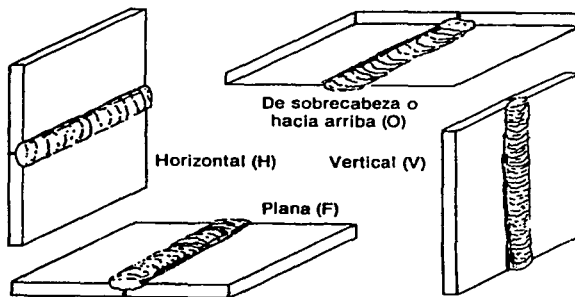


Figura IV.14 Las cuatro posiciones estándar para soldar

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS EN LA CONSTRUCCION

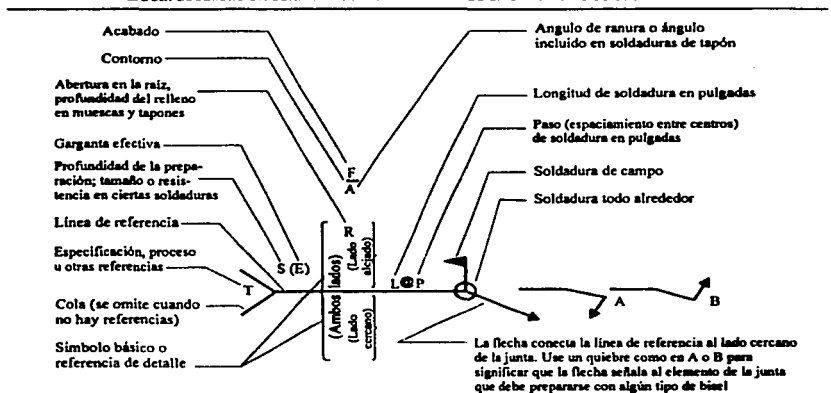
S Símbolos básicos de soldaduraa

Posterior	Filete	Tapón o ranura	Ranura o a tope						Ensamblamiento	Ensamblamiento de bisel
			Cuadrado	V	Bisel	U	J			

Sj Símbolos complementarios

Respaldo	Espaciado	Soldadura todo alrededor	Soldadura de campo	Contorno		Véase la AWS A.24-86 para otros símbolos básicos y complementarios de soldadura
				Nivelado	Convexo	

Localización estándar de los elementos de un símbolo de soldadura



*Nota:* Tamaño, símbolo de la soldadura, longitud y espaciamiento deben leerse en ese orden de izquierda a derecha sobre la línea de referencia. Ni la orientación de la línea de referencia ni la localización de las flechas alteran esta regla.

El lado perpendicular de los símbolos debe estar a la izquierda

Las soldaduras en los lados cercanos y alejados son del mismo tamaño a menos que se indique otra cosa. Las dimensiones de los filetes deben mostrarse en ambos lados.

La bandera del símbolo de la soldadura de campo se deberá colocar encima y en ángulo recto con la línea de referencia.

Los símbolos se aplican entre cambios bruscos en la dirección de la soldadura a menos que se muestre el símbolo de "todo alrededor" o se indique algo diferente.

Estos símbolos no se refieren al caso de ocurrencia frecuente en las estructuras en donde el material duplicado (por ejemplo, atiesadores) se localiza en el lado posterior de una placa de nudo o alma. Los fabricantes han adoptado la siguiente convención de estructuras: cuando en la lista de embarque se detecte la existencia de material en el lado posterior, la soldadura para ese lado será la misma que para el lado anterior.

Tabla IV. 4 Símbolos estándar de juntas soldadas



## **IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION**

---

El proyectista deberá tomar precauciones necesarias para obtener soldaduras de buena calidad. Los factores que afectan la calidad de ellas son:

- ⇒ Selección del proceso de soldadura
- ⇒ SMAW, SAAW, GMAW y FCAW
- ⇒ Preparación de las juntas
- ⇒ Estudio en detalle del procedimiento (identificación de la junta, detalles y tolerancias de la junta, identificación del procedimiento)
- ⇒ Tipo
- ⇒ Tamaño y composición química del electrodo
- ⇒ Secuencia y número de pasadas en la aplicación de la soldadura
- ⇒ Velocidad
- ⇒ Voltaje y amperaje de la corriente
- ⇒ Preparación y limpieza de las piezas que se van a unir
- ⇒ Pre calentamiento
- ⇒ Secuencia de pasadas
- ⇒ Personal (calificación y selección)
- ⇒ Pruebas previas
- ⇒ Disposición de accesorios auxiliares para el proceso
- ⇒ Agentes atmosféricos
- ⇒ Calificación y supervisión del personal y del proceso.

Los detalles particulares que influyen en la calidad de una soldadura se resumen en:

- ⇒ Angulo de preparación
- ⇒ Abertura de raíz
- ⇒ Perfil de la raíz
- ⇒ Alineamiento de las placas
- ⇒ Limpieza de las juntas
- ⇒ Tipo y tamaño del electrodo
- ⇒ Intensidad y polaridad de la corriente
- ⇒ Puntos de soldadura
- ⇒ Fusión adecuada
- ⇒ Pre calentamiento
- ⇒ Secuencia adecuada de pases
- ⇒ Velocidad correcta de movimiento del electrodo
- ⇒ Ausencia de soldaduras
- ⇒ Inclinación del cráter en soldaduras verticales
- ⇒ Relleno de cráteres
- ⇒ Ausencia de socavaciones
- ⇒ Refuerzo adecuado en soldaduras a tope
- ⇒ Ausencia de grietas, etc.

Deben evitarse defectos comunes en la soldadura tales como:

- ⇒ Socavación, provocada por la presencia de materiales ajenos en el metal base
- ⇒ Penetración incompleta, consistente en la falta de fusión en la raíz
- ⇒ Inclusión de escoria, ocasionada por la intrusión de óxidos dentro de la soldadura
- ⇒ Porosidad, provocada por la inclusión de gas en la soldadura.

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

Las soldaduras sobrecabeza deben evitarse, las más de las veces, debido a la dificultad para depositarlas, en general, siempre resultan con defectos y el rendimiento de los soldadores se reduce considerablemente.

Se debe prever en el diseño la utilización de juntas soldadas precalificadas. Estas son juntas con una geometría, proceso de soldadura y posiciones previamente establecidas. La experiencia ha demostrado que permiten obtener uniones soldadas de calidad y resistencia requeridas.

Al no utilizar juntas precalificadas, es necesario calificar las uniones propuestas por el diseñador para verificar que los resultados cumplan con los requisitos de calidad y resistencia necesarios. El empleo de juntas precalificadas presenta la ventaja, para el proyectista, de evitar el tener que definir para cada proyecto la geometría de las juntas empleadas, bastará con señalar que todas las uniones deberán ser precalificadas establecidas en el Código de Soldadura Estructural o en las Especificaciones de Diseño. Esto evitará que se indiquen en los proyectos, juntas que no se pueden ejecutar en taller o que son difíciles de fabricar.

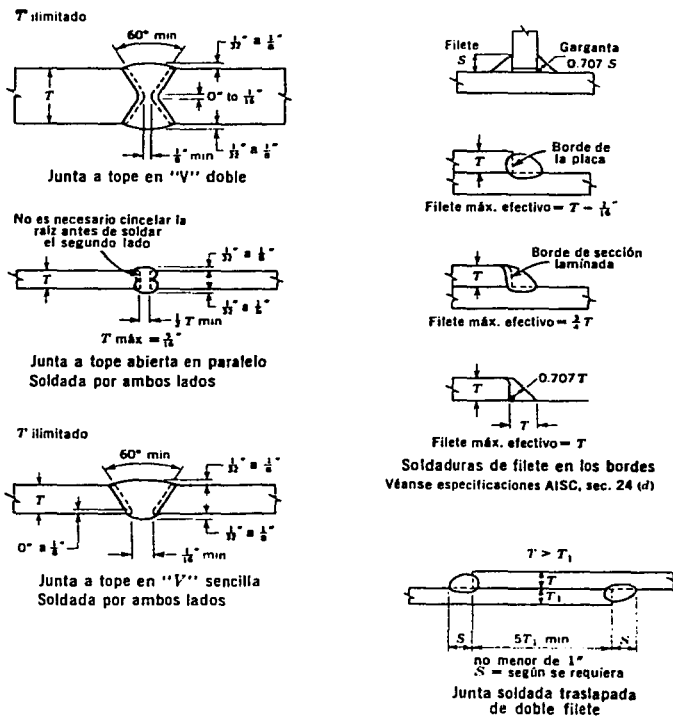
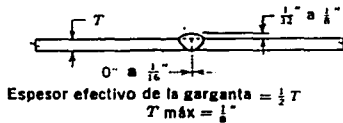
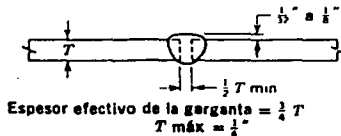


Figura IV. 15 Juntas precalificadas bajo el código AWS

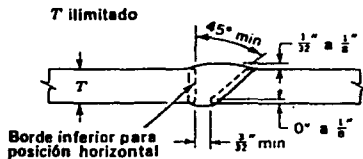
## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION



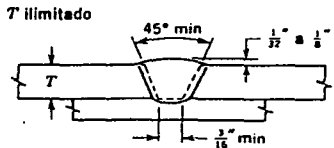
Junta a tope en paralelo  
Soldada por un solo lado



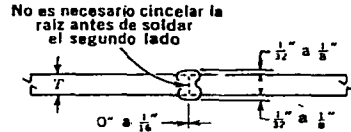
Junta a tope abierta en paralelo  
Soldada por un solo lado



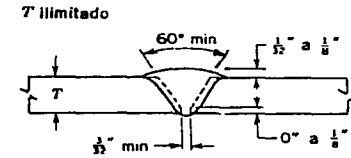
Junta a tope de bisel sencillo  
Soldada por un solo lado



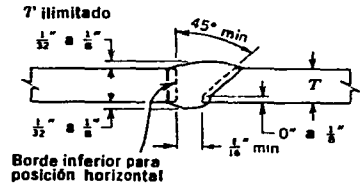
Junta a tope en "V" sencilla soldada  
Por un lado sobre una estructura de respaldo



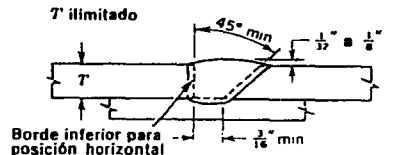
Junta a tope en paralelo  
Soldada por ambos lados



Junta a tope en "V" sencilla  
Soldada por un solo lado



Junta a tope de bisel sencillo  
Soldada por ambos lados



Junta a tope de bisel sencillo soldada  
Por un lado sobre una estructura de respaldo

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

### IV.4.7 Pintura

Después de ser inspeccionadas y aprobadas, y antes de salir del taller, todas las piezas que deban pintarse se limpiarán cepillándolas vigorosamente, a mano, o con cepillo de alambre, o con chorro de arena, para eliminar escamas de laminado, óxido, escoria de soldadura, basura y, en general, toda materia extraña. Los depósitos de aceite y grasa se quitarán por medio de solventes. Las piezas que no requieran pintura de taller se deben limpiar también, siguiendo procedimientos análogos a los indicados en este párrafo.

A menos que se especifique otra cosa, las piezas de acero que vayan a quedar cubiertas por acabados interiores del edificio no necesitan pintarse, y las que vayan a quedar ahogadas en concreto no deben pintarse. Todo el material restante recibirá en el taller una mano de pintura anticorrosiva, aplicada cuidadosa y uniformemente sobre superficies secas y limpias, por medio de brocha, pistola de aire, rodillo o por inmersión.

El objetivo de la pintura de taller es proteger el acero durante un periodo de tiempo corto, y puede servir como base para la pintura final, que se efectuará en obra. Las superficies que sean inaccesibles después del armado de las piezas deben pintarse antes. Todas las superficies que se encuentren a no más de 5 cm de distancia de las zonas en que se depositarán soldaduras de taller o de campo deben estar libres de materiales que dificulten la obtención de soldaduras sanas o que produzcan humos perjudiciales para ellas. Cuando un elemento estructural esté expuesto a los agentes atmosféricos, todas las partes que lo componen deben ser accesibles de manera que puedan limpiarse y pintarse.

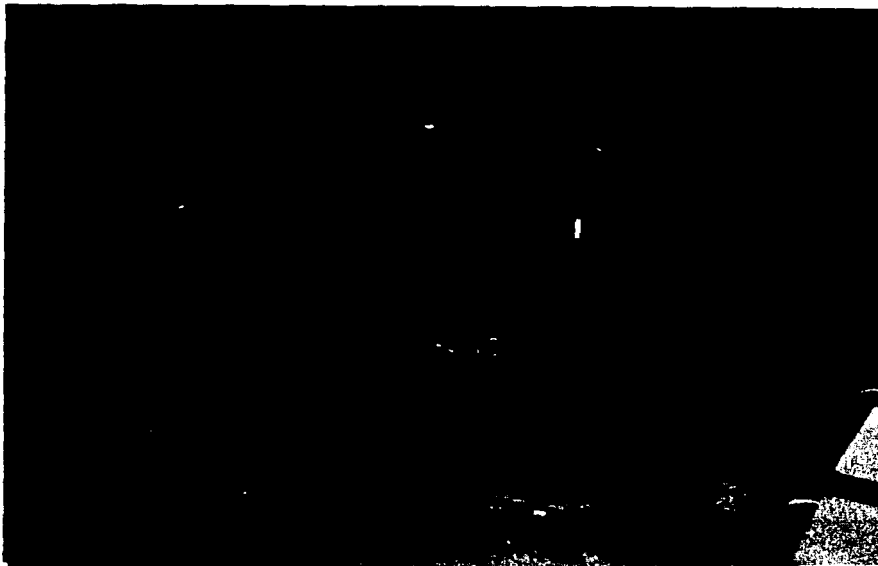


Figura IV. 16 Sección de tanque pintado en taller para retoque en campo

## **IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION**

---

### **IV.5 EMBARQUE**

Es lógico que las etapas anteriores sigan un orden, pero es particularmente importante en esta etapa que dicho orden se apege a un programa; esto quiere decir, que la estructura de acero deberá entregarse en la secuencia que permita la ejecución más económica y eficiente en su fabricación y montaje. Esto implica una íntima comunicación entre el departamento de producción, embarques y montaje, ya que este último es quien dicta la secuencia de acuerdo a las necesidades que prevalecen en la obra y siempre de acuerdo con los requerimientos del cliente. Si el propietario desea establecer o controlar la secuencia de entrega de la estructura, deberá reservar su derecho y definir los requisitos en los documentos contractuales. Si el propietario contrata con otros la entrega y el montaje, deberá coordinar las actividades de los contratistas.

La solicitud del material hecha por el departamento de montaje genera una lista denominada "Lista de embarque", la cual es de utilidad al embarcar el material y al recibirlo en obra. Esta lista debe proporcionar el orden en que se desean recibir las piezas. Esto es importante, ya que existe una jerarquía lógica de elementos principales sobre los secundarios. El respetar este listado provoca un montaje continuo y evita ocupar innecesariamente espacios dentro de la obra y todo lo que esto representa. Las cantidades del material mostradas en esta lista generalmente son aceptadas como correctas por el propietario, fabricante y montador. Si se reclama cualquier faltante, el propietario o montador deberá notificar inmediatamente al transportista y al fabricante para que se investigue la reclamación.

Se debe poner particular atención en aquellos materiales que serán empotrados en la obra de albañilería tales como anclajes, y otros similares, los cuales deberán embarcarse a tiempo para estar disponibles cuando se necesiten; así como los materiales que por su dimensión y cantidad deben de ser clasificados, por ejemplo, tornillos y remaches, los cuales generalmente se embarcan en paquetes según su diámetro y largo; las tuercas sueltas y las arandelas, también se envían en paquetes separados según su tamaño. Todos los materiales pequeños se deben empaquetar en cajas en cuyo exterior se pueda leer una lista y descripción del contenido.

El tamaño y el peso de las piezas de acero estructural pueden estar limitados por las instalaciones del fabricante, por los medios de transporte disponibles y por las condiciones en el sitio de la obra. Las siguientes reglas generales se aplican en función de los tres factores recién mencionados:

1. El peso y longitud máximos que se pueden manejar en taller y en obra son aproximadamente 90 ton y 36 m, respectivamente.
2. Miembros de hasta 2.4 m de alto, 2.4 m de ancho y de 18 m de longitud, pueden embarcarse en camiones sin mayor dificultad, siempre que las cargas sobre los ejes del camión no excedan los valores permitidos en las rutas designadas.
3. Hay pocos problemas en el embarque por ferrocarril si los miembros no son mayores de 3 m de alto, 2.4 m de ancho, 18 m de largo y no pesan más de 20 toneladas.
4. Las rutas deben ser cuidadosamente estudiadas y los transportistas deben ser consultados respecto a los pesos y tamaños que resulten mayores a los indicados en los incisos 2 y 3.

El fabricante determinará el número de uniones de campo para lograr la mayor economía de la estructura.

Si la estructura llega dañada a su destino, la parte responsable de su recepción deberá notificar al fabricante y al transportista antes de la descarga del material o inmediatamente después de descubrir el daño.

## **IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION**

---

### **IV.6 MONTAJE**

El montaje es la unión o acomodo ordenado en el sitio de la obra de los elementos estructurales prefabricados para formar una estructura completa que recibirá otros materiales complementarios y cargas de acuerdo con el diseño y la construcción previstos por el ingeniero y fabricante de estructuras metálicas.

El montaje implica el conocimiento y evaluación del lugar de la obra, conocimiento del equipo (plumas, grúas, malacates), elección del método de montaje más conveniente y establecer una adecuada ejecución del plan general de construcción. Aprovechando la característica principal de la estructura de acero, que es la prefabricación, un montaje bien programado, contando con el equipo adecuado, puede efectuarse en un tiempo menor al requerido por otros procedimientos.

Desglosando el párrafo anterior, podemos explicar más ampliamente esta etapa del proceso.

#### **IV.6.1 Conocimiento y evaluación del lugar de la obra**

Es importante que el montador visite previamente el sitio de la obra para formarse una idea clara de las condiciones de la misma tales como vías de acceso, posibles zonas de desembarco, detección de obstáculos, geometría del terreno, construcciones colindantes, espacios para maniobras, detección de tomas de corriente eléctrica, etc, y tomar las medidas pertinentes con suficiente oportunidad. Al igual que en las etapas anteriores la comunicación entre las partes involucradas es primordial y esta visita retroalimenta la información original y sirve para entablar relaciones con el personal a cargo de la obra en concreto, con el cual se trabajará estrechamente.

Como resultado de esta primera incursión a la obra se debe obtener:

- **Caminos de acceso** hasta y dentro de la obra, en buen estado. La importancia de mantener estos caminos redundará en tiempos de maniobra de desembarco, seguridad del personal que labora en la obra y cuidado de los medios de transporte y sus operarios.
- **Zona para almacenaje** de estructura, la cual deberá ser lo más próximo al sitio del montaje de la misma y con características tales como piso firme, nivelado y drenado.
- **Zona para oficinas** de campo y almacén de herramienta, equipo e insumos con iguales características que las descritas en el párrafo anterior.
- **Zona de trabajo segura** para el montaje de la estructura. Es evidente que con el avance de la obra las tres zonas definidas tendrán que desplazarse, lo cual requiere de una visualización y acuerdos previos con los demás equipos colaboradores en la obra.
- **Eliminación de todas las obstrucciones** que puedan entorpecer el montaje tales como líneas eléctricas, telefónicas, ramas de árboles, etc.
- **Determinación de horarios de desembarco**, ya que estos pueden verse afectados por condiciones climatológicas, de tránsito vehicular, trabajos de otros, etc.
- **Verificar con equipo topográfico** que las distancias indicadas en los planos se hayan respetado en la obra. En caso de existir diferencias, se deberá notificar al fabricante para que efectúe los ajustes necesarios.

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

### IV.6.2 Selección de equipo

Respecto a la selección del equipo de montaje, ésta se define a partir del método empleado para dicho trabajo y del conocimiento que el montador posea de los diferentes mecanismos existentes. La versatilidad, maniobrabilidad, capacidad de carga y velocidad de operación al igual que la seguridad que representa son características que el montador evaluará para tomar una decisión.

Los equipos más comúnmente empleados en la etapa de montaje para el izaje de la estructura son: plumas provistas de malacate, grúas autopropulsadas, grúas sobre camión, grúas torres, etc. y en cada caso existen diferentes capacidades de carga, alcance y radio de giro. Dependiendo de la dimensión de la obra y del tiempo otorgado para su ejecución, es común el empleo combinado de estos mecanismos para diversificar las opciones de montaje, optimizar el desempeño del personal y desarrollar con orden y ritmo los trabajos.

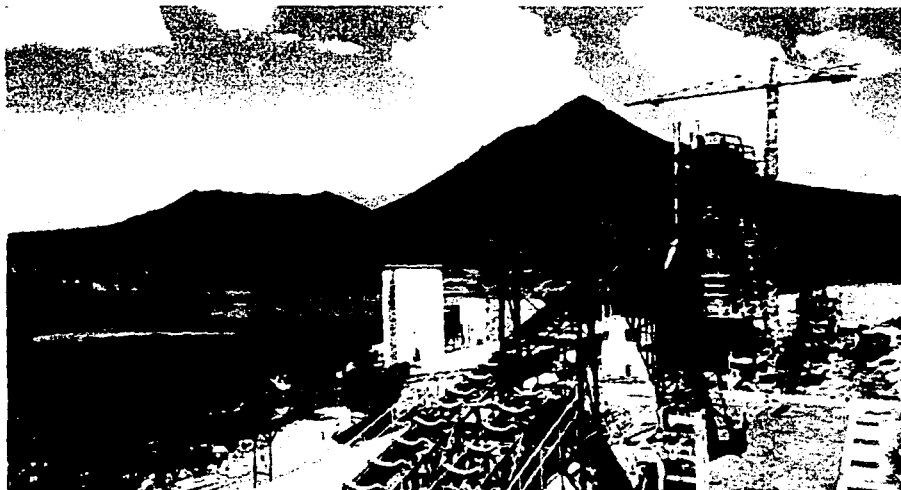
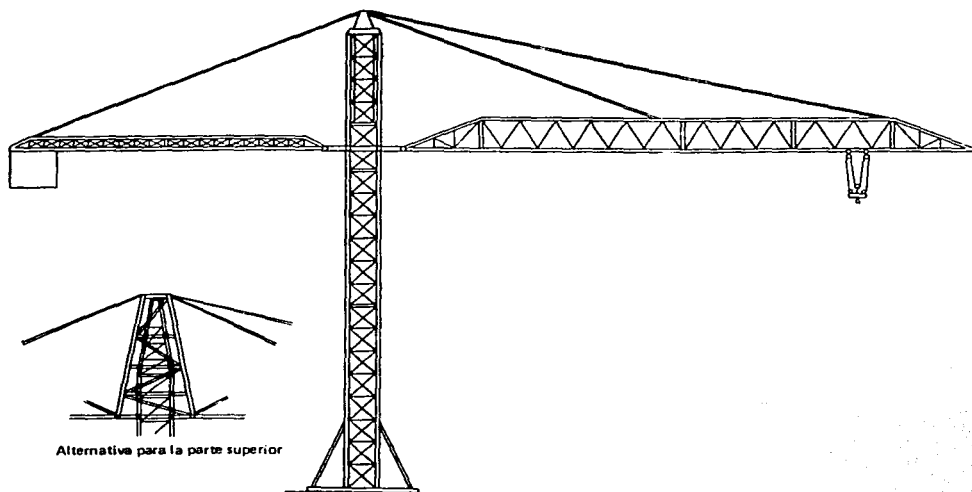


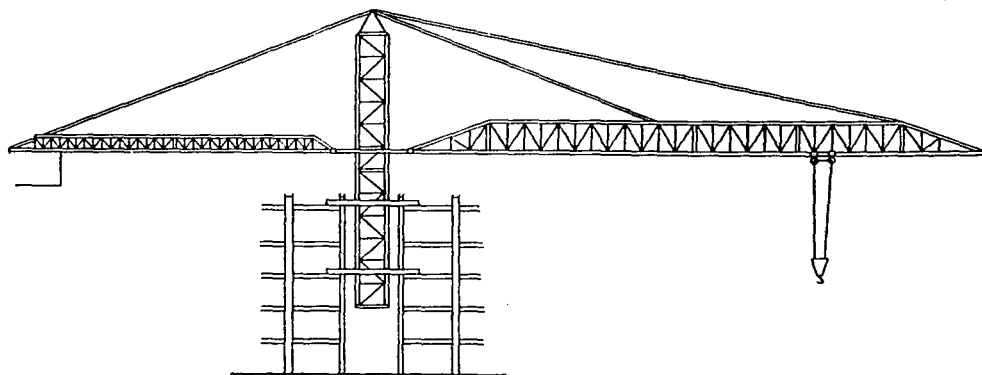
Figura IV. 17 Montaje de hornos para Calidra empleando grúa torre con capacidad de 1-14 ton en Acajete, Puebla

#### IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

---



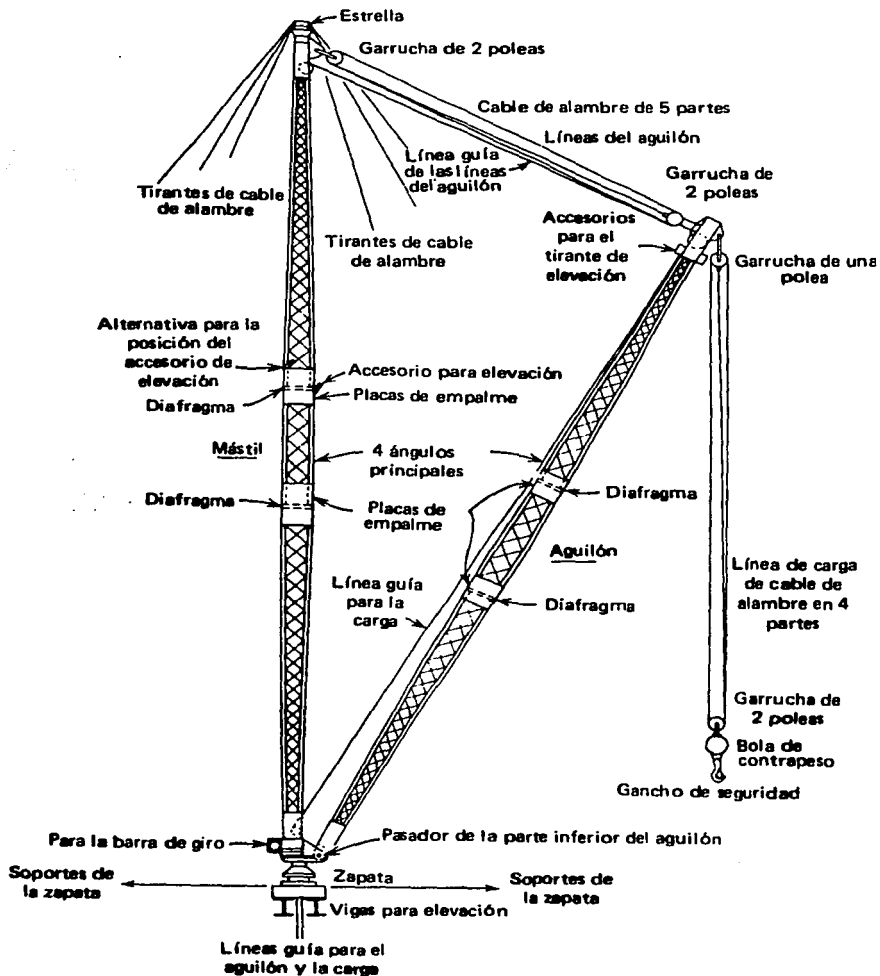
Grúa torre fija o estática



Grúa torre elevadiza

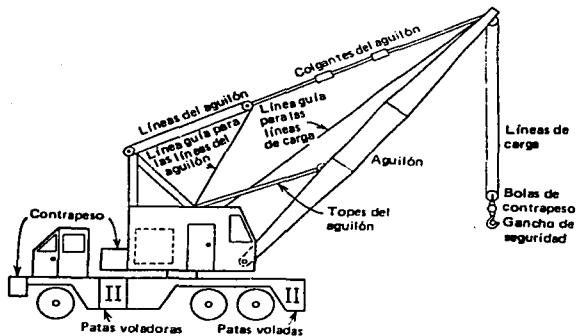


#### IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

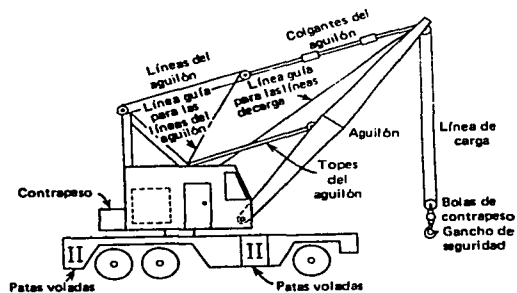


Pluma de tirantes

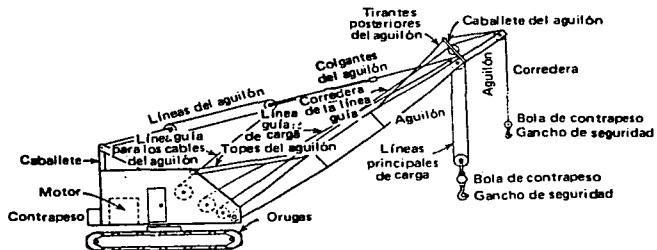
## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION



Grúa montada sobre camión



Grúa montada sobre vagón



Grúa montada sobre oruga

#### IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

Una vez seleccionado el equipo debe embarcarse con oportunidad y revisar que esté completo con todos sus aditamentos, extensiones, elementos de conexión y que haya recibido el mantenimiento preventivo o correctivo si así lo requiere. Cualquier deficiencia detectada debe subsanarse inmediatamente, de no ser así, por alguna razón; deberá programarse dicha reparación o mantenimiento y formar parte de las actividades previstas por el montador. Todos los cuidados del equipo previstos a su utilización se verán recompensados con una operación eficiente, continua y sin problemas que ocasionen retrasos.

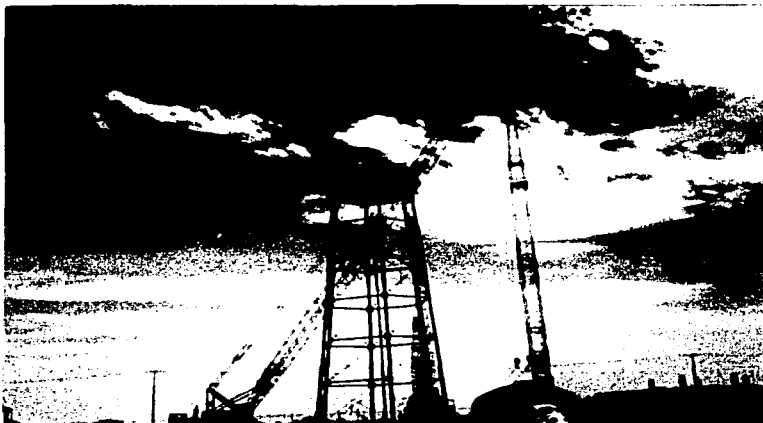


Figura IV. 18 Empleo de grúas con pluma de celosía (80, 50 y 30 ton de capacidad) para montaje de tanque elevado en Fanal, San Luis Potosí.

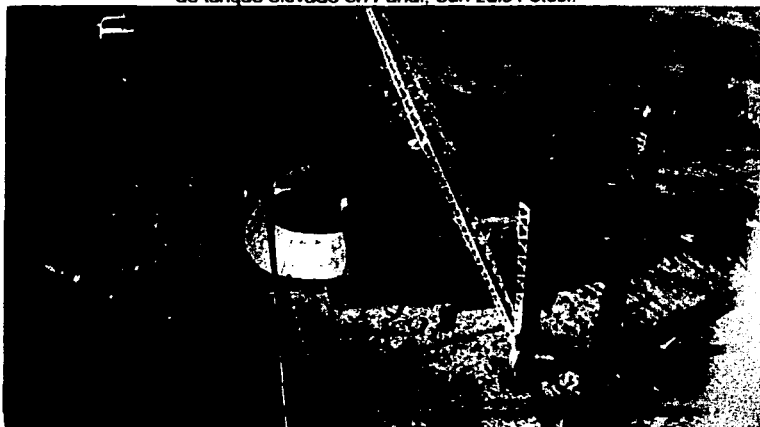


Figura IV. 19 Empleo de grúa Derick para armado de las diferentes secciones del cuerpo del tanque

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

### IV.6.3 Manejo y almacenamiento

El montador debe tener cuidado de manejar y almacenar adecuadamente el acero estructural durante el montaje, para evitar que éste se ensucie innecesariamente, obstruya vías de tránsito y acceso o áreas de trabajo propias y ajenas. Por el contrario, debe tenerlo perfectamente ubicado para disponer de él con facilidad y así evitar exceso de maniobras y pérdida de tiempo.

Se deberá comprobar que las piezas, al bajarlas del transporte, no hayan sufrido daños. En ese caso, será necesario desecharlas y sustituirlas por otras, a menos que se puedan corregir sin que su capacidad se disminuya. A nivel general, no deben ser enderezadas en caliente, ya que las propiedades del acero pueden ser alteradas de manera importante.



Figura IV. 20 Maniobras de desembarco y ubicación de piezas próximas a su lugar de montaje para nave industrial en Monclova, Coahuila.

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

### IV.6.4 Método de montaje

Los métodos usados en el montaje de estructuras de acero varían según el tipo y tamaño de la estructura, las condiciones del lugar, disponibilidad de equipo y la preferencia del montador; los procedimientos de montaje no pueden regularizarse completamente, ya que cada problema tiene características especiales, que deben tomarse en cuenta al desarrollar el plan de montaje más ventajoso.

A continuación se describen, de manera muy general algunos de los procedimientos empleados para el montaje de estructuras de acero que comúnmente se presentan en la práctica profesional.

1. **Montaje de edificios de varios pisos:** Generalmente estos edificios se montan en tramos de 2 pisos cada uno. Después de terminada la cimentación se levantan las columnas, se colocan sobre las placas de base y se atornillan en su lugar, es costumbre contraventeear lateralmente las columnas durante el montaje, hasta que se completa la estructura. Una vez instaladas las columnas se izan las vigas y traveses para ajustarlas a éstas y se atornillan provisionalmente. (Figura IV.21). Tan pronto como se colocan en su lugar las trabes de toda una planta, se plomean las columnas, se nivelan las trabes, y se conectan permanentemente las partes entre sí por medio de remaches, tornillos de alta resistencia o soldadura. Cuando se completa un tramo se comienza el siguiente, repitiendo la secuencia del primero. Los edificios de 30 a 60 m de altura se pueden montar usando grúas montadas sobre camión, pero para edificios de mayor altura se necesitan plumas o grúas especiales, las cuales son izadas al nivel superior de cada marco terminado a medida que progresa la construcción del edificio.

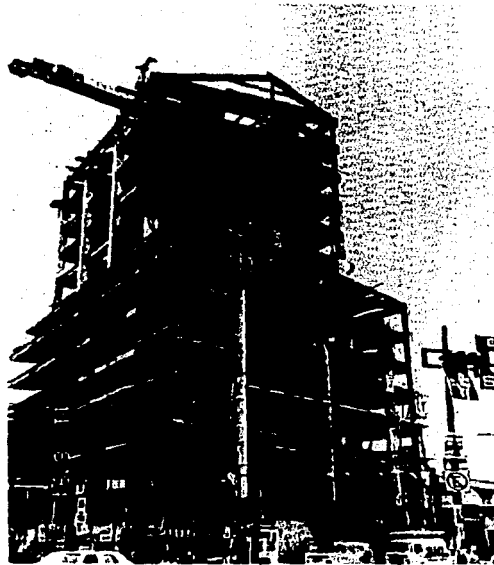


Figura IV. 21 Montaje de edificio Eclipse Insurgentes

#### IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

2. **Montaje de edificios industriales:** Los edificios industriales de uno o dos pisos se montan generalmente con grúas, como se muestra en la Figura IV.7. Se ensambla y conecta cada nave según se va moviendo la grúa a lo largo del edificio. Los miembros de contraenteo se colocan también en posición, en piezas de tamaño conveniente para su manejo y conexión.

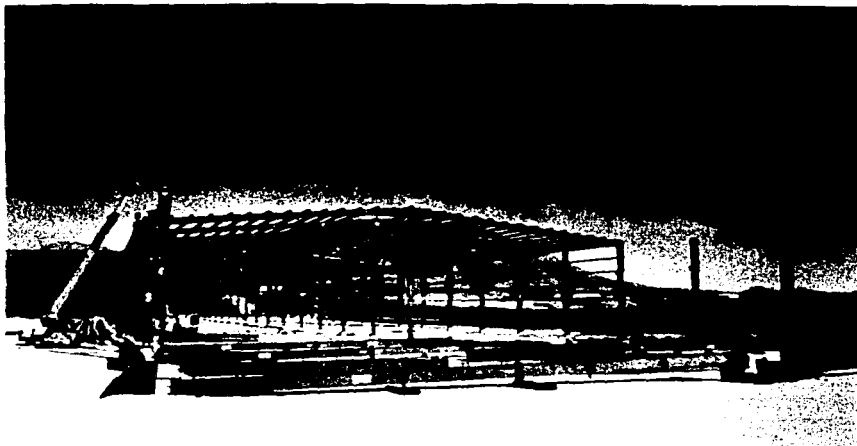


Figura IV. 22 Montaje de nave industrial para Aceros Montelongo en Monclova, Coahuila

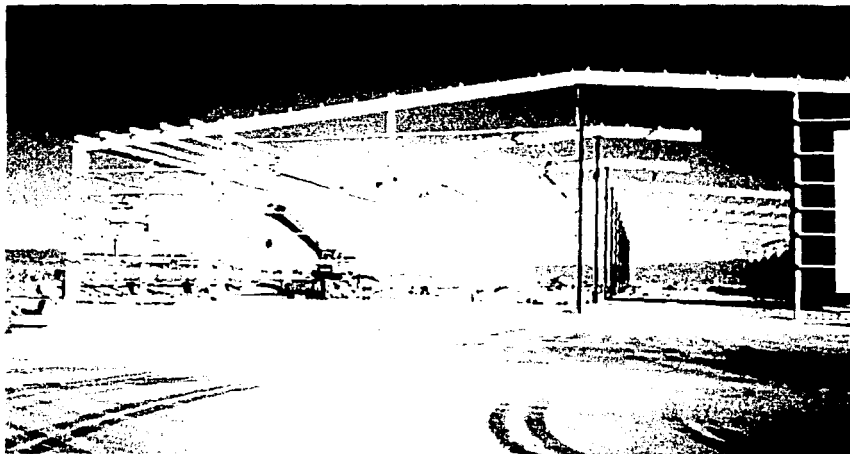


Figura IV. 23 Montaje de nave industrial para Chrysler en Lerma, Edo. de México

## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

3. **Montaje de puentes de armaduras:** Un procedimiento común para el montaje de este tipo de puentes es ensamblar la armadura en el lugar, usando una obra falsa por debajo de ella y erigiéndola miembro por miembro. Se colocan primero las cuerdas inferiores a las que se fija a continuación el sistema de piso, y se continúa después con los miembros alma, cuerda superior y contraventeo. A veces resulta más económico el uso de una armadura auxiliar ligera que puede colocarse en posición en cada uno de los claros mediante barcazas, en vez de construir obras falsas para todos ellos. La Figura IV.24 muestra una armadura auxiliar que se utilizó 11 veces para el montaje de la estructura del puente. Otra alternativa es ensamblar cada claro de armadura en tierra y llevarlo en barcazas a su posición final para montarla.

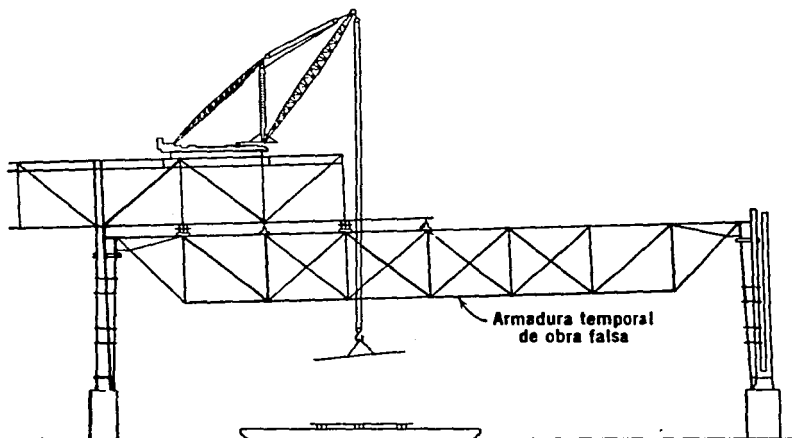


Figura IV. 24 Montaje de un puente de armadura sobre una obra falsa, puente Richmond San Rafael, Bahía de San Francisco

4. **Montaje en voladizo para puentes:** Para claros largos de puentes en arco o con voladizos a menudo resulta económico montarlos en voladizo partiendo de las orillas o de las rampas de acercamiento. Se construye el puente desde los soportes hacia fuera, miembro por miembro. La omisión de la obra falsa sobre desfiladeros profundos o corrientes de agua produce grandes ahorros, aunque a veces se tengan que reforzar los miembros del puente para soportar los esfuerzos de montaje.

En todos los casos, el estricto cumplimiento de las normas de montaje que establecen los organismos internacionales, sobre todo del primer tramo de columnas, garantiza la geometría del resto de la estructura.

#### IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

Se considera que las piezas ya montadas están plomeadas, niveladas y alineadas, si el error no excede de 1/500.

Al ir colocando las piezas deberá revisarse que no se dejen zonas de falla potencial, o con riesgo de sobrecarga. Debe tenerse cuidado en no excederse en la confianza y dejar sólo puntos de soldadura en las placas o sólo un par de tornillos.

Es recomendable identificar, con ayuda del proyectista estructural, las piezas que requieran apuntalamientos temporales, tanto para evitar flechas producto de las cargas verticales (antes de tener trabajo como sección compuesta con losa de concreto, por ejemplo), como para impedir deformaciones laterales (en los marcos rígidos, por ejemplo)

Definir, si se requieren colocar elementos de rigidez transversal temporal, como contraventeos, en tanto no se completa la estructura.

Para realizar con seguridad la construcción de estructuras de grandes dimensiones, se requiere a menudo un análisis detallado de los esfuerzos y las deformaciones que se presentarán durante las diferentes etapas del montaje.

Las consideraciones más importantes al llevar a cabo las operaciones de montaje, es la seguridad de los trabajadores y de los materiales, así como la economía y la rapidez de montaje.

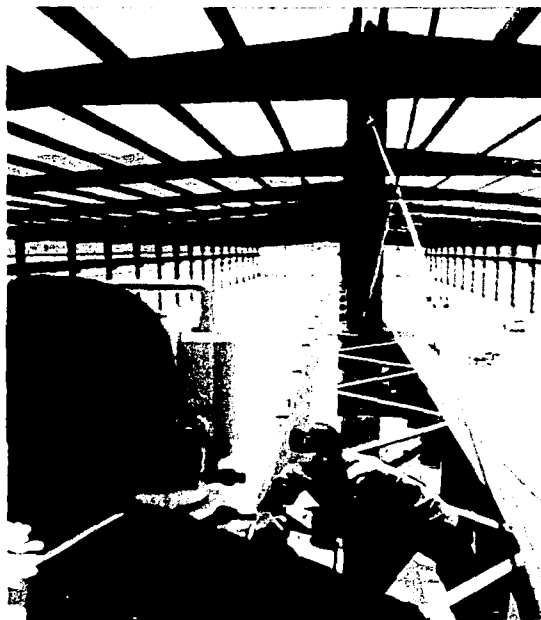


Figura IV. 25 Verificación del plomeo, nivelación y alineamiento de la estructura montada con aparato de precisión



## IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

---

### IV.7 SUPERVISION

La supervisión debe ser oportuna, ordenada y controlada. La falta de una supervisión adecuada, puede ser la causa de deficiencias en la construcción de una obra en acero. Una inspección insuficiente, se debe a que no se cuenta con normas, ni recomendaciones para inspeccionar y vigilar las diversas etapas del proyecto. El ingeniero puede y debe apoyarse en documentos, que reglamentan dichas etapas. Tal es el caso de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas del Reglamento del Distrito Federal. Además cuenta con la ayuda y asesoramiento de otras publicaciones con el Manual IMCA; AHMSA, CSG, etc, las cuales poseen información valiosa e interesantes recomendaciones.

Es conveniente, que las empresas supervisen durante todo el proceso de construcción de una edificación, desde la etapa de proyecto estructural hasta la terminación del montaje. Por ello, se recomienda contar con el apoyo de un laboratorio de control de calidad y equipo de topografía, para detectar las anomalías a tiempo y actuar en consecuencia.

La función que dicho laboratorio desempeña en la planta o taller, es avalar una fabricación de calidad, revisando que los materiales, el personal y los procesos de fabricación sean adecuados para el proyecto específico. Las visitas periódicas y programadas realizadas al sitio de fabricación aunadas a las observaciones precisas y oportunas producto de ellas, representan un gran apoyo, mismo que conviene tener en la obra a través de incursiones regulares para hacer inspecciones.

En estructuras soldadas, la calificación del soldador es de vital importancia. Durante la ejecución de soldaduras, deberán aplicarse alguno de los métodos de inspección siguientes para garantizar la calidad de las soldaduras:

1. **Inspección visual:** Método sencillo, efectivo y económico que consiste en observar el proceso de soldadura antes y durante su aplicación.
2. **Inspección con partículas magnéticas:** Consiste en la colocación de limaduras de hierro sobre la soldadura y hacer pasar una corriente eléctrica. La configuración u orientación que adoptan las partículas indica la presencia de fisuras.
3. **Inspección con líquidos penetrantes:** Se aplica una tintura sobre la superficie del cordón. Si existen fisuras, una parte de la tinta penetra en ellas. Se elimina el sobrante y se coloca un material sobre la soldadura. La cantidad de tinta que brote hacia fuera indica la profundidad de las fisuras.
4. **Inspección ultrasónica:** Consiste en hacer pasar ondas de sonido a través de los cordones de soldadura. La presencia de defectos alterará la velocidad de transmisión de ondas.
5. **Inspección radiográfica:** Consiste en pasar rayos X o gama a través del cordón y obtener en una película sensible la imagen de la soldadura. Este procedimiento se aplica únicamente a soldaduras a tope, en donde la radiografía mostrará sólo el material de aportación y sus posibles defectos.

#### IV. EL PROCESO QUE SIGUEN LAS ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CONSTRUCCION

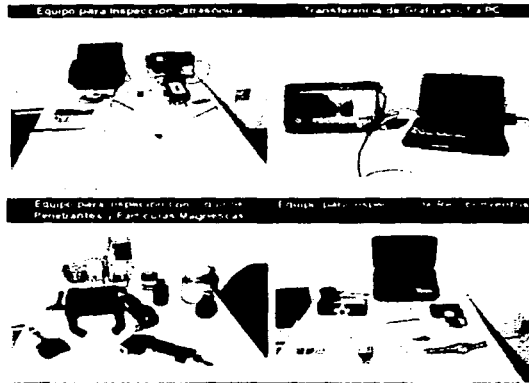


Figura IV. 26 Aparatos empleados en el proceso de supervisión

El control de calidad en el montaje requiere especial vigilancia en la geometría de la estructura, particularmente en lo relativo a ejes, niveles, plomos y juntas. Si bien, es muy importante el conocimiento técnico de las distintas etapas que integran el proceso, así como el estricto cumplimiento de las normas que lo rigen; se debe tener plena conciencia de la participación humana, como constante de dicho proceso. Por lo tanto, el conocer al personal involucrado y saber de sus habilidades, experiencia y confiabilidad de manera más estrecha que haber cumplido con una calificación, definitivamente impacta en la calidad, tiempo y costo de la obra o proyecto.



Figura IV. 27 Equipo humano de montaje

## **V. CASO PRACTICO**

---

## **CAPITULO V CASO PRACTICO**

---

Mario Francisco Cerdán González

Ingeniería Civil

## V. CASO PRACTICO

---

### V.1. DESCRIPCION DEL PROYECTO

Para ejemplificar el empleo de las estructuras metálicas en el proceso constructivo se ha seleccionado el conjunto de edificios que conforman el "CENTRO DE ACOPIO Y DISTRIBUCIÓN COPPEL" Cd. De México ubicado en Av. Poniente 128 No. 665 de la colonia Industrial Vallejo, en la Delegación Azcapotzalco, México, D.F.

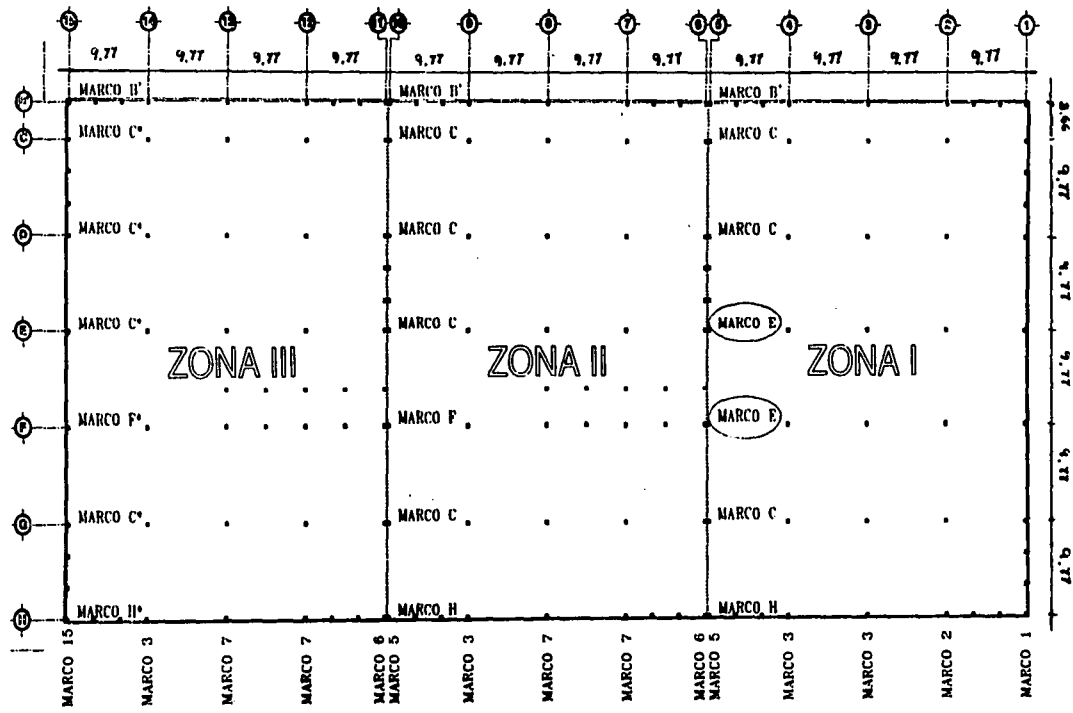
El proyecto arquitectónico y estructural, así como la dirección de la construcción del mismo, quedó a cargo de la propia división de construcción de Coppel denominada CONTSCOP.

La fabricación y el montaje de la estructura de acero la realizaron TRAACSA y FESA. Los estudios geotécnicos estuvieron a cargo de la empresa MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES S.A. de C.V.

Los edificios en cuestión están separados entre sí por dos juntas constivas quedando tres zonas, tal como se indica en la Figura V.1. cada uno de ellos de geometría regular, tiene una superficie de 13,347 m<sup>2</sup> y en total suman una superficie de 40,041 m<sup>2</sup> de los cuales 6,171 m<sup>2</sup> son para estacionamiento y zona de subestación, el resto es para oficinas y almacén de ropa, líneas blancas y electrodomésticos.

El terreno sobre el que se desplanta se localiza en la zona II de la Ciudad de México, correspondiente a la zona de transición.

Para la definición de este proyecto se consideraron ciertas condiciones particulares, como fue un límite de altura restringido, lo que obligó a tener el nivel de estacionamiento en la subestructura; de igual manera la restricción del peso de los edificios obligó a buscar un sistema de piso más ligero, es por ello que en los niveles 2, 3 y 4 se sustituye la losacero por un piso de madera y en general el empleo del acero estructural para su construcción resultó una excelente alternativa.



ESTRUCTURAL PLANTA LOCALIZACION DE MARCOS

Figura V.1

## V. CASO PRACTICO

---

### V.1.1 Generalidades

A continuación se expone la forma en que se solucionó estructuralmente este conjunto de edificios erigidos sobre un terreno de arcillas blandas muy compresibles típico de la zona de transición de la cuenca de la Cd. De México. El concurso del acero en este proyecto resulta una excelente alternativa para su resolución.

La solución estructural de estos edificios se define más adelante, pero cabe mencionar que el primero de ellos consta de conexiones soldadas con columnas que integran muñones para recibir vigas I y armaduras; mientras que los otros dos aunque también integra muñones en sus columnas, también hechas de cuatro placas soldadas, reciben dichas vigas y armaduras con conexiones atomilladas.

Las armaduras y vigas I dispuestas en forma ortogonal se localizan a diferente altura para alojar el sistema de piso destinado para cada nivel.

Cada edificio presenta en su fachada oriente armaduras de voladizo para los niveles azotea, 4, 3, 2 y 1. En el caso del tercer edificio también existen armaduras de volado en la fachada sur para esos mismos niveles. Tales fachadas corresponden a zonas de andén para embarque y desembarco de mercancía.

Otra característica de estos edificios son sus fachadas llenas de contraventeos verticales, mismas que representaron una gran cantidad de trabajo y tiempo invertido para su montaje.

Del mismo modo la zona de elevadores o montacargas localizada en el segundo edificio entre los ejes F-F' sobre el marco 6, 6', 7 y 7' representaron un reto en el cumplimiento del programa.

Sin lugar a dudas la participación del acero en este proyecto significó ahorro en el peso de la estructura, lo cual equivale a un ahorro de dinero mediante un uso racional del acero y ahorro en los costos de cimentación de los edificios. El peso total de los tres edificios fue de 1,854 ton.

### V.1.2 Cimentación

En este capítulo se resumen los trabajos efectuados para definir las condiciones estratigráficas del sitio y determinar el tipo de cimentación que garantice el correcto comportamiento de la estructura en condiciones estáticas y sísmicas.

#### V.1.2.1 Condiciones geotécnicas del sitio

##### a) Información geotécnica disponible.

**Zonificación.** El predio donde se ubica el proyecto en estudio se encuentra dentro de la zona II (zona de transición), en la cual ocurren los cambios más notables de la estratigrafía de la cuenca. En esta zona se encuentran superficialmente depósitos de arcilla o limo orgánico de la formación de Becerra cubriendo a estratos de arcilla muy compresible intercalados con lentes de arena, los cuales descansan sobre potentes mantos de arena y grava.

## V. CASO PRACTICO

---

### 2. Trabajos de campo.

**Exploración.** Con la finalidad de conocer la estratigrafía del sitio, así como las propiedades tanto físicas como mecánicas del material que conforma los estratos del subsuelo en donde se apoyará la cimentación de los edificios en proyecto, se llevó a cabo una campaña de exploración consistente en la ejecución de cuatro sondeos profundos del tipo mixto, los cuales se realizaron con muestreo continuo con el método de penetración estándar, con la recuperación de muestras inalteradas con el tubo de pared delgada; en dos de ellos se realizó exploración con uso del cono eléctrico (SM3 y SM4) con el cual se exploró hasta los 10.0 m de profundidad en cada uno de ellos; los sondeos se realizaron a 20.0 m de profundidad.

Así mismo se realizaron tres sondeos a cielo abierto, los cuales se realizaron a 2.70 m de profundidad (el nivel de aguas superficiales se detectó a 2.70 m de profundidad) recuperando muestras de material inalterado.

### 3. Ensayes de laboratorio.

Para conocer las propiedades índice de los estratos detectados, se realizaron en las muestras obtenidas las siguientes pruebas de laboratorio:

- a) Clasificación visual y al tacto
- b) Contenido natural de agua
- c) Límites de consistencia
- d) Porcentaje de finos
- e) Densidad de sólidos
- f) Peso volumétrico natural

Los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante y de deformabilidad de los suelos, se determinaron mediante las pruebas mecánicas que se citan a continuación:

- a) Compresión triaxial no consolidada-no drenada (TXUU)
- b) Consolidación unidimensional

### 4. Interpretación estratigráfica

La estratigrafía encontrada en el sitio con base en las observaciones hechas durante la campaña de exploración y en los resultados arrojados por los trabajos de laboratorio, es la que se describe a continuación:

Superficialmente se encontró una serie de elementos estructurales que conformaron la cimentación para las estructuras existentes, así como las losas de concreto simple de 10 cm de espesor que constituyeron los pisos en las zonas de rodamiento, y de una serie de materiales de relleno conformado por suelo producto de excavación, cascajo, restos de fundición, tepetate, etc. El cual se extiende hasta 2.0 m de profundidad.

Por debajo del anterior y hasta una profundidad de 3.0 m se encontró un depósito de material limo arcilloso con algunas arenas finas, de color café oscuro, de alta compresibilidad y mediana resistencia al esfuerzo cortante, de consistencia media a blanda, clasificándose de acuerdo al SUCS como (MH).

De 3.0 m y hasta una profundidad de 3.6 m se encontró un depósito de arenas finas a medias de origen volcánico, de color gris verdoso, de compacidad densa a muy densa, de alta resistencia al corte y baja compresibilidad, clasificándose de acuerdo al SUCS como (SM).

## V. CASO PRACTICO

---

Subyaciendo al anterior, se encontró una serie de depósitos conformados por arcillas limosas de alta compresibilidad, de color gris verdoso con vetas café claro, de consistencia blanda a muy blanda, presenta algunos lentes de arena fina a media de origen volcánico, dichos depósitos se extienden hasta una profundidad de los 10.2 m, clasificándose de acuerdo al SUCS como (MH).

A partir de los 10.2 m y hasta una profundidad de 13.2 m se encontró un depósito de arenas finas a medias con limos de baja compresibilidad con intercalaciones de arcilla de alta compresibilidad, en una matriz de alta resistencia al corte y mediana compresibilidad, de color gris verdoso, de compacidad densa a muy densa, clasificándose de acuerdo al SUCS como (SM).

De 13.2 m y hasta una profundidad de 15.6 m se encontró un depósito de material limo arcilloso con algunas arenas finas, de color gris oscuro a verdoso, de alta compresibilidad y mediana resistencia al esfuerzo cortante, de consistencia media a blanda, clasificándose de acuerdo al SUCS como (MH).

De 15.6 m y hasta una profundidad de 18.0 m se encontró un depósito constituido por una serie de intercalaciones de limos calizos de alta compacidad de color blanco, con lentes de arena gruesa y capas de arcilla blanda altamente compresible de color gris verdoso, en una matriz de mediana a alta resistencia al corte y mediana compresibilidad.

De 18.0 m y hasta la profundidad máxima de exploración se encontró un depósito de material limo arcilloso con algunas arenas finas, de color gris oscuro a verdoso, de alta compresibilidad y mediana resistencia al esfuerzo cortante, de consistencia media, clasificándose de acuerdo al SUCS como (MH). Cabe hacer la aclaración que en la exploración del sondeo SM4 de 18.8 a 20.0 m de profundidad se localizó un depósito areno limoso de alta compacidad y alta resistencia al esfuerzo cortante.

El nivel de aguas freáticas se localizó a 2.7 m de profundidad con respecto al nivel de terreno natural.

### e) Cimentación

De acuerdo al análisis realizado, se propone que se construya como elemento de cimentación una losa de cimentación apoyada sobre contratrabes con la suficiente rigidez para mantener los asentamientos diferenciales dentro de los límites de servicio.

## V.1.3 Estructura

### V.1.3.1 Generalidades

La estructura en estudio es una bodega para muebles ligeros que consta de un sótano, una planta baja, tres niveles interiores adicionales más la cubierta de la azotea, la cual está a dos aguas, con una altura en su parte inferior de 24 m y de 27.87 m en la cumbre referidos al terreno natural.

Estructuralmente estará resuelta mediante una losa de cimentación apoyada sobre contratrabes, un sistema de marco espacial de acero contraventeado, formado por columnas de cuatro placas soldadas unidas por armaduras, traveses y contraventeo de sección IR; esto para cada una de las zonas.



## V. CASO PRACTICO

---

### V.1.3.2 Sistema estructural

El sistema estructural resistente para cargas gravitatorias consiste en un sistema de marcos planos colocados en dos direcciones ortogonales formando un marco espacial, las columnas son de cuatro placas soldadas, las trabes son secciones IR y armaduras formadas por ángulos en las cuerdas y PERS en diagonales y montantes.

La cubierta está formada por lámina de acero estructural R-90 apoyada sobre largueros de acero tipo joist de acero. Los niveles 2, 3 y 4 están formados por un piso de madera apoyado sobre joists de acero. Los niveles 1 y la planta baja están formados por losacero apoyada sobre joists, los joists se apoyan sobre los marcos planos transversales con trabes de azotea a dos aguas.

El sistema estructural resistente ante cargas laterales está formado por cubiertas rígidas y marcos arriostrados en dos direcciones ortogonales, la cubierta rígida de la azotea está formada por largueros de acero tipo joists y por arriostramientos de acero redondo liso colocados horizontalmente en forma de cruz en cada cuadro de la construcción, la cubierta rígida en los pisos de madera estará formada por largueros tipo joists y por arriostramientos de acero tipo PER colados horizontalmente en forma de barras, en cada cuadro de la construcción, la cubierta rígida en los pisos de concreto está formada por largueros de acero tipo joists y por un piso de concreto colado sobre lámina de acero.

### V.1.3.3 Análisis y diseño estructural

El análisis estructural que se realiza en este proyecto es un análisis estructural estático basado en el método de la rigideces para un material de comportamiento elástico lineal.

Los cálculos estructurales son acordes con los lineamientos que marca el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF) y sus Normas Técnicas Complementarias (NTC) y sirven para dimensionar y determinar la cantidad de acero de refuerzo en los elementos estructurales de concreto y en el caso de los elementos estructurales de acero sirve para dimensionar los elementos principales, los elementos secundarios, los elementos de recubrimiento y las conexiones.

El diseño estructural de los perfiles de acero laminados en caliente se hizo de acuerdo al método de diseño por efecto permisible especificado en el American Institute of Steel (AISC edición 1989) y el manual del IMCA (3ª. Edición 1997).

El diseño estructural de los elementos de acero laminado en frío se hizo de acuerdo al método de diseño por esfuerzo permisible especificado en el American Iron and Steel Institute (AISI edición 1969).

El diseño estructural de los elementos de concreto se hizo de acuerdo al método de diseño por resistencia última especificado en el American Institute of Concrete (ACI edición 1995).

Para realizar el diseño estructural de las columnas, las placas base de columnas y sus anclas así como para obtener las reacciones para analizar la cimentación se analiza un marco espacial de cada uno de los módulos del edificio. En el caso de las trabes de alma abierta (armaduras) se considera una trabe con propiedades geométricas equivalentes (área, momentos de inercia y cortante de torsión).

Para realizar el diseño estructural de las barras de las armaduras y sus conexiones se analizan marcos planos usando barras tipo armadura para cada uno de los elementos de ésta.

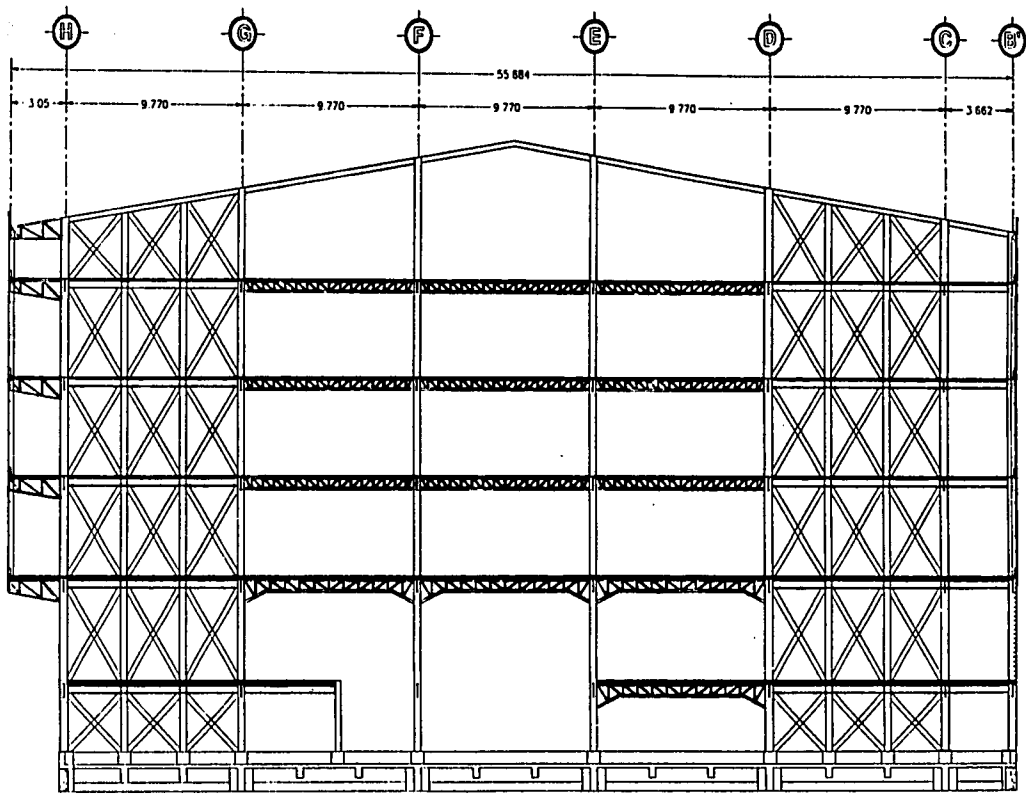
## V. CASO PRACTICO

---

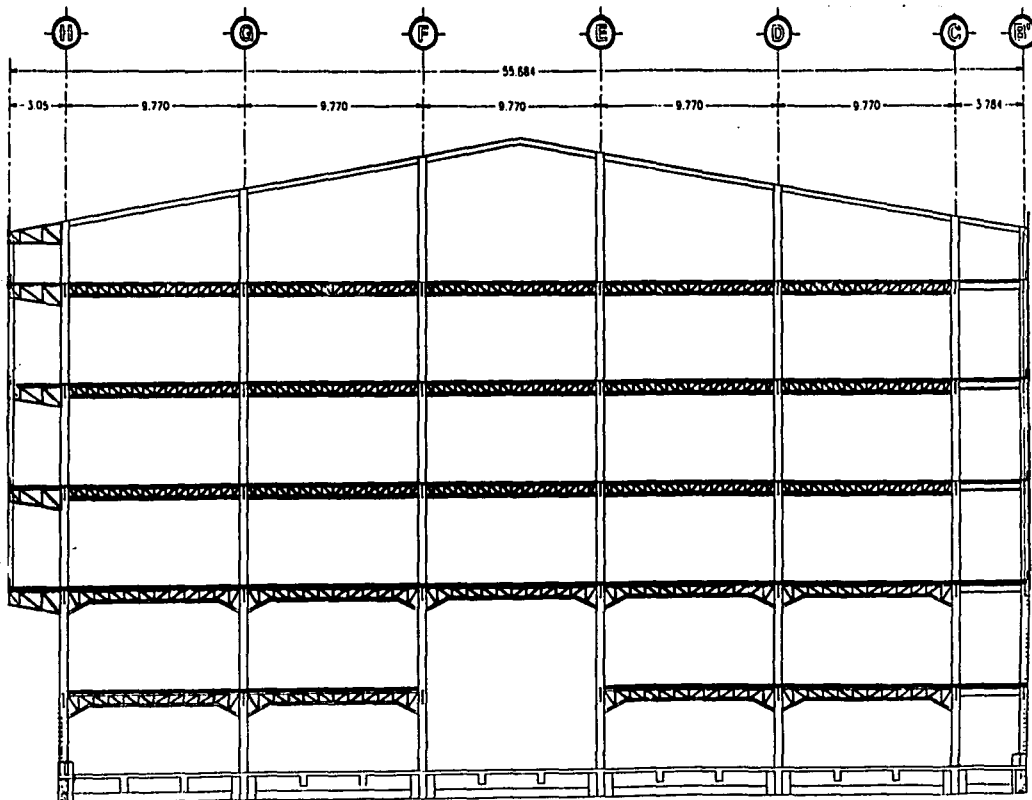
Para diseñar las contralabas de la cimentación se hace un análisis estructural de parrilla sobre una serie de resortes de rigidez igual al módulo de reacción del suelo,  $K_s$ . Las cargas que se aplican son las reacciones del marco espacial. El módulo de reacción del suelo obtenido de los estudios de mecánica de suelos es:

$$K_s = 0.1055 \text{ kg / cm}^3$$

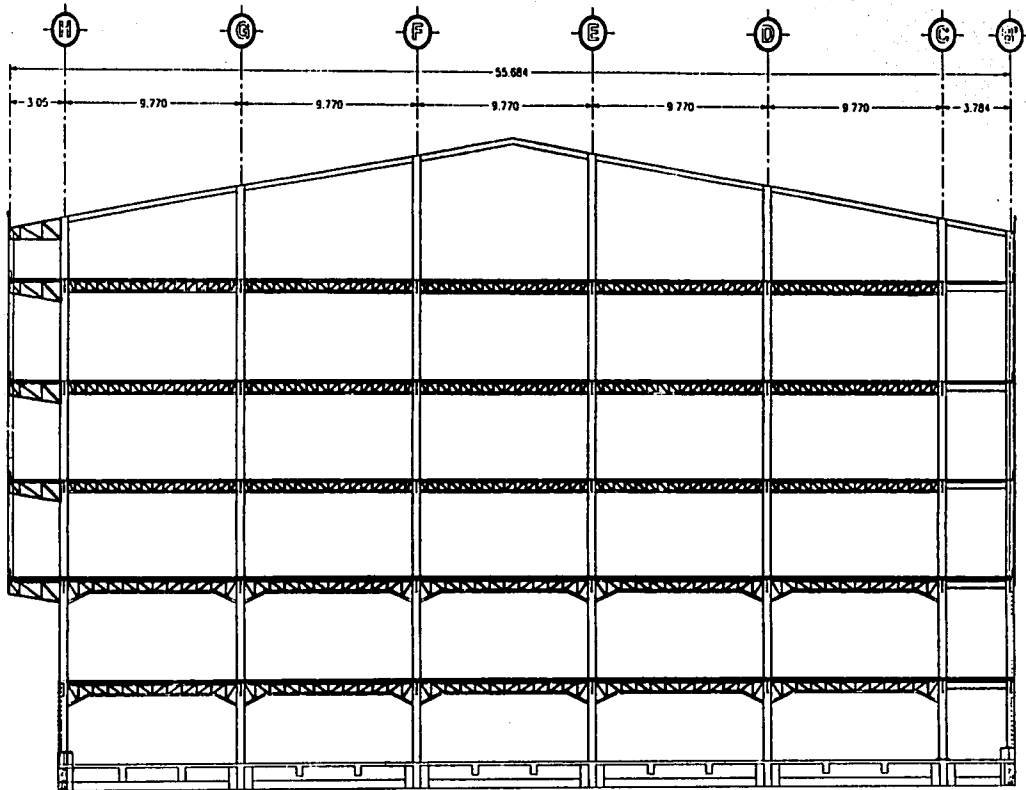
A continuación se indica la geometría de cada uno de los marcos que se analizarán como marcos planos, así mismo se indicará la geometría del marco espacial.



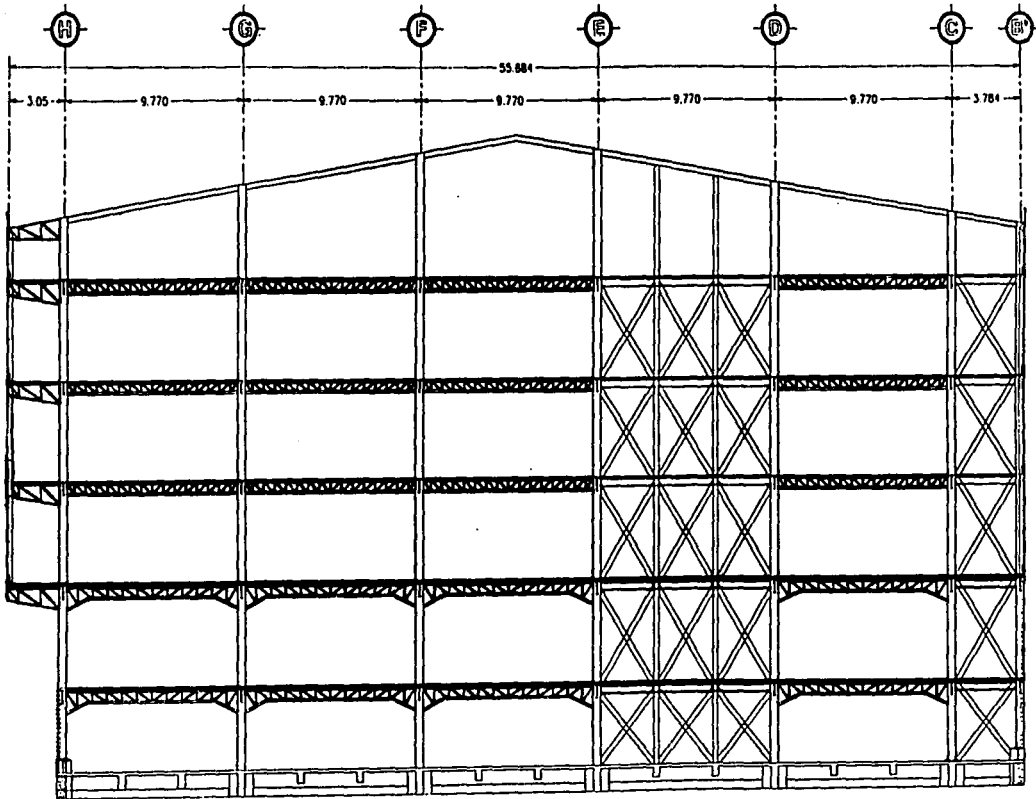
MARCO 1



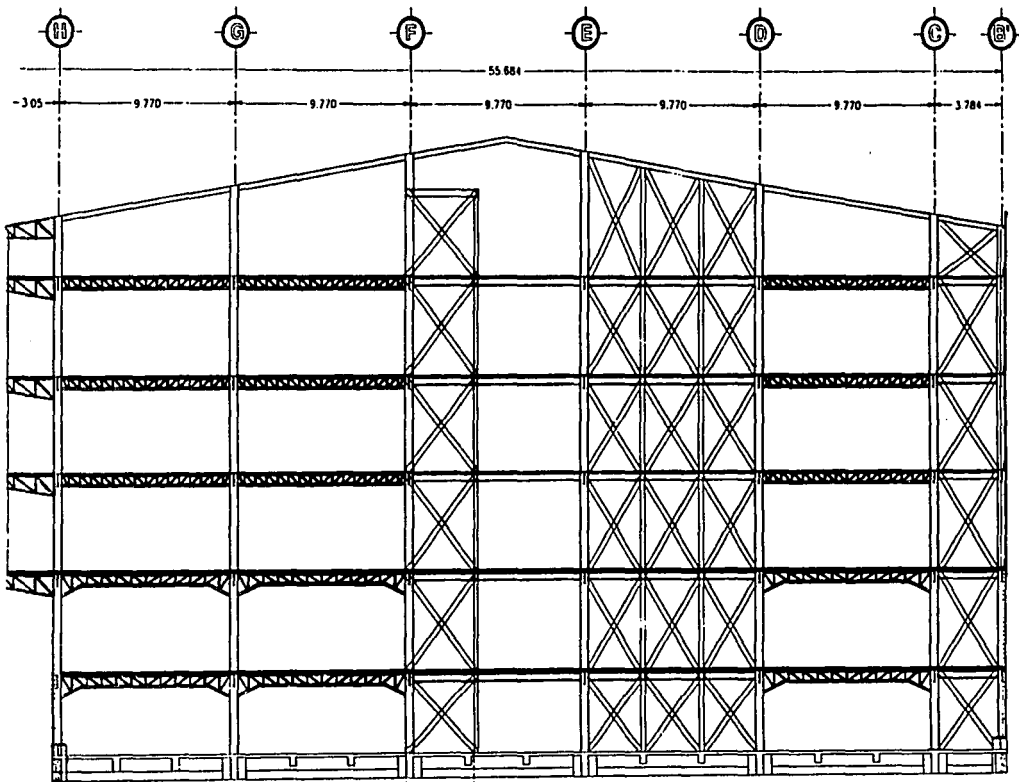
**MARCO 2**



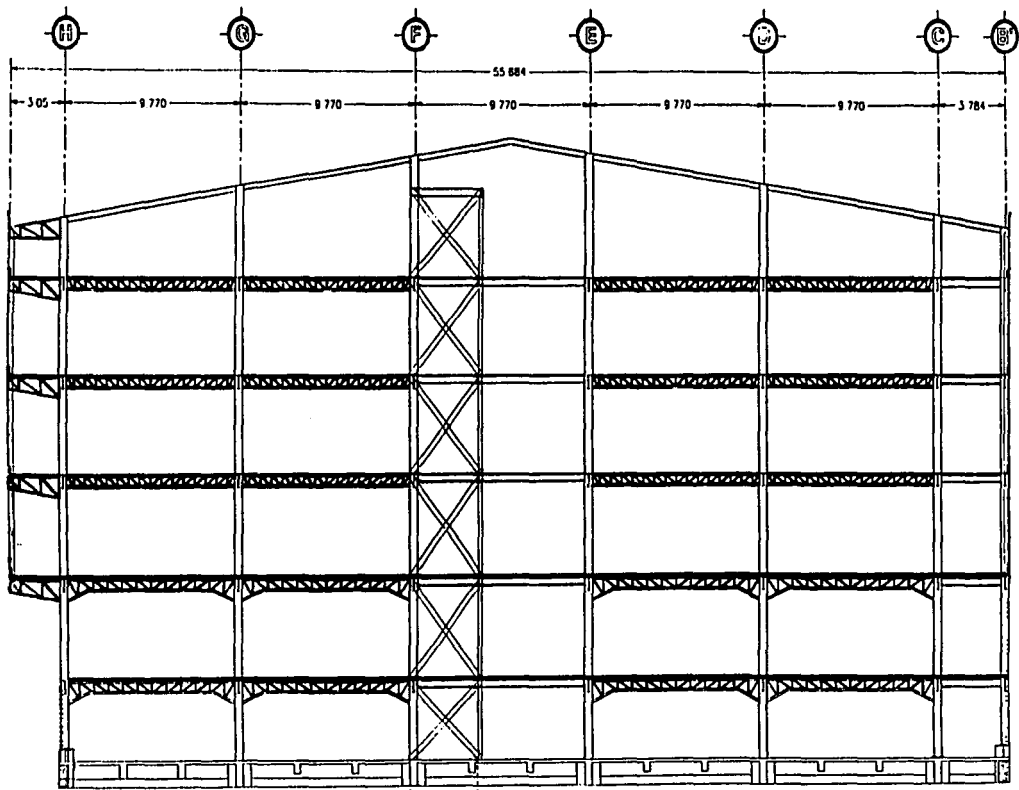
**MARCO 3, 4, 9 y 14**



**MARCO 5 y 10**

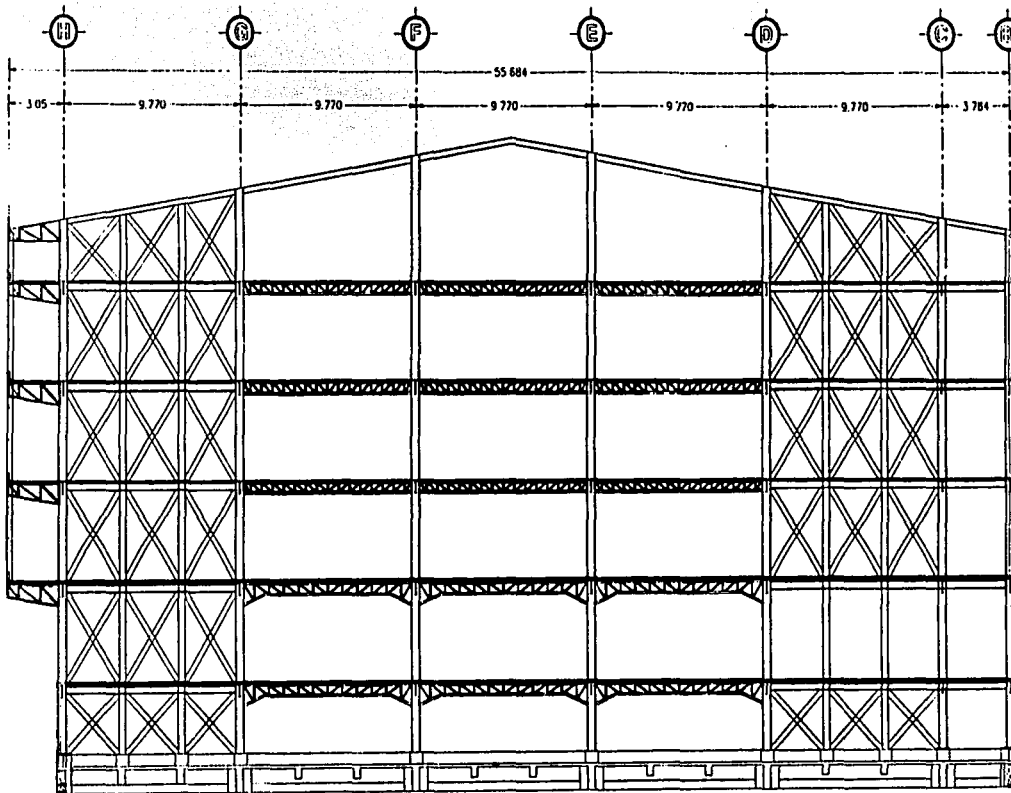


MARCO 6 y 11

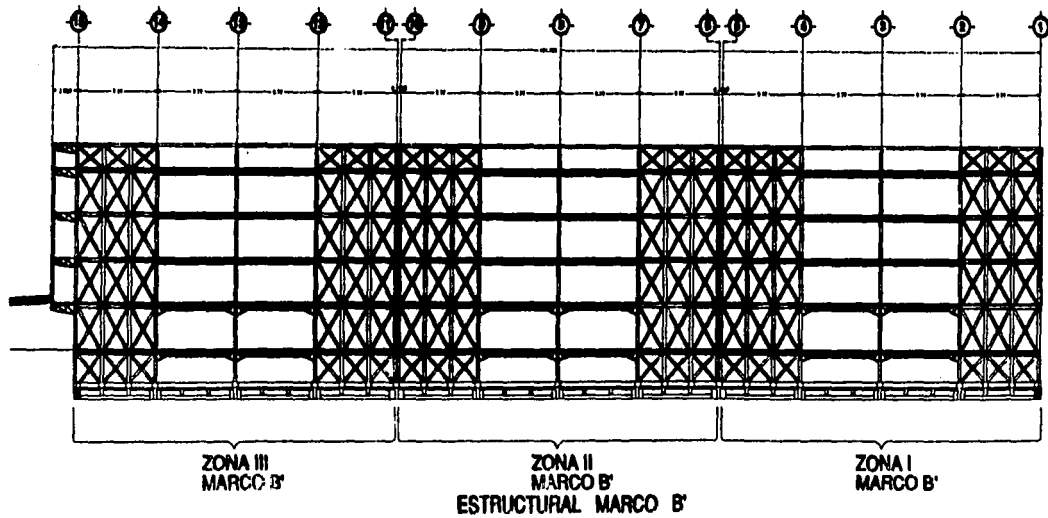


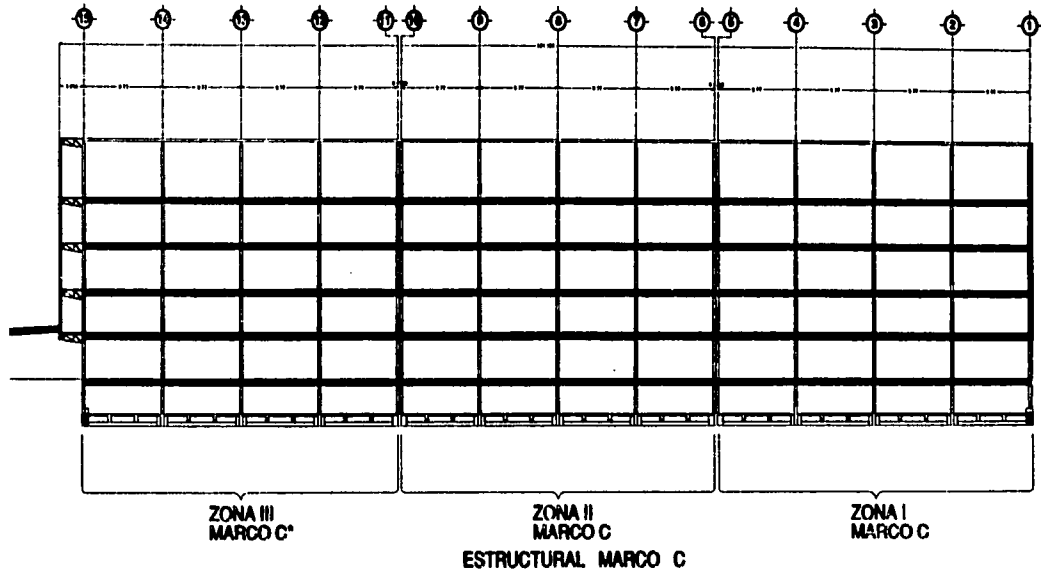
**MARCO 7, 8, 12, 13**

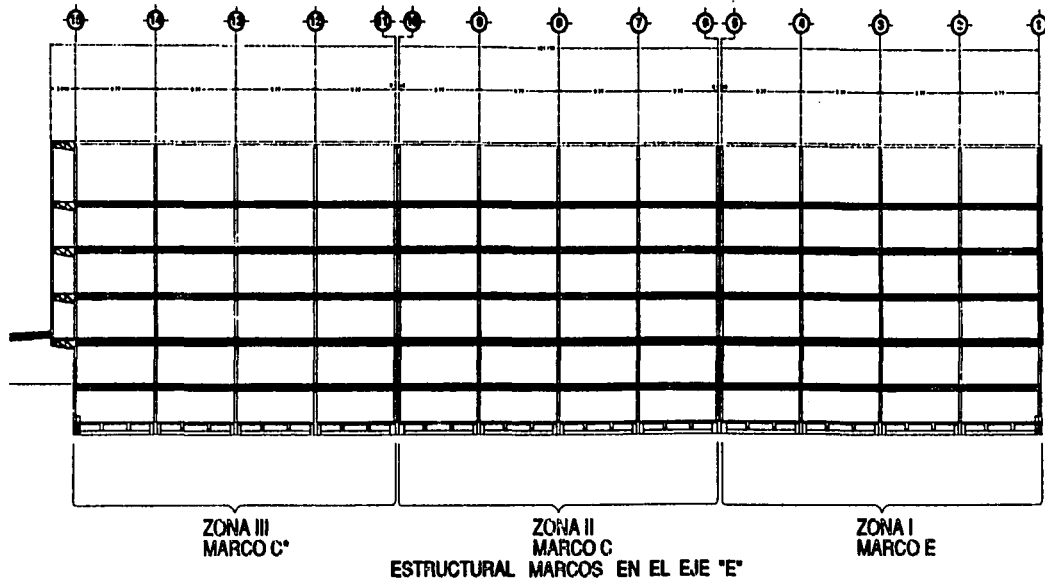


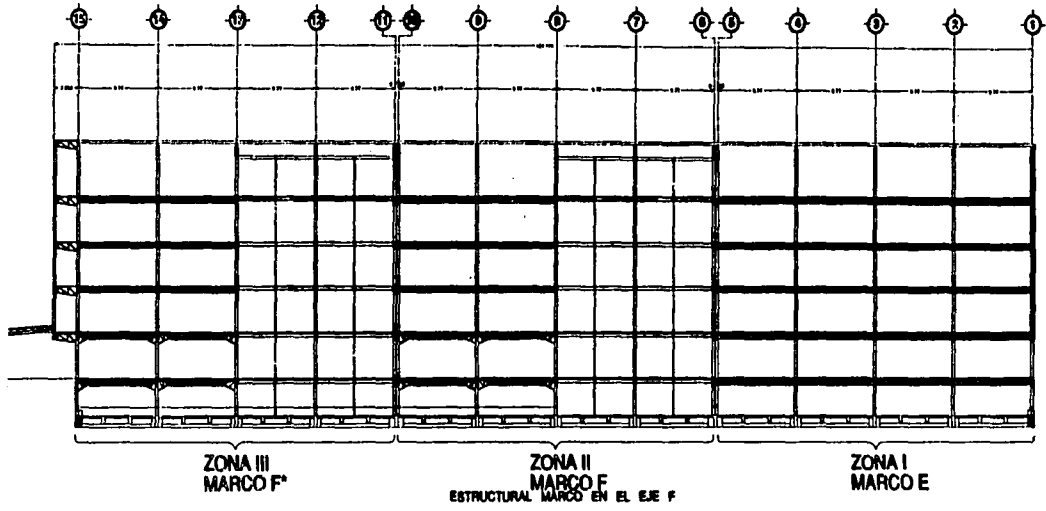


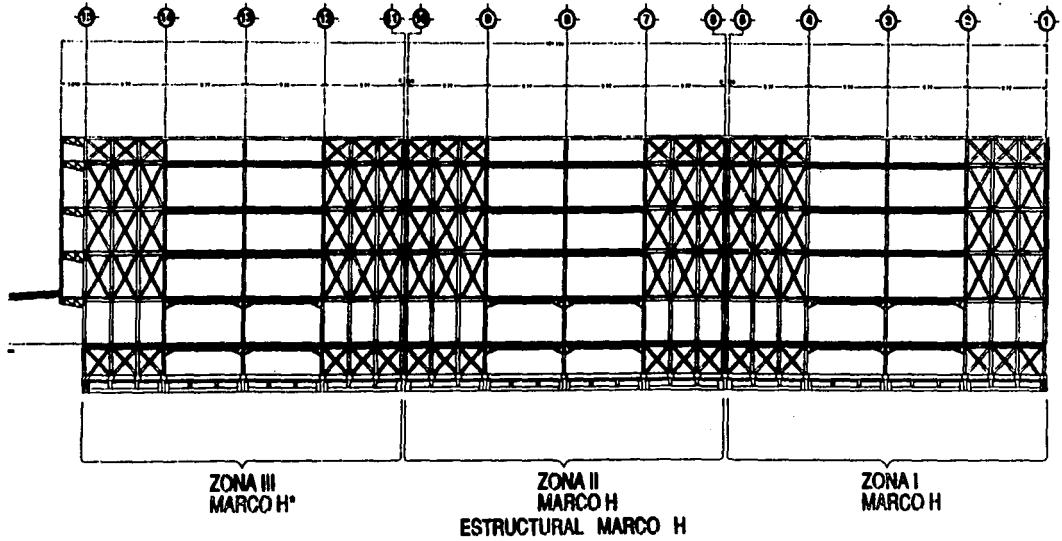
**MARCO 15**

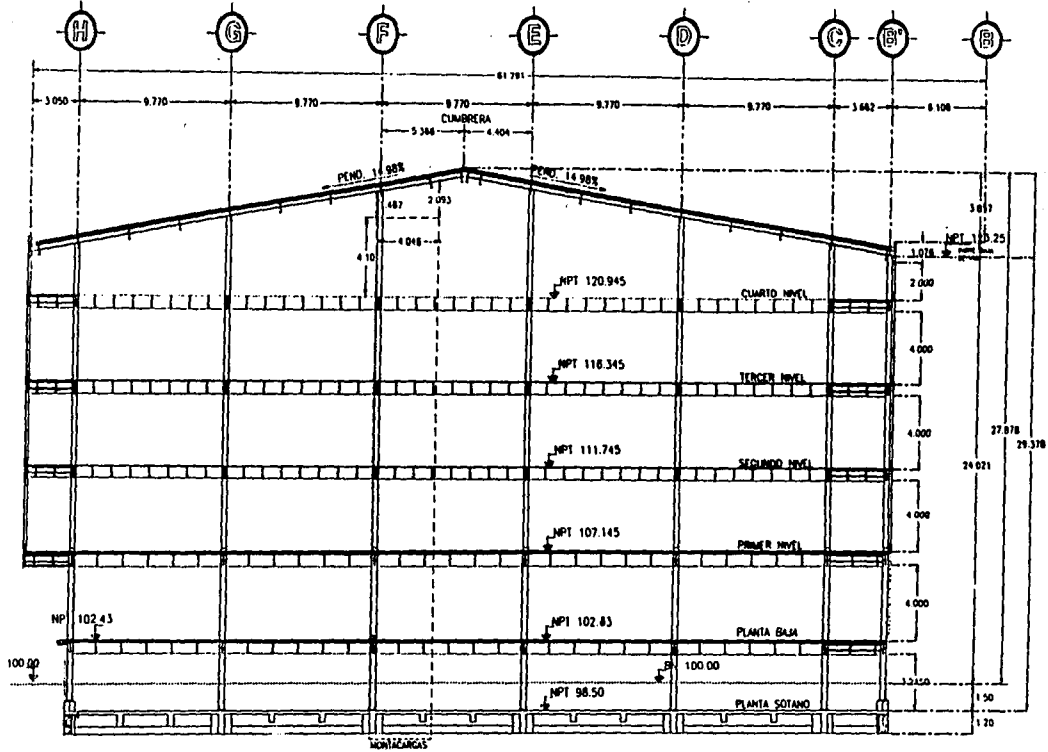












CORTE TRANSVERSAL X - X'

## V. CASO PRACTICO

---

### V.2 PROCESO CONSTRUCTIVO

En este capítulo se hace una descripción del proceso que llevó la construcción de la obra "CENTRO DE ACOPIO Y DISTRIBUCIÓN DE TIENDAS COPPEL" Cd. De México. Tal como se menciona en la introducción de este trabajo se hace especial énfasis en la parte correspondiente al montaje de la estructura metálica, responsabilidad que estuvo bajo mi supervisión.

#### V.2.1 Montaje

Se comenzó por recopilar la mayor cantidad de información disponible, parte de ella fue de carácter preliminar:

- ⊖ Datos del cliente
- ⊖ Contrato celebrado (alcances y sanciones)
- ⊖ Localización de la obra
- ⊖ Programa de la obra
- ⊖ Tonelaje de la obra
- ⊖ Datos de la supervisión
- ⊖ Planos de montaje

Posteriormente se programó una visita de reconocimiento de la obra y se concertó una entrevista con el personal responsable de la misma. Cabe mencionar que en este caso el cliente final tiene su propia división de Proyecto y Construcción, misma que ejecutó los trabajos de cimentación y albañilería.

En esta visita de avanzada se actualizó y complementó información fundamental para el arranque del montaje, tal como:

- ⊖ Identificación de accesos
- ⊖ Areas de desembarco de estructura
- ⊖ Areas de almacenamiento de estructura
- ⊖ Areas disponibles para zona de oficinas y almacén
- ⊖ Tomas de corriente eléctrica
- ⊖ Orden y avance de los trabajos de cimentación

Durante la entrevista en la cual estuvieron presentes los responsables del proyecto así como de la construcción del mismo, se determinaron algunos puntos muy importantes para el desarrollo de la obra, como:

- a) Establecimiento de un contacto personalizado entre los involucrados (contratista y cliente)

A menudo este punto es tomado con cierta ligereza, sin embargo su importancia fue grande ya que formó parte de toda una filosofía de servicio, basada en la comunicación en donde :

- ⊖ Se continuó y reforzó la labor de venta que nos llevó a la adjudicación del trabajo.
- ⊖ Se reflejó fielmente el profesionalismo a través de los conocimientos y experiencia mostrados al entablar este primer contacto.
- ⊖ Se inspiró confianza al mostrar una actitud propositiva respecto al trabajo
- ⊖ Se patentizó una total atención hacia las demandas que tuvo el cliente.



## V. CASO PRACTICO

Esta primera impresión fue fundamental para establecer un ambiente cordial y de entendimiento que permitió más adelante encontrar solución a las diferentes posiciones y necesidades que se fueron presentando.

Además la continuidad de esta filosofía permitirá la consolidación de un equipo de construcción para proyectos posteriores ya que se tiene contemplada la construcción de más de 70 tiendas en la ciudad de México y zona conurbada.

b) La proposición de algunos artificios tales como:

- ⇒ El uso de camisas de tubo para las anclas que facilita el cabecero de las mismas en caso de ser necesario.
- ⇒ El empleo de plantillas para garantizar la correcta distribución de los anclajes. Figura V.2
- ⇒ El uso de tuercas de nivelación (cuatro por columna)
- ⇒ Debido a la limitación de espacio en los ejes cabeceros, se sugirió el prever columnas con ventana en aquellas caras que dan al interior de cada zona de la obra y así se evitó el desplazamiento de toda la columna, lo que hubiera provocado la modificación de la ingeniería (planos de taller) detallados hasta entonces. Figura V.5
- ⇒ Ante el problema de espacio para el armado de las trabes de cimentación en su propia excavación, era necesario que se hiciera fuera de ésta, resultando un armado muy largo y pesado. Para introducirlo en su zanja se propuso el empleo de estructuras auxiliares (cuadripies) que dispuestos a cada 10 m uno del otro a lo largo de dicha zanja y mediante el uso de diferenciales o tirfors fueran dejando caer poco a poco este armado.
- ⇒ Se sugirió entablar contacto con los propietarios del predio vecino pegado al eje B', para negociar la posibilidad de montar desde su terreno.
- ⇒ Al no contar con una línea de corriente eléctrica en la obra se propuso con oportunidad el alquiler de un generador y la programación de otro para la ejecución de todos los trabajos de soldadura de la estructura y perneo de la losacero.
- ⇒ Por otra parte se hizo una observación respecto a la cantidad de soldadura que se solicitaba en la fabricación de las cañas de las columnas, la cual consistió en hacer notar que para los diferentes tipos de columnas (diferencia consistente en el calibre o espesor de las placas que las conforman) se solicitaba el mismo tipo de preparación y cantidad de soldadura, por lo que se pidió su revisión. Más adelante esta revisión daría como resultado un requerimiento distinto de acuerdo al tipo de columna y por ende una ganancia en tiempo para su fabricación.
- ⇒ De acuerdo a la revisión del programa que se realizó en la junta se propuso también contemplar la posibilidad de tener otros dos accesos diferentes al existente en ese momento. La habilitación de éstos, sería programada acorde a la realización de los trabajos en las diferentes zonas.

Posteriormente, como resultado de esta visita y junta de trabajo, se retroalimentó la información a los departamentos de Ingeniería y Producción.

Una vez que se encontró dispuesto el armado de los dados y antes de ser colados se verificó el correcto empleo de las plantillas que a su vez nos indicaron la cantidad y el diámetro de las anclas para cada dado.

Después del colado de la cimentación, se verificó la distancia entre ejes de los dados y que la longitud de cuerda de cada ancla fuera suficiente para cubrir la placa base de cada columna y las tuercas de apriete requeridas así como la tuerca de nivelación. Además se solicitó a la brigada de topografía marcara los ejes sobre el piso en cada dado ya que servirían de referencia para el montaje.

Las variaciones encontradas fueron pocas, reportándose de inmediato para hacer los ajustes necesarios en las placas base desde la planta.

## V. CASO PRACTICO

Dibujo para hacer plantilla utilizada para garantizar la correcta colocación en número, diámetro y distribución de anclas en el armado de dado de cimentación.

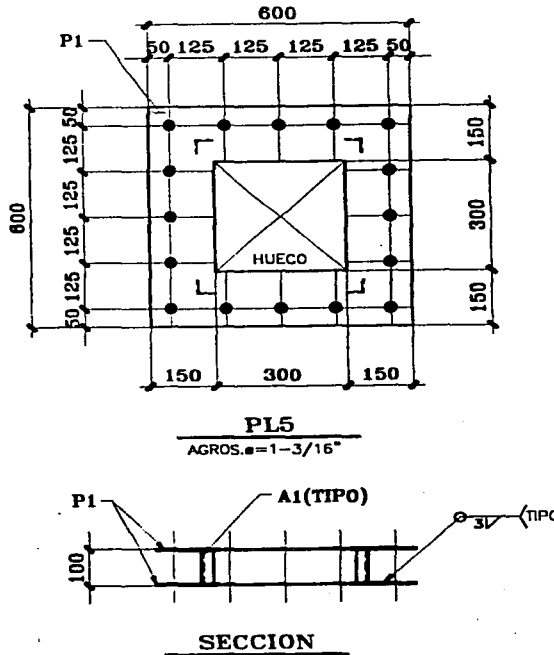


Figura V.2

					SUMA				
PL5	2	P1	4	PLACA DE 5	600	600	37.40	13.46	53.86
		A1	8	ANGULO 3X38		90	1.83	0.16	1.32
Marca	Pzas.	Marca	Piezas	Descripción	Ancho	Long.	Metro	Pza.	Total
EMBARQUE					PESO EN KILOGRAMOS				

## V. CASO PRACTICO

Un elemento fundamental en este proceso constructivo es la elaboración de un programa de embarque, mismo que fue hecho empleando la información obtenida y el sentido común. Si...el sentido común que nos dicta considerar:

- o El orden que lleva el colado de los dados de cimentación
- o El o los accesos para los transportes que llevan la estructura lo más próximo al lugar de montaje.
- o El área de desembarco y la posible disposición de los elementos para permitir el tránsito de las grúas.
- o El orden en que se montarán los elementos para tener acceso a su posición definitiva.
- o La secuencia del montaje de las piezas para garantizar la estabilidad de la obra y por tanto su seguridad.

Dicho programa se presentó ante los departamentos de Ingeniería, Producción y Embarques, para que todos contaran con el orden en que los elementos debían ser detallados, fabricados y suministrados a la obra.

El programa de montaje indicaba la siguiente secuencia:

- a) Primer tramo de columnas localizadas sobre eje 1
- b) Columnas localizadas en 2C y 2G
- c) Armaduras de los primeros tres niveles localizadas sobre eje C entre 2 y 1
- d) Armaduras de los primeros tres niveles localizadas sobre eje 1 entre C y G
- e) Armaduras de los primeros tres niveles localizadas sobre eje G entre 2 y 1
- f) Primer tramo de columnas localizadas sobre eje 2
- g) Armaduras de los primeros tres niveles localizadas sobre eje C, D, E, F, G entre 2 y 1

Como se puede observar se formaron marcos buscando la estabilidad del montaje así como la conservación de espacios para el tránsito del equipo de montaje y acceso a lugares de piezas por montar.

Del mismo modo se programó el material de contraventeo para la fachada localizada en el eje 1 desde la planta baja hasta el segundo nivel. La programación de este material era importante por dos motivos:

- a) Comenzar tempranamente con la gran cantidad de trabajo que significaba el montaje de estas piezas, y de este modo probar diferentes mecanismos de montaje al igual que equipos de trabajo.
- b) Avanzar con orden de tal manera que se fueran liberando áreas terminadas para permitir el acceso de actividades posteriores a cargo de otros contratistas y de esta forma contribuir con el desarrollo integral de la obra.

Respecto a las columnas, armaduras, traveses y contraventeos localizados sobre el eje B' y H se contó con una ventaja poco común, ésta fue el acceso por la parte exterior tanto para recibir el material como para su montaje, por lo que no fue factor para la programación de embarques.

A continuación se programó el segundo tramo de columnas y sus respectivas armaduras y contraventeos siguiendo la misma idea de la programación del primer tramo. De igual manera se hizo para el resto de la obra.

## V. CASO PRACTICO

---



Figura V.3

Vista de la obra donde se aprecia:

- a) Equipos de montaje
- b) Trailer con suministro de material
- c) Almacenamiento de estructura
- d) Maniobras de montaje y desembarco de estructura

## V. CASO PRACTICO

---

Este programa de piezas se hizo acompañar de un estudio donde se indicaba la frecuencia con la que se debían recibir los embarques en la obra para cumplir con el programa. Esto se hizo para :

- o Indicar al departamento de Embarques los días en que se deseaba recibir material.
- o Hacer ver a ese departamento la necesidad de los transportes para que en su caso, previera el alquiler de ellos.
- o Establecer una rutina de recepción de estructura que nos permitiera implantar en la obra un ritmo de montaje adecuado con el programa.

En seguida se verificó el avance tanto de los planos de detalle como de la fabricación de las piezas y se notó una desviación en dichos procesos respecto al plan original. De inmediato se dio la voz de alerta sobre esta situación y se llamó la atención de la dirección para que conminara a los departamentos involucrados para la corrección de la misma.

Sin embargo, el exceso de confianza o la falta de cuidado oportuno en el seguimiento de este programa de embarque acarrearía consecuencias desfavorables tales como:

- o Momentos críticos y de fricción con la coordinación general de la obra y con otros contratistas que vieron entorpecidas sus labores.
- o Retraso en el programa de avance general de la obra y la consecuente penalización económica.
- o El incremento de los costos de montaje (tanto de mano de obra como de equipos).

La labor de conciliación y la habilidad para entender y hacer entender las necesidades ajenas y propias para la ejecución del trabajo adquirieron gran importancia. De igual manera, la implementación de medidas que permitieran minimizar el impacto de este suministro desordenado de material.

Estas medidas aliviaron en gran parte los efectos mencionados en los primeros dos puntos anteriores, sin embargo el tercero de ellos significó una desviación de las expectativas económicas de la obra.

Cabe mencionar que mientras el criterio de productividad para los departamentos de Ingeniería, Producción y hasta el de Embarques, se basa en el tonelaje detallado, fabricado y embarcado respectivamente, el criterio de Montaje se basa en el área de obra liberada.

Esta práctica por desgracia resulta más común de lo imaginable. Para su erradicación es importante:

- a) El estudio concienzudo de los planos para identificar las especificaciones del material con el que se ha de construir, ya que en ocasiones éste es de importación y se debe programar tanto su laminación como su transporte y evidentemente las condiciones de compra.
- b) Dar seguimiento al status que guarda dicho material, tanto en su fabricación como tránsito.
- c) Comunicación estrecha y retroalimentación de la información entre los departamentos mencionados incluyendo compras.
- d) Y principalmente, conscientización sobre el tipo de bien y servicio que proporciona una empresa dedicada a la construcción.

El consumidor del producto suministrado por la empresa constructora compra una obra completa, construida con calidad en orden y con oportunidad dentro de un sistema. Es decir, compra un todo y no sus partes ensambladas en el caos.

## V. CASO PRACTICO

Una vez verificado el avance de los elementos fabricados y apunto de cumplirse la fecha de inicio de montaje, se programó la llegada de la primera grúa. El criterio empleado para la selección del equipo de montaje obedeció a que la empresa responsable de este trabajo contaba con dos grúas de su propiedad con capacidad suficiente en alcance y carga.

Se consideró el empleo de una tercer grúa de mayor alcance para más adelante, la cual sería rentada.

La primera grúa fue una GROVE de 20 ton con un brazo de 18 m suficiente para las labores de desembarco y montaje de los primeros tramos de columna. Esta selección se hizo después de revisar el peso de los elementos y su longitud.

Mientras se esperaba la llegada del primer embarque, se instalaron las máquinas de soldar y los equipos de corte, además de limpiar y lubricar la cuerda de las anclas.

Se sacaron niveles y se ubicaron en las contratuercas de nivelación en espera de las primeras columnas.

Se recibió el primer cargamento de estructura y se procedió a la cuantificación e identificación de las marcas indicadas en cada elemento comparándolas con lo indicado en la remisión. Esta actividad se repitió durante toda la obra ya que forma parte fundamental del sistema de control de la misma.

Desde el principio se encontraron anomalías en el marcado de las piezas y discrepancias con lo indicado en las remisiones, por lo tanto:

- a) Se solicitó al departamento de Ingeniería un juego de planos de fabricación con el propósito de identificar los elementos.
- b) Se indicó al departamento de Embarques en cada remisión recibida la variación encontrada.
- c) Se solicitó que el marcado de las piezas se hiciera en lugares más accesible y con símbolos más grandes.

Estas medidas contribuyeron a la solución parcial de esta situación, desafortunadamente esta problemática siguió presentándose durante toda la obra.

La solución definitiva consistiría en asignar a esta obra un solo supervisor que diera seguimiento de los elementos en su camino por los diferentes procesos de la planta, desde su habilitado hasta su embarque.

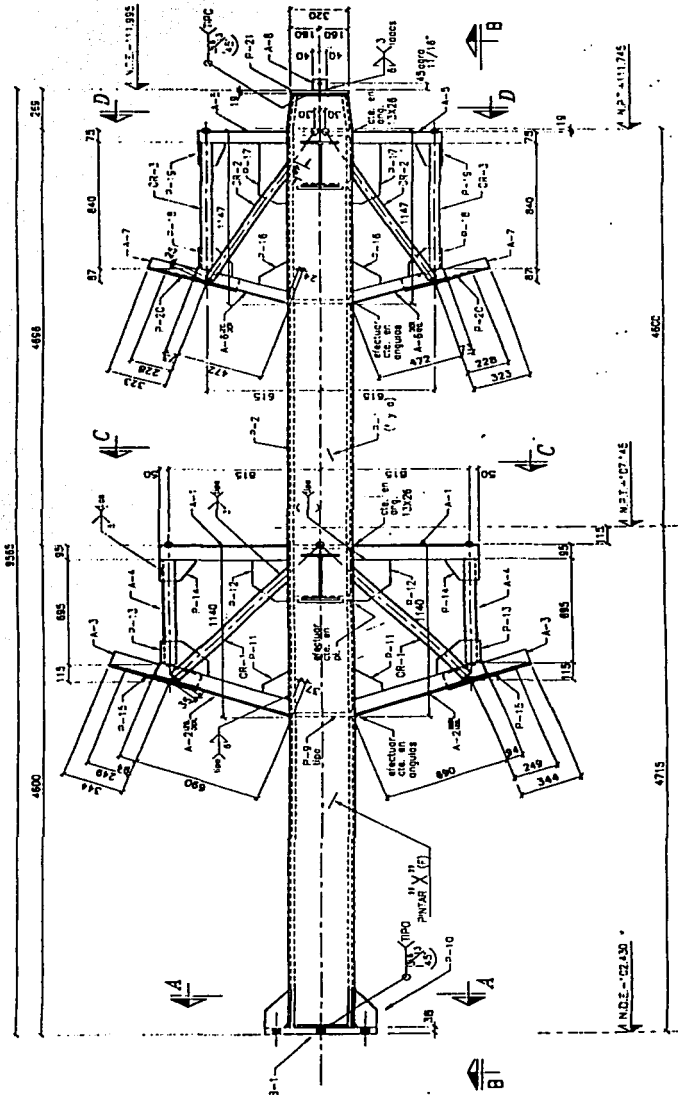
Una vez recibido el material, a pesar de no seguir el programa de embarques, se decidió:

- ⇒ Montar todos aquellos elementos que fueran convenientes.
- ⇒ El resto se almacenó por marca en área delimitadas permitiendo su fácil identificación y sin obstruir áreas destinadas para tránsito.

Se observó que las columnas carecían de orejas de izaje y de candados de ensamble. Nuevamente se retroalimentó esta información ya que este par de accesorios facilitan el montaje y agilizan el ensamble entre los tramos de columna. Para remediar este problema se ordenaron estos accesorios para colocarlos en campo en aquellas columnas que ya se habían recibido. Se ordenó que el resto de las columnas trajeran sus orejas de izaje y sus candados de acoplamiento desde la planta de producción. Figura V.5

Una vez montado el primer tramo de columna se verificó su nivelación y su plomeo procediendo a los ajustes correspondientes.

# V. CASO PRACTICO



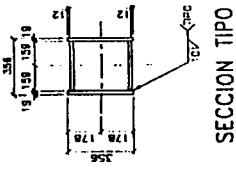
- En esta figura se ejemplifica:
- Una columna diseñada con conexiones soldadas.
  - Muñones para recibir armaduras y vigas que se soldarán posteriormente.
  - Marca "X" referencia de orientación para el montaje.
  - Detalles y especificaciones para el armado de la columna.

Figura V.4

## COLUMNAS 1K-3B'

NOTAS

- 1.- ACERO ESTRUCTURAL A-36
- 2.- SOLDADURA E-7018 AP-CADA SECCION A.W.S.
- 3.- PINTURA UNA MANO DE PRIMERO ANTICORROSION
- 4.- ESTE PLANO SE COMPLETENA CON LOS DETALLES: 3B-17A, 1B3-175, 3B-17C



## V. CASO PRACTICO

Después se procedió al montaje de las vigas y armaduras para dar inicio al apriete de las tuercas y al proceso de soldadura. El personal que realiza este trabajo ha sido previamente calificado; el avance en el soldado de la estructura tuvo también orden buscando liberar áreas completas para la incursión de otros trabajos.

Al iniciar el montaje del segundo tramo de columnas nuevamente el cuidado en el plomeo fue uno de los principales factores. La soldadura en el empate de ambos tramos de columna fue otro punto delicado al cual se le prestó especial atención inspeccionando el 100% de ellos.

Para agilizar los trabajos una vez que fue creciendo en altura el edificio se dispuso de varios andamios con escalera dispuestos estratégicamente para el acceso seguro del personal a las partes más altas y de hornos portátiles para guardar la soldadura.

Para esta etapa se contaba con tres grúas, equipos que se incrementaron hasta cinco unidades:

- ⇒ GROVE 20 ton 18 m de brazo
- ⇒ GROVE 20 ton 21 m de brazo
- ⇒ TADANO 20 ton 32 m de brazo
- ⇒ TADANO 20 ton 32 m de brazo
- ⇒ TADANO 20 ton 32 m de brazo

La utilización de todos estos equipos no hubiera sido necesaria si el suministro del material se hubiera hecho en orden y oportunamente. Para no crear caos con tantos equipos y brigadas de montaje se ocupó la ZONA II para el desembarco y clasificación de estructura, se procuró avanzar por entrejes completos de poniente a oriente y de norte a sur de manera escalonada en lo que a niveles se refiere.

El montaje de las 1,854 ton debía realizarse en 3 meses y medio según el programa. Esto implicaba:

$$\frac{1,854 \text{ ton}}{3.5 \text{ meses}} = 529.71 \text{ ton / mes}$$

$$\frac{529.71 \text{ ton / mes}}{4 \text{ sem / mes}} = 132.43 \text{ ton / semana}$$

$$\frac{132.43 \text{ ton / mes}}{5 \text{ días / semana}} = 26.48 \text{ ton / diarias}$$

Capacidad de trailers = 20 a 30 ton

Por lo tanto, se programó un embarque diario de lunes a viernes.

Este sencillo calculo nos permitió monitorear semanalmente el avance del suministro de material. Del mismo modo se calculó el avance del montaje y soldadura de la estructura. Al comparar esos avances contra las expectativas programadas se determinaron las desviaciones y se pudieron adoptar las medidas necesarias para su corrección.

El seguimiento de los avances a través de este método o criterio sólo es real si se apega al programa de embarque. Sin embargo nos permitió partir de una base general misma que se ajustó al criterio de avance por piezas montadas y soldadas.



## V. CASO PRACTICO

---

A la problemática ya mencionada de la falta de orden en el suministro de la estructura, se agregó la escasez del mismo. Esto dio lugar a la toma de decisiones en planta que permitieran elevar la producción. Mientras tanto en campo la programación de los equipos y de las brigadas adicionales de montaje tuvo que preverse para el momento en que se regularizaron los embarques.

Una vez que llegaron los embarques, fue necesario incrementar equipos, brigadas, horarios de trabajo e incluso se implementó un segundo turno. Todo esto contribuyó al encarecimiento del montaje en pro de salvaguardar el compromiso establecido.

A pesar de esto, fue necesario ceder la construcción del tercer edificio, hacer una reprogramación para la entrega de los dos primeros y cambiar el sistema de conexiones para el segundo edificio.

El cambio en el sistema de conexiones consistió en que serían atornilladas en lugar de ser soldadas. Esto se hizo buscando una mayor agilidad en el montaje. Figura V.5

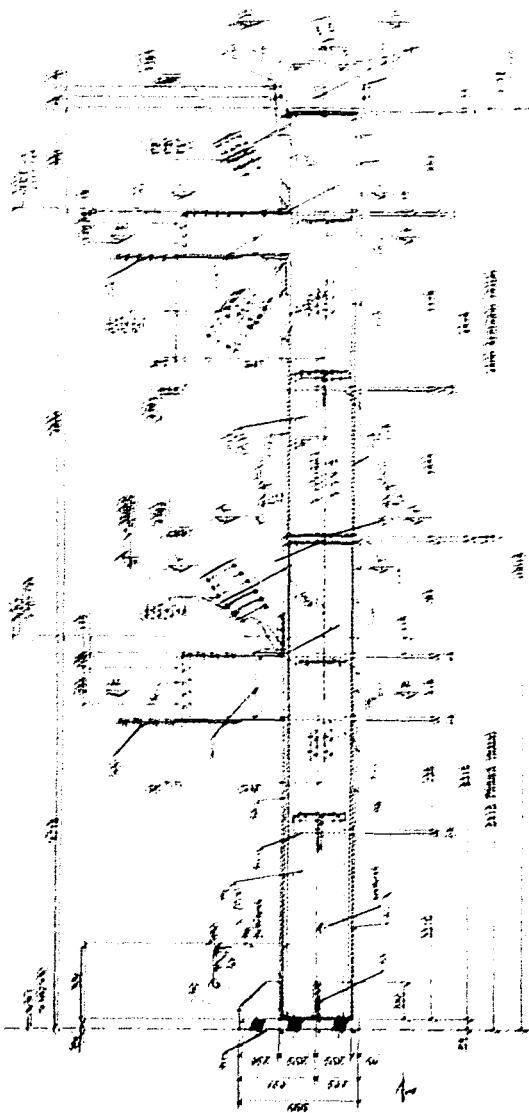
Esta medida fracasó debido a factores como:

- a) Hacer nueva ingeniería (planos de detalle).
- b) El diseño de las conexiones atornilladas dio como resultado una gran cantidad de barrenos para este cometido, incrementándose los tiempos de fabricación.
- c) La gran variedad de tornillos requeridos implicó tiempo y personal para:
  - ⊖ Elaboración de lista de tomillería que indicaba el diámetro, longitud y cantidad destinados para cada conexión.
  - ⊖ La compra, recepción en planta y control de los mismos.
  - ⊖ Almacenamiento y clasificación en obra de este material.
  - ⊖ Galvanizado de la tomillería y transporte de la misma.
- d) Una fabricación deficiente ante la precisión que requería este trabajo.
- e) El tiempo destinado para el apriete de tal cantidad de tornillos (22,000 piezas)
- f) Una zona tan recargada de contraventeos, como lo fue la zona de elevadores incrementando el número de conexiones.

Aunque la tendencia es cada vez mayor a la estructuras resueltas con conexiones atornilladas, en este caso no resultó lo más acertado. Nuevamente el factor oportunidad aunado a un mejor diseño en las conexiones que significara una disminución en la cantidad de tornillos, lo mismo que la estandarización de los mismos, seguramente habría contribuido a revertir este resultado.

Finalmente la conclusión de los trabajos prevista para 14 semanas se elevó hasta 20 semanas y en lugar de montarse 1,854 ton sólo se montaron 1,227 ton.

Sin embargo el loable esfuerzo realizado por todos los participantes impidió que la desviación en el cumplimiento del programa fuera mayor, y el impacto sobre los planes del cliente logró minimizarse gracias a la coordinación de los trabajos de los diferentes contratistas participantes en la obra.

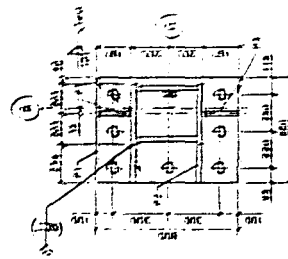


1. PIANO TERRA  
 2. PIANO PRIMO  
 3. PIANO SECONDO  
 4. PIANO TERZO  
 5. PIANO QUARTO  
 6. PIANO QUINTO  
 7. PIANO SESTO  
 8. PIANO SEPTIMO  
 9. PIANO OTTAVO  
 10. PIANO NONO  
 11. PIANO DECIMO  
 12. PIANO UNDICESIMO  
 13. PIANO DODICESIMO  
 14. PIANO TIRAZZO  
 15. PIANO SOCCO

- 1. PIANO TERRA
- 2. PIANO PRIMO
- 3. PIANO SECONDO
- 4. PIANO TERZO
- 5. PIANO QUARTO
- 6. PIANO QUINTO
- 7. PIANO SESTO
- 8. PIANO SEPTIMO
- 9. PIANO OTTAVO
- 10. PIANO NONO
- 11. PIANO DECIMO
- 12. PIANO UNDICESIMO
- 13. PIANO DODICESIMO
- 14. PIANO TIRAZZO
- 15. PIANO SOCCO

PIANTA A 1

COLUMBA 18-21



- DETALLE DI PLACA BASE.

## V. CASO PRACTICO

### V.2.2 Protección del acero contra el fuego

La resistencia al fuego de los miembros de acero estructural puede incrementarse considerablemente aplicándoles cubiertas protectoras de concreto, yeso, fibras minerales, pinturas especiales y algunos otros materiales. El espesor y material de protección por usarse depende del tipo de estructura, la probabilidad de que se presente un incendio y de factores económicos.

Aunque el concreto es un material de construcción muy común y aunque en función de su masa es un material protector muy satisfactorio, su costo de instalación es extremadamente alto y su peso es considerable. Como consecuencia, en la mayoría de las estructuras de acero, los materiales de protección rociados o lanzados han reemplazado casi por completo al concreto.

Los materiales protectores rociados constan usualmente de fibras minerales o compuestos cementantes. Las fibras minerales usadas hasta hace pocos años eran básicamente a base de asbesto. Actualmente el uso de este material se ha descontinuado debido a sus efectos nocivos para la salud y se ha substituido por otras fibras. Los materiales cementantes protectores contra el fuego están compuestos de yeso, perlita, vermiculita, etc.

La industria del acero ha llevado a cabo una gran cantidad de investigaciones en busca de nuevos métodos de protección. Entre éstos se cuentan el recubrimiento de los miembros de acero con pinturas aislantes y expansivas. Al calentarse a ciertas temperaturas, estas pinturas se carbonizan formando una espuma expansiva alrededor de los miembros que protege. Este fue el sistema empleado en los edificios del centro de acopio y distribución de Coppel Cd. de México.

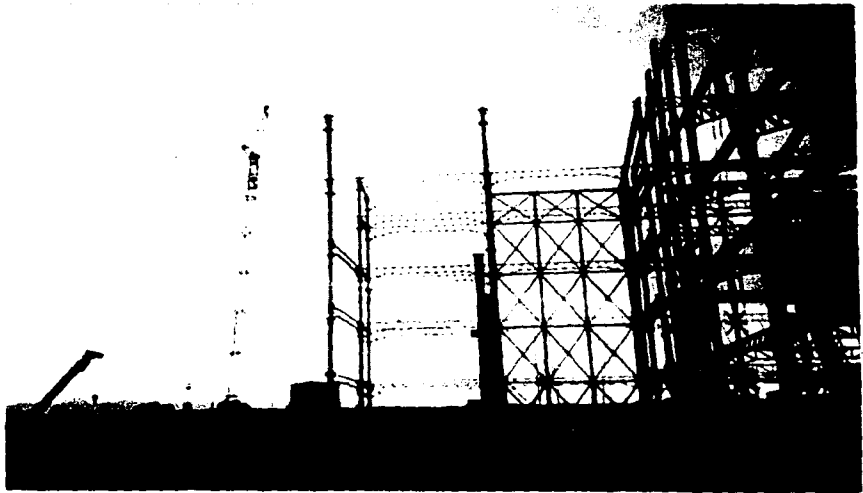


Figura V.6

## V. CASO PRACTICO

---

### V.2.3 Control de calidad en campo

Principalmente este concepto se refiere a garantizar las propiedades que debe guardar la ejecución del trabajo en cuestión.

En el caso de ambos edificios, resultó común el cuidado de aspectos tales como:

- a) La correcta ubicación de los elementos que conforman la estructura.
- b) El alineamiento y la ortogonalidad requerida entre ellos.
- c) El plomeo de las columnas en ambos tramos.
- d) El correcto apriete de las tuercas de los anclajes.
- e) La verificación de los niveles, tanto de desplante como de los entrepisos y cubierta.
- f) La aplicación de los retoques de pintura.
- g) El ensamble pleno entre los elementos
- h) La correcta aplicación de la soldadura entre los empates de las columnas.

Esta vigilancia debe obedecer a un procedimiento que guarda orden y se va monitoreando y registrando para mantener un control útil para el avance de la obra.

Desde el principio se acordó con la supervisión de la obra que sólo aquellas soldaduras efectuadas en campo serían inspeccionadas y motivo de reparación, ya que todo elemento salido de planta debió previamente ser inspeccionado y liberado para su montaje una vez llegado a la obra.

Esta medida agiliza el proceso de montaje y corrige desde su origen los posibles defectos ya que se definen criterios y se identifican las causas de los mismos.

En el caso del primer edificio, la soldadura aplicada en la gran mayoría de los elementos fue de filete y el método de inspección fue con líquidos penetrantes.

La inspección con líquido penetrante es un método no destructivo para localizar grietas superficiales y pequeños poros invisibles a simple vista. Hay en uso dos tipos de inspección de penetración, que se definen por la sustancia penetrante a usar, el de sustancia fluorescente y el de sustancia colorante, ésta última fue la aplicada en este proyecto.

En la inspección con penetrante colorante se aplica en cantidad suficiente a la superficie de la parte que va a ser examinada. La acción capilar arrastra al líquido al interior de las aberturas de la superficie. Luego se elimina el exceso de líquido de la pieza, y se usa un revelador para sacar el penetrante a la superficie, el contraste entre el material colorante y el fondo hace posible detectar hasta pequeñas trazas de penetrante.

Como interviene la penetración de aberturas diminutas, la parte por inspeccionar debe estar perfectamente limpia y seca. Cualquier material extraño puede cerrar las aberturas y conducir a conclusiones falsas. El penetrante se aplica por inmersión, por aspersión o a cepillo.

En la inspección con penetrante colorante se emplean colorantes visibles a la luz ordinaria. Debe recordarse que sólo se detectan por este método defectos superficiales.

Por otra parte, la prueba aplicada para inspeccionar los empates entre columnas de ambos edificios fue de ultrasonido.

## V. CASO PRACTICO

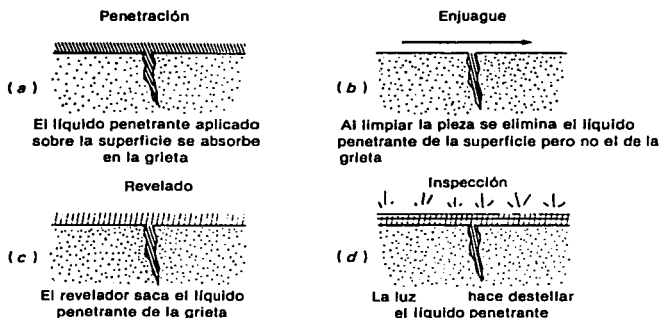


Figura V. 7 Defecto típico indicado por el método del líquido penetrante colorante

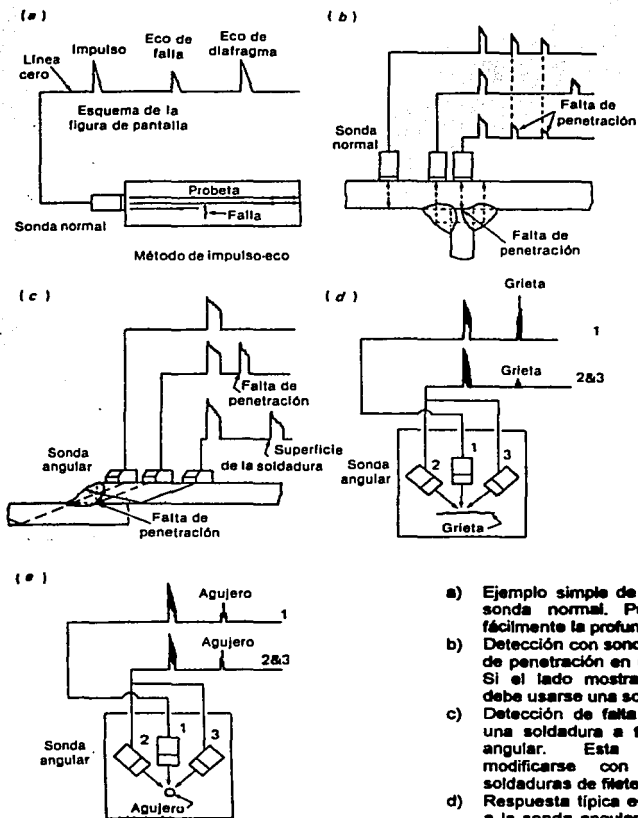
La inspección ultrasónica es un método supersensible para detectar, localizar y medir defectos tanto superficiales como subsuperficiales en los metales. Las fallas que no pueden descubrirse por otros métodos, y hasta las grietas suficientemente pequeñas para clasificarse como microseparaciones, pueden detectarse por éste. En la inspección práctica de soldaduras, la sensibilidad del proceso se restringe a menudo por diseño, o ajustando el equipo para dar una respuesta equivalente a una sensibilidad del 2% del espesor del metal, para obtenerse así resultados comparables con los obtenidos por inspección radiográfica.

La inspección ultrasónica se basa en el hecho de que una discontinuidad o cambio de densidad actúa como reflector de las vibraciones de alta frecuencia propagadas a través del metal. La unidad buscadora del equipo ultrasónico, del tipo de pulsación-eco, contiene un cristal de cuarzo u otro material piezoeléctrico que cambia de dimensiones al aplicar una fuerza electromotriz. Usando corriente alterna, los cambios dimensionales ocurren alternadamente en una dirección, y luego en la otra, y la rapidez de cambio varía con la frecuencia de la fuerza electromotriz aplicada. Esto pone al cristal a vibrar rápidamente, y al hacerlo imprime vibraciones mecánicas de la misma frecuencia a los materiales con los que hace contacto.

Cuando se sostiene una sonda ultrasónica contra un metal, las ondas vibratorias se propagan a través del material hasta que llegan a una discontinuidad o a un cambio de densidad. En estos puntos, parte de la energía vibratoria se refleja hacia atrás. Si entre tanto se corta la corriente que ha causado la vibración, el cristal de cuarzo (sonda) puede actuar entonces como receptor, para captar la energía reflejada. La vibración reflejada causa presión en el cristal de cuarzo, la cual se traduce en la generación de una corriente eléctrica. Alimentada a un tubo de rayos catódicos (TRC), esta corriente produce deflexiones verticales en la línea de base horizontal. La figura que aparece en la cara del tubo es así una representación de la señal reflejada, y del defecto. El ciclo de transmisión y recepción se repite a razón de 60 a 1000 veces por segundo.

Hay dos tipos disponibles de presentación de TRC, el de radiofrecuencia (RF) y el de video. La mayoría de las unidades comerciales presentan el tipo de video. En la figura V.7 se muestra la figura de video que se produce en el tubo de rayos catódicos con diferentes tipos de defectos. Puede verse fácilmente que se requiere experiencia para la interpretación de las desviaciones respecto a la línea horizontal del osciloscopio, y que se necesita un grado similar de experiencia para la operación del equipo. Las interpretaciones se basan en muestras estándares de figuras hechas con placas de referencia, las cuales se preparan en concordancia con los procedimientos aprobados por la ASME, y otros. Se ofrecen para uso en el campo de equipos de ultrasonido de pulsación-eco accionados por batería.

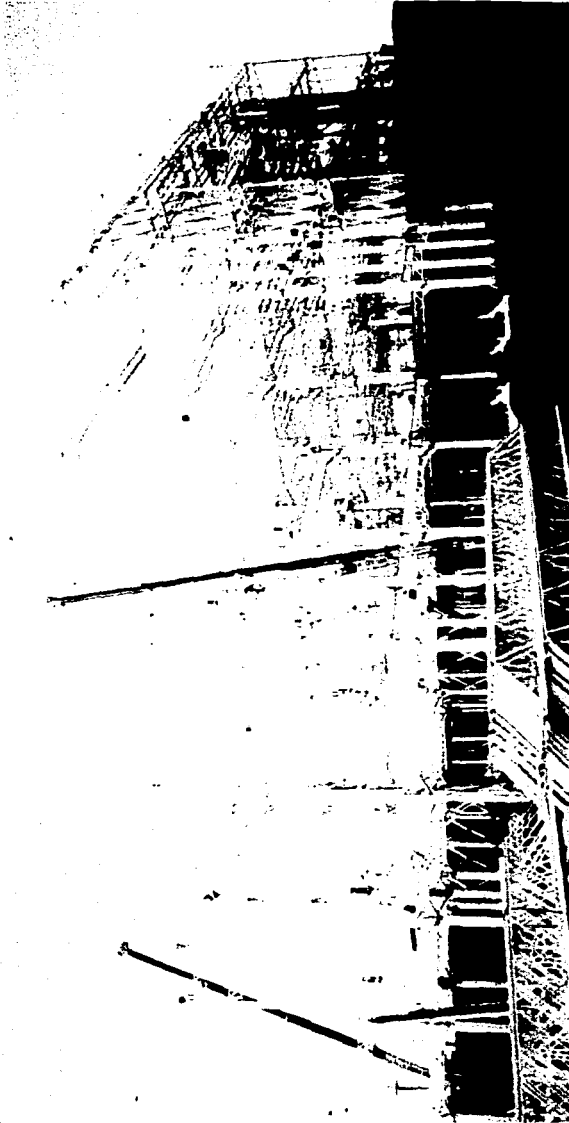
## V. CASO PRACTICO



- Ejemplo simple de la aplicación de la sonda normal. Puede determinarse fácilmente la profundidad de la falla.
- Detección con sonda normal de la falta de penetración en un cordón de filete. Si el lado mostrado es inaccesible, debe usarse una sonda angular.
- Detección de falta de penetración en una soldadura a traslape con sonda angular. Esta técnica puede modificarse con éxito para las soldaduras de filete y a tope.
- Respuesta típica en un reflector plano a la sonda angular cuando se cambia el ángulo de incidencia. Contrátese este caso con e).
- Respuesta típica de un reflector esférico a la sonda angular cuando se cambia el ángulo de incidencia.

Figura V.8 Dibujos típicos de video que se observan en el tubo de rayos catódicos por el método de prueba de ultrasonido

## V. CASO PRACTICO



Vista de la obra donde se aprecia:

- a) Maniobra de montaje
- b) Equipos de montaje
- c) Almacenamiento de estructura secundaria joist
- d) El orden que procura guardar el proceso de montaje para dar estabilidad, seguridad y agilidad a la construcción.

Figura V.9

## V. CASO PRACTICO

---

El criterio de inspección para las conexiones atornilladas del segundo edificio se orientó principalmente al cuidado de los siguientes puntos:

- a) Recabar los certificados de calidad de la tornillería empleada.
- b) Diseñar una lista de ubicación de la tornillería. Esta lista contiene datos sobre la calidad, longitud, diámetro, agarre, cantidad y tipo de junta donde se aplican.
- c) Destinar una persona en obra cuya única responsabilidad sea recibir, organizar, administrar y dar salida a la tornillería. Esta medida permitió detectar con oportunidad las deficiencias que se presentaron y tomar las medidas pertinentes para subsanarlas.
- d) Organizar brigadas definidas tanto de colocación como de apriete. Esto permitió guardar un orden, llevar una secuencia, un ritmo, y mantener control sobre este proceso.
- e) Revisar y dar mantenimiento a las herramientas de apriete así como a los compresores que proporcionaban presión a las mismas. Este punto resultó importante para mantener una continuidad en los trabajos. Al tener una persona a cargo de esta responsabilidad se eliminaron fallas optimizando la operación de los equipos.
- f) Mantener tomas de corriente independientes para evitar el entorpecimiento de esta actividad.
- g) Otro punto de cuidado es la revisión del correcto alineamiento y dimensionamiento de los barrenos de la estructura. Desafortunadamente este fue uno de los defectos más recurrentes y costosos debido a la deficiente fabricación. Las medidas correctivas fueron principalmente el retiro y la correcta alineación de las placas barrenadas y el barrenado con equipo de corte en forma de ojal (barreno oblongo) para posteriormente rellenar el exceso de corte con soldadura.
- h) La verificación de la tensión en los tornillos fue de especial cuidado en la supervisión de este trabajo. Para ello se contó con un dispositivo para medición directa de tensión, este dispositivo sirvió para:
  - ⇒ Confirmar que el sistema de apretado desarrolla la tensión requerida en el tornillo según la tabla V.1
  - ⇒ En su caso, para calibrar la llave de torsión.
  - ⇒ Para que la cuadrilla que instalara y apretara los tornillos comprendiera el método empleado.

El dispositivo de medición de tensión (torsímetro) deberá someterse cada año a calibración por un laboratorio competente.













A continuación se muestra la tabla que sirvió de parámetro en la revisión efectuada en obra.



## V. CASO PRACTICO

Tamaño nominal del tornillo		Tensión mínima en kg	
mm	pulg	Tornillos A 325	Tornillos A 490
12.7	½	5400	6800
15.9	5/8	8600	10900
19.1	¾	12700	15900
22.2	7/8	17700	22200
25.4	1	23100	29000
28.6	1 1/8	25400	36300
31.8	1 ¼	32200	46300
34.9	1 3/8	38600	54900
38.1	1 1/2	46700	67100
Igual al 70% de la resistencia mínima a la tensión de los tornillos, según las especificaciones ASTM			

**Tabla V.1 Tensión requerida en los sujetadores en condiciones críticas al deslizamiento y en conexiones sujetas a tensión directa.**

Tipo	A325		A490	
	Tornillos	Tuerca	Tornillos	Tuerca
1		<p>(1) Marca del fabricante</p>  <p>Los arcos indican grado C</p>  <p>Marca de grados D, DH, 2 ó 2H</p>		
2	 <p>Nota: las 3 líneas radiales a 60° son obligatorias</p>	Igual al Tipo 1	 <p>Nota: las 6 líneas radiales a 30° son obligatorias</p>	Igual al Tipo 1
3	<p>(3)</p>  <p>Nota: el subrayado es obligatorio</p>	<p>(3)</p>  	<p>(3)</p>  <p>Nota: el subrayado es obligatorio</p>	
<p>(1) Opcionalmente pueden usarse además 3 líneas radiales a 120°</p> <p>(2) También es aceptable el Tipo 3</p> <p>(3) Opcionalmente puede agregarse una marca que indique que es resistente a la corrosión atmosférica</p>				

**Figura V.10 Identificaciones obligatorias y opcionales de conjuntos de tornillos y tuercas de alta resistencia.**

## V. CASO PRACTICO

---

### V.2.4 Seguridad en campo

Este aspecto es definitivamente uno de los más importantes en la realización de todo proyecto. Las implicaciones económicas, sociales y humanas que conlleva este concepto deben considerarse en su justa dimensión.

Concentrándose en el área de montaje debemos considerar que se trata de una de las profesiones más peligrosas.

La buena salud es una necesidad muy importante para el trabajador de montaje, por lo que debe regular con cuidado sus hábitos de vida para mantenerse en buenas condiciones físicas. Es responsabilidad del residente depurar el equipo humano manteniendo una política firme ante hábitos indeseables como el consumo de alcohol y/o de drogas dentro y fuera de la obra.

Por otra parte el personal puede estar expuesto a todo tipo de condiciones climatológicas, por lo que se debe considerar con cuidado la importancia que tiene un vestuario adecuado, que le suministre protección suficiente sin impedir sus movimientos.

En este caso al trabajar en las alturas, en época de lluvias se tuvo que considerar vías de acceso suficientes, para permitir el fácil y seguro acceso a las zonas de trabajo y en su caso el ágil desalojo de las mismas.

La seguridad para el trabajador, así como para otros que intervengan en la misma operación, no sólo depende del buen juicio de su supervisor, sino también de cada individuo. Pueden usarse equipos de seguridad, tener las precauciones adecuadas, herramientas, equipos y métodos seguros para la ejecución de los trabajos, pero los accidentes sólo se evitarán cuando se logre una conscientización del personal encargado y ejecutante al grado de llegar a una cultura de trabajo seguro. Por lo tanto en esta obra se implementó un supervisor de seguridad cuya labor principal fue en este sentido.

En general se puede decir que las buenas prácticas de montaje de las estructuras de acero son el resultado de precauciones dictadas por el sentido común que además de evitar accidentes son la mejor manera de hacer un trabajo.

Antes de avanzar, siempre debe encontrarse la manera segura de hacer un trabajo. Las normas son responsabilidades que deben aceptarse y usarse.

La prevención de accidentes debe hacerse sobre la base de la cooperación. Todos los supervisores deben de cooperar sin restricciones y poniendo en vigor todas las recomendaciones o sugerencias prácticas que ayudan a reducir al mínimo los riesgos de la obra.

El logro de la productividad con base en la seguridad es un principio básico de calidad; la seguridad y el bienestar del personal son de vital interés para todo profesional honesto y responsable.

## V. CASO PRACTICO

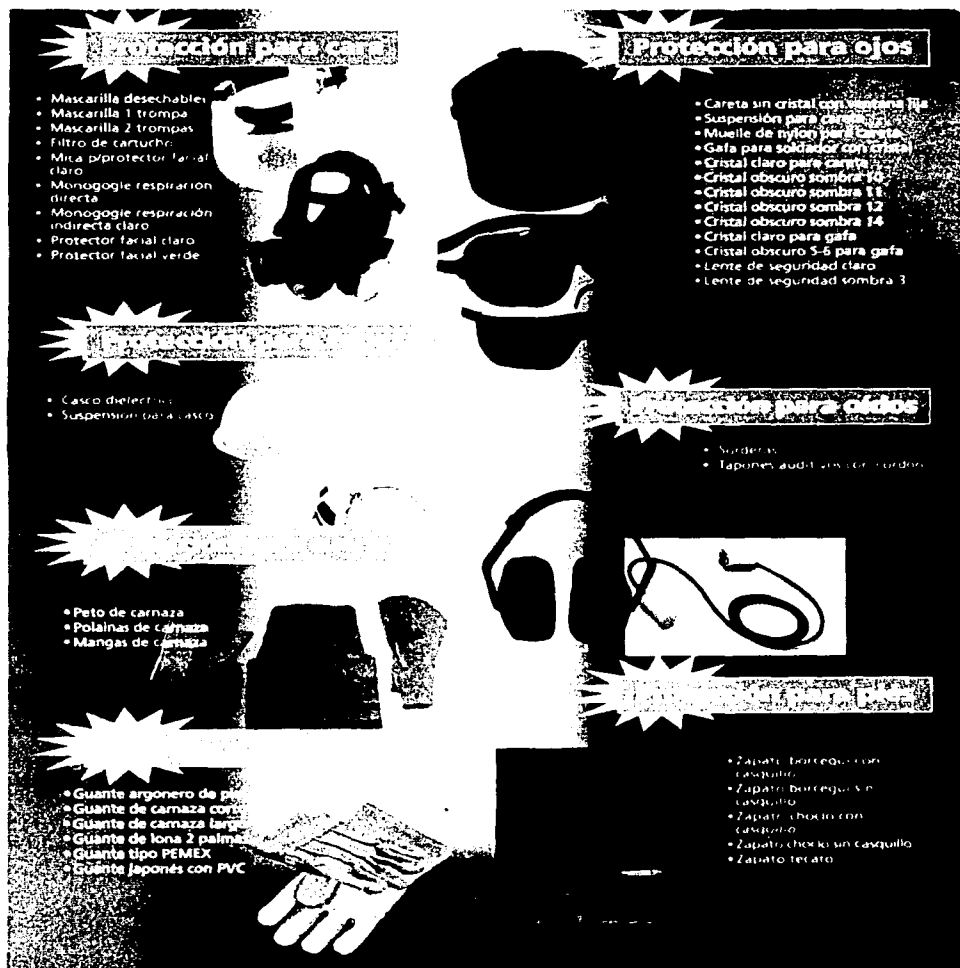




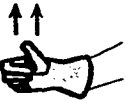
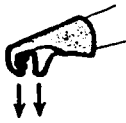









Figura V.11 Algunos implementos básicos de seguridad

## APENDICE

<p>1.</p>  <p><b>Levantarse</b></p>	<p>2.</p>  <p><b>Bajar</b></p>	<p>3.</p>  <p><b>Alto</b></p>	<p>4.</p>  <p><b>Girar</b></p>
<p>5.</p>  <p><b>Levantarse el gancho</b></p>	<p>6.</p>  <p><b>Bajar el gancho</b></p>	<p>7.</p>  <p><b>Avanzar</b></p>	<p>8.</p>  <p><b>Mover lentamente (se muestra la señal usada para izar)</b></p>
<p>9.</p>  <p><b>Alto de emergencia</b></p>	<p>10.</p>  <p><b>Izar el gancho y bajar la carga (mantener la carga al mismo nivel)</b></p>	<p>11.</p>  <p><b>Bajar el gancho y subir la carga (mantener la carga al mismo nivel)</b></p>	
<p>12.</p>  <p><b>Asegurar todo</b></p>	<p>13.</p>  <p><b>Detener las orugas</b></p>		

Señales de comunicación entre montador y operador de grúa

## **VI. CONCLUSIONES**

---

## **CAPITULO VI CONCLUSIONES**

---

**Mario Francisco Cerdán González**

**Ingeniería Civil**

## VI. CONCLUSIONES

El ingeniero civil es mucho más que un profesional de la construcción. Es un profesionista que participa activamente en la creación de la infraestructura que coadyuva al desarrollo de la sociedad. Pero considero que el impacto causado por su desempeño profesional en su pequeño entorno es tan importante como las grandes obras que diseña, calcula y construye con todo y sus beneficios económicos. Este espíritu, considero, es promovido por una formación característica de los profesionistas egresados de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La mejor preparación del ingeniero le permite conocer nuevas tecnologías, métodos y sistemas que redundarán en cada vez mejores resultados tanto de seguridad como económicos, estéticos y ergonómicos.

Esta preparación también debe crear conciencia de que los beneficios alcanzados por la sociedad, a través de la aplicación de estos conocimientos deben ser congruentes con la salud, seguridad y oportunidad de progreso de quienes participan en esa construcción. Es decir, no se puede pretender alcanzar una mejor calidad de vida para unos en detrimento de la de otros; y esto no es un arquetipo platónico, para un ingeniero que tiene oportunidad de tratar con el campo es una obligación cotidiana. Los conocimientos que forman parte de nuestra preparación sólo se pueden utilizar integralmente cuando se consolidan en una educación capaz de permitirnos vivir en sociedad y que nos conducen a una cultura que transmite lo mejor de nosotros mismos.

Es por eso que el ingeniero debe interesarse por complementar su preparación técnica con aspectos culturales y humanísticos que le permitan desarrollar plenamente sus capacidades, y lo más conveniente, es empezar con ello desde la etapa de estudiante.

El estudiante de Construcción I que entabla contacto por primera vez con las estructuras metálicas conoce ahora su materia prima, historia, evolución, métodos de fabricación, desarrollo y nuevas tendencias, es decir, comienza por el principio. Esto permite crear en el futuro profesionista de ingeniería la inquietud por investigar más acerca de este noble material, y aprovechar su gran versatilidad; quizás involucrarse en procesos referentes a su obtención encaminados a las necesidades propias de la construcción. Este marco histórico permite observar que las cosas no siempre han sido como las conocemos y nos hace reflexionar acerca de los alcances a los que podríamos llegar.

A través de este trabajo el estudiante pudo reconocer las oportunidades que brinda el acero estructural como material de construcción, lo sensibilizó del creciente potencial que tienen las estructuras metálicas y lo concientizó de las ventajas que ofrece este valioso recurso.

Por otra parte, también se muestran varios aspectos que han determinado el desarrollo y calidad de la estructura de acero en México; particularmente en el caso de la Cd. De México con un subsuelo de características poco favorables para la construcción y afectado de manera importante por los sismos. También se enfatizó sobre la problemática que ha hecho que este tipo de construcción no tenga la utilización que podría tener. Este trabajo pretende despertar el interés del alumno tempranamente en el curso de la carrera por las estructuras de acero y contribuir con su difusión.

Hay mucho que hacer para mejorar, actualizar y economizar los sistemas de trabajo de quienes hoy participan de alguna manera u otra con la utilización del acero en la construcción; y el ingenio, creatividad, así como las modernas herramientas tecnológicas que poseen las nuevas generaciones pueden lograrlo. Así que hay que examinar, orientar y estimular todos los esfuerzos de estos nuevos profesionistas para desarrollar un recurso tan útil y de tan gran potencial.

Otro aspecto destacable sobre el que se hizo énfasis en este trabajo fue el hecho de la "Comunicación". De nada sirve tener el mejor proyecto, la planeación más esmerada y el programa más exacto, si no existe coordinación entre las partes involucradas, y sólo se puede llegar a ésta por medio de la comunicación. Comunicar significa transmitir o hacer saber a otro lo que se piensa y lo que se quiere, por supuesto la comunicación en un ámbito profesional debe guardar una

## VI. CONCLUSIONES

---

formalidad y estructura que garantice su efecto. Por lo tanto considero que un ingeniero debe ser un profesional de la comunicación ya que la responsabilidad de su quehacer lo amerita.

Si se desea lograr un proyecto de calidad, seguro y económico es necesario que el trabajo interdisciplinario entre todos aquellos que desarrollan cada una de las etapas aquí descritas, sea oportuno, veraz y honesto.

El alumno pudo conocer cuales son esas etapas, el orden que ocupan en ese proceso, en que consisten, su problemática, la manera en que están interactuando y la importancia de la retroalimentación entre ellas y como se lleva a cabo tal.

Respecto al caso práctico, quiero enfatizar el sencillo, pero fundamental secreto que implica la construcción con estructura metálica: el **ORDEN**. Tener un sistema ordenado para todas y cada una de las actividades que implica este proceso es la clave para mantener siempre el control de la obra. Esto no significa que dejarán de presentarse problemas y contingencias, pero si que se podrán vislumbrar algunos y otras se podrán mantener dentro de ciertos márgenes de bajo impacto.

Como recomendación a todo ingeniero dedicado a la construcción propongo la elaboración de las memorias correspondientes a cada proyecto donde participe,, de tal manera que el compendio de las mismas sirva para la elaboración de un manual que facilite la transmisión de conocimiento y experiencia para futuras generaciones. De esta manera quienes comiencen en el ejercicio de esta labor pueden iniciar con pasos más firmes y seguros, teniendo oportunidad de enriquecer estas mismas memorias con las propias.

Por último quiero hacer una reflexión sobre la actitud con la que el recién egresado enfrentará el ejercicio profesional. Puede ser que fallen muchos conocimientos por adquirir aún, pero que éste no menoscabe su confianza, porque estoy seguro que harán su mejor esfuerzo, pondrán lo mejor de ustedes mismos para cumplir con su trabajo de la manera más honesta y responsable. La toma de decisiones implica un proceso de exclusión. Cuando se toma una decisión se toma una dirección, por lo tanto, la principal responsabilidad de un ingeniero profesional es tomar las decisiones que le permitan dirigir cualquier proyecto.

## BIBLIOGRAFIA

---

Altos Hornos de México  
Manual AHMSA para Construcción con Acero  
AHMSA

Altos Hornos de México  
Compendio del Manual AHMSA  
AHMSA

Bresler Boris  
Lin T.Y.  
Scalzi John B.  
Diseño de Estructuras de Acero  
Limusa-Wiley, 1ª. Edición

Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero de México  
Diez Años de Estadística Siderúrgica  
CANACERO, 15ta. Edición

Compañía Siderúrgica de Guadalajara  
Manual para Constructores  
CSG

Esteban y Lasheras José María  
Tecnología del Acero  
Zaragoza, 2ª. Edición

Fenton Frank  
Steel's First Century  
North American Steel Journal  
Revista Oficial de CANACERO

González Lojero María Teresa  
Steel and Construction  
North American Steel Journal  
Revista Oficial de CANACERO

Horwitz Henry  
Soldadura, Aplicaciones y Práctica  
Alfaomega, 1ª. Edición

Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A.C.  
Manual de Construcción en Acero, Tomo I  
Limusa, 1ª. Edición



## BIBLIOGRAFIA

---

Juárez Blanca  
Fernández Diego Antonio  
Long Road Ahead  
North American Steel Journal  
Revista Oficial de CANACERO

Mc Cormac Jack C.  
Diseño de Estructuras Metálicas, Método ASD  
Alfaomega, 4ª. Edición

Pérez Moreno Lucia  
Steel Forever Young  
North American Steel Journal  
Revista Oficial de CANACERO

Rodríguez Soto Héctor  
Ejecución de Proyectos de Acero Estructural  
Revista Ingeniería Civil, Acero Estructural  
Colegio de Ingenieros Civiles de México

Rodríguez Soto Héctor  
Tendencias Actuales y Futuras sobre el Uso del Acero en la Construcción en México  
IX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural  
Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural A.C.

Varela Rogelio  
Iron Ore  
North American Steel Journal  
Revista Oficial de CANACERO

## REFERENCIAS

---

1. Habibullah, A. "ETABS. Extended Three Dimensional Analysis of Buildings Systems" Computers and Structures, Inc. Berkeley, C.A. 1992
2. Asamblea de Representantes del Distrito Federal. "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal" Agosto 2, 1993
3. Dudek, Paul H. "A Staggered Truss High-rise Housing System", Massachusetts Institute of Technology, Department of Architecture, December 1968
4. Martínez-Romero, E. "Sistema Estructural a base de Armaduras Alternadas para el Hotel Fiesta Americana Aeropuerto". México, D.F. Memoria de Cálculo Inédita.
5. Martínez-Romero, E. "Algunas Consideraciones Económicas y Constructivas en la Formulación de una Alternativa Estructural en Acero para un Edificio Alto". IV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. León, Gto. Mayo 1984
6. Deierlein, G.G. Sheik, T.M., Yura, J.A. and Jirsa, J.O., "Beam-Column Moment Connections for Composite Frames: Parts I and II". Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 115, No.11, 1989, pp. 2585-96
7. Vallenilla, C.R. and Bjorhovde, R. "Behavior of Composite Frames During Construction" Journal of Constructional Steel Research, Vol. 15,, Nos. 1 y 2, 1990, pp 3-21