

2ej 140



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DE  
ESTRUCTURAS DE ACERO.**

**TRABAJO ESCRITO**

Que para obtener el título de:

**INGENIERO CIVIL**

P r e s e n t a :

**ARTURO ISAIAS REYES AUDIFRED**



México, D. F.

1981



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## **INDICE**

### **PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS DE ACERO**

- 1. INTRODUCCION**
  
- 2. FABRICACION**
  - 2.1 Consideraciones Generales**
  - 2.2 Acero Estructural**
  - 2.3 Perfiles Comerciales**
  - 2.4 Consideraciones en la Ejecución de las Obras**
  
- 3. ERECCION Y MONTAJE**
  - 3.1 Consideraciones Generales**
  - 3.2 Procedimientos de Montaje**
  - 3.3 Equipo de Montaje**
  
- 4. CONEXIONES REMACHADAS, ATORNILLADAS Y SOLDADAS**
  - 4.1 Selección del Tipo de Junta**
  - 4.2 Conexiones Remachadas**
  - 4.3 Conexiones Atornilladas**
  - 4.4 Conexiones Soldadas**
  
- 5. CONCLUSIONES**

## C A P I T U L O I

## I N T R O D U C C I O N

El acero, por su abundancia, durabilidad, versatilidad y por su economía, es el material metálico más útil al hombre. Es utilizado para la fabricación de maquinaria, herramienta y estructuras de acero tanto de puentes como de edificios. Para las estructuras de acero se establecieron cada una de las partes que forman su procedimiento constructivo.

En todo proyecto de Ingeniería en el que se haga uso de las estructuras de acero, una parte importante del proceso constructivo se inicia en el taller con la fabricación de todos los elementos que forman dichas estructuras.

La calidad de la construcción en conjunto, dependerá en gran parte de los procedimientos aplicados en la fabricación y en el montaje.

En la etapa de fabricación y durante la erección de la estructura, el acero queda sujeto a condiciones severas de trabajo debido a la aplicación de calor, presión, golpes, cargas imprevistas, etc. Las que pueden reducirse mediante la aplicación del procedimiento constructivo adecuado.

En el montaje de estructuras de acero lo que más se utiliza es equipo para izar las piezas de estructuras, dependiendo del tipo de estructura y las características del lugar.

Las conexiones que pueden utilizarse en las uniones de piezas de una estructura de acero son por medio de remaches, tornillos y soldadura; las cuales tienen ventajas y desventajas, una con respecto a las otras en condiciones de trabajo similares. Según el tipo de conexión escogida se establecerá el procedimiento de construcción más adecuado a la estructura.

## F A B R I C A C I O N

**2.1 Cosideraciones Generales.**

La fabricación de estructuras de acero plantea el problema de producir una gran variedad de elementos, para después reunirlos y formar las piezas ya terminadas. En obras de importancia, la complejidad del proceso hace necesario establecer un sistema de trabajo que nos permita :

- 1o. Llevar a término la fabricación en tiempo determinado (debido a que el fabricante contrae el compromiso de entregar la estructura terminada en cierta fecha).
- 2o. Suministrar los elementos estructurales según las necesidades de la obra; en el caso de un edificio, el fabricante deberá suministrar primero los elementos que irán anclados en la cimentación, después las columnas de planta baja, el sistema de piso del primer nivel, etc.
- 3o. Simplificar los procedimientos de fabricación estableciendo un orden, con el cual, se simplifica el trabajo y se reduce el tiempo, como por ejemplo la fabricación de piezas iguales ó similares puede realizarse en serie.
- 4o. Organizar y atacar simultáneamente obras de características diferentes, como por ejemplo un puente y un edificio.

Al igual que en otras actividades de la Ingeniería, la fabricación de estructuras requiere de una cierta programación, la que consiste en un planteamiento del trabajo a ejecutar, orden al que se sujetará dicha ejecución y tiempo en el cual deberá ejecutarse.

Los programas de trabajo se presentan en forma de registros de las piezas a fabricar y mediante diagrama de barras se establecen los tiempos de fabricación.

Anotando el peso de los elementos se puede estimar el avance de la fabricación en porcentajes.

Debido a que los planos de proyecto y los de taller, sirven de base - para la elaboración de los programas de trabajo, se dará una breve descrip- ción de los mismos :

Planos de Proyecto.- Estos planos deberán representar el conjunto de la estructura en vista de planta, alzado y lateral, indicando : dimensiones generales, secciones estructurales, dimensiones y tipo de soldadura, cali- dad de material, procedimiento constructivo y en general toda la informa- ción relacionada con el cálculo estructural. Se omite el detalle de los elementos y sus conexiones, los que se especificarán en los planos de taller.

Planos de Taller.- Generalmente estos planos, los elabora el fabri- cante de estructuras basándose en los planos de proyecto. Su finalidad es proporcionar información durante la fabricación exclusivamente. Deberá re- presentarse cada pieza en forma aislada, con la escala vertical aumentada a fin de detallar los elementos menores. Se anotarán todas las dimensiones estructurales y longitudes definitivas de elementos que no se definen en - los planos de proyecto. Las longitudes para efectos de fabricación, debe- rán calcularse considerando el sistema estructural en conjunto.

Deberán tomarse en cuenta las holguras para ajuste de conexiones y de dilatación del material, paso de pernos , remaches y tolerancias para ajuste de campo. Además de los datos geométricos necesarios para la fabricación, deberán anotarse el número de piezas a fabricar, características de locali- zación (piezas derechas e izquierdas) y una marca de identificación durante la fabricación. Se anexa una lista de materiales indicando marca, sección, cantidad y peso teórico de cada elemento. Antes de iniciar la fabricación deberán revisarse y aprobarse los planos de taller, a fin de evitar erro- res costosos.

Cada plano de taller deberá ir acompañado de una orden de trabajo que se entrega al operario que proceda a la fabricación. En esta orden se ano- tan las instrucciones de las piezas que deberán fabricarse de acuerdo con el programa. En general, la operación inicial es de trazo, y una vez reali- zado esta operación, el material pasará a la sección de corte, donde con una orden de trabajo similar se realiza éste.

Presentando reportes diarios del trabajo ejecutado (en piezas) no - puede estimar el avance y saber si se está cumpliendo con el programa.

2.2 Aceros Estructurales.

La definición dada por Henry Marion Howe dice: "El acero es una aleación esencialmente de hierro y carbono, colada e inicialmente maleable". El término "colada" indica estado fundido y distingue el acero del hierro forjado, que se produce en estado plástico, y la operación: "inicialmente maleable" distingue al hierro fundido, del acero, al cual se le hace cambiar de forma por forja, laminación u otro procedimiento mecánico.

La definición anterior puede explicarse diciendo que el acero es esencialmente una aleación de hierro y carburo de hierro, y que fuera de eso no puede ser definido químicamente. En el acero pueden entrar gran cantidad de elementos químicos, hasta 25, y así se obtienen aceros de diversas propiedades físicas.

Elementos Constitutivos de Cualquier Acero al Carbono

- Hierro: Más del 90% en la mayor parte de los aceros.
- Carbono: El elemento principal en la determinación de las propiedades físicas del acero.
- Manganeso: Esencial en todos los aceros.
- Fósforo: Presente en cantidades variables en todos los aceros.
- Azufre: Presente en cantidades variables en todos los aceros.
- Silicio: Presente en cantidades variables en todos los aceros.

En los aceros de aleación y aceros inoxidable se agregan otros elementos a los antes citados siendo estos:

Aluminio	Cobre	Volframio
Boro	Niquel	Vanadio
Cromo	Molibdeno	Circonio
Niobio	Titanio	

Los aceros han sido clasificados por diferentes instituciones en diferentes países, por ejemplo tenemos: The British Standard, en Inglaterra; Deutsche — Industrien Normen (DIN) en Alemania; The American Society for Testing Materiales (ASTM) en Estados Unidos y dado que en México se utilizan estas últimas normas, este trabajo estará basado en ellas.

La forma en que la ASTM clasifica sus aceros es colocando la letra "A" y un número para cada acero.

Los avances de la metalurgia y la fabricación de acero de alta resistencias que se descubrieron durante el período de 1940 a 1950, pronto encontraron su aplicación en los aceros para el diseño de puentes y edificios. Los ingenieros habían estado en busca de acero más resistente que pudiese soportar mayores cargas, con pesos reducidos.

Al principio, estos aceros de alta resistencia se usaron únicamente en aplicaciones especiales en puentes y edificios, porque no habían sido incorporados a las especificaciones de diseño en esa época. Conforme se iban acumulando experiencias y a medida que más diseñadores solicitaban el uso de estos aceros más resistentes, se fueron incorporando a las especificaciones para puentes y edificios.

El Instituto Americano de la Construcción (AISC) incluyó varios de los aceros de alta resistencia en las especificaciones adoptadas en 1961, y la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales (AASHTO) también incorporó estos aceros a sus especificaciones para puentes.

Los aceros incluidos en las especificaciones anteriores fueron codificadas por la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM), dándoles una designación estándar.

Los aceros estructurales se pueden clasificar en cuatro grupos, siendo éstos: los aceros estructurales al carbono, aceros de alta resistencia y baja aleación, aceros al carbono tratados y templados y aceros de aleación tratados y templados para construcción.

a) Aceros estructurales al carbono.

Estos aceros dependen de la calidad del carbono usado para incrementar su resistencia, a través de un rango amplio de espesores. El primer tipo de acero A-7, que fue el acero empleado por muchos años, tanto en construcciones remachadas como atornilladas, también se usó en edificios soldados en los que las cargas pueden considerarse estáticas; sin embargo para la construcción de puentes se utilizó un acero más estrictamente controlado en cuanto al contenido de carbono, siendo este el A-373 con características mejoradas de soldabilidad.

En 1960, se anunció un acero al carbón mejorado, el ASTM A-36, con un punto de fluencia más elevado y un contenido de carbono adecuado para propósitos de soldadura; desde entonces la ASTM anuló los aceros anteriores por lo que ya no se especifican en el diseño de estructuras.

Los valores mínimos de los esfuerzos correspondientes al punto de fluencia y la resistencia a la tensión de los tipos mencionados se indican en la siguiente tabla.

TIPO ASTM	ESPEJOR (pulg.)	FLUENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TENSION (kg/cm <sup>2</sup> )
A-7		2320	4220 - 5270
A-373	Hasta 4	2250	4080 - 5270
A-36	Hasta 8	2530	4080 - 5625

b) Aceros de alta resistencia y baja aleación

En este grupo de aceros se incluyen aceros de varios grados de resistencias y también aceros cuya composición química se varía para adaptarse a los diferentes requisitos de construcción. La resistencia deseada se obtiene por medio de elementos de aleación.

Los puntos de fluencia y tensión mínima son los siguientes:

TIPO ASTM	ESPEJOR (pulg)	FLUENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TENSION (kg/cm <sup>2</sup> )
A-242	3/4 y menores	3515	4920
A-440	3/4 a 1.5	3235	4710
A-441	1.5 a 4	2955	4430
A-572-42	Hasta 4	2955	4220
A-572-45	Hasta 1.5	3165	4220
A-572-50	Hasta 1.5	3515	4570
A-572-55	Hasta 1.5	3865	4920
A-572-60	Hasta 1	4220	5275
A-572-65	Hasta 1/2	4570	5625

De los tipos ASTM, se recomienda el A-440 como el acero económico para construcción remachada y atornillada y el A-441 para construcción soldada. El tipo A-242 se recomienda generalmente como un acero cuya resistencia a la corrosión, bajo condiciones atmosféricas, es igual o mayor que el doble de la del acero estructural al carbono.

c) Aceros al carbono tratados y templados.

Se han introducido, aceros que cubren los requisitos de resistencia comprendidos entre los 3515 y los 7030 kg/cm<sup>2</sup>, los cuales se pueden obtener de condición normalizada o templados y tratados, y su resistencia depende de la cantidad de carbono, y de un proceso de templado y de tratamiento térmico. Su resistencia mínima de fluencia, medida por el efecto de su alargamiento - bajo carga, es de 5625 kg/cm<sup>2</sup> y su resistencia mínima a la tensión es de - 7030 kg/cm<sup>2</sup>, para placas de espesores hasta de 3/4 de pulgada.

d) Aceros de aleación tratados y templados.

Estos aceros requieren, además de carbono de varios elementos de aleación y tratamientos térmicos para obtener sus elevadas resistencias.

La resistencia mínima de fluencia se determina por medio del 0.5 % de extensión bajo carga o por el método de 0.2% de defasamiento.

Este tipo de acero son soldables y tienen una resistencia a la corrosión equivalente al doble de la del acero estructural al carbono. También se utiliza pero con modificaciones químicas, para la obtención de la resistencia a la abrasión por impacto.

Las propiedades mecánicas se enlistan en la siguiente tabla:

TIPO	ASTM	ESPESOR (pulg)	FLUENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TENSION (kg/cm <sup>2</sup> )
A-514		Hasta 3/4	7030	8085 - 9490
A-514		3/4 a 2.5	7030	8085 - 9490
A-514		2.5 a 4	6330	7385 - 9490

e) Aceros de calibre delgado.

La adopción de las especificaciones AISC para diseño de miembros estructurales de Lamina Delgada Formados en Frio introdujo otro grupo de aceros en el diseño de estructuras.

Estos aceros se presentan en láminas y tiras de calidad estructural y son definidos por las especificaciones ASTM. A continuación se enlistan sus características en una tabla.

**ACEROS ESTRUCTURALES DE CALIBRE NEGRO**

<u>Clases de acero</u>	<u>Designación ASTM</u>	<u>Grado</u>	<u>Espeor</u>	<u>Fluencia (kg/cm<sup>2</sup>)</u>	<u>Tensión (kg/cm<sup>2</sup>)</u>
Láminas de acero al carbono de calidad estructural laminados en frío	A-245	A	0.0449	1760	3160
		B	hasta	2176	3450
		C	0.2299	2320	3660
		D		2810	3870
Tiras de acero al carbono de calidad estructural laminadas en caliente	A-303	A	0.0255	1766	3160
		B	hasta	2110	3450
		C	0.2299	2320	3660
		C		2810	3870
Tiras de acero de alta resistencia y baja aleación laminados en frío.	A-374		0.2499 y menores	3160	4570
Láminas y tiras de acero de alta resistencia y baja aleación laminada en caliente.	A-375		0.0710 hasta 0.2299	3520	4920
Láminas de acero de calidad estructural recubiertas de zinc.	A-446	A		2320	3370
		B	0.1756	2600	3660
		C	y	2810	3870
		D	menores	3520	4570
		E		5620	5770

### 2.3 Perfiles Comerciales.

Un perfil comercial es una pieza estructural de acero de dimensiones, comportamiento mecánico y fabricación según normas universalmente aceptadas.

Por estar los perfiles normalizados y aceptados universalmente los fabricantes los producen constantemente y existen depósitos de venta de perfiles en el mercado.

En México los perfiles comerciales deben cumplir las normas de la American Society for Testing Material (ASTM). Los perfiles están fabricados a base de los aceros A-7 y A-36.

Los perfiles comerciales más utilizados en estructuras de acero se pueden dividir en dos grandes grupos que son:

- Placas
- Perfiles

#### Placas :

La placa es un perfil estructural el cual tiene una relación de ancho y espesor sumamente grande. (Ver figura 2.1 ).

La placa es producida en las siguientes medidas :

Espesor	4.76 a 25.4 mm ( 5/16 a 1 pulgada )
Ancho	127 a 3048 mm ( 5 a 120 pulgadas )
Largo	hasta 9144 mm ( 360 pulgadas )
Con un peso aproximado de 7800 kg/m <sup>3</sup> .	

#### Perfiles :

Dentro de los perfiles se consideran la viga I, medias vigas o vigas T, vigas I perfil rectangular ( IPR ), medias vigas o vigas T perfil rectangular ( TPR ), los canales estándar, la viga H, los canales formados en frío con dos patines atiesados, las vigas zeta formadas en frío con dos patines atiesados, los perfiles tubulares rectangulares ( PFR ) y angulos de lados iguales o desiguales.

##### a) Vigas I

Tiene un peralte máximo y mínimo de 381 y 76.2 mm ( 15" a 3" ), con un ancho de patín de 59 a 152 mm ( 2.32" a 5.98" ). ( Ver figura 2.2 ).

Considerando además que en las vigas de peralte grande es decir la número 12 y 15, se producen con diferentes espesores del patín y del alma; por ejemplo la viga I 12 liviana y la pesada, esto mismo ocurre en la viga I 15.

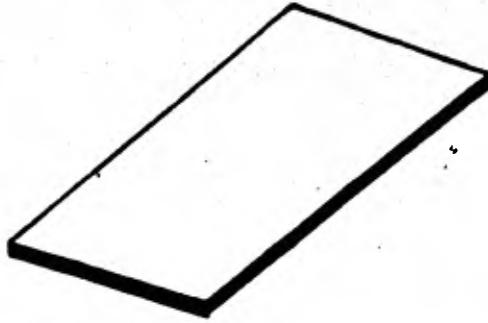
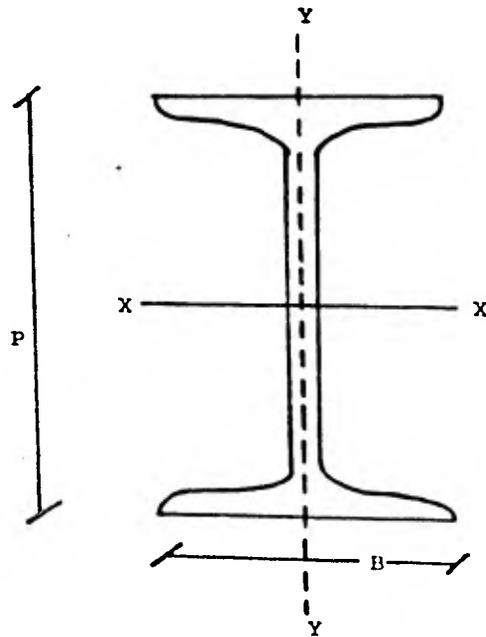


FIG. 2.1 Placa



P peralte  
B ancho del patín

FIG. 2.2 Vigas I

## b) Vigas T o medias vigas :

Tienen un peralte que varía entre 38.1 y 190.5 mm ( 1.5" a 7.5" ), con un ancho del patín que varía entre 59.2 y 152.4 mm ( 2 1/3" a 6" ). ( Ver figura 2.3 ).

Considerando también que las vigas de peralte de 6" y 7.5" se producen en dos diferentes pesos.

## c) Vigas I perfil rectangular ( IPR ).

Este tipo de perfiles producidos por Altos Hornos de México, S.A., — tienen la particularidad de que todos sus cantos y esquinas tienen un ángulo de 90°. ( Ver figura 2.4 ).

Tienen un peralte de 152.4 a 457.2 mm ( 6" a 18" ) y un ancho del patín de 101.6 a 298.4 mm ( 4" a 11 3/4" ).

Tienen además de 2 a 3 pesos distintos en cada peralte.

## d) Vigas T perfil rectangular ( TPR ).

Este tipo de perfiles producidos por Altos Hornos de México, S.A. — tienen la particularidad de que todos sus cantos y esquinas tienen un ángulo de 90°, tienen además de 2 a 3 pesos distintos para un peralte dado, por ejemplo la viga 6 X 4 liviana, intermedia y pesada, siendo el número 6 el peralte expresado en pulgadas y el número 4 el ancho del patín expresado en pulgadas. ( Ver figura 2.5 ).

## e) Canales estándares .

Tienen un peralte que varía entre 76.2 y 304.8 mm ( 3" a 12" ), — con un ancho de patín que varía entre 36 y 87 mm ( 1.5" a 3.5" ). ( Ver figura 2.6 ).

En este tipo de perfiles también se tienen diferentes pesos para un peralte dado, siendo esta característica en los perfiles más grandes, es decir los de peralte de 6" a 12" .

## f) Vigas tipo II.

Este tipo de perfil solo se produce en un sólo tamaño y peso. ( Ver figura 2.7 ).

Peralte	152.4 mm ( 6" )
Ancho del patín	152.4 mm ( 6" )

g) Canales formados en frío con dos patines atiesados.

Este tipo de perfiles tiene atiesados los dos patines, para darle mayor rigidez, y son perfiles Montén. ( Los perfiles atiesados, se conocen como perfiles Montén ).

Se producen en tamaños que varían entre :

Peralte	101.6 mm	a	203 mm	( 4" a 8" )
Ancho de patín	51 mm	a	76 mm	( 2" a 3" )
Atiesadores	19 mm	( 3/4" )		

Se producen en diferentes pesos, habiendo por ejemplo el 5MT10 y el 5MT12, el primer número es el peralte expresado en pulgadas y el último número es el calibre de la lámina, las letras MT significan perfil Montén por lo tanto el primero será pesado y el segundo ligero. ( Ver figura 2.8 ).

h) Vigas zetas.

Están formadas en frío con los patines atiesados para darles mayor rigidez, son también perfiles Montén por tener los patines atiesados. ( Ver figura 2.9 ).

Tienen las mismas dimensiones que los canales formados en frío.

La nomenclatura cambia agregando una Z al final de la nomenclatura de los canales: por ejemplo 5MT10Z, es una viga zeta, con un peralte de 5 pulgadas y con una lámina de 10 .

i) Perfil tubular rectangular ( PTR ) .

Son perfiles de sección cuadrada o rectangular, en tamaño que varían entre 25.4 mm por 25.4 mm ( 1" por 1" ) hasta 88.9 mm por 88.9 mm ( 3.5" por 3.5" ), en caso de ser cuadrados, y de 76.2 mm por 50.8 mm ( 3" por 2" ), 101.6 mm por 50.8 mm ( 4" por 2" ) y de 101.6 mm por 76.2 mm ( 4" por 3" ) en caso de ser rectangulares, teniendo de dos a tres pesos diferentes por peralte dado. ( Ver figura 2.10 ).

j) Angulos de lados iguales.

Este tipo de perfil estructural tiene un peralte que varía entre 19 mm y 152 mm ( 3/4" a 6" ), siendo el ancho del patín de la misma dimensión que el peralte.

Su nomenclatura será la siguiente : por ejemplo ángulo de 4" por 7/16" , siendo el primer número el peralte y el ancho del patín y el segundo número - el espesor de la placa de que esta constituido. ( Ver figura 2.11 ).

Teniendo de 8 a 1 peso distinto por peralte dado siendo los que más varían los de peralte alto.

k) Ángulos de lados desiguales.

Tienen un peralte que varía entre 152 y 101.6 mm ( 6" a 4" ), con un ancho de patín que varía entre 101.6 mm y 76.2 mm ( 4" a 3" ). Teniendo 7 pesos distintos por cada peralte dado. ( Ver figura 2.12 ).

La nomenclatura en este tipo de ángulos es por ejemplo 4" X 3" X 3/4" , siendo el primer número el peralte del patín, el segundo número el ancho del patín y el último el espesor de la placa de que están constituidos .

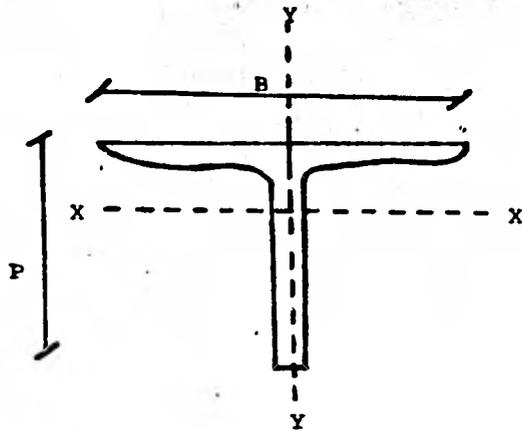
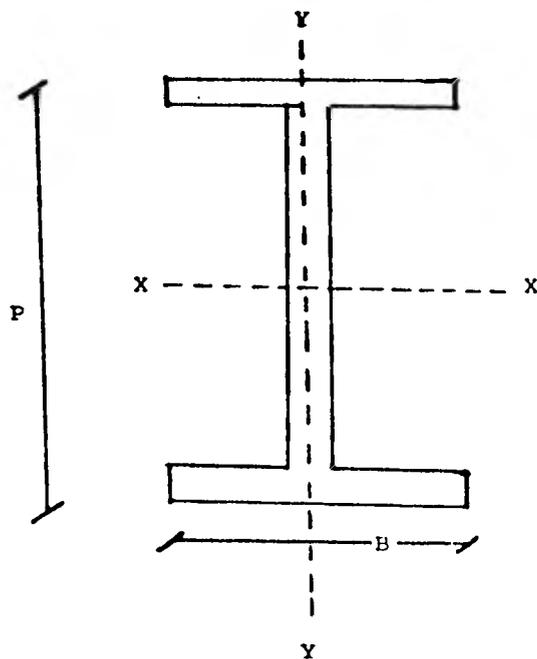


FIG. 2.3 Vigas T



P peralte  
B ancho del patín.

FIG. 2.4 Perfil IPR

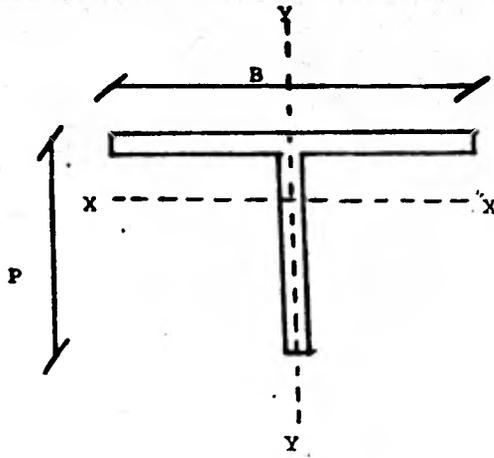
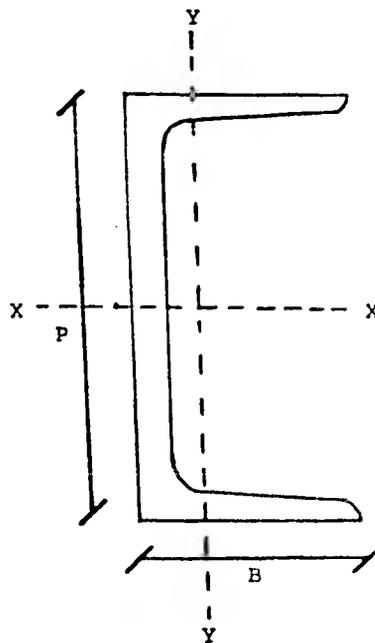


FIG. 2.5 Ferfil TPR



P peralte  
B ancho del patín.

FIG.2.6 Canal Estándar

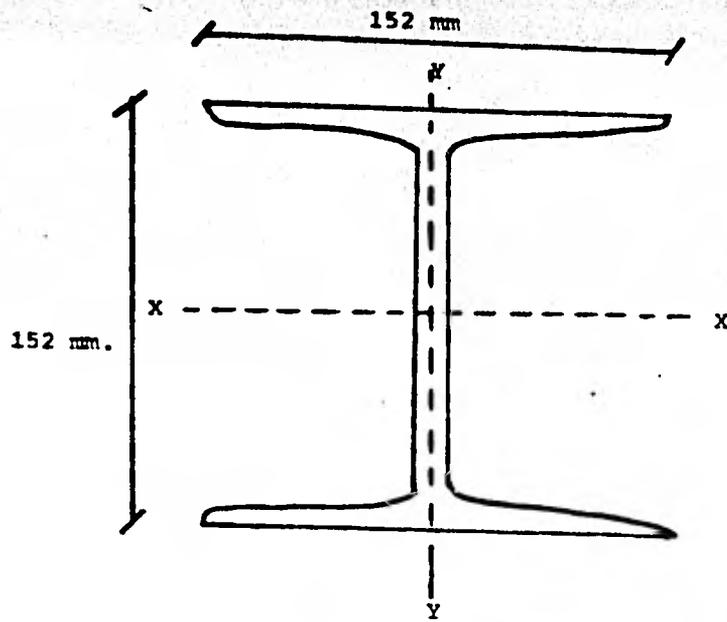
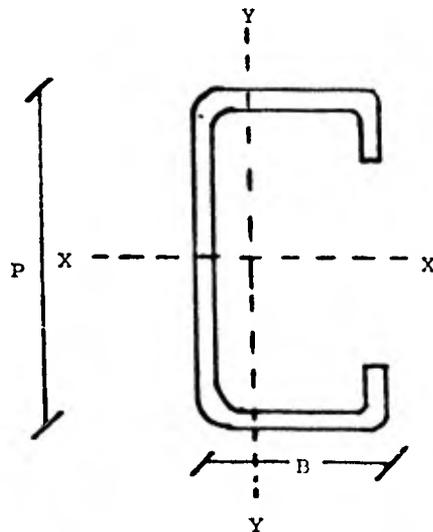


FIG. 2.7 Viga H



P peralte  
B ancho del patín

FIG. 2.8 Canal formado en frío con dos patines atiesados.

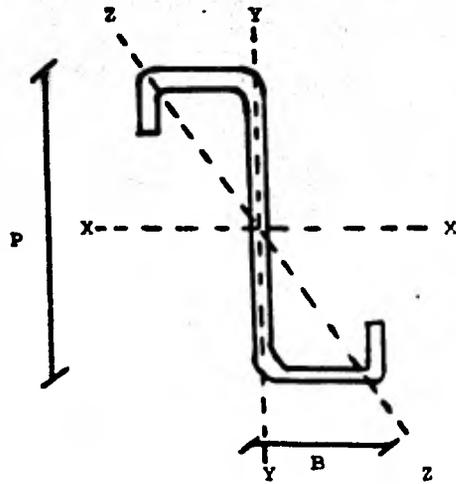
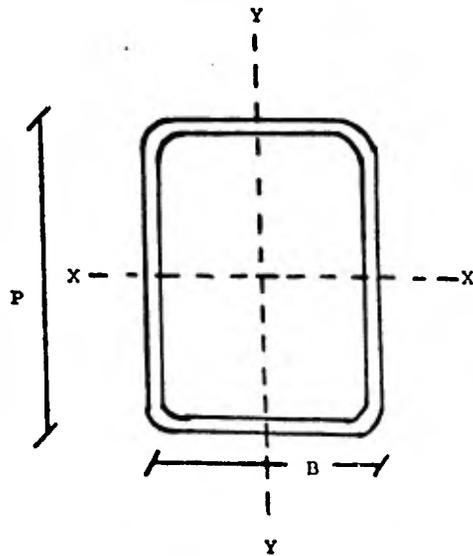


FIG. 2.9 Vigas zetas formadas en frío con dos patines atiesados.



P peralte  
B ancho del patín

FIG. 2.10 Perfil PTR

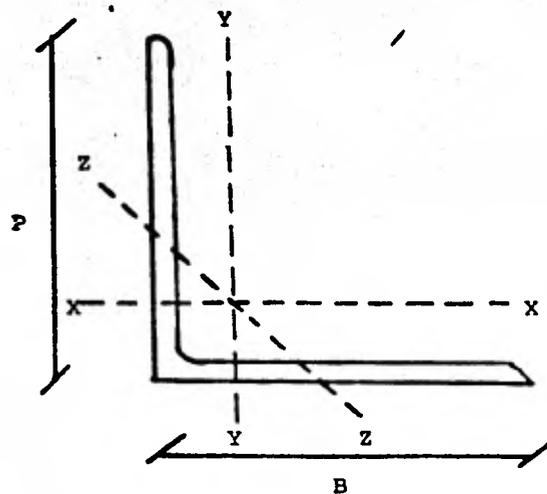


FIG. 2.11 Angulo de lados iguales.

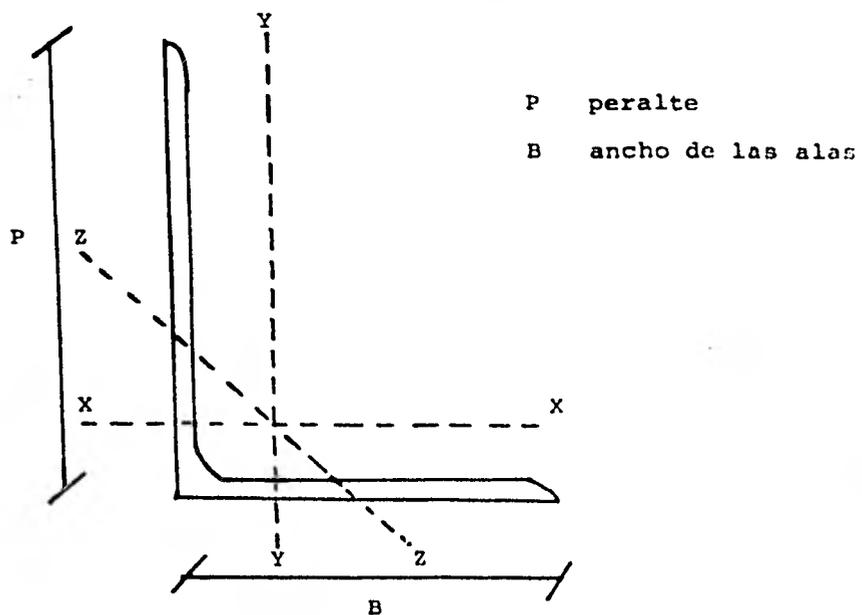


FIG. 2.12 Angulo de lados desiguales

### Armaduras.

Las armaduras están formadas por perfiles comerciales, colocados de tal forma que constituyan triángulos. Estos triángulos son la base de las armaduras, ya que colocados de distinta forma se obtendrán armaduras de distintos tipos, entre ellos:

Adosando unos triángulos rectángulos en número par, con sus hipotenusas invertidas desde el montante central, se obtienen los tipos Pratt y Howe, según que las diagonales prolongadas se corten por debajo o por encima de la armadura. De estos dos tipos el más barato es el tipo Pratt ya que la mayoría de sus elementos trabajan a tensión, y se necesita un área menor para resistir el esfuerzo (figura 2.13 y 2.14).

El tipo Warren se obtiene colocando triángulos isósceles adosados; el cordón superior y el inferior, forman la base de los triángulos ( figura 2.15 ).

De los tipos Warren, Pratt y Howe, se obtienen armaduras compuestas - por superposición o combinación.

Suponiendo un Warren con otro igual, pero con triangulación corrida a medio triángulo, llegamos a la armadura simple ( figura 2.16 ).

Haciendo la misma operación con un Pratt, pero realizando el corrimiento desde los dos extremos hacia el centro, resulta el tipo Linville (figura 2.17).

De la armadura simple se obtiene la doble, la triple, etc. Repitiendo dicho número de veces la operación que sirvió para obtener la armadura - simple ( figura 2.18 ).

Combinando una Pratt y una Howe, haciendo comunes cabezas, y montantes, resulta la triangulación en Cruz de San Andrés, con montantes que también pueden obtenerse adicionando montantes a la armadura simple (figura 2.19).

Armaduras de Cubierta.- Este tipo de armaduras tienen forma de triángulo. Trazando montantes para definir recuadros iguales y disponiendo diagonales inclinadas, que prolongadas se cortan por abajo o por arriba, se obtienen las armaduras inglesas y belgas (figuras 2.20 y 2.21).

Otras disposiciones de triangulación dan origen a los siguientes tipos: Polonceau sencilla, Polonceau doble y Swan. La misma con montantes y dientes de sierra, para cubiertas a dos aguas, y la tipo Masandra, en voladizo o de una agua.

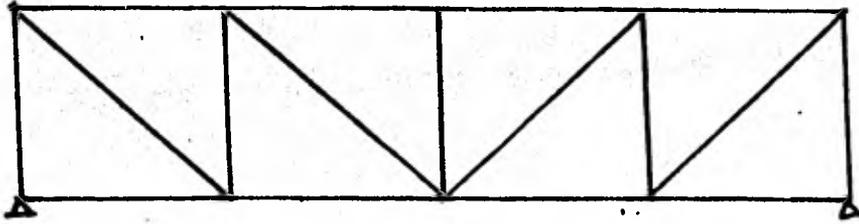


FIG. 2.13

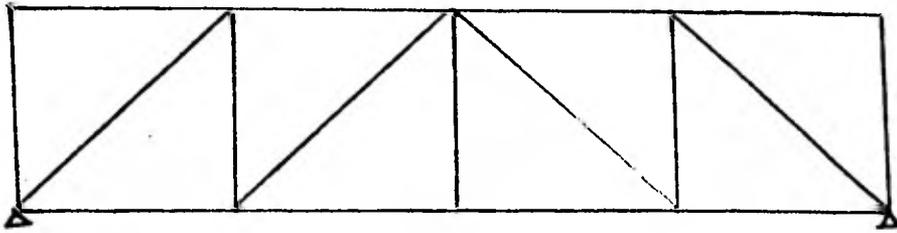


FIG. 2.14

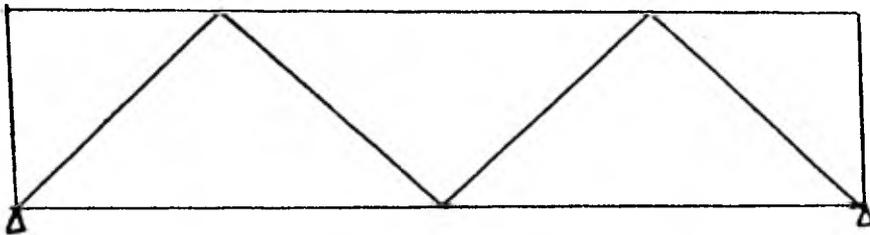


FIG. 2.15

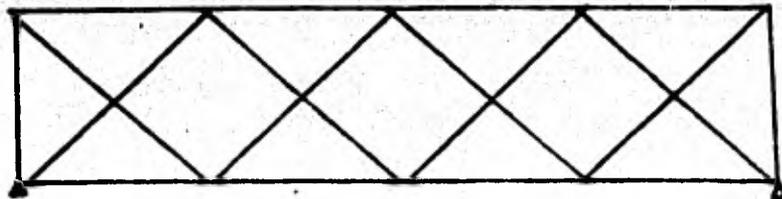


FIG. 2.16

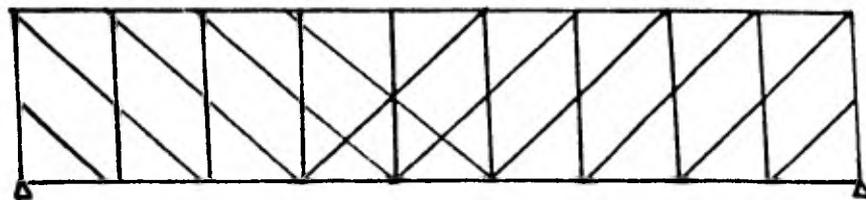


FIG. 2.17

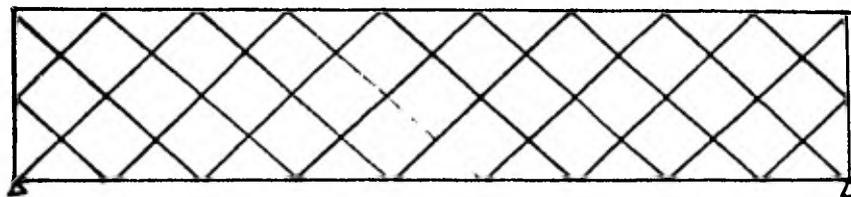


FIG. 2.18

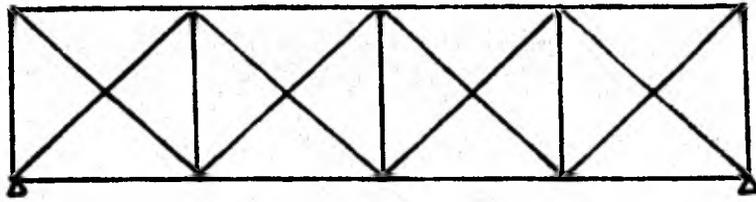


FIG. 2.19

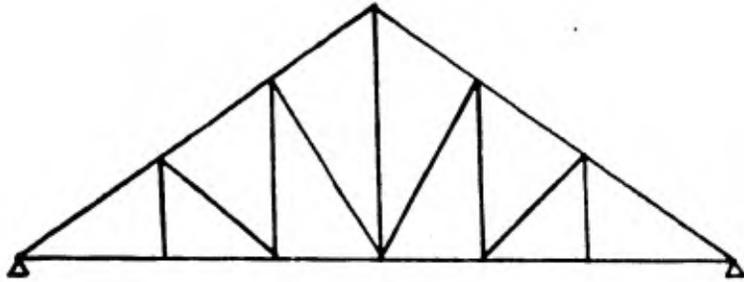


FIG. 2.20

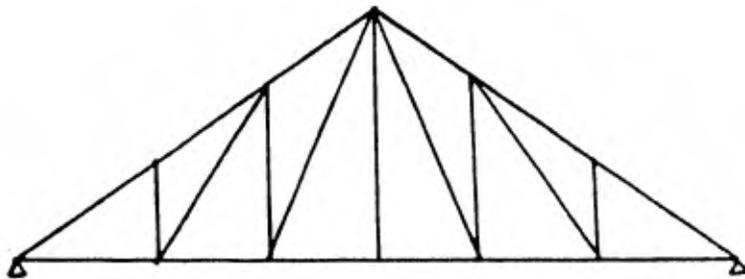


FIG. 2.21

## 2.4 Consideraciones en la Ejecución de las Obras.

### a) Enderezado

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

### b) Corte

Los cortes pueden hacerse con cizalla, sierra o soplete; estos últimos deben hacerse, de preferencia, a máquina. Los cortes con soplete requieren un acabado correcto, libre de rebabas. Se admiten muescas o depresiones ocasionales de no más de 5 mm de profundidad, pero todas las que tengan profundidades mayores deben eliminarse con esmeril. Los cortes en ángulo deben hacerse con el mayor radio posible, nunca menor de 15 mm.

Las preparaciones de los bordos de piezas en los que se vaya a depositar soldadura puede efectuarse con soplete.

Los extremos de piezas que transmiten compresión por contacto directo deben cepillarse.

### c) Tolerancias

Las piezas terminadas en taller deben estar libres de torceduras y dobleces locales, y sus juntas deben quedar acabadas correctamente. En los miembros que trabajarán en compresión en la estructura, no se permiten desviaciones, con respecto a la línea recta que une sus extremos, mayores de un milésimo de la distancia entre puntos que estarán soportando lateralmente en la estructura terminada.

La discrepancia máxima, con respecto a la longitud teórica, que se permite en miembros que tengan sus dos extremos cepillados para trabajar por contacto directo, es un milímetro. En piezas no cepilladas, de longitud no mayor de diez metros, se permite una discrepancia de 1.5 mm, la que aumenta a 3 mm cuando la longitud de la pieza es mayor que la indicada.

### d) Identificación

Todas las piezas deben salir de la planta debidamente identificadas, con marcas que correspondan a las indicadas en los planos de montaje.

**e) Pintura.**

Después de inspeccionadas y aprobadas, y antes de salir del taller, todas las piezas que deban pintarse se limpiarán cepillándolas vigorosamente, a mano con cepillo de alambre, 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 el párrafo anterior.

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 objeto de la pintura de taller es proteger el acero durante un periodo de tiempo corto, aun cuando sirva 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 encuentran a no más de 5 cm. de distancia de las zonas en que se depositen soldadura de taller o de campo deben estar--libres de material 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.

## CAPITULO III

## ERECCIÓN Y MONTAJE

3.1 Consideraciones Generales.

En el montaje de una estructura metálica se involucra más el hecho de ensamble, que en cualquier otro trabajo de construcción. Los miembros estructurales se fabrican en el taller y cada una de las piezas se marcan con letras y números para distinguirlos entre sí.

Los planos para el montaje de las piezas metálicas se conocen como "planos o diagramas de erección". Difieren de los planos usuales de construcción en que son simples dibujos, hechos con el objeto de indicar la posición en que se colocan cada una de las piezas en la estructura. La localización que lo identifica en el diagrama.

Los métodos usuales en el montaje varían con el tipo de estructura. La secuencia de operaciones en todos los casos es muy semejante, comenzando naturalmente con las columnas y terminando con las armaduras del techo y el contraventeo.

3.2 Procedimientos de Montaje.

Antes de iniciar el montaje estructural de cualquier tipo de obra, se deben conocer ciertos datos preliminares, así como la inspección del terreno sobre el cual se va a desplantar la estructura.

La información preliminar se obtiene de los planos de proyecto, la cual, consiste en conocer:

- 1).- Nivel de cimentación
- 2).- Altura del edificio
- 3).- Dimensiones horizontales
- 4).- Número de entrepisos (ó niveles)
- 5).- Peso y dimensión de los miembros
- 6).- Localización y tipo de conexiones
- 7).- Localización de espacios libres

La inspección del terreno va a permitir apreciar ciertos datos de mucho interés, como son:

- 1).- Condiciones del terreno
- 2).- Vías de acceso
- 3).- Construcciones colindantes

- 4).- Obstáculos (postes, cables electricos, etc.)
- 5).- Instalaciones disponibles
- 6).- Mano de obra local
- 7).- Proveedores locales

Con la información obtenida, es posible esbozar uno o varios procedimientos de montaje y elegir, el que se considere más adecuado o bien, el que se adapte mejor a las condiciones de trabajo de un equipo disponible.

El procedimiento debe proporcionar seguridad a los trabajadores en sus actividades, rapidez y requisitos de economía en general. Para estructuras de importancia, el procedimiento de montaje debe ser previsto en el proyecto, así como, el análisis de esfuerzos de montaje.

#### a) Montaje de Edificios Urbanos.

Generalmente estos edificios se montan en tramos de dos pisos cada uno. Después de terminada la cimentación, la cual puede ser a base de pilotes, pilas o cimentación compensada, se levantan las columnas, se colocan sobre las placas de base y se atornillan en su lugar; es costumbre contraventear lateralmente las columnas durante el montaje, hasta que se completa la estructura, es decir, traveses y demás elementos que le darán la rigidez necesaria al edificio. Una vez instaladas las columnas se izan las vigas y traveses para conectarlas con éstas punteándolas, es decir, soldándolas en puntos pequeños ya que esta conexión será solamente provisional. Tan pronto como se colocan en su lugar las traveses, de toda una planta, se plomcan las columnas, se nivelan las traveses y se conectan permanentemente 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 camiones, pero para edificios más altos se necesitan grúas especiales, las cuales son izadas al nivel superior de cada marco terminado a medida que progresa la construcción del edificio.

#### b) Montaje de Naves Industriales.

Quando la estructura está formada por columnas de acero y armaduras relativamente ligeras, se puede hacer el trabajo con una grúa montada sobre camión. Se montan las columnas y se colocan a plomo en ambos ejes. Las armaduras tendrán cuando menos una junta de campo; se ensamblan en el piso, verificando la distancia entre apoyos. La conexión de campo puede ser soldada o atornillada. Las armaduras montadas deben contraventearse entre sí mediante

cables de manila mientras se procede a la colocación de largueros y contraventes definitivos.

Los marcos rígidos se arman en el piso, se soldan por un lado y se levantan a su posición por medio de una o dos grúas; de esta forma, toda la soldaduras pueden hacerse en las posiciones más favorable, planta y horizontal.

En algunos casos, las soldaduras se complementan en el lado opuesto cuando la estructura ya está levantada. Esto se debe a que los marcos pueden ser demasiado grandes y se dificultaría voltearlos para soldar a nivel de piso.

### c) Montaje de Puentes

El procedimiento de montaje de un puente de acero, está condicionado por cierto tipo de factores como son: el tipo de estructura, la magnitud de claros, la altura y la accesibilidad tanto en las márgenes como en el cauce.

En el diseño del puente, debe estar previsto el procedimiento de montaje a fin de que la estructura soporte los esfuerzos correspondientes. Un arco de puente puede ser diseñado con dos articulaciones, pero funciona con tres durante el montaje.

Entre los diversos procedimientos de montaje, destacan los siguientes :

- 1).- Elevación de la estructura desde el cauce.
- 2).- Lanzamiento de la estructura entre sus apoyos.
- 3).- Suspensión de la estructura con cables durante el montaje.
- 4).- Armado de la estructura en voladizo desde sus apoyos

En la figura 3.1 se ilustra estos procedimientos, los cuales, quedan condicionados a los factores mencionados anteriormente.

Si el terreno sólo es accesible desde las márgenes, parte de la estructura se puede armar en ellas y elevarla a sus apoyos. El procedimiento puede cambiarse en la zona correspondiente al cauce.

De esta forma, las trabes del puente, pueden llevarse por el terreno hasta el pié de sus apoyos y elevarse por medio de las plumas instaladas en ellos (figura 3.1.a ).

Cuando la sección del cauce no es accesible, las trabes pueden ser "lanzadas" de un apoyo a otro. En este procedimiento, la trabe se lleva por el acceso hasta la proximidad del estribo, montada sobre rodillos y el cable de una pluma la jala desde el apoyo opuesto. Un retén de cable controla el desplazamiento horizontal de la trabe.

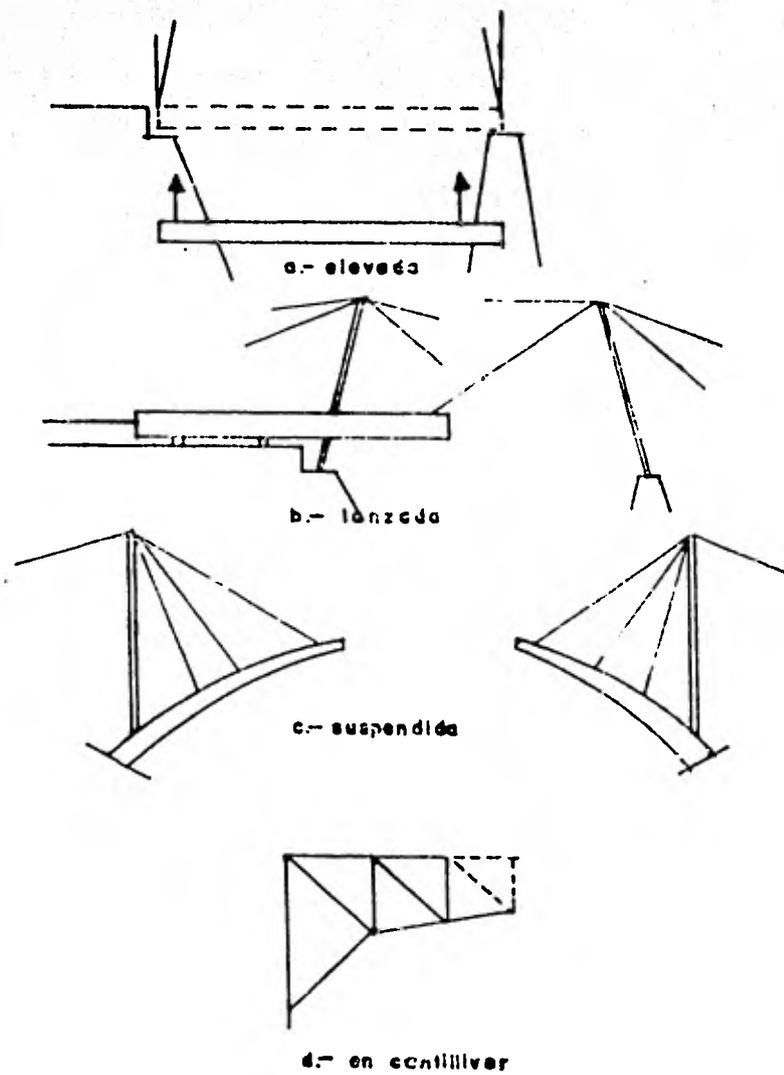


Fig. 3.1.

Cuando ya se han lanzado las traveses correspondientes a un claro, se pasan sobre ellas las del siguiente, para montarlas en igual forma (figura 3.1.b).

En la figura 3.1.c, se muestra el procedimiento de montaje de un puente mediante la suspensión de la estructura con cables de acero. La estructura para este tipo de puentes, está formada por un arco doblemente articulado, el cual, funciona durante el montaje con tres articulaciones y terminado éste, se cancela la articulación central.

#### d) Montaje de Estructuras Especiales.

Las estructuras especiales como son: tanques de almacenamiento que se emplean en la industria del petróleo, compuertas para obras hidráulicas, carros de ferrocarril, cascos de buques, etc. Tienen aplicaciones de carácter muy particular y dado el pequeño alcance del presente trabajo se reserva su descripción de montaje.

### 3.3 Equipo de Montaje.

El montaje de estructuras es una actividad en la que se requiere un equipo variado de herramienta, dispositivos y maquinaria. En todo caso debe proporcionar seguridad para los trabajadores y para la propia estructura. Las maniobras deben llevarse a cabo en forma eficiente y con la rapidez que exige el procedimiento constructivo.

#### a) Grúas.

Es ilimitado el número de diferentes tipos de grúas que se pueden construir. Básicamente una grúa se describe como un equipo designado a levantar pesos, transportarlos a una distancia razonable, y colocarlos en su lugar.

El sistema mecánico para izar o levantar cargas, puede estar montado ya sea en la punta de la pluma o suspendida por medio de baleros que se apoyan en una viga I.

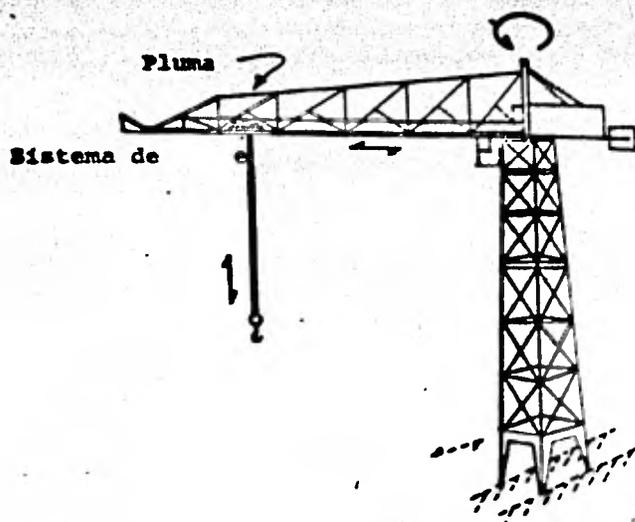
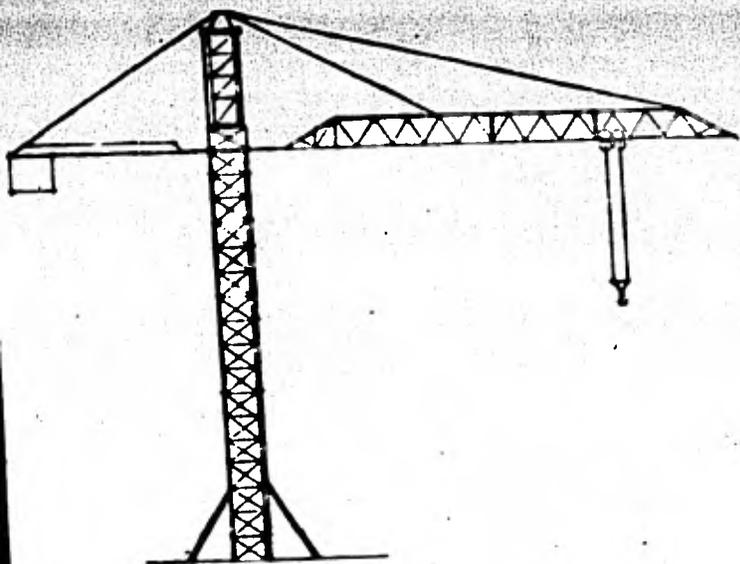
El término de sistema mecánico de izaje, se puede aplicar al mecanismo de la unidad propulsora y al malacate, los cuales en conjunto con la pluma o algún otro elemento forman el sistema para lograr sujetar y levantar las cargas.

Las grúas constituyen una de las partes más importantes del equipo de montaje. Se clasifican de acuerdo a su forma de operar, pudiendo ser estacionarias o móviles, según que se encuentren instaladas en un punto fijo del terreno o montadas sobre una plataforma que pueda desplazarse.

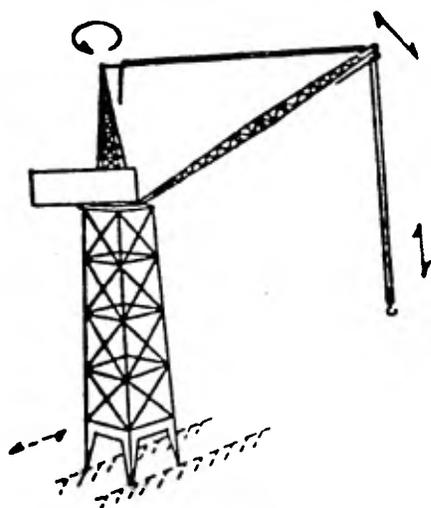
Las grúas estacionarias utilizadas más frecuentemente en el montaje de estructuras de acero son: la grúa torre, la grúa cabeza de martillo, grúa de columna, la grúa con brazo giratorio y la grúa con brazo giratorio y mástil (ver figura 3.2).

Grúas móviles, en este grupo se incluyen las grúas montadas sobre camión y sobre bandas (orugas). Su mecanismo de carga es usualmente de brazo y cables, pueden girar horizontalmente a  $360^{\circ}$ . (Ver figura 3.3).

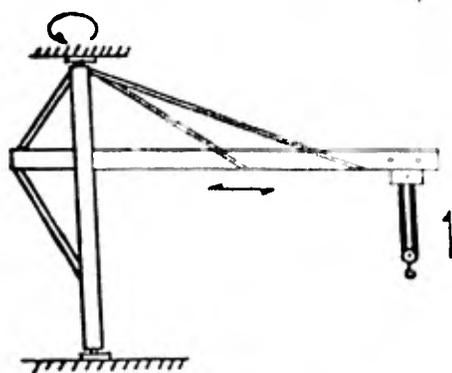
El empleo de grúas móviles, es adecuado en el montaje de edificios de poca altura cuando las condiciones del terreno permiten tránsito pesado. Opera con rapidez, no requieren maniobra de instalación y pueden emplearse en la descarga y almacenamiento del material y equipos.



Grúas torre

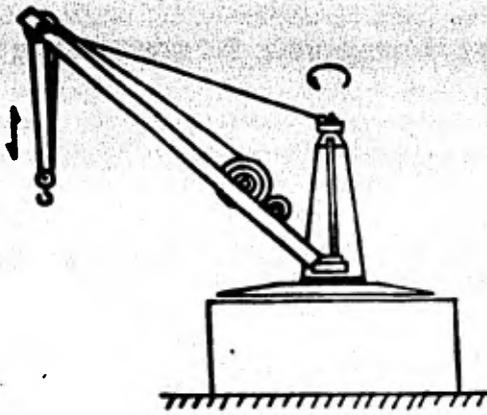


Grúa cabeza de martillo

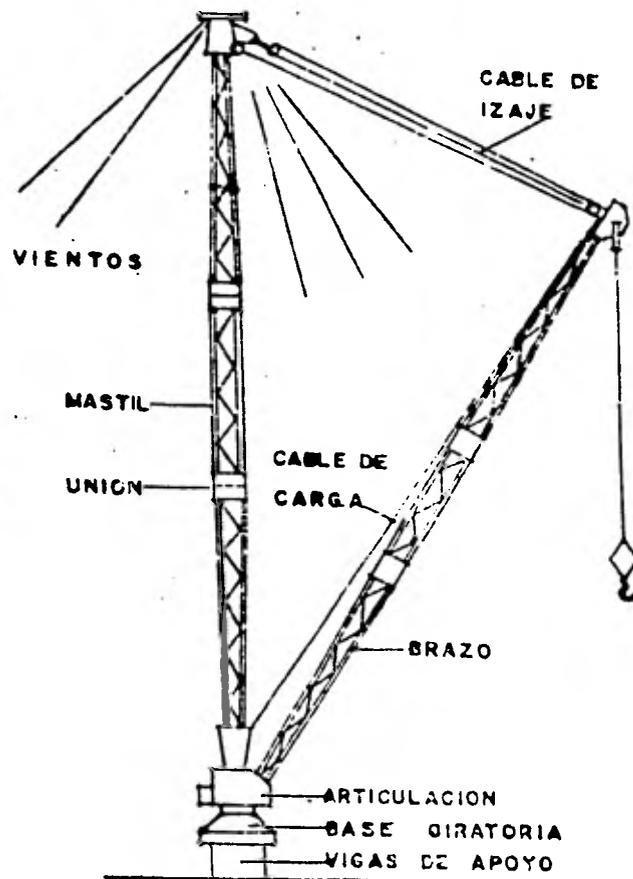


Grúa de columna

Fig. 3.2

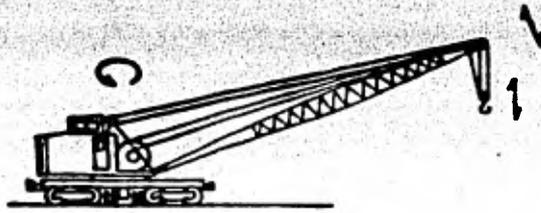


Grúa con brazo giratorio

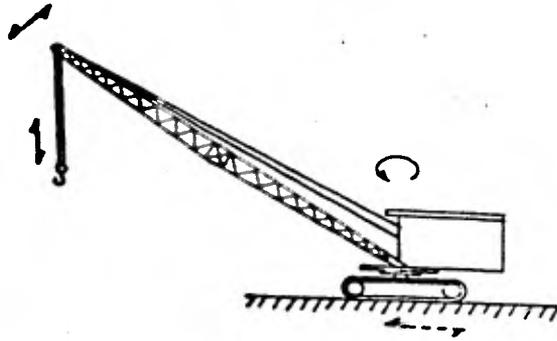


Grúa con brazo giratorio y mástil

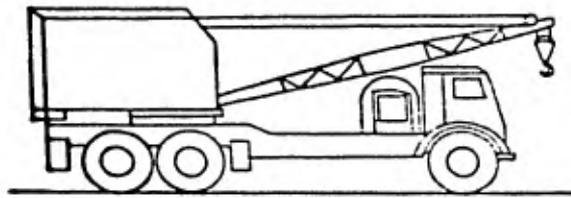
Fig. 3.2



Grúa de ferrocarril



Grúa sobre orugas



Grúa de camión

Fig. 3.3 Grúas Móviles

La mayoría de las grúas están equipadas con dos sistemas de freno en el sistema de izaje. Uno de ellos es de solenoide, es decir eléctrico y actúa directamente sobre el motor, el otro es mecánico el cual actúa sobre los engranajes del sistema de izaje. Cada uno de estos sistemas tiene la capacidad de soportar en reposo una vez y media la carga nominal de la grúa. Además las grúas deben estar equipadas con un dispositivo de emergencia el cual solo trabaja cuando el gancho de la pluma llega a una distancia "x" del suelo sin que el operador haga algo para detenerlo en su caída. Este dispositivo es tan solo de emergencia, por lo tanto el operador deberá estar alerta para frenar la carga antes de que el dispositivo entre en acción.

Antes de empezar las operaciones de montaje, al iniciarse el día de trabajo, siempre debe levantarse una carga que pese la capacidad nominal de la grúa a un altura de 30 cm. para probar los frenos.

Puede suceder que, para grúas de mucha capacidad, esto sea impracticable por no tener pesos de tales magnitudes al alcance. Entonces se puede proceder bajando la carga unos 2 cm. y observando si existe deslizamiento del cable en el frenaje. El operador debe siempre acelerar y desacelerar, todos los movimientos del puente y del sistema de izaje, además de girar lentamente para evitar cualquier balanceo innecesario de la carga.

#### b) Malacates.

El malacate es un sistema de levante de cargas, que está constituido principalmente por las siguientes partes : tambor, engranaje del tambor, engranaje del motor y el motor en sí.

Los malacatos empleados en el montaje de estructuras de acero, no solamente requieren potencia para elevar la carga; debe tener además control para efectuar pequeños movimientos con precisión, necesarios para colocar una pieza estructural en su sitio de montaje.

Se requiere también que sea resistente en el trabajo y que su diseño no sea muy complicado. La energía se proporciona mediante motores que pueden ser eléctricos, de gasolina o de diesel.

Los malacates se clasifican por el número de tambores que poseen, los que pueden ser de 1 a 4 tambores. El malacate más simple tiene solamente un tambor, el cual utiliza para el cable de carga exclusivamente.

Un malacate de dos tambores permite mover separadamente el cable de carga y el cable del brazo, haciendo que éste suba o baje. Un tambor auxiliar puede servir para dar movimiento lateral a el brazo.

Existe gran número de maquinarias provistas de dos, tres y hasta cuatro - tambores para combinaciones especiales; por ejemplo, se puede tener un tambor unido al cable de carga principal, para operar con grandes cargas a pequeñas velocidades y un tambor unido a un cable secundario para operar cargas ligeras a mayor velocidad, en un brazo de extensión montado sobre el brazo principal.

A medida que el equipo se hace más complejo, se requieren controles — hidráulicos y eléctricos para reducir la fatiga del operador y permitir mayor precisión.

### c) Cables

Los cables usados en el montaje son de dos tipos: el de acero y el de fibra llamado comúnmente de manila.

El cable de acero es un producto fabricado con alambres de acero, colocados ordenadamente para desempeñar un trabajo determinado.

El cable de acero debe tener propiedades específicas según su aplicación:  
 Uso estructural.— El cable trabaja con carga estática a tensión y no está sujeto a movimientos ni dobleces. Es el caso de los cables que soportan las cargas de grandes cubiertas. Las propiedades básicas son la resistencia a la tensión y al intemperismo.

Uso mecánico.— El cable trabaja con cargas dinámicas y está expuesto a la fricción y a la flexión. Es el caso de cables empleados en el montaje de estructuras de acero. Sus propiedades básicas deben ser: resistencia a la tensión, flexibilidad y resistencia a la abrasión.

Estas propiedades se obtienen de la calidad del material y de la construcción del cable.

El acero empleado es de alto contenido de carbón. Variando la cantidad de carbón, el proceso de estirado y el tratamiento térmico, se puede variar la resistencia y elasticidad siendo posible obtener acero más resistente, menos resistente, elástico o frágil según sea la aplicación que se le va a dar.

La construcción de un cable de acero consiste en el diseño o arreglo de cada una de las partes que lo forman como son alambres, torones y alma.

El cable está formado por alambres torcidos formando cordones llamados -- torones, los que a su vez se encuentran torcidos alrededor de un núcleo central llamado alma del cable.

El cable se denomina según el número de torones y de alambres de cada torón. Un cable de 6 X 19 significa que tiene 6 torones y cada torón se encuentra formado por 19 alambres.

Alma del cable.- El alma del cable, sirve como soporte a los torones que están enrollados a su alrededor.

El alma se fabrica de diversos materiales, dependiendo del trabajo al cual se a destinar el cable, siendo las más usuales: el alma de acero y el alma de fibra que puede ser de fibra vegetal o sintética.

El alma de acero se utiliza para aplicaciones donde el cable está sujeto a severos aplastamientos, o cuando el cable trabaje en lugares donde existan -- temperaturas muy elevadas que ocasionen que el alma de fibra se dañe con el -- calor. Este tipo de alma proporciona mayor resistencia a la ruptura y aún cuando son más rígidos que los cables con alma de fibra, pueden soportar los dobleces adecuadamente.

Los cables con alma de fibra se usan en aquellas aplicaciones en que los cables no están expuestos a las condiciones antes mencionadas. Estos cables -- son más fáciles de manejar y más flexibles.

Torsido del cable.- Los cables, generalmente se fabrican en torcido "regular" ó torcido "Lang". En el cable con torcido "regular", los alambres del torón están torcidos en dirección opuesta a la dirección de los torones del cable. Los alambres y los torones en un cable con torcido "Lang" están torcidos en la misma -- dirección.

Los cables con torcido "Lang", son ligeramente más flexibles y muy resistentes a la abrasión y fatiga, pero tienen el inconveniente de tener tendencia a destorcerse por lo que únicamente deberán utilizarse en aquellas aplicaciones en que ambos extremos del cable están fijos y que no le permitan girar sobre -- sí mismo.

Los cables con torcido "regular" aunque menos flexibles son de fácil manejo, son menos susceptibles a la formación de cocas o nudos y son más resistentes al aplastamiento y distorsión. Presenta menos tendencia a destorcerse aunque no tenga fijos ambos extremos.

**Estrobo:**

El estrobo es un arreglo del cable, el cual se utiliza para manejar con mayor facilidad las cargas. Dicho arreglo puede estar constituido por un ojal hecho del mismo cable, que es el estrobo sin fin o constituido por dos ojales donde por medio de accesorios tales como argollas, grilletes y ganchos se pueden manejar las cargas con mayor facilidad.

Los tipos de estobos son : el estrobo sin fin, el cual es utilizado para levantar troncos, haces de varillas, rieles, etc. ; el estrobo argolla/gancho/gancho, el cual esta constituido por dos cables, una argolla y dos ganchos ; otro tipo de estrobo es aquel con gancho corredizo para formar un estrobo de apriete el cual igualmente servirá para izar haces de varillas, rieles, tabos, etc. (Ver figura 3.4).

Los estobos pueden también ser formados por un número variable de ganchos y una argolla, así se tiene el estrobo argolla/gancho, hasta el estrobo argolla con 5 ó 10 ganchos. Todo depende del tipo de carga que se izará.

## d) Otros accesorios.

**Ganchos :**

En cuanto a los ganchos tenemos tres tipos : el gancho estándar, el gancho giratorio y el gancho corredizo; estos tres tipos de ganchos son casi iguales, se ilustran en la figura 3.5, su única diferencia es la forma en que se sujetan y su uso.

**Seguros para ganchos:**

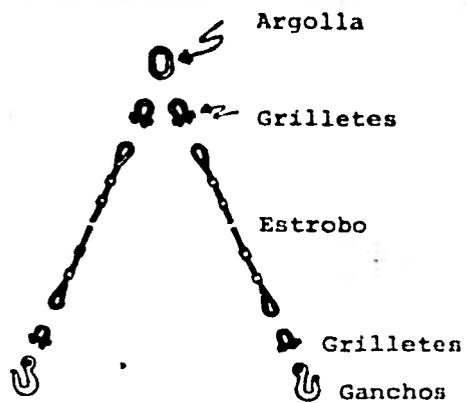
Estos se colocan en la punta del gancho de modo que el cable o accesorio que se esté levantando no se salga y con esto se tendrá la carga segura, de lo contrario se correría el riesgo de ocasionar grandes daños. Ver figura 3.6 .

**Argollas :**

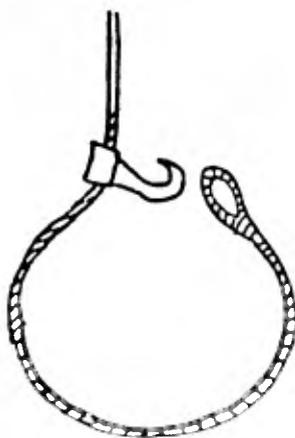
Las argollas son elementos de acero que pueden tener forma circulas o de pera. Tienen además lugares por donde se pueden conectar directamente a otro accesorio o al cable mismo. Su uso más común es para conectar los estobos, es decir argolla con eslabón.



Estrobo sin fin



Estrobo, argolla, gancho, gancho; señalando sus partes.



Estrobo con gancho corredizo

Fig. 3.4 Tipos de estrobos.



Gancho estándar

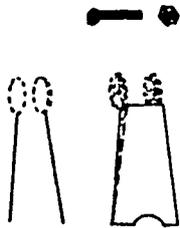


Gancho giratorio



Gancho corredizo

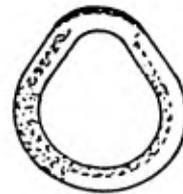
Fig. 3.5



Seguros para ganchos



Argolla circular



Argolla en forma de pera

Fig. 3. 6

**Eslabón :**

El eslabón es un anillo metálico formado por dos curvas y dos rectas tal como lo muestra la figura 3.7 . Su uso es el de conectar accesorios tales como argollas con grilletes o argollas con argollas, etc.

**Grilletes :**

El grillete es una pieza metálica que tiene forma de pera o de medio eslabón, teniendo en la zona más angosta un tornillo, el cual sirve para conectar o desconectar el grillete con el cable o cualquier accesorio. Ver figura 3.7 .

**Destorcedor :**

El destorcedor son dos eslabones unidos por un eje, lográndose que cada uno pueda girar y de este modo el cable no tendrá tendencia a torcerse y agrietarse ya que el destorcedor trabaja bajo el mismo principio del gancho ( destorcedor ) giratorio. Ver figura 3.7.

**Garruchas :**

La garrucha es el conjunto de poleas entre sí. En caso de utilizar garruchas móviles, alguna de las garruchas deberá tener un ojal para fijar el extremo del cable ( ver figura 3.7).

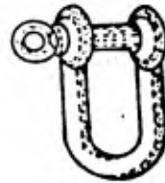
En construcciones de acero es frecuente tener que mover algunas piezas ligeras en forma rápida y las pesadas en forma lenta para eso las mismas garruchas se pueden ir seleccionando o cambiando el número de poleas a usarse en cada caso. Para eso el extremo fijo de la cuerda anudar en alguna de las poleas que no se usen, cuando se usa en movimiento rápido, y ese mismo extremo se fija a otra de las poleas cuando el movimiento sea lento.

**Grapas para cable de acero (perros):**

Este accesorio esta constituido por dos piezas metálicas unidas por dos tornillos los cuales aprietan el cable o los cables, para formar estrobos en obra. Dichos estrobos deben desarrollar el 80% de la resistencia del cable . Ver figura 3.7.



Eslabón

Grillete en forma de  
pera

Grillete circular



Destorcedor



Garrucha

Grapa para cable de acero  
(perro)

Fig. 3.7

## C A P I T U L O IV

## CONEXIONES REMACHADAS, ATORNILLADAS Y SOLDADAS

4.1 Selección del Tipo de Junta.

La mayor parte de las especificaciones relativas a estructuras de acero reconocen como medio de unión entre sus elementos; a los remaches, los tornillos y la soldadura.

Normalmente la selección del tipo de junta que se puede utilizar está sujeta a una serie de factores entre los que pueden citarse: los ordenamientos de los códigos locales de construcción, economía, preferencia del proyectista, disponibilidad de buenos soldadores, condiciones de carga (como cargas estáticas o de fatiga), preferencia del fabricante y equipo disponible; es importante definir el conjunto de reglas, a las que pueden seleccionarse el mejor tipo de elemento de conexión para cualquier estructura dada. Se presenta enseguida algunos de los conceptos que pueden ayudar a decidir que tipo de junta es la más conveniente.

- 1.- Los tornillos ordinarios son a menudo económicos para estructuras ligeras sujetas a cargas estáticas pequeñas y para miembros secundarios (tales como largeros, correas, riostras, etc.) en estructuras más grandes.
- 2.- El montaje a base de tornillos es muy rápido e incluye mano de obra menos diestra que para soldar o remachar. Sin embargo, el precio comercial de los tornillos de alta resistencia es alto.
- 3.- Si una estructura va a desarmarse más tarde, el remachado y la soldadura probablemente serán descartados, dejando el trabajo abierto a la utilización de tornillos.
- 4.- Para cargas de fatiga, las juntas con tornillos de alta resistencia tipo fricción es excelente, mientras que las juntas soldadas y las de tornillos de alta resistencia tipo apoyo también son buenos.
- 5.- La soldadura requiere menos cantidad de acero, proporciona las juntas que lucen más atractivas y tienen una zona de aplicación más amplia a diferentes tipos de conexiones.
- 6.- Cuando se desea juntas resistentes a momentos, continuas y rígidas, la soldadura probablemente será seleccionada.

7.- La soldadura es casi universalmente aceptada como satisfactoria para el trabajo de taller. Para trabajar en la obra, es muy popular en algunos lugares, en otros no, por la inspección de campo de reportes que no son muy satisfactorios o sea muy discutibles.

8.- Los remaches que pueden ser instalados rápidamente en el taller con remachadores pesados están, a pesar de esto, perdiendo terreno constantemente frente al incremento constante del uso de soldadura y tornillos de alta resistencia.

9.- Para el trabajo en obra, los remaches están siendo rápidamente desplazados, excepto para ciertos trabajos en puentes.

#### 4.2 Conexiones Remachadas.

Durante muchos años el método aceptado para conectar los miembros de una estructura de acero, fue el remachado. En años recientes sin embargo, el uso de remaches ha declinado rápidamente debido al tremendo incremento experimentado por la soldadura, y más recientemente, por el atornillado con pernos o tornillos de alta resistencia.

Se llama remache a una pieza de sección transversal circular de acero dúctil forjado en el sitio para unir entre sí varias piezas de acero.

El remache se fabrica con una cabeza especial, que se denomina cabeza manufacturada y se instala mediante una pistola remachadora ( la cual puede ser a presión de aire o mecánica ) la cual forma la otra cabeza durante la instalación. El proceso completo se llama remachado. El proceso se ilustra en la figura 4.1 .

El remachado es esencialmente un proceso de forjar, que se ha desarrollado partiendo de la base de un proceso de martillado a mano hasta llegar al método actual de colocación a máquina. Se cree que el arte de remachar es tan viejo como el uso de los metales dúctiles, pero el desarrollo del proceso tal y como se conoce hoy, tuvo lugar durante el crecimiento de la industria del acero, en el siglo XIX.

Los remaches se describen según la manera y el lugar donde se colocan. Por ejemplo, la mayoría de los remaches que se usan en trabajos de acero estructural se colocan en caliente, ya sea en taller o en campo por lo que se conocen como remaches de taller y de campo colocados en caliente.

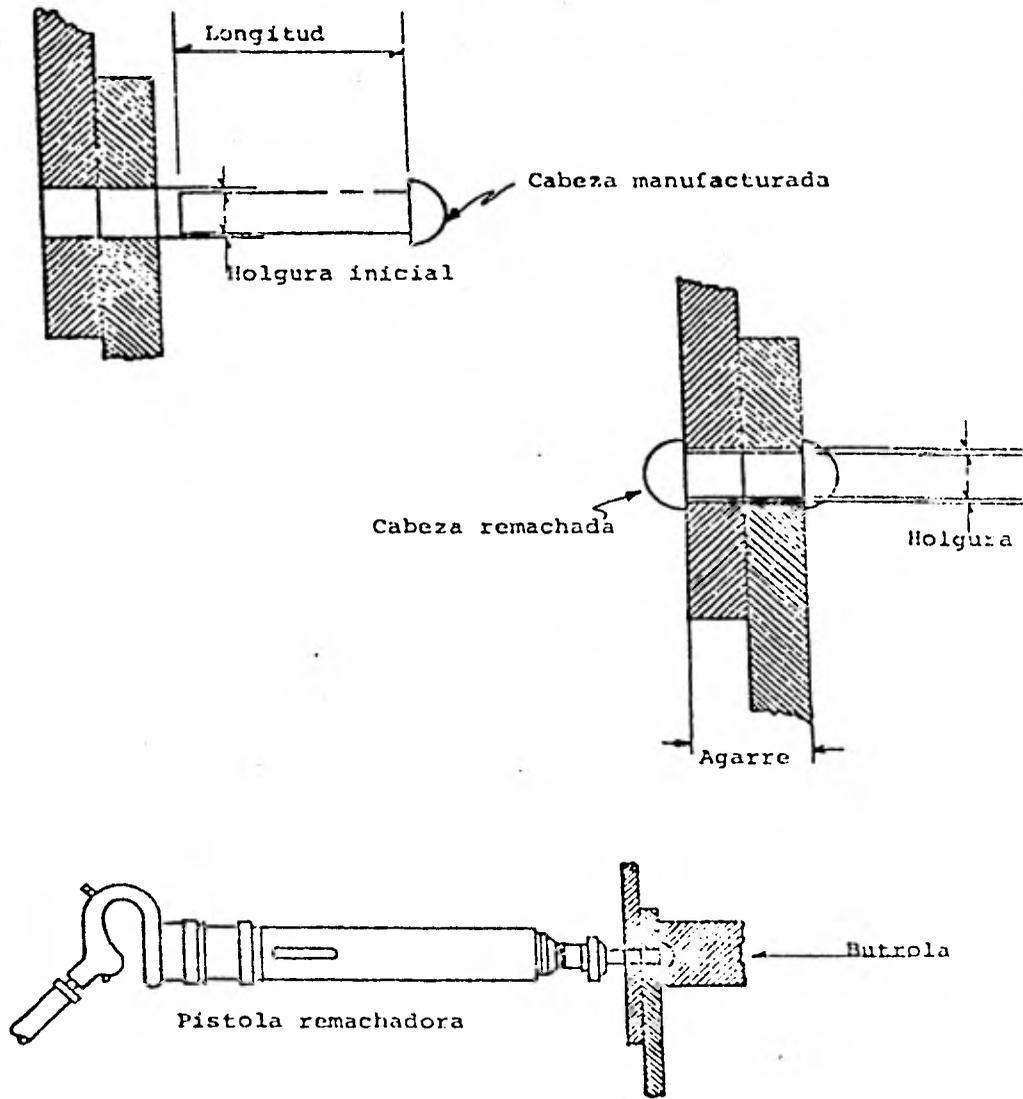


Fig. 4.1 Pasos esenciales en el remachado

Los remaches se calientan mediante un horno o fragua de carbón o de gas, o bien con un calentador eléctrico; ya calientes se insertan en los agujeros punzonados o barrenados de las piezas de acero que se van a conectar, la pistola remachadora forma la cabeza mientras se ejerce presión en el lado opuesto para mantener el remache en su sitio. Como el remache caliente está en estado plástico, cuando se coloca usualmente expande bajo la presión del martillo y llena totalmente el agujero; después de enfriarse, tiende a encojarse, tanto longitudinal como diametralmente. La tendencia del remache a encojarse en longitud es soportada en gran parte por las placas; de esta manera se produce tensión en el vástago del remache y compresión en las placas. Esta acción de compresión se denomina "acción de apriete" y origina una resistencia por fricción contra el deslizamiento de las placas. La disminución en el diámetro del remache se debe en parte al encogimiento a medida que se enfría y en parte al efecto de Poisson del material en tensión longitudinal. De este modo, los remaches hincados en caliente pueden quedar de un tamaño menor que el agujero, aunque en muchos casos el encogimiento es imperceptible.

Los remaches colocados en frío se instalan a temperatura ambiente y requiere de gran presión para formar la cabeza y completar el proceso. El proceso de hincado en frío puede aplicarse de manera conveniente a remaches de tamaños pequeños, entre  $1/2$  y  $7/8$  de pulgadas de diámetro. Aunque el hincado en frío aumenta la resistencia del remache y elimina la necesidad de calentarlo, el proceso se ve limitado por el equipo necesario y la necesidad de usarlo en el campo.

Los diámetros nominales de los remaches para propósito estructural varían entre  $1/2$  a  $1 1/2$  pulgadas con incrementos de  $1/8$  de pulgada. Los tamaños que más se usan en estructuras es el de  $3/4$  de pulgada para edificios y  $7/8$  de pulgada para puentes; se usan tamaños mayores en conexiones especialmente posadas.

Las cabezas de los remaches usualmente son de forma semiesférica, en cuyo caso se llama redonda o de gota; pero si la exigencia de espacio lo requieren, la cabeza puede ser plana o aún enbutida y enrasada. Estas situaciones se muestran en la figura 4.2.

En los planos de fabricación se utilizan los diversos símbolos para representar los diferentes tipos de remaches. Alguno de estos símbolos se muestran en la figura 4.3. El propósito de ésta figura no es dar una lista completa de símbolos de remaches, sino más bien dar una idea de su apariencia general.

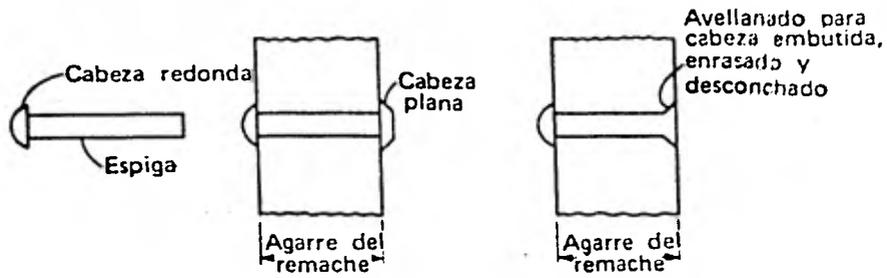


Fig. 4.2 Tipos de remaches

Descripción	Remaches colocados en el Taller	Remaches colocados en la obra
Cabezas redondas, ambos lados	○	●
Embutido y desconchado, lado cercano	⊗	⊗
Embutido y desconchado, lado lejano	⊗	⊗
Embutido y desconchado, Ambos lados	⊗	⊗
Embutida no mayor de 1/8" de altura, en el lado cercano	⊗	⊗

Fig. 4.3 Símbolos de remaches

El tipo más común de acero para remaches es el ASTM A-141, los remaches de alta resistencia hechos de acero ASTM A-195 ó A-502 pueden emplearse -- también para estructuras hechas con acero de alta resistencia. La elección -- del acero de los remaches depende de la aplicación y del costo de la instalación.

Los remaches de taller y de campo hincados adecuadamente deben estar bien ajustados, y deben apretar entre sí, de una manera segura, las partes conectadas.

#### Inspección de Remaches.

La utilización de cuadrillas de remachadores experimentados es esencial, y aún así su trabajo debe ser cuidadosamente inspeccionado. Debemos asegurarnos que los remaches estén apretados, tengan las cabezas con dimensiones completas, y no estén requemadas (sobre calentadas). Si se encuentran remaches malos, deben ser eliminados (botados). Aunque las cuadrillas remachadoras no se muestren muy felices cuando les botan remaches.

Cuando se punzonan agujeros para remaches en acero estructural, a menudo se encuentran pequeñas rebabas en el lado opuesto del agujero. Si estas rebabas quedan entre dos piezas que van a remacharse juntas, se deben eliminar.

Los miembros que van a remacharse requieren de alinearse mediante tornillos de campo o montaje, antes que el remachado se ejecute.

Los remaches se deben calentar adecuadamente y colocar rápidamente antes de que se enfrien. Si se manejan demasiado fríos ( se llaman remaches fríos ), sus cabezas pueden saltar fácilmente. Después de enfriarse deben revisarse -- cuidadosamente por apriete. El grado de apriete puede determinarse colocando un dedo o una moneda en el extremo del remache y golpeando el otro extremo -- con un martillo ligero. Si el remache está flojo, se sentirá vibración. El -- sonido producido cuando se golpean los remaches con un martillo, también puede indicar si el remache está apretado o suelto. Remover remaches es más bien un trabajo pesado, que los remachadores tratan de evitar. Si se encuentran -- con un remache flojo lo recalcan con un cincel en frío de manera que la prueba del martillo no revele aflojamiento. El recalentado no hace de un remache malo uno bueno, por lo cual la inspección debe ser cuidadosa.

### 4.3 Conexiones Atornilladas.

El montaje de estructuras de acero, por medio de tornillos es un proceso que además de ser muy rápido requiere mano de obra menos especializada que — cuando se trabaja con remaches o con soldadura.

Un tornillo es un pasador de metal con una cabeza formada en un extremo y el vástago roscado en el otro, para recibir una tuerca (Fig. 4.4). Los tornillos se usan para unir entre si piezas de metal, insertándolas a través de agujeros hechos en dichas piezas, y apretando la tuerca en el extremo roscado. Los tornillos estructurales pueden clasificarse de acuerdo a las siguientes — características: tipo de vástago (sin acabar o maquinado); material y resistencia (acero estructural ordinario o de alta resistencia); forma de la cabeza y de la tuerca (cuadrada o hexagonal, normal o pesada); paso y tipo de la rosca — (estandar, gruesa o fina).

Los tornillos estructurales ordinarios (comunes) se hacen de acero dulce (A 307) con un resistencia última a la tensión de aproximadamente  $4570 \text{ kg/cm}^2$ , sin embargo, los tornillos de alta resistencia a la tensión están siendo empleados cada vez más en conexiones estructurales. Estos tornillos se hacen de acero tratado y templado ( ASTM A 325 y A 490 ), con una resistencia última a la — tensión de  $7,385$  a  $10,545 \text{ kg/cm}^2$ , y una resistencia de fluencia de  $5,415$  a  $8,790 \text{ kg/cm}^2$ .

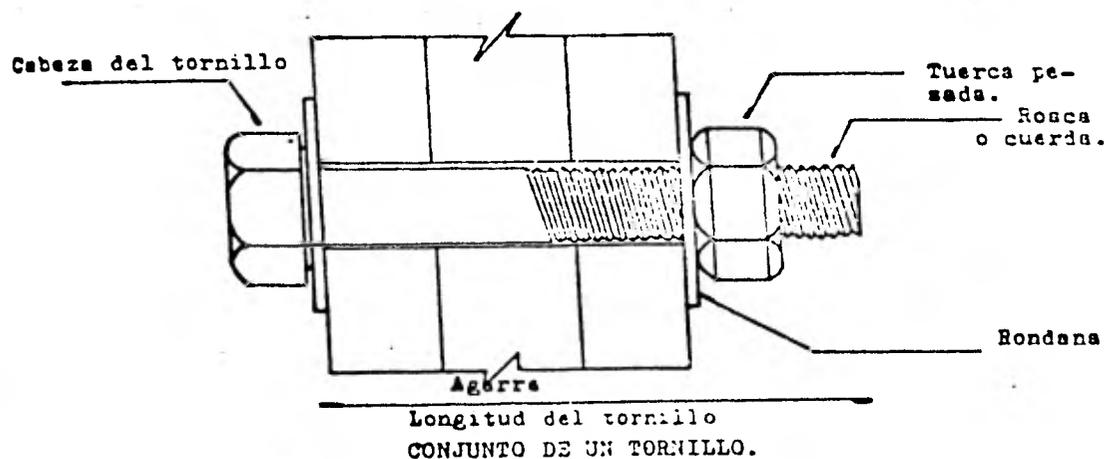


Fig. 4.4

### Tornillos Comunes (A-307).

Son históricamente, el primer medio de unión utilizado en estructuras de acero; en la actualidad tienen una aplicación estructural muy limitada ya que su resistencia es reducida y no se recomienda cuando pueden esperarse cambios de signo en los esfuerzos de las piezas que conectan o cuando existen cargas dinámicas.

En este sentido, las especificaciones del AISC fijan una serie de casos concretos en que los tornillos A-307 no deberán usarse:

- 1.- No se usarán en estructuras esbeltas:
  - a) Que tengan una altura de más de 60 m.
  - b) Que tengan una altura entre 30 y 60 m., cuando la base es menor del 40 % de la altura.
  - c) Que tenga una altura cualquiera si la base mide menos del 25 % de la altura.
- 2.- No se usará en estructuras que deban soportar trabes gruesas.
- 3.- No se usarán donde halla máquinas o algunas cargas vivas que produzcan - impacto o reversión de esfuerzos.

Sin embargo, en estructuras ligeras en que los problemas mencionados no aparecen, así como en conexiones de elementos secundarios tales como largeros de techo, constituyen una buena solución económica, su manejo y colocación es muy simple.

### Tornillos de Alta Resistencia (A-325 y A-490).

Las juntas que se obtienen utilizando tornillos de alta resistencia son superiores a las juntas remachadas en comportamiento y economía.

Los tornillos de alta resistencia basan su capacidad en el hecho de que pueden ser sometidos a una gran fuerza de tensión controlada que aprieta firmemente los elementos de la conexión. Las primeras normas para regir su utilización, se publicaron en 1951, desde entonces los tornillos de alta resistencia se han venido utilizando en forma creciente en EE.UU. y en la última década también en México.

Los primeros tornillos de alta resistencia que se desarrollaron son los A-325; posteriormente y con el objeto de contar con capacidades aún mayores, se desarrollaron los A-490; ambos se obtienen de acero al carbón tratado térmicamente.

Los tornillos A-325 se marcan, para distinguirlos, con la leyenda; A-325 y tres líneas radiales en su cabeza; la tuerca tiene tres marcas espaciadas a  $120^{\circ}$ .

Los tornillos A-490 se marcan con su nombre en la cabeza y con la leyenda 2H ó DH en la tuerca.

Las últimas normas reconocen tres tipos distintos de tornillos A-325 : los tornillos tipo 1 , se fabrican con acero medio al carbón, son los más utilizados; los tornillos tipo 2, se fabrican con acero martensítico de bajo -- carbono, para distinguirlo se marcan con líneas radiales a  $60^{\circ}$  en vez de  $120^{\circ}$  como los tipo 1; y los tornillos tipo 3, se caracterizan por tener una alta - resistencia a la corrosión, se marcan con la leyenda A-325 subrayada y la tuerca se marca con el número 3. En México los únicos usados en forma extensa han sido los tipo 1.

Inicialmente los tornillos de alta resistencia consistían en tornillo, una tuerca, y dos rondanas; actualmente las dimensiones de la cabeza y de la tuerca se han diseñado de tal forma que se puede, en muchos casos, prescindir totalmente de las rondanas y usar en los demás, una sola.

#### Características Químicas y Mecánicas.

La composición química de los tornillos de alta resistencia, junto con el tratamiento térmico a que son sometidos les proporciona sus características de resistencia; el contenido de carbono y de manganeso es la variable -- más significativa en los tornillos A-325. En los A-490 el contenido de carbono se fija y el elemento de aleación se deja abierto para poder proporcionar por distintos caminos las propiedades mecánicas requeridas.

Cuando sea posible, los tornillos deben someterse a una prueba de tensión para probar su resistencia; a menudo son demasiado cortos para que la prueba - directa de tensión se pueda realizar, se recurre entonces a controlar la resistencia, indirectamente, a través de una prueba de dureza (Brinell o Rockwell).

#### Comportamiento de Juntas con Tornillos de Alta Resistencia.

Esto se puede visualizar mediante la observación de los resultados de una prueba carga-deformación en un espécimen típico. Su gráfica muestra una zona - de comportamiento lineal (zona I) que termina en el instante en que se produce un deslizamiento de los tornillos con carga prácticamente constante (zona II) y que esta controlado por el diámetro del agujero, al hacer contacto con sus bordes, el tornillo toma nuevamente cargas y se reinicia un comportamiento

nuevamente lineal (zona III); esta zona termina al iniciarse el comportamiento inelástico, continua (zona IV) que termina con la falla de la junta. A continuación se muestra la gráfica en la figura 4.5.

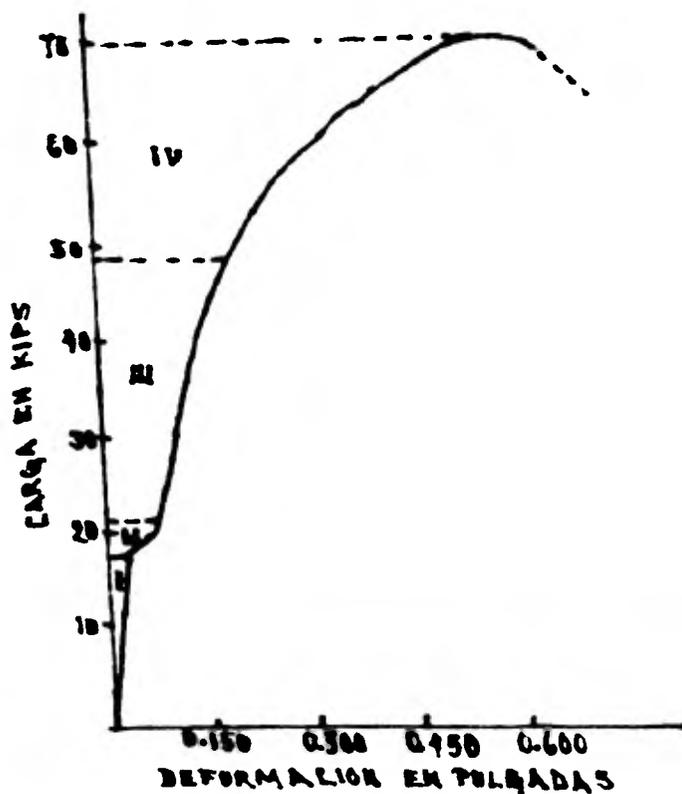


Fig. 4.5 Carga-deformación en un espécimen típico.

Teniendo en cuenta el comportamiento mencionado se distinguen dos tipos de juntas con tornillos de alta resistencia: las juntas de fricción y las juntas de aplastamiento.

Las primeras se caracterizan por que la transmisión de las fuerzas que actúan en la conexión se logra únicamente por la fricción que se desarrolla entre los elementos que la constituyen. En estas juntas el deslizamiento — entre las piezas que se unen no es aceptable; se considera que el deslizamiento equivale a la falla, si bien, los coeficientes de seguridad contra el deslizamiento se aceptan pequeños, por que las consecuencias de su ocurrencia no son graves. La magnitud de la fricción depende de la fuerza de tensión en el tornillo y de las características de la superficie; para mantener la fricción es necesario que las superficies estén libres de todo elemento que la disminuya, se prohíbe por ello, que haya aceite, pintura, óxido suelto, etc.

Las conexiones de fricción se especifican como necesarias en todos aquellos casos en que se esperan inversión de esfuerzos y en los que en condiciones de trabajo, el deslizamiento se considera indeseable. En ocasiones al colocar los tornillos, la carga muerta los presiona contra los lados del agujero, entonces el trabajo de la junta puede ser por aplastamiento y por cortante y se presenta entonces las conexiones llamadas de aplastamiento.

En las juntas de aplastamiento se transmiten las cargas por medio de la tensión en el tornillo, que es la misma que en las juntas de fricción, adicionándole la resistencia del tornillo a cortante. Esto es una gran ventaja sobre todo si se logra que la rosca se encuentre fuera de los planos de corte. Con el fin de que se logre esto en lo posible, los tornillos de alta resistencia tienen una rosca bastante corta.

#### Instalación de Tornillos de Alta Resistencia.

Sea en juntas de fricción o en juntas de aplastamiento, los tornillos de alta resistencia deben colocarse de modo que sean sometidos a una fuerza mínima de tensión especificada. Esta fuerza es de aproximadamente el 70% de la resistencia de tensión del tornillo, se denomina carga de prueba y es algo menor al límite de proporcionalidad del tornillo.

La tensión especificada se puede dar haciendo uso de un indicador directo de tensión o usar cualquiera de los dos métodos que también se especifican en las normas y que se basan en el hecho de que la tensión en el tornillo se puede relacionar con dos cantidades observables, el alargamiento del tornillo y el giro de la tuerca. En la figura 4.6 aparece la gráfica carga-alargamiento de un tornillo de 7/8" de diámetro, A-325, en donde se indica la dicho anteriormente.

# CURVA DE CARGA VS. ALARGAMIENTO PARA TORNILLOS A-325<sup>(4)</sup>

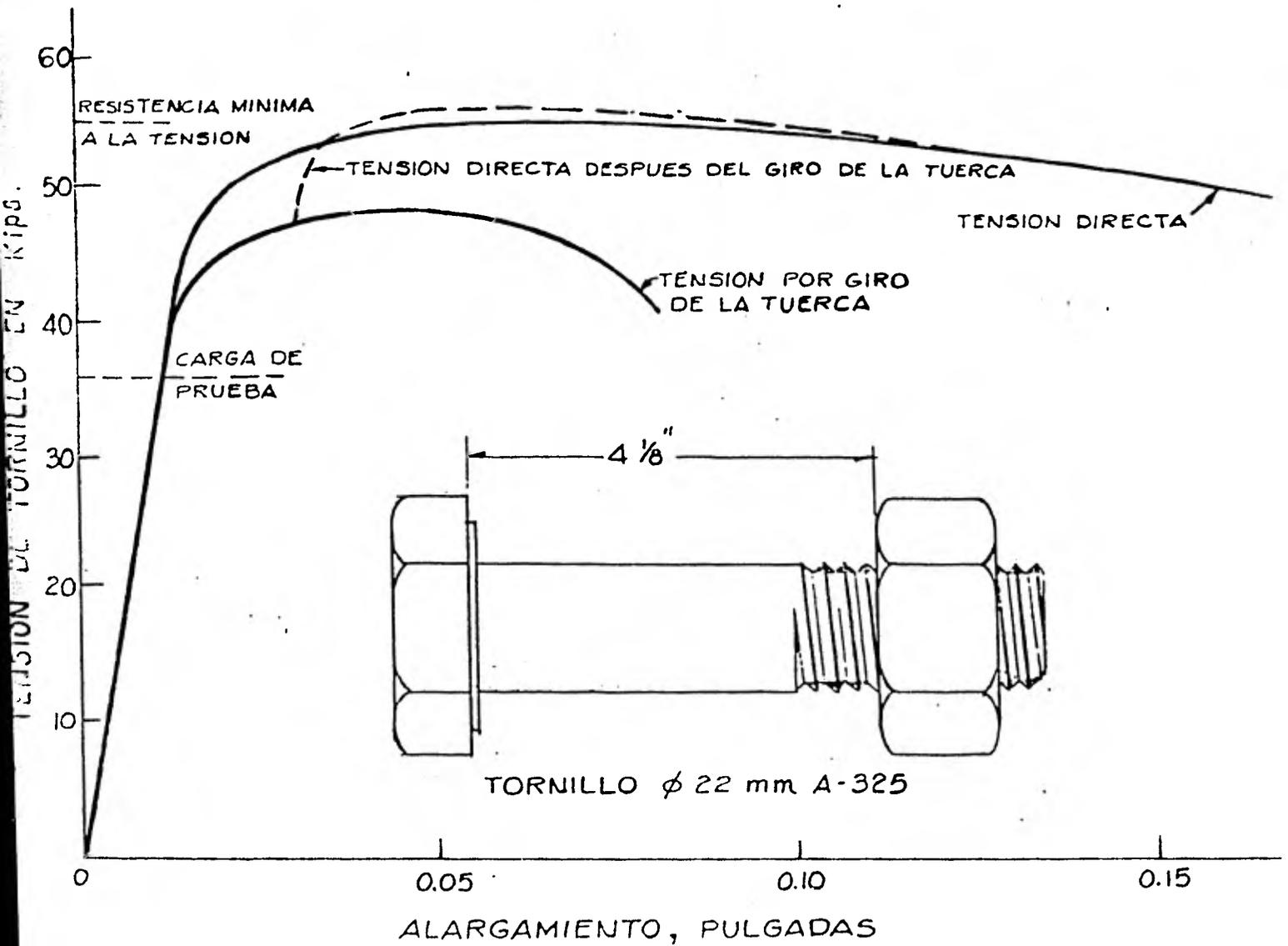


Fig. 4.6 Curva de carga vs. alargamiento para tornillos A-325

a) Método de Llaves Calibradas.

Implica el ajuste frecuente de la llave con un dispositivo capaz de medir la tensión en tornillos típicos de la conexión, ya que el ajuste pierde precisión con facilidad porque las condiciones de distintas juntas, son muy diferentes entre sí; se especifica que la calibración se realice una vez por cada día de trabajo y por cada diámetro o lote de tornillos que se utilice, aún en el caso de que se aprieten juntas similares

Se exige también, cuando se usa este método, que se coloque una rondana - bajo la parte del tornillo que se accione con la llave, con el objeto de minimizar las irregularidades en la tensión producida que, inevitablemente, existen al utilizar este procedimiento.

b) Método del Giro de la Tuerca.

Este procedimiento requiere un control de la colocación de los tornillos más simple que el anterior y es por ello, más utilizado.

Consiste en términos generales, en apretar, en una primera etapa, todos los tornillos con una llave normal de tuercas hasta el esfuerzo máximo de un hombre y enseguida, con una llave mayor, dar a la tuerca 1/2 vuelta adicional; rara vez, el giro debe ser mayor.

Se ha observado que una vez dado el primer tercio de vuelta hay una reserva importante de deformación posible adicional hasta la falla, esto hace que el método no sea muy sensible a errores relativos al apriete que debe tener el tornillo en la primera etapa, al iniciarse la media vuelta. Debido a esto, cuando se utiliza este método, no se requiere la colocación de ninguna rondana. Excepto cuando se usan tornillos A-490, con esfuerzos de fluencia inferiores a  $2,800 \text{ kg/cm}^2$ , caso en que se necesita una rondana, cualquiera que sea el método de apriete.

Con el objeto de garantizar el buen comportamiento de conexiones apretadas con este método se han estudiado el efecto de una serie de variables que intervienen en su ejecución.

Una recomendación práctica para lograr un buen apriete general de la junta consiste en iniciarlo en los tornillos localizados en la parte más rígida de la unión y avanzar hacia los extremos libres. Durante el apriete, la parte que no se gira, cabeza o tuerca se sostendrá con una llave.

### Ventajas de los Tornillos de Alta Resistencia.

Entre las muchas ventajas de los tornillos de alta resistencia, que parcialmente explican su rápido progreso, están los siguientes:

- 1.- Las cuadrillas de hombres necesarias para atornillar, son menores que las necesarias para remachar. Dos parejas de atornilladores pueden fácilmente colocar el doble de tornillos en un día que el número de remaches colocados por una cuadrilla normal de cuatro remachadores, resultando un montaje de acero estructural más rápido.
- 2.- En comparación con los remaches, se requiere menos número de tornillos — para suministrar la misma resistencia.
- 3.- Las juntas atornilladas correctamente pueden ser realizadas por hombres — con mucho menos entrenamiento y experiencia, que los necesarios para producir conexiones soldadas o remachadas de calidad semejante. La instalación apropiada de tornillos de alta resistencia, puede aprenderse en cuestión de horas.
- 4.- No se requieren pernos de montaje que deben removerse después (dependiendo de especificaciones) como en juntas soldadas.
- 5.- Se hace muy poco ruido en comparación con el remachado
- 6.- Se requiere equipo más barato para realizar conexiones atornilladas.
- 7.- No existe riesgo de fuego ni hay peligro proveniente del lanzamiento de los remaches calientes.
- 8.- Las pruebas en juntas remachadas y en juntas atornilladas, bajo condiciones idénticas, muestra definitivamente que las juntas atornilladas tienen una mayor resistencia a la fatiga. Su resistencia a la fatiga también es igual o mayor que la obtenida con juntas soldadas equivalentes.
- 9.- Donde las estructuras se alteran o desensamblan posteriormente, los cambios en las conexiones son absolutamente simples por la facilidad para — remover los tornillos.

#### 4.4 Conexiones Soldadas.

La soldadura es el proceso de conectar piezas de metal entre sí por medio de la aplicación de calor, ya sea con o sin presión. Esta definición se aplica a una gran variedad de procesos, que varían desde las soldaduras simples por calentamiento y fusión de metales blandos hasta las soldaduras bajo el agua. El tipo más común en trabajos de acero estructural es la soldadura por fusión, que es un método para conectar piezas por medio de metal fundido. Se somete - un alambre o varilla especial a un calor intenso en su extremo, el cual la funde y deposita el metal fundido en el punto donde se desea efectuar la conexión. El metal base (perfiles) también se funde localmente y se une con el metal depositado formando una conexión soldada. Puede obtenerse también una conexión - soldada mediante el proceso en que no hay fusión, que consiste simplemente en calentar las piezas por encima de una cierta temperatura y martillar las jun--tas en un yunque. El antiguo proceso de forjado puede clasificarse como una - forma de soldadura que no es por fusión; sin embargo en la soldadura por fusión, tanto la varilla de aportación como el metal base se funden, requiriéndose temperaturas de soldadura de aproximadamente  $1,480^{\circ}\text{C}$ . En trabajos de acero estructural se usa casi exclusivamente la soldadura de arco eléctrico. Para estructu--ras especiales, tales como estructuras a base de lámina de acero, puede usarse la soldadura de resistencia; la de gas, y la soldadura por calentamiento y fu--sión de metales blandos, pueden usarse para partes especiales y para accesorios que requieran soldaduras pequeñas.

Existen varios procesos de soldadura, las cuales se enumeran a continuación:  
Soldadura a presión.

- . Soldadura de forja.
- . Soldadura Thermit a presión
- . Soldadura de resistencia (corriente alterna).
- . Soldadura de resistencia ( corriente continua ) - soldaduras de costura y de punto.

Soldadura de fusión (sin presión).

- . Soldadura de arco eléctrico (corriente alterna y corriente continua) - con protección, sin protección, sumergida; manual y automática.
- . Soldadura de arco de carbono- con y sin protección.
- . Soldadura de arco en gas inerte.
- . Soldadura de arco en hidrógeno atómico.
- . Soldadura de gas (aire u oxiacetileno).
- . Soldadura Thermit.

## Soldadura por calentamiento y fusión de metales blandos.

- . De fusión eléctrica
- . De fusión al horno
- . De fusión con gas
- . Por inmersión

Los tipos de soldadura más comúnmente usados en estructuras de acero son los siguientes: soldadura de arco eléctrico, soldadura de gas y soldadura de resistencia.

### Soldadura de Arco Eléctrico.

En este tipo de soldadura el calor se genera por medio de un arco eléctrico formado entre un electrodo de acero y las partes que se van a soldar. El calor del arco funde simultáneamente el metal base y el electrodo, y el campo electromagnético conduce el metal fundido de la varilla de soldadura (electrodo) hacia el metal base, mientras que el operador mueve el electrodo con una velocidad adecuada y deposita la cantidad necesaria de metal de aportación, este movimiento puede ser mecánico o automático. En la figura 4.7 se muestra un esquema del proceso de soldadura de arco eléctrico.

Por lo común, la soldadura se efectúa en cuatro posiciones: plana, horizontal, vertical y sobre cabeza (véase figuras 4.8 y 4.9).

Las soldaduras verticales y sobre cabeza son posibles debido a que el metal fundido es conducido de la varilla a la conexión por el campo electromagnético y no por la acción de la gravedad. La posición de la soldadura afecta la facilidad y la velocidad en que se efectúa ésta, por lo que es de importancia práctica considerable al determinar el tipo de posición y costo de la soldadura.

Los electrodos usados para la soldadura de arco pueden ser varillas desnudas o bien recubiertas con distintos compuestos minerales. En la soldadura con electrodos recubiertos parte del recubrimiento se funde, formando una capa fluida de escoria, y otra parte forma una atmósfera gaseosa protectora alrededor del arco eléctrico. La protección gaseosa sirve para estabilizar el arco y para protegerlo de los gases atmosféricos. La escoria fundida, de menor densidad que el metal fundido sube a la superficie, retardando la rapidez de enfriamiento del metal y protegiéndolo de la exposición indeseable a los gases atmosféricos. La composición química del metal de la soldadura puede controlarse por medio de la composición del recubrimiento. El uso de electrodos recubiertos resultan soldaduras de mejor calidad que las que pueden obtenerse con electrodos desnudos, por lo cual son más usados ( véase la figura 4.10 ).

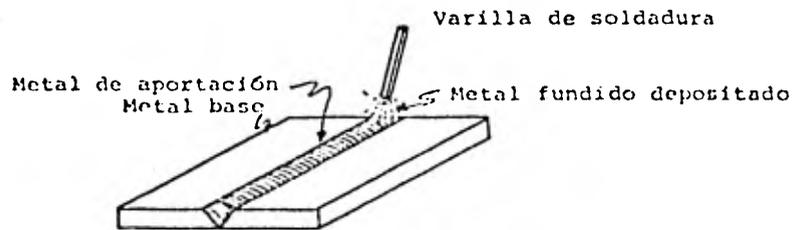
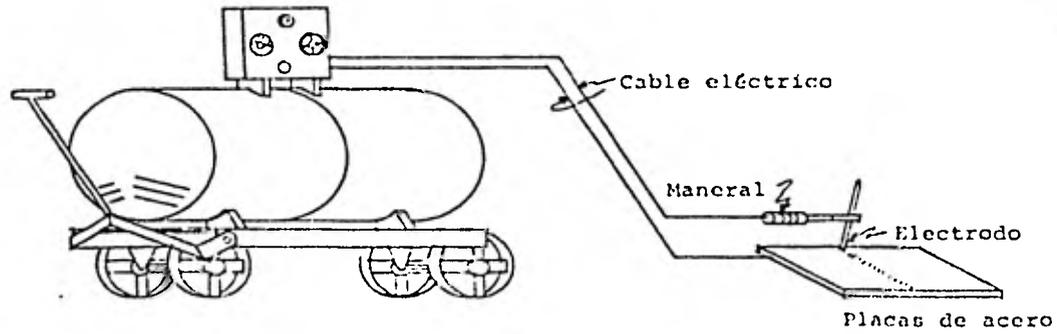
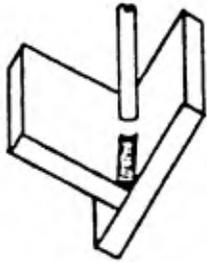
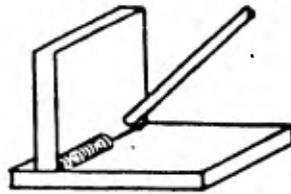


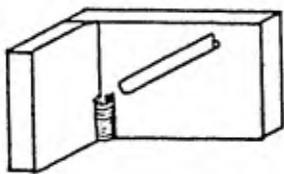
Fig. 4.7 Proceso de soldadura



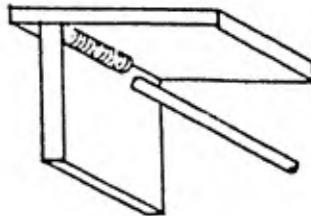
Plana



Horizontal

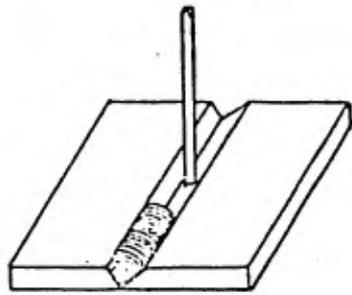


Vertical

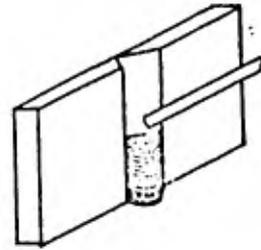


Sobrecabeza

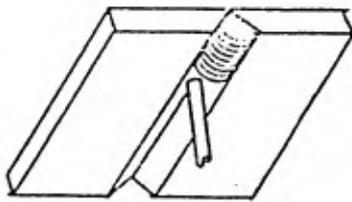
Fig. 4.8 Posición para soldar  
(soldadura a tope)



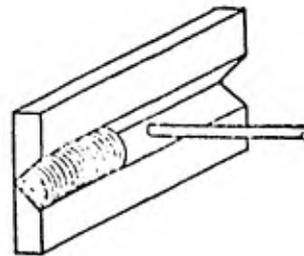
Plana



Vertical



Sobrecabeza



Horizontal

Fig. 4.9 Posiciones para soldar  
(soldadura a tope)

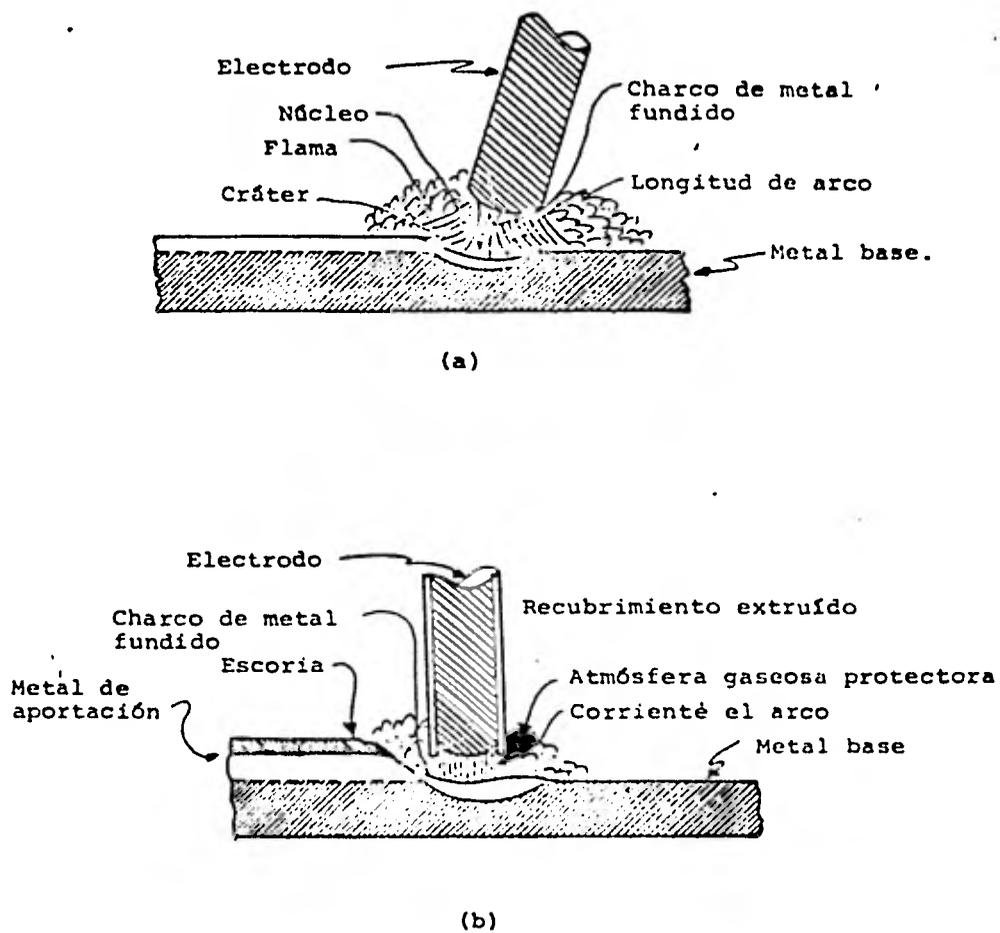


Fig. 4.10 Soldadura de arco. (a) sin protección  
(b) con protección

### Soldadura de Resistencia.

Este proceso es esencialmente un proceso de soldadura a presión, el cual es una versión moderna del antiguo proceso de forja. El calor se genera por medio de resistencias eléctricas a una corriente de alto amperaje y bajo voltaje, que pasa a través de una pequeña área de contacto entre las partes a conectar. El calor desarrollado en este proceso ocasiona un estado plástico en el metal y se efectúa la soldadura aplicado presión y uniéndolo localmente de este modo ambas piezas.

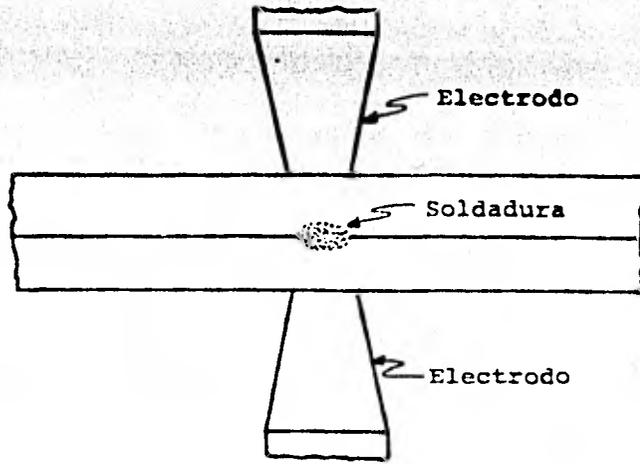
Hay varios tipos de soldadura de resistencia, entre ellos el de costura y el de punto, como se ilustran en la figura 4.11. Son los más utilizados.

### Soldadura de Gas.

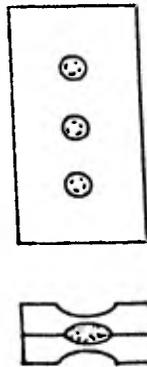
En este tipo de soldadura el calor se obtiene por medio de la combustión de los gases oxígeno y acetileno, por lo que también se le llama soldadura de oxiacetileno. El metal de aportación se obtiene de una varilla de soldadura por separado ya sea desnuda o recubierta. Cuando el material de aportación es recubierto, acero dulce con recubrimiento de cobre, los gases tienen que estar separados hasta el momento que entran a la pistola de soldar, por lo tanto se tendrán dos tanques, uno de oxígeno a una presión de 5 atmósferas y otro de acetileno a una presión de 1.5 atmósferas.

Este tipo de equipo tiene la versatilidad de poder soldar o poder cortar lámina de diferentes espesores, por lo tanto existen dos tipos de pistolas: la pistola para soldar en la cual los gases se mezclan durante el recorrido por la pistola es decir, unos 30 cm.; y la pistola de cortar en la cual los gases se mezclan hasta el momento de la combustión. Véase detalle en la figura 4.12.

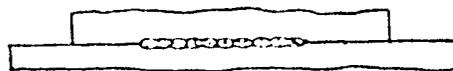
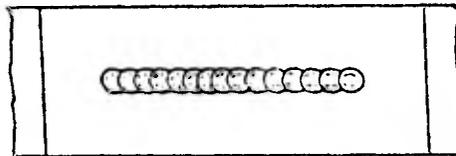
En cuanto a la forma de las pistolas, la primera casi no pierde la rectitud sino hasta en la punta por donde salen los gases, donde se le da un pequeño ángulo para que el operador pueda ver y trabajar, en cuanto a la segunda, ésta tiene un quiebre a  $90^{\circ}$  igualmente en la punta.



Soldadura de punto



Soldadura de puntos



Soldadura de costura

Fig. 4.11 Soldadura de Resistencia

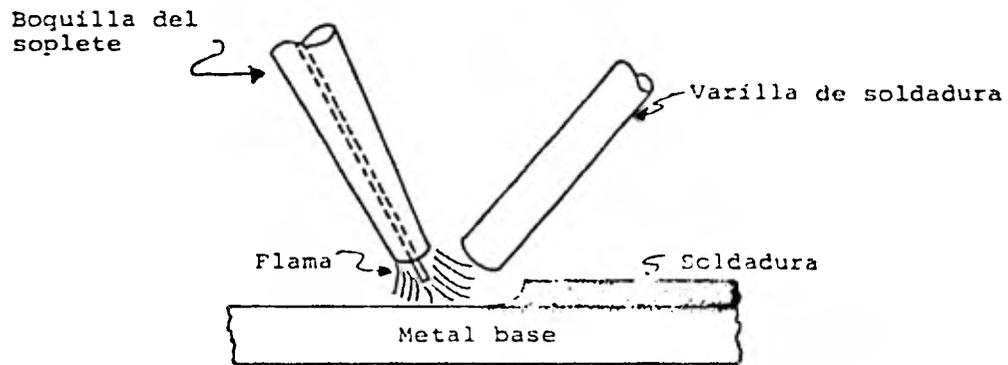


Fig. 4. 12 Soldadura Oxi-acetileno

### Tipos de Conexiones Soldadas.

Existen cinco tipos básicos de juntas soldadas: a tope, de traslape, en T, de borde y de esquina (véase figura 4.13).

Por otra parte, existen cuatro tipos básicos de soldaduras: de preparación de filete, de tapón y de ranura (véase figura 4.14).

Las soldaduras de preparación se usan siempre cuando las partes a conectar están alineadas en el mismo plano. También pueden usarse para una junta en T y de esquina; ocasionalmente pueden usarse soldaduras de tapón o de ranura para juntas de traslape.

Las formas de la soldadura de preparación varían, dependiendo del modo en que se preparen los extremos de las piezas, tal como se ilustra en la figura - 4.15.

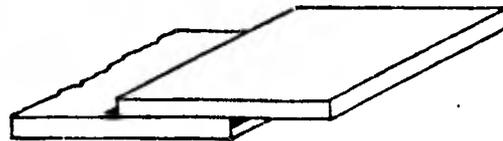
La selección de un tipo adecuado de soldadura de preparación para juntas a tope es determinada por el requisito de lograr un costo mínimo, o de la preparación y de la soldadura de conexión, siempre y cuando satisfaga los requisitos tales como resistencia, distorsión mínima y esfuerzos residuales mínimos. La economía de un tipo particular de soldadura depende del espesor de la placa y de las instalaciones de taller de soldadura para la preparación y ajuste de las placas a unir, así como de las posibilidades de soldar la junta por un lado o por los dos.

La sección transversal de una soldadura de filete se caracteriza por su forma triangular y por lo común, tiene los lados iguales. La soldadura de tapón y de ranura se usan cuando no puede obtenerse una longitud suficiente de soldadura de filete, o cuando se desea una conexión local adicional entre las placas traslapadas.

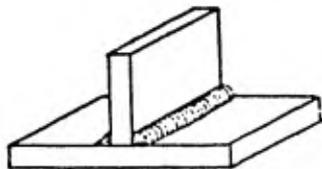
Con objeto de establecer designaciones estándar para los diferentes tipos de soldadura, la American Welding Society ( AWS ) ha establecido un conjunto de símbolos que proporcionan los medios para dar, en los dibujos, una información completa en cuanto a la soldadura de una manera concisa. Los símbolos son ideográficos e identifican el tipo de soldadura requerido. Estos símbolos se reproducen en la figura 4.16.



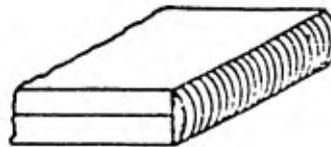
A tope



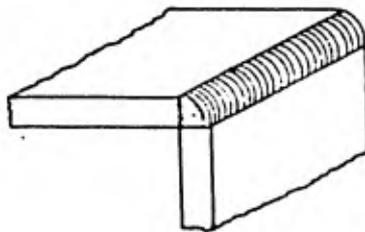
De traslape



En "T"

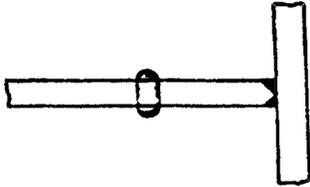


De borde

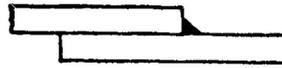


De esquina

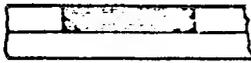
Fig. 4. 13 Tipos básicos de juntas soldadas.



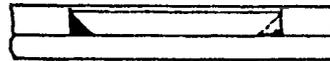
De preparación



De filete



Rellenado de tapón



De ranura (sin rellenar)

Fig. 4. 14 Tipos básicos de soldaduras.

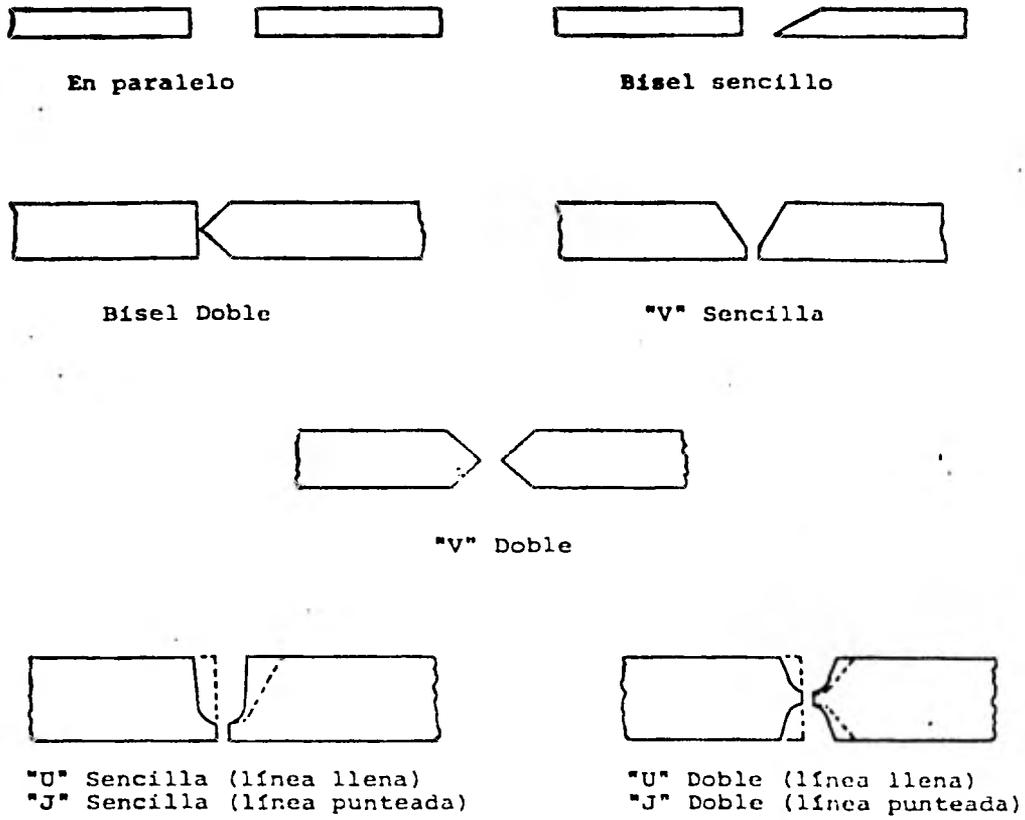


Fig. 4. 15 Formas de soldaduras de preparación

SIMBOLOS BASICOS DE SOLDADURA

TIPO DE SOLDADURA									
CANTO	FILETE	TAPON O RANURA	PREPARACION DE LAS PIEZAS						
			RECTAN- GULAR	"V"	BISEL	"U"	"J"	BICEL DOBLE	BICEL SENCILLO

SIMBOLOS SUPLEMENTARIOS

SOLDAR TO DO ALREDE- DOR.	SOLDADURA DE CAMPO	CONTORNO	
		AL RAS	CONVEJO

LOCALIZACION ESTANDAR DE LOS ELEMENTOS DE UN SIMBOLO DE SOLDADURA

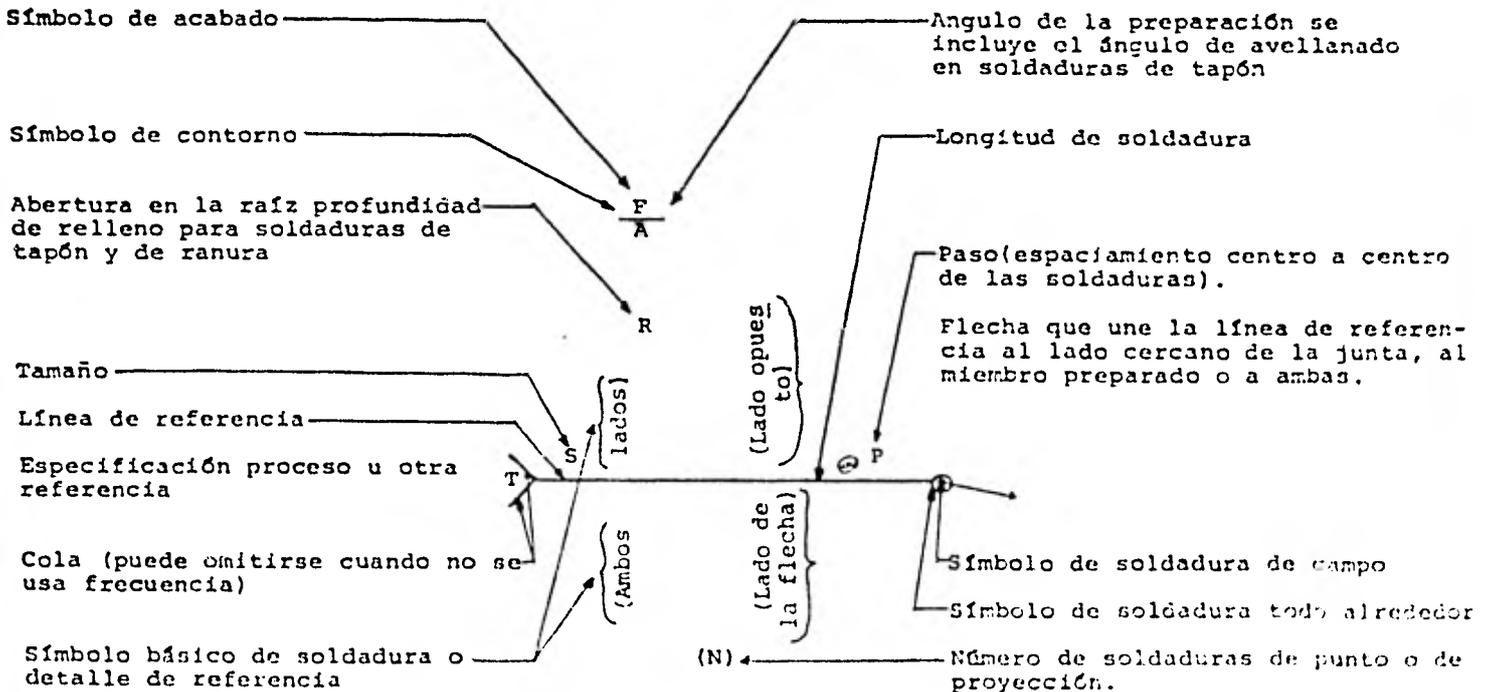


Fig. 1. 16

### Inspección de Soldaduras.

Para asegurarse de una buena soldadura en un trabajo determinado, deben seguirse tres pasos: (1) establecer buenos procedimientos de soldadura, (2) usar soldadores calificados, (3) emplear inspectores competentes en el taller y en la obra.

Hablando en general, el uso satisfactorio de una soldadura depende de la habilidad de un grupo de personas para predecir, con razonable exactitud su calidad final. Esto puede lograrse haciendo varias pruebas adecuadas antes de la utilización de la soldadura. También es muy importante que los resultados puedan comprobarse, catalogarse o bien considerarse como medida de la calidad.

Después de que se hayan hecho pruebas exhaustivas para establecer la adaptabilidad de los metales de construcción propuestos, deben hacerse pruebas -- para calificar el proceso y a los operarios. La inspección generalmente relaciona el examen de las soldaduras hechas y establece su calidad y su ajuste -- a las normas.

Por lo tanto; el ensayo e inspección determina si la calidad estándar de los materiales y la mano de obra se ajustan o no.

A continuación se tratará de describir las pruebas comunes aplicadas a las juntas soldadas y señalar algunos de los métodos más importantes para mantenerse dentro de las normas de calidad.

Algunas sociedades relacionadas con la fabricación de estructuras o de artículos, han formulado normas de ensayos o inspección aplicables a sus campos de interés.

Es muy importante entender que las pruebas discutidas más adelante y sus aplicaciones son de naturaleza muy general. Para satisfacer las normas específicas deben aplicarse los códigos adecuados.

Las pruebas destructivas son aquellas en las cuales los materiales examinados ya no tienen ningún valor o aplicación. Las pruebas no destructivas no reducen la utilidad de las piezas probadas.

Las muestras para las pruebas destructivas pueden tomarse, ya sea de una unión en una estructura soldada, o bien de una pequeña pieza soldada bajo condiciones muy aproximadas a las practicadas en el campo o taller. Estas pruebas se diseñan para representar en la mayoría de los casos, los tipos -- varios de cargas que se encuentran en servicio.

### Pruebas no destructivas:

En estructuras soldadas o uniones, que por cualquier razón son indeseables se cortan muestras para los ensayos no destructivos, con procedimientos que dejen a las piezas intactas. Se describirán varias de estas pruebas. Cada una tiene su propia ventaja; pero ninguna proporciona información completa con respecto a la solidez y propiedades mecánicas de la unión.

#### a) Exámen visual :

La gran mayoría de las soldaduras se aprueban por medio de un examen visual. Esta prueba está muy lejos de ser infalible, pero si la apariencia de la soldadura terminada reúne ciertas características el producto se considera satisfactorio, excepte en aquellos casos donde peligran vidas o propiedades o bien otras consecuencias graves en caso de falla. Afortunadamente la mayoría de las uniones hechas en la industria permiten la observación visual de fallas incipientes, en el caso de falla, es probable que no haya peligro importante.

Si las soldaduras oxi-acetilénicas o eléctricas van a pasar un examen visual, deben de llenar los siguientes requisitos:

1. Deben ser de tamaño correcto, las soldaduras a tope no deben tener refuerzos excesivos.
2. Los depósitos de soldadura deben tener un contorno correcto.
3. Las soldaduras deben estar libres de chisporroteos, escorias, óxidos y marcas del acero.
4. Las orillas de la soldadura deben indicar fusión completa, sin sobremonta o socavación.
5. Las gotas de la soldadura deben estar libres de porosidades, tener la superficie ondulada, uniforme y tener poca o ninguna indicación donde se haya empezado a aportar nuevo material.

En la soldadura donde se practique un examen visual, es importante que el inspector tenga referencias del grado de habilidad de cada operario. La información necesaria se recopila por pruebas de las aptitudes de cada individuo, como se recomienda en los códigos de normas.

Además de examinar la apariencia exterior de las soldaduras, el inspector puede obtener mayor información con respecto a las habilidades del operador tomando en cuenta ajustes en el equipo y las técnicas usadas.

### b) Ensayos con rayos X :

El ensayo con rayos X consiste en una fotografía usando rayos penetrantes en los metales. Las fotografías ordinarias se hacen usando rayos visibles de luz que varían en intensidad para formar una película sensible a la luz. Los rayos X son invisibles al ojo humano pero afectan las películas fotográficas como si fueran rayos visibles, variando en intensidad más o menos inversamente a la densidad del metal que penetran. Las porosidades o huecos en el metal examinado permitirán una mayor penetración de los rayos y una mayor exposición sobre la película en esa área en particular. De esta manera, las áreas de diferentes densidades son registradas en la película para formar la imagen. Después de la exposición y revelado, la película sirve como medio de examen de la junta soldada y como registro permanente de la calidad de la unión.

Los rayos X penetran espesores de los metales, cuando su densidad disminuye y cuando las longitudes de onda de los rayos disminuyen. Las longitudes de onda son inversamente proporcionales al voltaje del tubo; por consiguiente los mayores voltajes de los aparatos recientes de rayos X hacen posible el examen de secciones gruesas de metales. La mayor calidad de soldaduras para ser radiografiadas (con rayos X ó rayos Gamma) son de 2" de espesor o menores. Para estas secciones un tubo de 200 kilovatios es satisfactorio. En aquellos espesores de 2 a 7 pulgadas se recomienda un tubo de 1'000,000 de volts.

El equipo de rayos X consta primordialmente de : un transformador, una unidad rectificadora, el tubo de rayos X, y equipo auxiliar tal como pantallas intensificadoras, filtros, rejillas y soportes de película. Los transformadores de corriente alterna sirven para aumentar el voltaje a los niveles que son indispensables para el trabajo con rayos X. Las unidades rectificadoras se construyen generalmente en forma integral con el transformador y transforman la corriente alterna a continua. Las rejillas se usan para reducir la radiación "secundaria" y mejoran los detalles de la imagen, cuando se hacen exposiciones a través de secciones gruesas. Las hojas de plomo se interponen entre metal y la película para absorber la radiación "secundaria" y se llaman filtros. Los filtros de plomo no son tan eficientes como las rejillas pero tienen la ventaja de tener un mayor flexibilidad en su uso.

Cerca de 10% de la radiación que cae sobre la película se absorbe eficientemente. Para utilizar una mayor cantidad de radiación se usan pantallas intensificadoras.

Las emulsiones sencibles de las películas para uso en rayos X se han desarrollado para dar una máxima fineza. Su proceso y revelado siguen las mismas líneas generales que para una película fotográfica.

### c) Radiografías con rayos Gamma :

Los rayos gamma son aquellos emanados del radio o sus sales y corresponde aproximadamente a los rayos X producidos con dos millones y medio de voltios. Son mucho más penetrantes que los rayos X y no se dispersan mucho. Las sales de radio contenidas en una cápsula proporcionan radiación constante y son fuentes adecuadas de rayos muy penetrantes para trabajos radiográficos. Los detalles en las radiografías con rayos X y rayos gamma son casi de la misma calidad, sin embargo, el contraste para estos últimos son ligeramente menores. Los contrastes bajos hacen posibles las radiografías de estructuras que varían considerablemente de espesor. Las gamma-radiografías, son adecuadas para secciones gruesas donde cualesquier otro método radiográfico no es satisfactorio.

**Peligros para la salud.**— Los rayos que emanan del radio o de los tubos de rayos X son dañinos a la salud de las personas expuestas a ellos. Por esta razón los ensayos deben confinarse a lugares adecuadamente aislados y el personal debe de alejarse de las áreas de prueba. Una protección adecuada consiste en cubrir las habitaciones con láminas de plomo o usando pantallas deflectoras.

**Técnicas radiográficas.**— Después del revelado los negativos deben examinarse en iluminador especial para este propósito. Los huecos y porosidades disminuyen la densidad del metal expuesto, permiten el paso de mayor cantidad de rayos, provocando una mayor exposición y áreas más oscuras. Las grietas, burbujas ocasionadas por gas o escorias, fusión inadecuada, y porosidades; quedan registradas en la negativa por los rayos X como áreas oscuras.

### d) Ensayos magnéticos :

Esta prueba solamente se puede aplicar a metales que tengan propiedades magnéticas.

Si los miembros a ensayar se ponen en el paso de un campo fuertemente magnético, se encuentra que las irregularidades tales como agujeros, ranuras y en particular escoria, causan una distorsión en el paso del campo magnético.

Para establecer esto de otra manera, se dice que la permeabilidad magnética cambia en esos puntos por las irregularidades o discontinuidades. Por medio de este principio los defectos en la soldadura tales como grietas, falta de fusión y porosidades se pueden fácilmente detectar. En las discontinuidades mencionadas correrá una dispersión de flujo magnético.

Los ensayos magnéticos son valiosos particularmente en la exploración de defectos superficiales, sin embargo, si el campo es suficientemente fuerte se pueden localizar los defectos abajo de la superficie.

El éxito para encontrar un defecto interior dependerá de su distancia a la superficie, anchura y de la relación de la altura y espesor en la sección ensayada. La difusión del campo magnético aumenta con la distancia al defecto;

por consiguiente la profundidad de éste se puede juzgar con algún grado de exactitud observando el modelo formado por las limaduras o polvo metálico.

Los campos magnéticos se forman sobre los miembros para ensayarse por medio de :

- 1) Pasando una corriente de intensidad adecuada a través del miembro.
- 2) Por medio de un arrollamiento exterior o solenoide y,
- 3) Por medio de electromagnetos o imanes permanentes localizados exteriormente.

La corriente alterna es adecuada cuando la localización de defectos superficiales es de primerísima importancia. Para exploraciones internas la corriente directa es más eficiente.

Los polvos metálicos de alta permeabilidad, tamaño y forma adecuados se aplica sobre la superficie, húmedos o secos. Los polvos secos se espolvoréan, soplan o tamizan mientras que los polvos húmedos, aquellos suspendidos en aceite se atomizan, se aplican con brocha o bien las piezas se sumergen.

El equipo de ensayos magnéticos consta de una fuente adecuada de potencia, contactos, conductores, interruptor automático y polvos magnéticos. Una fuente para rayos magnéticos consta de un transformador rectificador de corriente alterna de bajo voltaje. Los generadores de corriente alterna de bajo voltaje para soldadura de arco se pueden usar para magnetizar las muestras o miembros si se suministra un interruptor automático para controlar la corriente.

#### e) Ensayos Ultrasónicos:

En secciones de espesores entre 1/16" a 5" , pueden encontrarse defectos tales como grietas, bolsas de gases, inclusiones de escoria; por medio de la propagación de ondas ultrasónicas, método desarrollado en años recientes. Para inspeccionar las soldaduras de precisión, como las sujetas a prosiones, se usa este proceso que es capaz de detectar porosidades y otros defectos demasiado pequeños para ser descubiertos por una radiografía.

El ensayo ultrasónico no pretende suprimir al radiográfico o cualquier otro ensayo de tipo no destructivo, sino complementarlos. Se han encontrado muchas aplicaciones, al mismo tiempo haciendo ahorros considerables en los costos con este método de ensayo.

El equipo ultrasónico opera bajo el principio del eco, y el reflectoscopio indica la naturaleza de la onda reflejada

Básicamente el equipo consta de un cristal de cuarzo energizado por medio de un generador ultrasónico. El cristal envía vibraciones que reflejadas chocan sobre el mismo cristal. El cristal cambia las vibraciones en energía eléctrica de la misma frecuencia que las vibraciones originales. El instrumento -- indicador es un tubo de rayos catódicos. La línea del tiempo o traza horizontal se desvía verticalmente cuando la onda inicial entra a la probeta. Las ondas reflejadas también causan desviaciones verticales sobre la traza horizontal estas desviaciones son proporcionales a la distancia del cristal al defecto que causa la reflexión.

La unidad exploradora es un cristal que transmite las ondas ultrasónicas en la muestra a un ángulo de su superficie.

Estas ondas siguen un camino de zigzag entre la superficie del material bajo prueba, hasta que encuentra algún obstáculo a un ángulo tal de trayectoria de las vibraciones que causa la reflexión hacia la fuente.

Para usar este equipo debe limpiarse perfectamente bien un área paralela a la soldadura de 2" a 6" de longitud. Se aplica una pequeña cantidad de aceite sobre esta área y la unidad exploradora con ondas dirigidas hacia la soldadura. Moviéndola la unidad exploradora paralelamente a la soldadura se investigarán todas las áreas de la unión. Las placas de mayor espesor de la unidad exploradora, necesitan que se siga una trayectoria cuya anchura sea al menos igual al espesor de la muestra.

f) Ensayo con aire a presión :

El aire a presión es un medio conveniente para investigar fugas en soldaduras. Los recipientes, tuberías y piezas similares se cierran herméticamente y se introduce aire a presión, una prueba de este tipo se hace aplicando agua jabonosa en la superficie de los recipientes que forman burbujas en caso de que el aire se escape.

g) Ensayos con estetoscopio :

Los metales libres de discontinuidades tienen un sonido claro característico, mientras que los defectuosos tienden a sonar con tonos bajos o desafinados. Este método ha sido usado durante muchos años para ensayar tirantes, remaches y tornillos sujetos a tensión.

Para ensayo de soldaduras es muy útil el estetoscopio con un extremo ahuecado como el que usan los médicos, éste se coloca cerca del lugar donde se golpeará con un martillo y con alguna práctica el inspector podrá distinguir entre sonidos sin amortiguamientos y de aquellos distorsionados por defectos de soldadura.

### Ventajas de la Soldadura.

Algunas de las muchas ventajas de la soldadura, se presentan en los párrafos siguientes :

1. Para la mayoría de la gente, la primera ventaja está en el área de la economía, porque el uso de la soldadura permite grandes ahorros en el peso del acero utilizado. Las estructuras soldadas permiten eliminar un gran porcentaje de las placas de unión y de empalme, tan necesarias en las estructuras remachadas o atornilladas, así como la eliminación de las cabezas de remaches o tornillos. La soldadura también requiere un trabajo apreciablemente menor que el necesario para el remachado, porque un soldador puede remplazar a la cuadrilla normal remachadora de cuatro hombres.
2. La soldadura tiene un campo de aplicación mucho mayor que el remachado o atornillado: Considérese una columna de tubo de acero y las dificultades para conectarla a los otros miembros de acero, con remaches o tornillos. Una conexión remachada o atornillada puede ser virtualmente imposible, pero una conexión soldada, cualquiera que sea, no presentará dificultades.
3. Las estructuras soldadas son estructuras más rígidas, porque los miembros normalmente están soldados directamente uno a otro. Las conexiones para estructuras remachadas o atornilladas, se realizan a menudo a través de ángulos de conexión o placas que se deforman debido a la transferencia de carga, haciendo más flexible a la estructura completa. Por otra parte, la mayor rigidez puede ser una desventaja donde se necesite conexiones extremas simples, con baja resistencia a los momentos. En tal caso, el calculista escoge el tipo de junta.
4. El proceso de fusionar las partes por unir, hacen a las estructuras realmente continuas. Esto se traduce en construcción de una pieza, porque las juntas soldadas son tan fuertes o más que el metal base, no se representan restricciones en las uniones. Esta ventaja de la continuidad ha permitido la erección de un sin fin de estructuras de acero.
5. Se requieren menos precauciones de seguridad para el público en áreas congestionadas en comparación con las necesarias para una estructura remachada donde el lanzamiento al aire de los remaches calientes es indispensable.
6. Se usan menos piezas y, como resultado, se ahorra tiempo en detalle, fabricación y montaje en la obra.

## C A P I T U L O V

## C O N C L U S I O N E S

Las estructuras de acero juegan hoy en día un papel muy importante, debido al crecimiento de construcciones de acero tanto en México como en todo el mundo, esto se puede notar en el incremento de obras que se — están realizando tales como edificios de acero, talleres industriales, — hangares, plataformas para perforación de pozos petroleros, las líneas — de alta tensión que cubren todo el país (que son armaduras tridimensio— nales de acero), etc.

Durante el desarrollo de este trabajo se tuvo como finalidad reunir las características que definen al procedimiento de construcción de estructuras de acero, tratando de explicar sus partes más importantes como son: su fabricación, erección y montaje, y los diferentes tipos de conexiones usadas en estas estructuras.

En la etapa de fabricación es producir estructuras que cumplan con los requisitos de diseño apegándose a su vez en especificaciones que — son en resumen normas de calidad.

En el montaje de estructuras de acero se requiere una gran variedad de equipo (grúas, malacates, cables y otros accesorios) para llevar acabo esta actividad. Este equipo debe proporcionar seguridad para los trabajadores y para la propia estructura. Las maniobras deben realizarse eficien temente y con la rapidez que exige el procedimiento constructivo. Los me— todos usuales en el montaje varían con el tipo de estructura.

El tipo de conexión que nos marque el diseño de la estructura, ya — sean remachadas, atornilladas o soldadas deben de cumplir determinadas — normas de calidad. Por lo tanto su inspección debe ser rigurosa, para — que la seguridad de la estructura sea aceptable.

## B I B L I O G R A F I A

- CONSTRUCCIONES METALICAS. Fernando Rodríguez - Avila Azcunaga. Patronato de Publicaciones de la Escuela Especial de Ingenieros Industriales . España 1946
- DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO. Bresler, Lin y Scalzr. Ed. Limusa. Mex. 1976
- DISEÑO DE ESTRUCTURAS METALICAS. Jack C. Mc Cormac. Ed. Representación y Servicios de Ingenieria S. A. México.
- MANUAL PARA CONSTRUCTORES. Cia. Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, S. A. ESTRUCTURAS METALICAS. Centro de Educación Continua. UNAM. 1979.
- DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS METALICAS. Instituto de Ingenieria UNAM 1978.
- TESIS MONTAJE DE ESTRUCTURAS DE ACERO. Bruno Nettel Hernández UNAM 1978