



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA

**“PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO CON
ESTRUCTURAS METÁLICAS”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

SALVADOR CHAPULA CRUZ

DIRECTOR DE TESIS

ING. VICTOR MANUEL MARTÍNEZ HERNÁNDEZ



MÉXICO, D.F.

2014



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/118/2013

Señor
SALVADOR CHAPULA CRUZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. VICTOR MANUEL MARTÍNEZ HERNÁNDEZ que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título en INGENIERIA CIVIL

"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO CON ESTRUCTURAS METÁLICAS"

INTRODUCCIÓN

- I. FABRICACIÓN**
- II. PERFILES ESTRUCTURALES**
- III. SUJETADORES**
- IV. TRABAJOS PRELIMINARES EN TALLER**
- V. MANIOBRAS DE TRANSPORTE ERECCIÓN Y MONTAJE**
- VI. ARMADO DE ESTRUCTURAS SOLDADAS**
- VII. ARMADO DE ESTRUCTURAS ATORNILLADAS**
- VIII. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN**
- IX. PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO**

BIBLIOGRAFÍA

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 25 de Marzo de 2014
EL PRESIDENTE DEL COMITÉ

M. EN I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MIH

*Para mi Paco, porque tu fallecimiento cambió nuestras vidas, pero
mucho más lo hizo el tiempo que
pasaste a nuestro lado.*

Agradecimientos

A mis padres:

Por el amor, disciplina y apoyo incondicional que me han brindado, ya que no existirá una forma de agradecer una vida de sacrificio y esfuerzo.

Quiero que sientan que la meta alcanzada también es de ustedes porque la fuerza que me ayudó a conseguirla fue su apoyo.

A mis hermanas:

Por vivir conmigo juegos, experiencias, alegrías, éxitos y fracasos.

A Ingrid:

Por tu amor, creatividad e ingenio para darle vida a esta tesis a través de las ilustraciones.

Al Ing. Victor Manuel Martínez Hernández:

Por sus conocimientos y apoyo en la elaboración de esta tesis.

A la UNAM

Por construirme respeto y amor hacia la Institución.

Por sus profesores, quienes dejaron huella en mi formación.

Por sembrarme raíces profundas de deseo y pasión por mi carrera.

Por la exigencia para dar lo mejor de mi cada día.



ÍNDICE

Introducción.....	8
• Capítulo I. Fabricación	
I.1 Evolución del acero en la construcción.....	13
I.2 Materiales utilizados en las plantas Acereras.....	18
I.3 Procedimientos de Fabricación y Rolado.....	21
• Capítulo II. Perfiles Estructurales	
II.1 Perfil I (IPS).....	24
II.2 Perfil IB.....	27
II.3 Perfil H (IPR).....	28
II.4 Perfil C (CE).....	31
II.5 Perfil LI.....	34
II.6 Perfil LD.....	35
II.7 Perfil T.....	40
II.8 Perfil TR.....	41
II.9 Tubo estructural rectangular, cuadrado y redondo.....	44
II.10 Barras y Placas.....	48
• Capítulo III. Sujetadores	
III.1 Tuerca.....	50
III.2 Arandela.....	51
III.3 Pernos Ordinarios	52
III.4 Pernos de alta resistencia.....	53
III.5 Soldadura	56
III.6 Electrodo de Soldadura.....	59
III.7 Tipos de soldadura.....	60
• Capítulo IV. Trabajos Preliminares en Taller	
IV.1 Planos de Taller.....	63
IV.2 Enderezado.....	66
IV.3 Cortes.....	66
IV.4 Limpieza y Cepillado.....	68
IV.5 Aplicación de pintura.....	69



- **Capítulo V. Maniobras de Transporte, Erección y Montaje**
 - V.1 Transporte.....70
 - V.2 Equipo de montaje.....73
 - a) Grúa Torre Trepadora.....73
 - b) Grúa de Pata Rígida y Postes Grúa.....74
 - c) Grúas montadas.....75
 - V.3 Anclaje.....77
 - V.4 Conexiones Provisionales.....77
 - V.5 Holguras para el montaje.....78
 - V.6 Secuencia de montaje.....79
 - V.7 Tolerancias para el Alineado y Plomeado.....81

- **Capítulo VI. Armado de Estructuras Soldadas**
 - VI.1 Preparación del material.....84
 - VI.2 Pre calentamiento.....84
 - VI.3 Procedimientos de armado y soldadura de campo.....85
 - VI.4 Inspección.....90

- **Capítulo VII. Armado de Estructuras Atornilladas**
 - VII.1 Perforaciones para construcción atornillada.....94
 - a) Perforaciones estándar (STD).....96
 - b) Perforaciones sobredimensionadas (OVS).....97
 - c) Perforaciones ranura (SSL, LSL).....97
 - VII.2 Tolerancias en las dimensiones.....100
 - a) Distancias al borde.....100
 - b) Espaciamiento mínimo.....101
 - VII.3 Tipo de Conexiones.....101
 - a) Conexiones de deslizamiento crítico.....101
 - b) Conexiones de tipo aplastamiento.....102
 - VII.4 Armado de Estructuras Atornilladas.....103
 - a) Método de control de torque.....105
 - b) Método de control de tensión.....105
 - c) Método de giro de la tuerca.....105
 - d) Método Indicador de Tensión Directa (DTI).....106
 - VII.5 Inspección.....109



- **Capítulo VIII. Protección contra la Corrosión**
 - VIII.1 Corrosión del acero.....110
 - VIII.2 Pintura en las estructuras de acero.....112
 - VIII.3 Sistemas de pintura.....113

- **Capítulo IX. Protección contra Incendio**
 - IX.1 Efectos del calor sobre el acero.....115
 - IX.2 Protección contra incendio de miembros exteriores.....116
 - IX.3 Materiales para mejorar la resistencia contra incendio.....117

- **Conclusiones.....120**

- **Bibliografía.....125**



Introducción

La finalidad de este trabajo es actualizar los apuntes de la materia "Programación y Construcción de Estructuras" en la sección de Procedimientos Constructivos con Estructuras Metálicas los cuales servirán como apoyo, para facilitar la enseñanza-aprendizaje de la construcción en el aula de clases, enfocado hacia los alumnos que cursan la carrera de Ingeniería Civil. Con esta actualización, el educando podrá aprender y conocer las actividades más importantes del procedimiento constructivo con estructuras metálicas, desde la fabricación de los perfiles estructurales hasta su colocación final, con el objetivo que el alumno obtenga criterios técnicos que les sean útiles en su desarrollo profesional.

La elaboración de este trabajo se apoya en la hipótesis de que la generación de conocimientos relevantes y de profesionales creativos, autónomos y críticos, está determinado por la dinámica de los sectores de punta de la economía (tanto a nivel nacional como internacional), los cuales marcan la pauta de la división social del trabajo, de la organización y producción del sistema económico y requieren y demandan una producción intensiva de altos niveles de conocimientos tanto técnico - administrativos como científicos.

Para nuestro país, la búsqueda de acoplamiento y competitividad en el terreno de la ciencia y la tecnología, ha implicado un esfuerzo de la comunidad académica que no siempre corresponde con los mecanismos de apoyo y orientación de los recursos por parte de los organismos gubernamentales respectivos. El nuevo



papel que juegan los conocimientos científico-tecnológicos en la economía y la sociedad está directamente relacionado con la salida de la crisis económica y social. La intervención dinámica de las instituciones de educación superior, sobre todo de las universidades, en este proceso, se vuelve una tarea indispensable.

El carácter mismo de la actividad económica depende, en forma masiva, de niveles de producción y circulación de nuevos conocimientos (de cierto tipo de conocimientos) cuya complejidad y vínculos recaen en quienes los producen, los aplican, reciben y los comercializan: los investigadores, el Estado y los industriales.

Cada vez se hace patente la aplicación entre el proceso de escolarización y el ejercicio laboral en términos de los fines y las prácticas, valores, normas, capacidades aprendidas o por aprender, división de labores, jerarquías, nociones de mando y autoridad, relaciones salariales y de trabajo. Sin embargo, ni el proceso ideológico o pedagógico, ni los resultados de la escolarización, corresponden en forma mecánica con las estructuras y prácticas del trabajo profesional.

Apuntalar un escenario diferente tendría que partir de la reconstrucción de políticas de largo plazo, para incidir en la orientación de las instituciones de educación superior y universidades. En muchos campos de la actividad académica, los conocimientos se vuelven rápidamente obsoletos, lo cual indica la necesidad de incidir de forma drástica en la modificación de los contenidos,



métodos y lenguajes, fomentando habilidades que desafíen las prácticas tradicionales de enseñanza-aprendizaje, el rol del profesor y las prioridades de la investigación y transferencia de conocimientos.

El uso productivo del capital cultural que reproducen esencialmente las instituciones de educación superior, no interesa tanto la expansión social y cultural de la ciencia y la tecnología, como la intensidad con la que estas se producen de manera continua y eficiente, en correspondencia con la maximización de la ganancia. Estas condiciones determinan la dinámica actual del mercado de trabajo y los ritmos en que se determina el empleo de ingenieros, técnicos y científicos, así mismo deben responder a las relaciones entre la ciencia y tecnología, instituciones educativas e industria.

Como respuesta a la hipótesis planteada (la transformación de la ciencia en capital), es conveniente la actualización de los apuntes de la asignatura "Programación y Construcción de Estructuras".

Este recurso didáctico permitirá almacenar y transportar información diversa sobre procesos constructivos y hacerlo en un formato cómodo. El material propuesto "Procedimiento Constructivo con Estructuras Metálicas" podrá manejarse con facilidad dentro de las aulas, además y a diferencia de otros recursos como el internet se trata de una información depurada, útil para el contexto donde se trabaja y pensada para los estudiantes a quien va dirigida.



Consideramos que pueden ser de gran ayuda en el proceso de enseñanza-aprendizaje, siempre que no sea el único recurso.

Inicialmente se presenta una síntesis sobre el origen y fabricación del acero estructural, siguiendo por la descripción de los principales perfiles y sujetadores, los trabajos preliminares que se hacen en el taller de fabricación continuando con el transporte de las estructuras del taller a la obra, su montaje y armado a base de tornillos o soldadura y finalmente la protección contra la corrosión e incendio a las estructuras metálicas.

El acero como elemento constructivo permite algo difícil de lograr en otros materiales, posibilidades de ampliación en múltiples direcciones, vertical y horizontal, su relación resistencia/peso, recuperación mecánica, su valor de rescate hace de una estructura metálica una inversión siempre recuperable. Para su utilización no hay que romper, ni ahogar, solo hay que atornillar o soldar.

El acero estructural responde a una etapa de evolución de la técnica constructiva, que desplazando al artesano por el obrero calificado, establece normas de vida más humanas para sus realizadores. Ya no se cargan los botes de mezcla y los ladrillos al lomo del peón de obra, el albañil de la construcción es sustituido por el obrero que maneja sus auxiliares mecánicos: Grúas, malacates, plumas; en lugar de la cuchara de albañil y la argamasa, hay un tornillo y una llave de tuerca, electrodos y máquinas soldadoras o remaches y compresoras de aire.



Procedimiento Constructivo con Estructuras Metálicas



La soldadura aplicada a la construcción de estructuras ha permitido producir nuevas formas. Las ménsulas y contraménsulas, han sido sustituidas por placas soldadas de espesor conveniente, la soldadura eléctrica ha hecho posible la formación de cualquier tipo de perfil, el más adecuado a su propia función como elemento constructivo.

México es el segundo productor de acero en América Latina y el décimo tercero a nivel mundial. En nuestro país existen 11 grandes empresas acereras distribuidas en el territorio mexicano, las cuales tienen una gran importancia en la economía nacional, El PIB siderúrgico es de 196,812 millones de pesos lo que representa el 2.1% del total nacional.

Las estructuras metálicas permiten el máximo aprovechamiento de áreas, en otros casos forma parte de fachadas, de la superestructura de puentes. Es ahora la nueva piel y cuerpo de la infraestructura.



Capítulo I. Fabricación

I.1 Evolución del acero en la construcción

El hierro y sus aleaciones fue el primer metal que se usó industrialmente para las estructuras. La llegada del acero al campo estructural es bastante reciente, porque el fatigoso trabajo necesario para producir el hierro soldable por fusión limitó su uso durante siglos a los productos de mayor precio y necesidad: las armas y las herramientas agrícolas.

Poco a poco el acero se fue introduciendo como material de construcción, primero con elementos de fundición y finalmente con los redondos y elementos tubulares que facilitan la esbeltez de las modernas estructuras metálicas.

La construcción en acero surgió a partir del siglo XVIII, en el cual se produce un vertiginoso desarrollo de este material.

El acero se comenzó a utilizar como elemento estructural en puentes alrededor del año 1800 y en obras de arquitectura para la construcción de estaciones ferroviarias y salones de exposición, es decir para cubrir grandes espacios.



Figura 1.1.1 Estación Saint Pancras
Londres, Inglaterra, 1864



Figura 1.1.2 Interior de la estación
Pensilvania, EE. UU., 1902



El desarrollo de la construcción con acero de edificios de altura surge a fines del siglo XVIII y principios del XIX, donde la estructura se rellena con obra de mampostería. En 1887 se construyó un edificio de 12 plantas en Chicago y en 1931 se inauguró en Nueva York el Empire State Building de 85 plantas y 379 m de altura.



Figura 1.1.3 Empire State Building, N.Y. EE.UU

El desarrollo posterior de los conceptos conduce a novedosos planteos de esqueleto y cerramiento exterior metálico, con una notable evolución la cual consistió en tipología mixta, recubrimiento de concreto, vidrio o panel, columnas y traveses de acero expuestas formando parte de la fachada. Partiendo de la intención de maximizar los puntos de apoyo y distribución de cargas, las columnas y traveses perimetrales, así como un sistema de contraventeo se proyectan fuera del edificio manifestando su realidad estructural. Lo anterior queda de manifiesto en el



pensamiento del ingeniero inglés Ruskin: “las estructuras no sólo deben resistir, sino aparentar resistir...” El constante proceso creativo, paralelo a la técnica y a los conceptos de arquitectura, los niveles de confort y óptimo desarrollo en el quehacer humano, ha culminado en la torre Corporativo Insurgentes 553 como puede observarse en la Figura 1.1.4, construido en el año 2003.

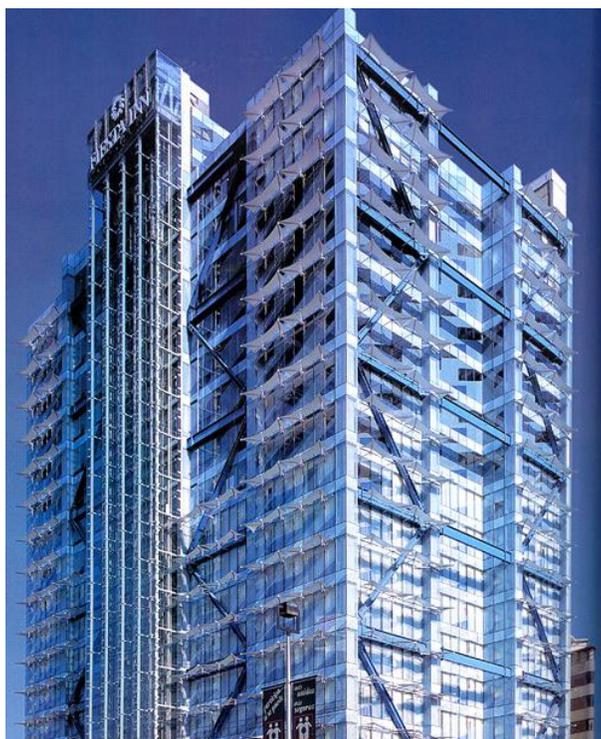


Figura 1.1.4 Corporativo Insurgentes 553, D.F., México

Simultáneamente surgió un sistema de fachada llamado “curtain wall” en el cual se le da al edificio un cerramiento liviano, transparente continuo a base de vidrios sujetos por delante de la estructura resistente. El muro cortina, no carga con ningún peso muerto de la construcción que no sea el propio. Este peso es transferido a la estructura principal del edificio gracias a conexiones en pisos o



columnas de la edificación. Un muro cortina está diseñado para resistir las filtraciones de aire y agua, las fuerzas de vientos que actúen sobre el edificio, fuerzas sísmicas y sus propias fuerzas de peso muerto.



Figura 1.1.5 Edificio Torre Mayor, México, 2003

El uso del acero se multiplicó gracias al avance de la metalurgia y a la soldadura eléctrica. La característica fundamental de las modernas estructuras de acero es la simplificación estructural y la esbeltez. Desde sus primeras aplicaciones en puentes y después en rascacielos, el acero ha ido ganando uso sobre todo en edificios de viviendas y oficinas, aunque el desarrollo de la técnica del concreto armado lo ha limitado, por la gran popularidad que tiene el concreto armado en la construcción convencional artesanal desde hace décadas, por la localización de la



obra, la arquitectura, la utilización prevista para la edificación y en algunos casos, por la simple afirmación (sin realizar un análisis técnico - económico) que la estructura en acero sería más costosa.

El principal campo de aplicación de las estructuras metálicas es: edificación, naves industriales, puentes (de ferrocarril, vehiculares y peatonales de grandes claros), plantas industriales, plataformas marinas, mástiles, antenas de comunicaciones, cubiertas, depósitos, silos, compuertas de presas y postes de conducción de energía eléctrica.



Figura 1.1.4 Construcción de La Torre Latinoamericana, D.F, México, 1953



Figura 1.1.6 Construcción del Edificio Torre Mayor, D.F, México, 2002



I.2 Materiales utilizados en las Plantas Acereras para la Fabricación de Acero Estructural

Para la fabricación de acero estructural las industrias siderúrgicas necesitan hierro más metaloides como son el Carbón metalúrgico (C), Azufre (S), Fosforo (P) y Silicio (Si), además de metales variables como el Manganeso (Mn), Cromo (Cr) y Níquel (Ni). Estos últimos son los que le dan sus grandes propiedades. Las Industrias acereras tienen sus propios yacimientos o compran los precursores del acero a la industria minera.

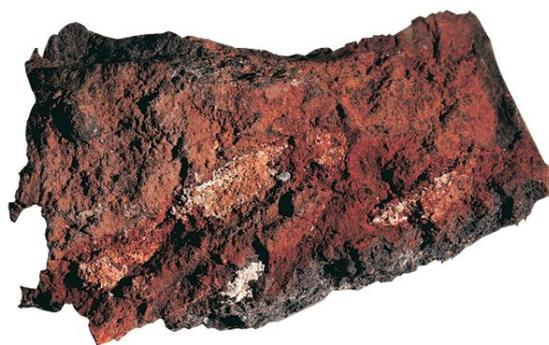


Figura 1.2.1 Hierro



Figura 1.2.2 Carbono

La cantidad de carbono dependerá del grado de acero estructural que se desea fabricar, a mayor cantidad de carbono en la mezcla más frágil será el acero. La cantidad de carbono debe ser superior al 0.03%, pero menor de 2% para obtener acero de grado estructural (Manual de Construcción en Acero IMCA, 1987).

El acero conserva aproximadamente un 98% de las características del hierro en estado puro, pero la adición de carbono y de otros elementos tanto metálicos como no metálicos mejora sus propiedades físico-químicas dando lugar a un material dúctil, tenaz y resistente para soportar cargas de diseño.



Los aceros estructurales laminados en caliente, se producen en forma de placas, barras y perfiles de diversas formas.



Figura 1.2.3 Laminación en caliente

Diversos tipos de acero estructural están disponibles en perfiles, placas, barras y secciones estructurales huecas (tubos) en el mercado nacional. A continuación se discute brevemente los más importantes y que son reconocidos y aceptados por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas.



Procedimiento Constructivo con Estructuras Metálicas



Tabla 1.2.1 Aceros Estructurales aceptados por las normas mexicanas (NTC-DCEM-RCDF-2004).

Nomenclatura		Esfuerzos de Fluencia (kg/cm ²)		Características	Usos
		Fy	Fu		
NMX	ASTM				
B-254	A36	2,530	4,080 a 5,620	Esta norma es aplicable a una gran variedad de perfiles estructurales laminados en caliente y a placas de la misma calidad que están disponibles en el mercado mexicano, ofrece una buena relación entre resistencia, soldabilidad y bajo costo.	Edificación (columnas, vigas y contraventeos)
B-99	A529	2,950	4,220 a 5,975	El ASTM A529 se usa con mucha frecuencia en la construcción de edificios de acero, también es un grado de acero común en barras y perfiles (ángulos, canales de calidad estructural).	Edificación (columnas, vigas y contraventeos)
B-282	A242	2,950	4,430	Acero estructural de baja aleación, alta resistencia y resistente a la corrosión atmosférica	Edificación (columnas, vigas y contraventeos)
		3,235	4,710		
		3,515	4,920		
B-284	A572	2,950	4,220	Acero Estructural de alta resistencia y baja aleación al manganeso-vanadio	
	A588	3,515	4,570	Acero Estructural de alta resistencia y baja aleación de hasta 100 mm de grueso	
	A913	4,220	5,270	Perfiles de acero de alta resistencia y baja aleación, de calidad estructural, producidos por un tratamiento térmico especial (QST). En el proceso QST, después de que el perfil pasa por los últimos rodillos, se enfría mediante agua toda la superficie de manera que ésta se temple. El enfriamiento es interrumpido antes de que afecte al interior del material de manera que el revenido de las capas exteriores se produce por el calor que fluye desde el centro a la superficie. Este es el grado de acero estructural más utilizado actualmente en el mercado estadounidense	Edificación (columnas, vigas y copntraventeos). Construcción de puentes Se recomienda utilizar electrodos E 7018 con técnica especial de soldadura.
	A992	3,515	4,570 a 6,630	El A992 es la adición más reciente (1998) de la lista de aceros estructurales en Estados Unidos. Se produjo para usarse en construcción de edificios, y está disponible solamente en perfiles tipo W. Para propósitos prácticos se trata de un acero A572 grado 50 con requisitos adicionales. El carbono equivalente no excede de 0.50, ofrece características excelentes de soldabilidad y ductilidad.	
B-177	A53	2,460	4,220	El acero A53 está disponible en tipos E y S, donde E denota secciones fabricadas con soldadura por resistencia y S indica soldadura sin costura. El grado B es conveniente para aplicaciones estructurales; con esfuerzo de fluencia y resistencia a la ruptura en tensión	Edificación (columnas y contraventeos).
B-199	A500	3,235	4,360	Este tipo de acero está disponible en tubos de sección circular hueca HSS formados en frío en tres grados, y también en los mismos grados de tubos HSS formados en frío, de sección cuadrada y rectangular. Las propiedades para tubos cuadrados y rectangulares HSS difieren de los circulares HSS.	Edificación (columnas y contraventeos).
B-200	A501	2,530	4,080	Para fines prácticos El A501 es similar al acero A36. Se usa para tubos HSS de sección circular, cuadrada y rectangular con esquinas redondeadas.	Edificación (columnas y contraventeos).



I.3 Procedimientos de Fabricación y Rolado

El proceso de fabricación inicia cuando el carbón metalúrgico es procesado en las plantas coquizadoras durante 18 horas donde se realiza una desintegración térmica para romper las moléculas grandes en otras más pequeñas en hornos verticales recubiertos con ladrillo refractario a fin de extraerle el gas metano y otros subproductos como el alquitrán al carbón metalúrgico. La desintegración térmica genera coque el cual es el energético básico de los altos hornos para producir arrabio (hierro de primera fusión con un 4% aproximadamente de carbono).

El arrabio es duro pero muy frágil (interesa más un material dúctil, que “avisa” de su estado tensional), para reducir el porcentaje de carbono sin perder resistencia se afina el arrabio en convertidores donde se quema el carbono sobrante, obteniéndose el acero en bruto con un porcentaje de carbono en torno al 2%.

Posteriormente el acero líquido es transportado a un molde oscilante de cobre enfriado por agua que convierte el acero sólido en forma de una sección transversal rectangular denominada “planchón”. El planchón es cortado a las medidas requeridas para procesos posteriores, acorde a las especificaciones de cada proyecto.

Finalmente, por laminado en caliente a partir de un bloque cuadrado denominado "tocho" se producen perfiles estructurales (vigas, canales y ángulos). El tocho es



procesado en una serie de pasadas a través de rodillos horizontales y verticales, hasta lograr las formas y dimensiones deseadas.

Este proceso mejora sensiblemente las cualidades del acero ya que elimina imperfecciones del lingote y oquedades, alargando los cristales de acero en la dirección de la laminación. El acero resultante es bastante homogéneo, sin embargo tiene unas propiedades mecánicas inferiores en la dirección transversal a la laminación, pues sus cualidades de resistencia a compresión y tensión son muy altas, con buenas cualidades de elasticidad y dilatación.

Considerando que el acero estructural se produce por hornadas, los perfiles menos utilizados y los grados de mayor resistencia se producen con menos regularidad que los perfiles A36 (NMX B-254), usados con mayor frecuencia, por ello es recomendable que los diseñadores estructurales deban de tomar en cuenta el impacto de especificar perfiles y materiales poco empleados si el proyecto tiene un programa apretado.

La nomenclatura del acero A36 fue determinada por las normas estadounidenses estandarizadas por la ASTM (Sociedad Americana de Pruebas de Materiales, por sus siglas en inglés). La letra A indica la familia o grupo del tipo de material, en este caso es acero y el número 36 proviene de la fuerza a tensión aplicada al perfil en que comienza a fluir el acero (36 psi (libra-fuerza por pulgada cuadrada)).



Proceso de Fabricación y Rolado del Acero

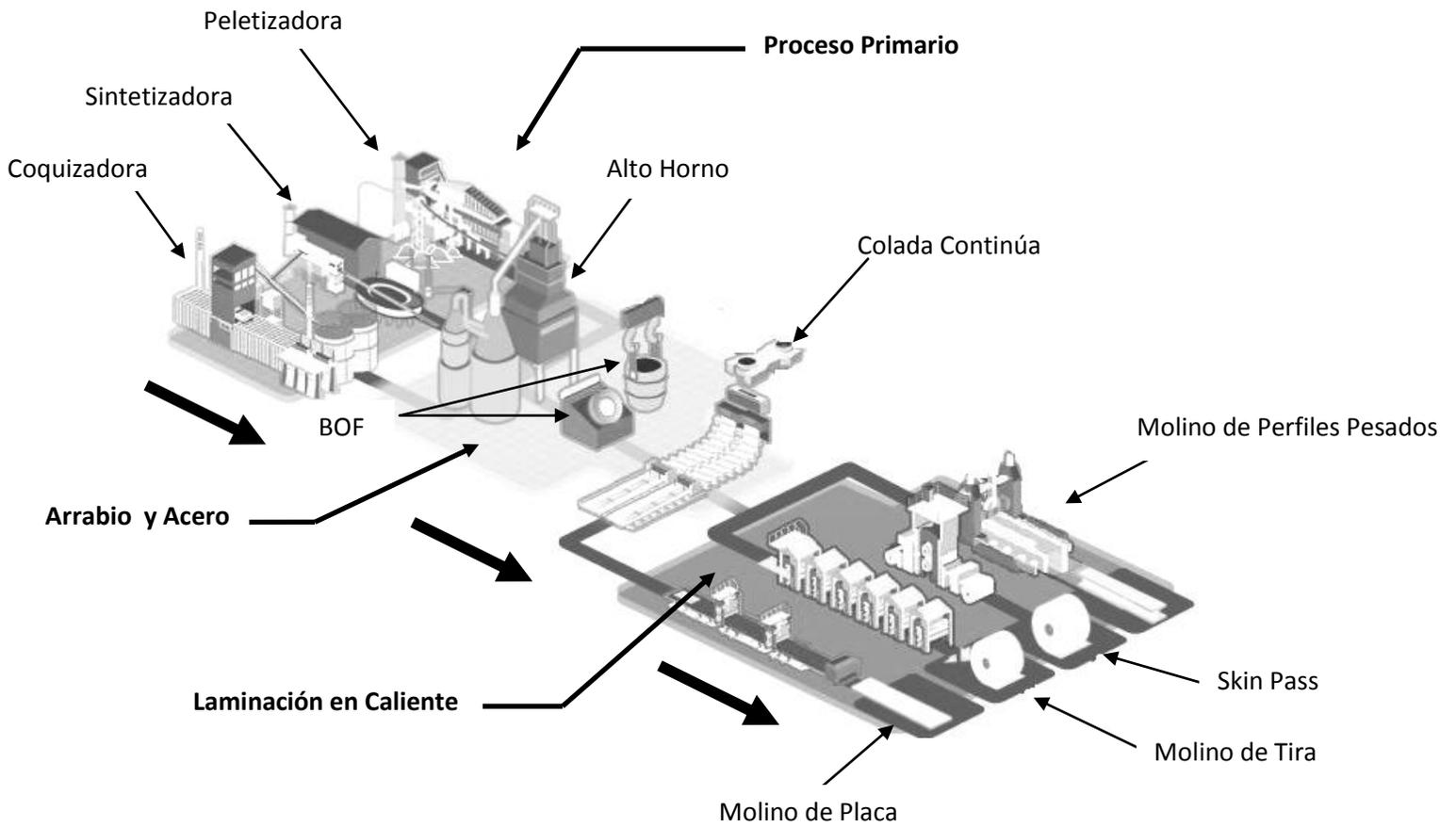


Figura 1.3.1 Proceso de fabricación del acero



Capítulo II. Perfiles estructurales

II.1 Perfil I (IPS)

Su sección tiene forma de I y su altura es mayor que la anchura del patín. Las caras interiores del patín forman una pendiente del 14% respecto a la perpendicular del alma. Las uniones de ambos patines con el alma son redondeadas, según puede verse en la Figura 2.1.1. Asimismo, el patín superior e inferior tiene el borde con arista exterior y redondeado interior.

Ventajas

- Los perfiles IPS son más ligeros que los IPR por lo cual se utilizan en claros más largos como vigas.
- Presentan valores de límite elásticos comprendidos entre $2,530 \text{ kg/cm}^2$ y $4,691 \text{ kg/cm}^2$ a tensión.
- Las excelentes propiedades mecánicas pueden llegar a reducir el peso de la construcción en un 25% al 50% dependiendo de la configuración estructural, así como ofrecer una alta resistencia y una duración excepcional.

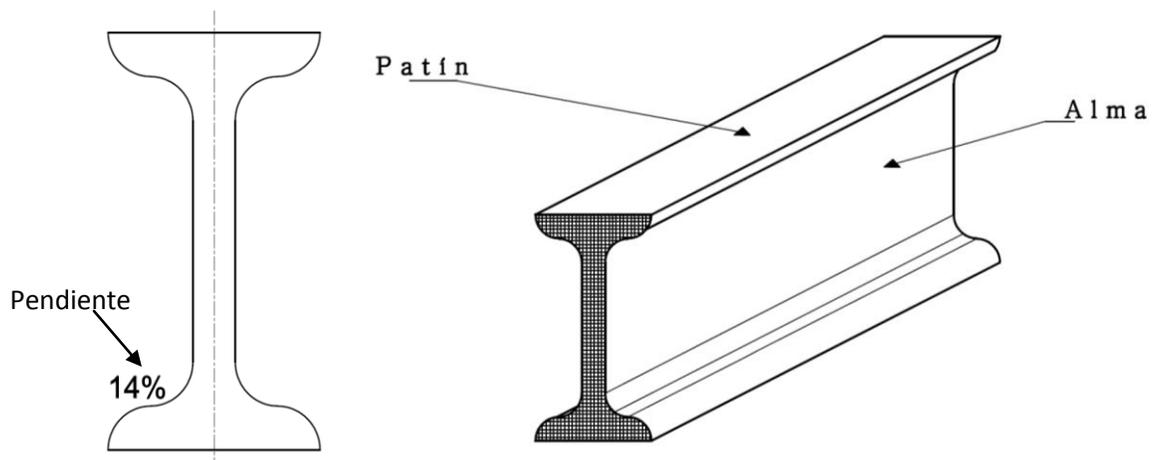
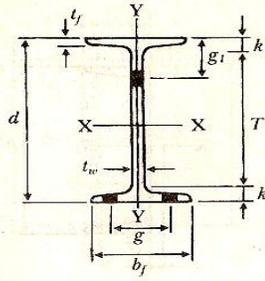


Figura 2.1.1 Perfil I (IE)

- La longitud mínima de fabricación es de doce metros
- El usuario dispone de la capacidad de determinar por sí mismo el perfil que desea y de que éste se lamine a medida. El pedido de perfiles a medida está sujeto a un peso mínimo de quinientas toneladas por perfil y calidad.



IE
PERFIL I ESTANDAR
DIMENSIONES

Designación d x peso		Peralte	Alma	Patín		Distancia		Gramil		Sujetadores	
		d	t _w	b _f	t _f	T	k	g	g _i	Diámetro máximo en patín	
mm* x kg/m	in. x lb./ft.	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	in.
76 x 8,5	3 x 5,7	76	4,92	59,18	6,60	41	17	36	38	10,0	3/8
x 11,2	x 7,5	76	8,86	63,73	6,60	41	17	36	38	10,0	3/8
100 x 8,32	4 x 5,6	100	4,50	50,00	6,80	64	19	38	51	13,0	1/2
102 x 11,5	x 7,7	102	4,90	67,64	7,44	64	19	38	51	13,0	1/2
x 14,1	x 9,9	102	8,28	71,02	7,44	64	19	38	51	13,0	1/2
127 x 11,20	5 x 7,5	120	5,10	58,00	7,70	86	21	44	44	13,0	1/2
x 14,9	x 10,0	127	5,44	76,30	8,28	86	21	40	44	13,0	1/2
x 22,0	x 14,75	127	12,55	83,41	8,28	86	21	40	44	13,0	1/2
160 x 17,9	6 x 12,0	160	6,3	74,00	9,5	108	22	51	51	16,0	5/8
152 x 18,6	x 12,5	152	5,89	84,63	9,12	108	22	44	51	16,0	5/8
x 25,7	x 17,25	152	11,81	90,55	9,12	108	22	44	51	16,0	5/8
178 x 22,8	7 x 15,3	178	6,40	93,01	9,96	130	24	50	57	16,0	5/8
x 29,6	x 20,0	178	11,43	98,04	9,96	130	24	50	57	16,0	5/8
200 x 26,3	8 x 17,7	200	7,50	90,00	11,30	152	25	60	60	19,0	3/4
203 x 27,4	x 18,4	203	6,88	101,63	10,82	152	25	60	60	19,0	3/4
x 34,2	x 23,0	203	11,20	105,94	10,82	152	25	60	60	19,0	3/4
229 x 32,44	9 x 21,8	229	7,40	110,00	11,60	178	26	65	60	19,0	3/4
254 x 37,8	10 x 25,4	254	7,90	118,39	12,47	197	29	70	60	19,0	3/4
x 52,1	x 35,0	254	15,09	125,58	12,47	197	29	70	60	19,0	3/4
305 x 47,9	12 x 31,8	305	8,89	127,0	13,82	244	30	76	64	19,0	3/4
x 52,1	x 35,0	305	10,87	128,98	13,82	244	30	76	64	19,0	3/4

NOTA:

Los perfiles sombreados no son de fabricación común, por lo que se recomienda consultar con el proveedor su disponibilidad.

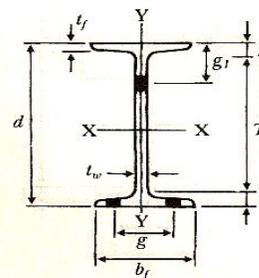
* Redondeado al milímetro.

INSTITUTO MEXICANO DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO, A.C.

Figura 2.1.2 Dimensiones del Perfil I (IE)



IE
PERFIL I ESTANDAR
PROPIEDADES



Peso	Área	Criterio de sección compacta			r_T	$\frac{d}{A_f}$	Eje X-X			Eje Y-Y			Constante de torsión	Módulo de sección plástico	
		$\frac{b_f}{2t_f}$	$\frac{d}{t_w}$	F_y''			I	S	r	I	S	r		J	Z_x
kg/m	cm ²			kg/m ²	cm	cm ⁻¹	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm ³
8.5	10.8	4.5	17.6	—	1.45	1.95	105	27.5	3.12	18.94	6.4	1.33	1.66	32.0	10.70
11.2	14.3	3.8	8.6	—	1.50	1.81	122	32.0	2.92	24.40	7.7	1.31	3.75	38.73	13.54
8.32	10.60	3.7	22.2	—	1.24	2.94	171	34.2	4.01	12.20	4.88	1.07	1.27	39.67	8.83
11.5	14.6	4.5	20.7	—	1.63	2.02	253	49.8	4.17	31.80	9.4	1.48	2.91	57.52	13.80
14.1	18.0	4.8	12.3	—	1.65	1.92	283	55.6	3.96	37.60	10.6	1.45	5.00	66.20	18.52
11.20	14.2	3.8	23.5	—	1.53	2.68	129	54.7	4.81	25.16	7.41	1.33	2.16	63.73	15.54
14.9	19.0	4.6	23.4	—	1.83	2.00	512	80.6	5.21	50.78	13.3	1.63	4.58	92.91	22.45
22.0	28.0	5.0	10.1	—	1.88	1.83	633	99.8	4.75	69.51	16.6	1.57	1.33	121.60	30.81
17.9	22.8	3.9	25.4	—	1.94	2.28	938	117.0	6.41	64.43	14.8	1.68	5.24	136.00	27.15
18.6	23.7	4.6	25.9	—	2.00	1.98	920	120.8	6.22	75.75	17.9	1.79	7.08	138.80	30.32
25.7	32.7	3.0	12.9	—	2.06	1.85	1.095	143.7	3.79	96.15	21.3	1.71	15.40	173.70	38.67
22.8	29.0	4.7	27.8	—	2.21	1.92	1.528	172.1	7.26	110.0	23.6	1.95	9.90	198.3	40.0
29.8	37.9	4.9	15.6	—	2.24	1.82	1.765	193.3	6.83	132.0	26.9	1.86	18.73	237.61	48.51
26.3	33.5	4.0	26.7	—	2.36	1.97	2.148	214.0	8.01	137.9	26.0	2.03	10.70	249.60	47.94
27.4	34.9	4.7	29.5	—	2.39	1.85	2.397	236.0	8.28	155.0	30.5	2.11	14.15	270.40	51.78
34.2	43.7	4.9	18.1	—	2.41	1.78	2.701	265.5	7.87	179.0	33.9	2.03	22.89	316.27	60.30
32.41	40.7	1.7	30.95	—	2.90	1.79	3.535	309.3	9.32	214.8	39.1	2.29	13.84	355.3	72.9
37.8	48.1	4.7	32.2	4.480	2.77	1.72	5.161	404.8	10.34	283.0	47.7	2.42	24.97	465.4	812.8
32.1	66.5	5.0	16.8	—	2.79	1.62	6.119	481.8	9.60	348.0	55.4	2.29	53.70	580.1	101.99
47.3	60.3	4.6	34.3	3.947	2.95	1.74	9.074	508.5	12.27	390.0	61.3	2.54	37.46	688.26	104.88
32.1	66.5	4.7	28.0	—	2.95	1.71	9.532	626.0	12.0	411.0	63.7	2.49	44.95	734.14	111.27

NOTA:

Los perfiles sombreados no son de fabricación común, por lo que se recomienda consultar con el proveedor su disponibilidad.

Figura 2.1.3 Propiedades del Perfil I (IE)



II.2 Perfil IB

Difiere del anterior en su sección que es de una altura igual a la anchura de los patines.

Las uniones entre las caras del alma y las caras interiores de los patines, están inclinadas el 9% respecto a la normal del alma, son también redondeadas

Los patines tienen los bordes con arista exterior y redondeo interior

Ventajas

- Presenta valores de límite elásticos comprendidos entre $2,530 \text{ kg/cm}^2$ y $4,691 \text{ kg/cm}^2$ a tensión.
- Las excelentes propiedades mecánicas pueden llegar a reducir el peso de la construcción en un 20% al 40% dependiendo de la configuración estructural, así como ofrecer una alta resistencia, una duración excepcional y una gran gama de espesores.
- Por su forma y características mecánicas, es usado tanto para columnas como para vigas por sus dimensiones que son iguales en altura y anchura.

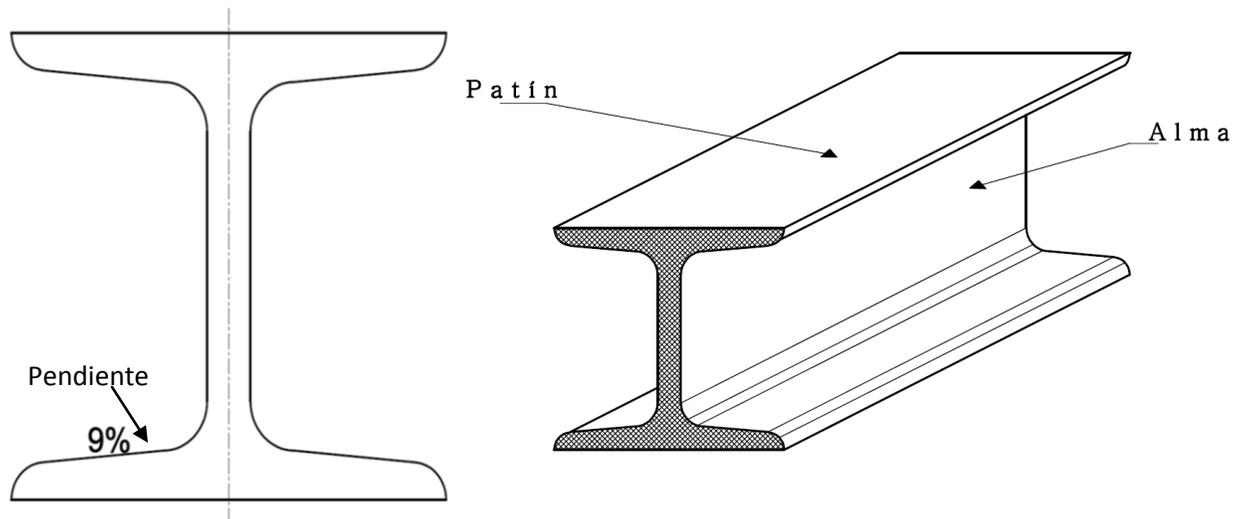


Figura 2.2.1 Perfil IB

- El pedido mínimo es de cinco toneladas por perfil, calidad, longitud y destino.
- Las modificaciones en dimensiones, forma, barrenado, longitud y cortes especiales se podrán concretar en el taller con previo acuerdo.



II.3 Perfil H (IPR)

Cada perfil tiene un uso funcional en particular, pero el caballo de batalla en la construcción de edificios es la sección H.

La sección de este perfil tiene forma de H, de altura igual a la anchura de los patines. Las uniones entre las caras del alma, son redondeadas y los patines tienen los bordes con arista exterior y redondeado interior.

Ventajas

- El alto límite elástico y la excelente soldabilidad del perfil hace de él una elección económica para el diseño de edificios multiplanta y vigas con grandes claros.
- Las excelentes propiedades mecánicas pueden llegar a reducir el peso de la construcción en un rango del 25% al 50% dependiendo de la configuración estructural, así como ofrecer una alta resistencia, una duración excepcional y una gran gama de espesores.
- Por su forma y características mecánicas, es usado tanto para columnas como para vigas por sus dimensiones que son iguales en altura y anchura.

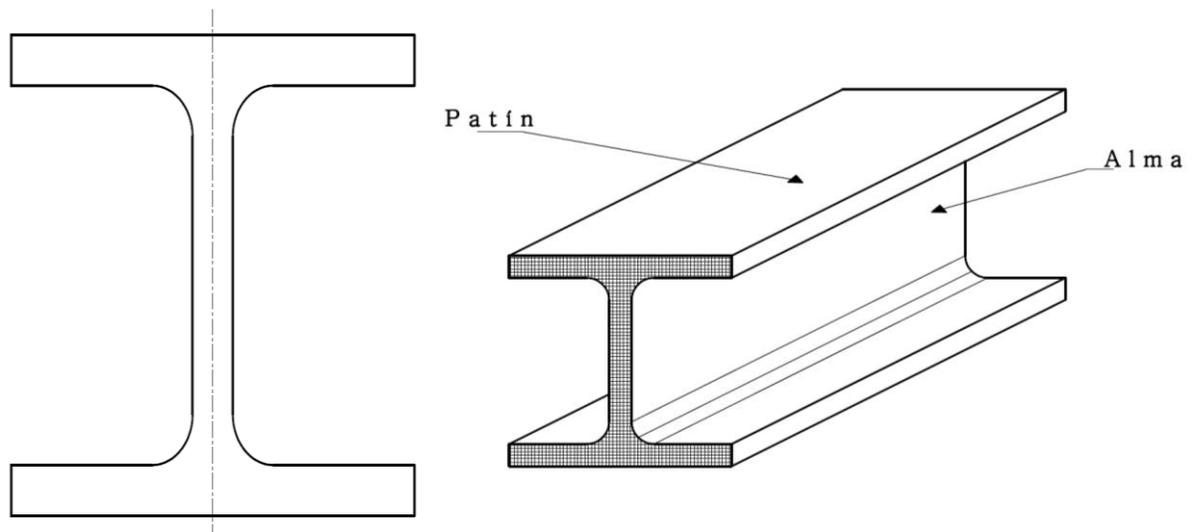


Figura 2.3.1 Perfil H (IPR)

- Las siderúrgicas ofrecen garantía de seis meses en los perfiles estructurales bajo los conceptos de corrosión (dependiendo del tipo de almacenamiento y protección del producto), calidad de la superficie (defectos o imperfecciones en el rolado) y dimensiones forma y flecha, bajo las tolerancias de la norma ASTM A-6 (NMX 252).



IR
PERFIL I RECTANGULAR
DIMENSIONES

Designación d x peso		Peralte	Alma	Patin		Distancia			Gramil		Sujetadores	
		d	t _w	b _f	t _f	T	k	k _f	g	g _f	Diámetro máximo en patin	
mm* x kg/m	in. x lb./ft.	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	in.
102 x 19.4	4 x 13	106	7.1	103	8.8	71	17	11	60	50	12.7	1/2
127 x 23.7	5 x 16	127	6.1	127	9.1	89	19	11	70	50	19.0	3/4
	x 26.1	134	6.9	128	10.9	90	21	11	70	55	22.2	7/8
152 x 13.6	6 x 9	150	4.3	100	5.5	121	14	10	60	45	12.7	1/2
	x 18.0	133	5.8	102	7.1	121	16	10	60	55	12.7	1/2
	x 24.0	160	6.6	102	10.3	121	19	11	60	55	12.7	1/2
152 x 22.1	6 x 15	152	5.8	152	6.6	120	16	10	90	55	22.2	7/8
	x 29.7	157	6.6	153	9.3	119	19	11	90	55	22.2	7/8
	x 37.2	162	8.1	154	11.6	121	21	11	90	60	25.4	1
203 x 15.0	8 x 10	200	4.3	100	5.2	169	16	11	60	55	12.7	1/2
	x 19.4	203	5.8	102	6.5	168	17	11	60	55	12.7	1/2
	x 22.5	206	6.2	102	8.0	168	19	13	60	55	12.7	1/2
203 x 26.6	8 x 18	207	5.8	133	8.4	169	19	11	70	55	22.2	7/8
	x 31.2	210	6.4	134	10.2	169	21	13	70	60	25.4	1
203 x 35.9	8 x 24	201	6.2	165	10.2	157	22	14	90	60	25.4	1
	x 41.8	205	7.2	166	11.8	157	24	14	90	60	25.4	1
203 x 46.2	8 x 31	203	7.2	203	11.0	156	24	14	140	60	22.9	7/8
	x 52.2	206	7.9	204	12.6	155	25	14	140	60	25.4	1
	x 59.3	210	9.1	205	14.2	156	27	16	140	65	25.4	1
	x 71.4	216	10.2	206	17.1	156	30	16	140	65	25.4	1
	x 86.6	222	13.0	209	20.6	156	33	17	140	70	25.4	1
	x 99.8	229	14.5	210	23.7	156	37	17	140	75	25.4	1

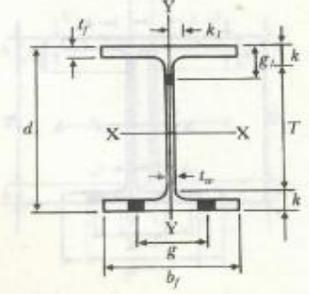
NOTA:
Los perfiles sombreados no son de fabricación común, por lo que se recomienda consultar con el proveedor su disponibilidad.
* Redondeado al milímetro.

INSTITUTO MEXICANO DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO, A.C.

Figura 2.3.2 Dimensiones del Perfil H (IPR)



IR
PERFIL I RECTANGULAR
PROPIEDADES



Peso kg/m	Área cm ²	Criterio de sección compacta					r_T cm	$\frac{d}{A_y}$ cm ⁻¹	Eje X-X			Eje Y-Y			Constante de torsión J cm ⁴	Módulo de sección plástica	
		$\frac{b_f}{2t_f}$	F_y kg/cm ²	$\frac{d}{t_w}$	F_y'' kg/cm ²	I cm ⁴			S cm ³	r cm	I cm ⁴	S cm ³	r cm	Z _x cm ³		Z _y cm ³	
																	kg/cm ²
19.4	24.7	5.9	—	14.9	—	2.8	1.17	470	89	4.4	161	31	2.5	6.2	103	48	
23.7	32.3	6.9	—	20.9	—	3.5	1.10	887	140	5.4	313	49	3.2	7.9	157	75	
28.1	35.7	5.9	—	19.1	—	3.5	0.94	1 091	167	5.5	380	60	3.3	12.9	190	91	
13.6	17.3	9.1	3 540	34.7	3 857	2.6	2.74	683	91	6.3	91	18	2.3	1.7	102	28	
18.0	22.9	7.1	—	26.2	—	2.7	2.12	920	120	6.3	124	25	2.3	3.7	136	38	
24.0	30.6	5.0	—	24.2	—	2.7	1.51	1 336	167	6.6	184	36	2.5	9.2	192	56	
22.4	28.6	11.5	2 246	26.0	—	4.1	1.51	1 211	159	6.5	388	51	3.7	4.2	177	78	
29.7	37.9	8.3	4 864	23.8	—	4.2	1.11	1 723	220	6.8	554	72	3.8	9.9	244	110	
37.2	47.4	6.7	—	19.9	—	4.2	0.91	2 225	274	6.9	712	92	3.9	19.1	310	140	
15.0	19.1	9.6	3 216	46.4	2 157	2.5	3.85	1 282	128	8.2	87	17	2.1	1.7	145	27	
19.4	24.8	7.8	—	34.7	3 857	2.6	3.08	1 648	182	8.2	114	22	2.1	3.7	187	35	
22.5	28.6	6.4	—	33.1	4 299	2.6	2.52	1 998	193	8.4	142	28	2.2	5.8	223	44	
26.6	33.9	8.0	—	35.4	3 706	3.5	1.85	2 576	249	8.7	332	50	3.1	7.1	279	76	
31.2	39.7	6.6	—	33.1	4 239	3.6	1.55	3 134	298	8.9	407	61	3.2	11.7	334	93	
35.9	45.7	8.1	4 305	32.4	4 424	4.5	1.20	3 446	342	8.7	762	92	4.1	14.6	380	140	
41.8	53.2	7.0	—	28.3	—	4.5	1.04	4 679	398	8.8	903	109	4.1	22.3	446	166	
46.2	58.9	9.2	3 517	28.1	—	5.5	0.91	4 579	451	8.8	1 544	152	5.1	22.5	498	231	
52.2	66.3	8.1	4 527	26.2	—	5.0	0.81	5 286	511	8.9	1 773	174	5.2	32.0	569	264	
59.3	75.5	7.2	—	29.9	—	5.6	0.72	6 077	582	9.0	2 044	200	5.2	46.6	652	305	
71.4	91.0	5.9	—	21.3	—	5.7	0.60	7 659	710	9.2	2 545	246	5.3	81.6	803	375	
86.6	110.5	5.1	—	17.2	—	6.7	0.52	9 490	852	9.3	3 126	300	5.3	139	980	457	
99.8	127.1	4.4	—	15.8	—	5.8	0.46	11 321	990	9.4	3 688	351	5.4	211	1 150	536	

NOTA:
Los perfiles sombreados no son de fabricación común, por lo que se recomienda consultar con el proveedor su disponibilidad.

INSTITUTO MEXICANO DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO, A.C.

Figura 2.3.3 Propiedades del Perfil H (IPR)



II.4 Perfil C (CE)

Su sección tiene forma de C como se puede ver en la figura 2.4.1.

Las uniones entre la cara interior del alma y las caras interiores de las alas, que están inclinadas un 8% respecto a la normal del alma, son redondeadas. Los patines tienen el borde con arista exterior y redondeo interior

Ventajas

- Los perfiles C son ligeros por su geometría por lo cual se utilizan en claros más largos como vigas.
- La excelente soldabilidad del perfil hace de él una estructura modificable creando perfiles I o secciones tubulares.
- Es usado como perfil C para la colocación de escalones de escaleras, como viga en grandes claros y como sección tubular cuando se modifica la sección.

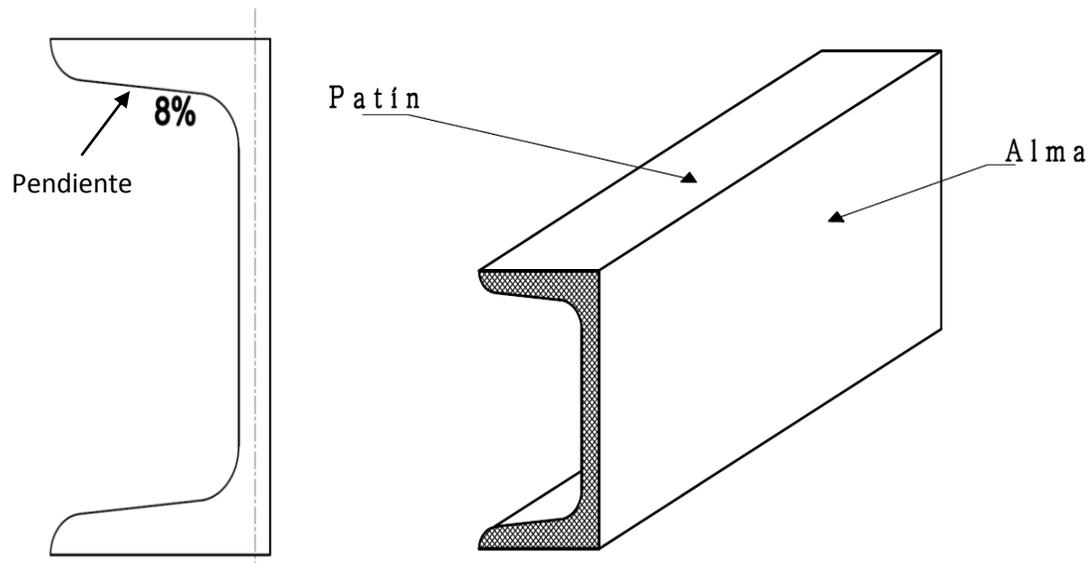
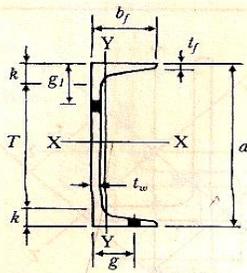


Figura 2.4.1 Perfil C

- El pedido mínimo es de cinco toneladas por perfil, calidad, longitud y destino.
- Las modificaciones en dimensiones, forma, barrenado, longitud y cortes especiales se podrán concretar en el taller con previo acuerdo.





CE
PERFIL C ESTANDAR
DIMENSIONES

Designación <i>d</i> × peso		Alma	Patín		Distancia		Gramil		Sujetadores		
		<i>t_w</i>	<i>b_f</i>	<i>t_f</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>g</i>	<i>g_l</i>	Diámetro máximo en patín		Espac. recom.
mm* × kg/m	in. × lb./ft.	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	in.	mm
76 × 6.10	3 × 4.10	4.32	35.81	6.93	44	16	24	38	—	—	—
× 7.44	× 5.00	6.5	38.05	6.93	44	16	24	38	—	—	—
× 8.98	× 6.00	9.04	40.54	6.93	44	16	25	38	—	—	—
102 × 8.04	4 × 5.40	4.57	40.13	7.52	70	16	25	51	—	—	—
× 10.79	× 7.25	8.13	43.69	7.52	70	16	25	51	15.9	5/8	50
127 × 9.97	5 × 6.70	4.83	44.45	8.13	91	18	25	51	—	—	—
× 13.39	× 9.00	8.26	47.85	8.13	91	18	29	51	15.9	5/8	50
152 × 12.20	6 × 8.20	5.08	48.77	8.71	114	19	29	57	15.9	5/8	50
× 15.63	× 10.50	7.98	51.66	8.71	114	19	29	57	15.9	5/8	50
× 19.35	× 13.00	11.10	54.79	8.71	114	19	35	57	15.9	5/8	50
× 23.07	× 15.50	14.30	58.00	8.70	114	19	35	57	15.9	5/8	50
178 × 14.58	7 × 9.80	5.33	53.09	9.30	136	21	32	57	15.9	5/8	50
× 18.23	× 12.25	7.98	55.73	9.30	136	21	32	57	15.9	5/8	50
× 21.95	× 14.75	10.64	58.39	9.30	136	21	32	57	15.9	5/8	50
203 × 17.11	8 × 11.50	5.59	57.40	9.91	161	21	35	57	19.0	3/4	60
× 20.46	× 13.75	7.70	59.51	9.91	161	21	35	57	19.0	3/4	60
× 27.90	× 18.75	12.37	64.19	9.91	161	21	38	57	19.0	3/4	60
× 31.62	× 21.25	14.80	67.00	9.30	159	22	38	57	19.0	3/4	60
229 × 19.80	9 × 13.40	5.92	62.00	10.50	181	24	30	60	19.0	3/4	60
× 22.10	× 15.00	7.24	63.00	10.50	181	24	30	60	19.0	3/4	60
× 29.30	× 20.00	11.40	67.00	10.50	181	24	30	60	19.0	3/4	60
254 × 22.76	10 × 15.30	6.10	66.04	11.07	210	22	38	97	19.0	3/4	60
× 29.76	× 20.00	9.63	69.57	11.07	210	22	40	97	19.0	3/4	60
× 37.20	× 25.00	13.36	73.30	11.07	210	22	40	97	19.0	3/4	60
× 44.64	× 30.00	17.09	77.04	11.07	210	22	40	97	19.0	3/4	60
305 × 30.80	12 × 20.70	7.16	74.73	12.72	254	22.5	50	93	22.2	7/8	70
× 37.20	× 25.00	9.83	77.39	12.72	254	22.5	50	93	22.2	7/8	70
× 44.64	× 30.00	12.95	80.52	12.72	254	22.5	50	93	22.2	7/8	70
381 × 50.30	15 × 33.90	10.20	86.00	16.50	308	37	40	85	25.4	1	80
× 59.10	× 40.00	13.20	89.00	16.50	308	37	40	85	25.4	1	80
× 73.60	× 50.00	18.20	94.00	16.50	308	37	50	85	25.4	1	80

NOTAS:
Los perfiles sombreados no son de fabricación común, por lo que se recomienda consultar con el proveedor su disponibilidad.
Espac. recom. es espaciamiento recomendado.
* Redondeado al milímetro.

INSTITUTO MEXICANO DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO, A.C.

Figura 2.4.2 Dimensiones del Perfil C (CE)



CE
PERFIL C ESTANDAR
PROPIEDADES

Designación <i>d</i> × peso		Área	Distancia		$\frac{d}{A_f}$	Eje X-X			Eje Y-Y		
			<i>x</i>	<i>e_o</i>		<i>I</i>	<i>S</i>	<i>r</i>	<i>I</i>	<i>S</i>	<i>r</i>
mm* × kg/m	in. × lb./ft.	cm ²	mm	mm	cm ⁻¹	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm
76 × 6.10	3 × 4.10	7.68	11.07	11.70	3.07	66.6	17.5	2.95	8.32	3.44	1.04
× 7.44	× 5.00	9.42	11.13	9.95	2.89	74.9	19.7	2.82	10.41	3.93	1.04
× 8.93	× 6.00	11.29	11.56	8.18	2.71	87.4	22.9	2.78	12.90	4.42	1.07
102 × 8.04	4 × 5.40	10.06	11.61	12.83	3.37	158.2	31.1	3.98	13.32	4.75	1.14
× 10.79	× 7.25	13.68	11.66	9.81	3.09	187.3	36.9	3.70	18.31	5.74	1.17
127 × 9.97	5 × 6.70	12.58	12.29	14.00	3.51	308.0	48.5	4.95	19.98	6.23	1.27
× 13.39	× 9.00	16.97	12.14	10.85	3.26	366.3	57.7	4.65	26.64	7.37	1.24
152 × 12.20	6 × 8.20	15.42	12.98	15.21	3.59	541.1	71.0	5.94	29.14	8.19	1.37
× 15.63	× 10.50	19.81	12.67	12.33	3.99	628.5	82.5	5.64	36.21	9.34	1.35
× 19.35	× 13.00	24.58	13.06	9.65	3.19	720.1	94.5	5.41	45.79	10.65	1.35
× 23.67	× 15.50	29.42	13.97	7.18	3.02	812.9	106.7	5.26	53.3	12.1	1.35
178 × 14.58	7 × 9.8	18.39	12.72	16.45	3.66	878.2	98.8	6.91	40.79	10.32	1.50
× 18.23	× 12.25	23.10	13.34	13.66	3.43	1 005.1	112.8	6.58	49.95	11.63	1.47
× 21.95	× 14.75	27.87	13.52	11.21	3.27	1 127.9	126.9	6.38	58.27	12.95	1.45
203 × 17.11	8 × 11.50	21.68	14.50	17.69	3.57	1 344.4	132.3	7.87	54.11	12.95	1.60
× 20.46	× 13.75	25.94	14.05	15.35	3.45	1 409.1	146.6	7.59	62.43	14.09	1.57
× 27.90	× 18.75	35.42	14.35	10.94	3.19	1 818.9	179.0	7.16	83.25	16.39	1.52
× 31.62	× 21.25	40.32	14.99	9.08	3.06	1 988.1	195.7	7.02	93.7	18.2	1.52
229 × 19.30	9 × 13.40	25.30	15.27	18.95	3.51	1 970.0	172.0	8.83	70.8	15.10	1.67
× 22.10	× 15.00	28.20	14.88	17.26	3.46	2 090.0	183.0	8.61	76.4	15.70	1.65
× 29.30	× 20.00	37.30	14.81	12.95	3.25	2 460.0	216.0	8.13	92.3	17.40	1.57
254 × 22.76	10 × 15.30	28.97	16.10	20.21	3.47	2 805.4	221.2	9.83	94.90	19.01	1.81
× 29.76	× 20.00	37.94	15.40	16.18	3.29	3 284.1	258.9	9.30	116.96	21.63	1.76
× 37.20	× 25.00	47.42	15.67	12.54	3.13	3 796.0	298.2	8.94	139.85	24.25	1.72
× 44.64	× 30.00	56.90	16.48	9.36	2.97	4 287.2	339.2	8.69	163.99	27.04	1.70
305 × 30.80	12 × 20.70	39.29	17.73	22.10	3.21	5 369.4	352.3	11.71	161.50	28.35	2.03
× 37.20	× 25.00	47.42	17.11	18.94	1.30	5 993.7	394.9	11.25	186.05	30.81	1.98
× 44.64	× 30.00	56.90	17.11	15.70	2.98	6 742.9	442.4	10.89	213.94	33.76	1.94
381 × 50.30	15 × 33.90	64.00	20.00	22.53	2.68	13 000.0	683.0	14.30	326.00	48.80	2.26
× 59.10	× 40.00	75.30	19.74	19.32	2.59	14 300.0	761.0	13.80	364.00	51.80	2.20
× 79.60	× 50.00	93.70	20.27	14.62	2.46	16 400.0	863.0	13.20	424.00	56.60	2.13

NOTA:
Los perfiles sombreados no son de fabricación común, por lo que se recomienda consultar con el proveedor su disponibilidad.
* Redondeado al milímetro.

INSTITUTO MEXICANO DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO, A.C.

Figura 2.4.3 Propiedades del Perfil C (CE)



II.5 Perfil LI

La sección de este perfil tiene forma de ángulo recto, con alas de igual dimensión.

Las caras de las alas son paralelas, y la unión entre sus caras interiores es redondeada.

Las alas tienen el borde con arista exterior y redondeo interior.

Ventajas

- Los perfiles LI son ligeros por su geometría.
- La excelente soldabilidad del perfil hace de él una estructura modificable creando perfiles T o tubo estructural.
- Es usado para realizar uniones con otros perfiles o para calzar.
- Como perfil modificable, es usado como viga T en grandes claros y como columna cuando se crea una sección tubular.

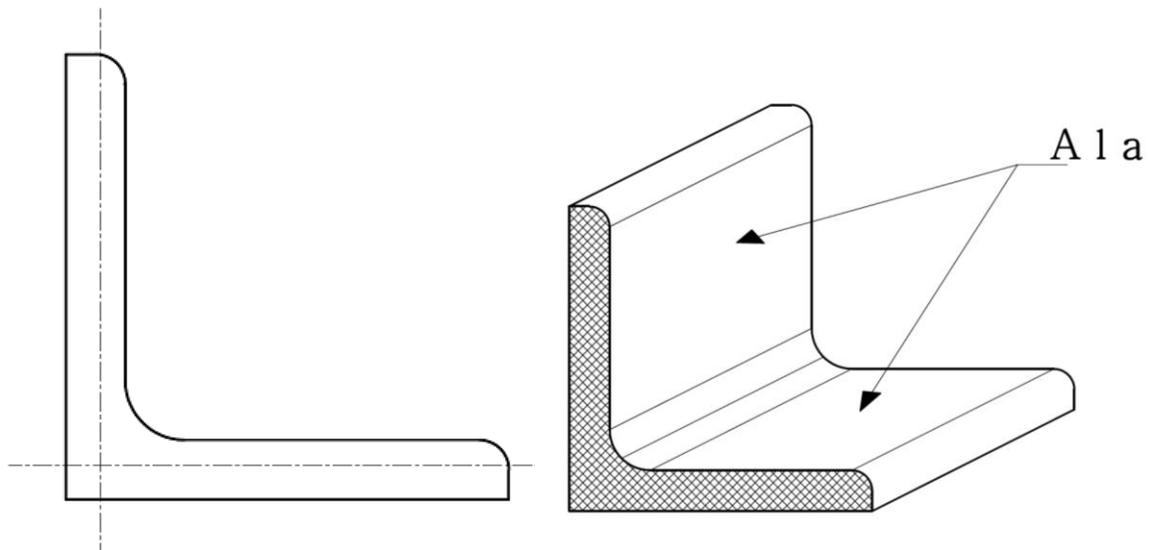
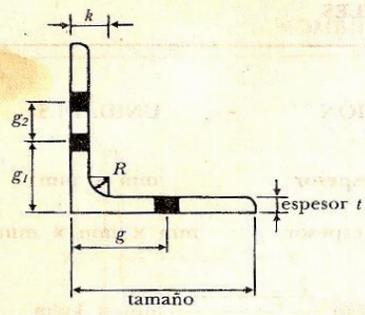


Figura 2.5.1 Perfil LI

- La longitud mínima de fabricación es de doce metros
- El usuario dispone de la capacidad de determinar por sí mismo el perfil que desea y de que éste se lamine a medida. El pedido de perfiles a medida está sujeto a un peso mínimo de quinientas toneladas por perfil y calidad.



LI
ANGULO DE LADOS IGUALES
DIMENSIONES



Designación tamaño y espesor <i>t</i>		Peso	<i>k</i>	<i>R</i>	Gramil			Sujetadores		
					<i>g</i>	<i>g</i> ₁	<i>g</i> ₂	Diámetro máximo	Espac. recom.	
mm × mm*	in. × in.	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	in.	mm
19 × 3 × 5	3/4 × 1/8	0,88	11,1	3,2	11	—	—	6,3	1/4	20
	× 3/16	1,25	12,7	3,2	11	—	—	6,3	1/4	20
22 × 3 × 5	7/8 × 1/8	1,04	11,1	3,2	12	—	—	6,3	1/4	20
	× 3/16	1,49	12,7	3,2	12	—	—	6,3	1/4	20
25 × 3 × 5 × 6	1 × 1/8	1,19	11,1	3,2	14	—	—	9,5	3/8	30
	× 3/16	1,73	12,7	3,2	14	—	—	9,5	3/8	30
	× 1/4	2,22	14,3	3,2	14	—	—	9,5	3/8	30
32 × 3 × 5 × 6	1 1/4 × 1/8	1,50	11,1	4,7	18	—	—	12,7	1/2	40
	× 3/16	2,20	12,7	4,7	18	—	—	12,7	1/2	40
	× 1/4	2,86	14,3	4,7	18	—	—	12,7	1/2	40
38 × 3 × 5 × 6 × 8 × 10	1 1/2 × 1/8	1,83	11,1	4,7	20	—	—	12,7	1/2	40
	× 3/16	2,68	12,7	4,7	20	—	—	12,7	1/2	40
	× 1/4	3,48	14,3	4,7	20	—	—	12,7	1/2	40
	× 5/16	4,26	15,9	4,7	20	—	—	12,7	1/2	40
	× 3/8	4,99	17,5	4,7	20	—	—	12,7	1/2	40
44 × 3 × 5 × 6 × 8	1 3/4 × 1/8	2,14	11,1	6,3	25	—	—	15,9	5/8	50
	× 3/16	3,15	12,7	6,3	25	—	—	15,9	5/8	50
	× 1/4	4,12	14,3	6,3	25	—	—	15,9	5/8	50
	× 5/16	5,04	15,9	6,3	25	—	—	15,9	5/8	50
51 × 3 × 5 × 6 × 8 × 10	2 × 1/8	2,46	11,1	6,3	30	—	—	15,9	5/8	50
	× 3/16	3,63	12,7	6,3	30	—	—	15,9	5/8	50
	× 1/4	4,75	14,3	6,3	30	—	—	15,9	5/8	50
	× 5/16	5,83	15,9	6,3	30	—	—	15,9	5/8	50
	× 3/8	6,99	17,5	6,3	30	—	—	15,9	5/8	50
64 × 4 × 5 × 6 × 8 × 10	2 1/2 × 5/32	3,83	11,1	6,3	35	—	—	19,0	3/4	60
	× 3/16	4,61	12,7	6,3	35	—	—	19,0	3/4	60
	× 1/4	6,10	14,3	6,3	35	—	—	19,0	3/4	60
	× 5/16	7,44	15,9	6,3	35	—	—	19,0	3/4	60
	× 3/8	8,78	17,5	6,3	35	—	—	19,0	3/4	60

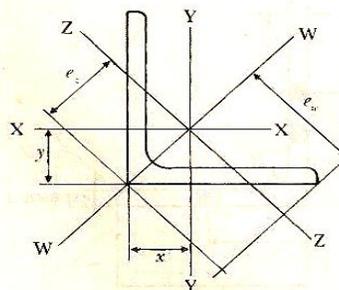
NOTAS:
Los perfiles sombreados no son de fabricación común, por lo que se recomienda consultar con el proveedor su disponibilidad.
Espac. recom. es espaciamiento recomendado.
* Redondeado al milímetro.

INSTITUTO MEXICANO DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO, A.C.

Figura 2.5.2 Dimensiones del Perfil LI



LI
ANGULO DE LADOS IGUALES
PROPIEDADES



Designación tamaño y espesor t		Área cm ²	Ejes X-X y Y-Y				Eje W-W				Eje Z-Z			
mm × mm*	in. × in.		I	S	r	x = y	I	S	r	e _w	I	S	r	e _z
		cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm
19 × 3 × 5	3/4 × 1/8	1,11	0,37	0,28	0,58	0,58	0,58	0,43	0,73	1,34	0,16	0,19	0,38	0,82
	× 3/16	1,59	0,50	0,39	0,56	0,66	0,83	0,62	0,72	1,34	0,17	0,18	0,38	0,93
22 × 3 × 5	7/8 × 1/8	1,32	0,58	0,38	0,66	0,66	0,90	0,58	0,82	1,56	0,26	0,28	0,48	0,93
	× 3/16	1,90	0,79	0,54	0,66	0,74	1,23	0,79	0,81	1,56	0,35	0,33	0,48	1,05
25 × 3 × 5 × 6	1 × 1/8	1,52	0,92	0,51	0,79	0,76	1,24	0,69	0,93	1,79	0,41	0,38	0,48	1,07
	× 3/16	2,21	1,25	0,72	0,76	0,81	2,08	1,16	0,93	1,79	0,41	0,36	0,48	1,14
	× 1/4	2,80	1,54	0,92	0,74	0,86	2,49	1,39	0,91	1,79	0,83	0,69	0,48	1,21
32 × 3 × 5 × 6	1 1/4 × 1/8	1,93	1,83	0,80	0,97	0,89	2,91	1,30	1,19	2,24	0,83	0,66	0,60	1,25
	× 3/16	2,79	2,54	1,16	0,97	0,97	3,74	1,67	1,19	2,24	0,83	0,61	0,60	1,37
	× 1/4	3,72	3,21	1,49	0,94	1,02	4,99	2,23	1,16	2,24	1,24	0,86	0,60	1,44
38 × 3 × 5 × 6 × 8 × 10	1 1/2 × 1/8	2,34	3,25	1,18	1,17	1,07	5,41	2,01	1,47	2,69	1,24	0,82	0,73	1,51
	× 3/16	3,43	4,58	1,64	1,17	1,12	7,07	2,63	1,44	2,69	1,66	1,05	0,73	1,58
	× 1/4	4,40	5,83	2,20	1,14	1,19	8,74	3,24	1,42	2,69	2,49	1,48	0,73	1,68
	× 5/16	5,40	6,66	2,62	1,12	1,24	10,40	3,86	1,39	2,69	2,91	1,66	0,73	1,75
	× 3/8	6,34	7,91	3,11	1,12	1,30	12,07	4,48	1,37	2,69	3,33	1,82	0,73	1,83
44 × 3 × 5 × 6 × 8	1 3/4 × 1/8	2,74	5,41	1,64	1,40	1,22	8,73	2,78	1,72	3,14	2,08	1,21	0,86	1,72
	× 3/16	4,03	7,49	2,29	1,37	1,30	11,65	3,71	1,70	3,14	2,91	1,59	0,86	1,83
	× 1/4	5,20	9,57	3,11	1,35	1,35	14,56	4,64	1,67	3,14	3,74	1,97	0,86	1,90
	× 5/16	6,39	11,24	3,77	1,32	1,40	17,48	5,56	1,65	3,14	4,57	2,32	0,86	1,97
51 × 3 × 5 × 6 × 8 × 10	2 × 1/8	3,10	7,91	2,13	1,60	1,40	12,49	3,48	1,97	3,58	3,32	1,68	0,99	1,97
	× 3/16	4,61	11,45	3,11	1,57	1,45	17,48	4,88	1,95	3,58	4,57	2,28	0,99	2,00
	× 1/4	6,06	14,57	4,10	1,55	1,50	22,47	6,27	1,93	3,58	5,82	2,77	0,99	2,10
	× 5/16	7,42	17,46	4,92	1,52	1,55	26,63	7,43	1,90	3,58	7,07	3,24	0,99	2,18
	× 3/8	8,77	19,98	5,74	1,50	1,63	30,80	8,60	1,87	3,58	8,32	3,61	0,99	2,30
64 × 4 × 5 × 6 × 8 × 10	2 1/2 × 5/32	4,88	19,44	4,21	1,98	1,73	31,10	6,93	2,52	4,49	7,84	3,20	1,24	2,45
	× 3/16	5,81	22,89	4,92	1,98	1,75	36,62	8,15	2,46	4,49	9,15	3,70	1,24	2,47
	× 1/4	7,68	29,14	6,39	1,96	1,83	45,36	10,10	2,43	4,49	11,65	4,58	1,24	2,54
	× 5/16	9,48	35,38	7,87	1,93	1,88	55,35	12,32	2,41	4,49	14,56	5,51	1,24	2,64
	× 3/8	11,16	40,79	9,34	1,91	1,93	64,09	14,27	2,38	4,49	17,06	6,29	1,24	2,71

NOTA:

Los perfiles sombreados no son de fabricación común, por lo que se recomienda consultar con el proveedor su disponibilidad.

* Redondeado al milímetro.



II.6 Perfil LD

Su sección tiene forma de ángulo recto, con alas de distinta dimensión.

Las caras de las alas son paralelas y la unión entre sus caras interiores es redondeada.

Las alas tienen el borde con arista exterior y redondeado interior como se muestra en la figura 2.6.1.

Ventajas

- Los perfiles LD son ligeros por su geometría.
- La excelente soldabilidad del perfil hace de él una estructura modificable pudiéndose crear perfiles T o tubo estructural.
- Es usado para realizar uniones con otros perfiles o para calzar.
- Como perfil modificable, es usado como viga T en grandes claros y como columna cuando se crea una sección tubular.

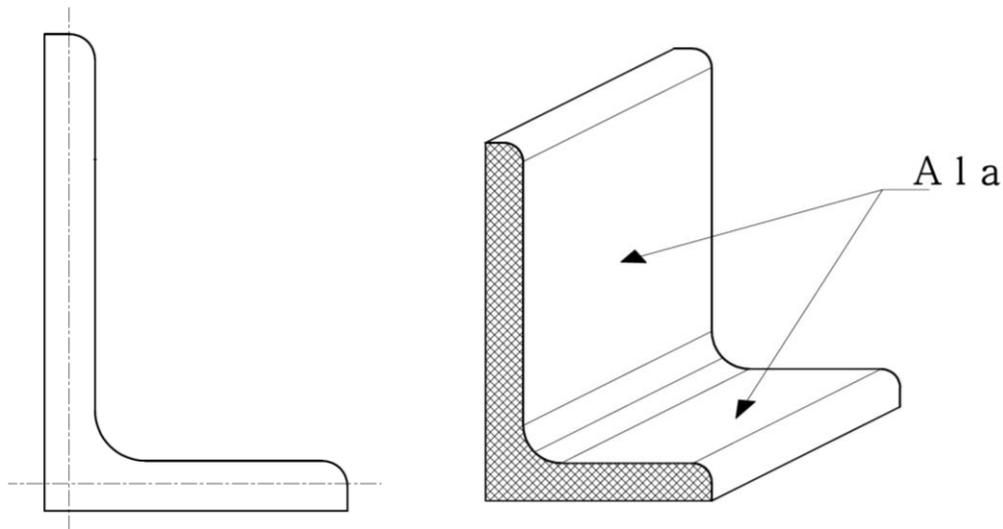
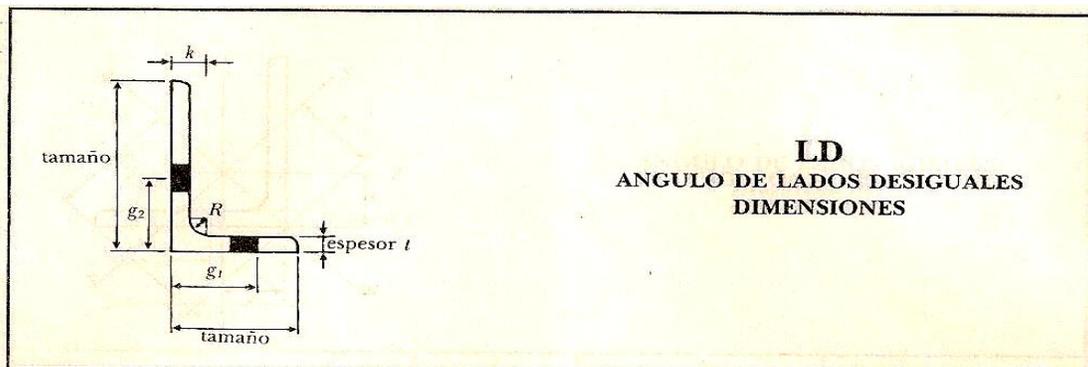


Figura 2.6.1 Perfil LD

- Las siderúrgicas ofrecen garantía de seis meses en los perfiles estructurales bajo los conceptos de corrosión (dependiendo del tipo de almacenamiento y protección del producto), calidad de la superficie (defectos o imperfecciones en el rolado) y dimensiones, forma y flecha, bajo las tolerancias de la norma ASTM A-6 (NMX 252).



LD
ANGULO DE LADOS DESIGUALES
DIMENSIONES

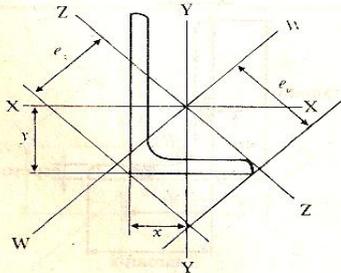
Designación tamaños y espesor <i>t</i>		Peso	<i>k</i>	<i>R</i>	Gramil**		Diám. máx. del sujetador***			
					<i>g</i> ₁	<i>g</i> ₂	Lado menor		Lado mayor	
mm × mm × mm*	in. × in. × in.	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	in.	mm	in.
102 × 76 × 6	4 × 3 × 1/4	8.63	17.46	9.5	45	60	22.2	7/8	22.2	7/8
	× 8	10.72	19.10	9.5	45	60	22.2	7/8	22.2	7/8
	× 10	12.65	20.64	9.5	45	60	22.2	7/8	22.2	7/8
	× 11	14.58	22.23	9.5	45	60	22.2	7/8	22.2	7/8
	× 13	16.52	23.81	9.5	45	60	22.2	7/8	22.2	7/8
	× 16	20.24	26.98	9.5	45	60	22.2	7/8	22.2	7/8
	× 19	23.81	28.58	9.5	45	60	22.2	7/8	22.2	7/8
152 × 102 × 8	6 × 4 × 5/16	15.19	20.64	12.7	60	90	22.2	7/8	25.4	1
	× 10	18.31	22.23	12.7	60	90	22.2	7/8	25.4	1
	× 11	21.28	23.81	12.7	60	90	22.2	7/8	25.4	1
	× 13	24.11	25.40	12.7	60	90	22.2	7/8	25.4	1
	× 16	29.76	28.58	12.7	60	90	22.2	7/8	25.4	1
	× 19	35.12	31.75	12.7	60	90	22.2	7/8	25.4	1
	× 22	40.48	34.90	12.7	60	90	22.2	7/8	25.4	1
	× 25	45.84	38.10	12.7	60	90	22.2	7/8	25.4	1

NOTA:
Los perfiles sombreados no son de fabricación común, por lo que se recomienda consultar con el proveedor su disponibilidad.
* Redondeado al milímetro.
** La localización de dos líneas de gramiles en un solo lado deberá tomarse de la tabla de ángulos de lados iguales.
*** El espaciamiento recomendado de sujetadores deberá tomarse de la tabla de ángulos de lados iguales, correspondiente al mismo diámetro de sujetador.

Figura 2.6.2 Dimensiones del Perfil LD



LD
ANGULO DE LADOS DESIGUALES
PROPIEDADES



Designación tamaño y espesor <i>t</i>		Área	Eje X-X				Eje Y-Y			
mm × mm × mm*	in. × in. × in.		<i>I</i>	<i>S</i>	<i>r</i>	<i>y</i>	<i>I</i>	<i>S</i>	<i>r</i>	<i>x</i>
		cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm
102 × 76 × 6	4 × 3 × 1/4	10.90	115.3	16.39	3.25	3.15	56.6	9.83	2.26	1.88
× 8	× 5/16	13.48	140.7	20.16	3.23	3.20	68.7	11.96	2.25	1.93
× 10	× 3/8	16.00	164.8	23.93	3.20	3.25	79.9	14.26	2.23	1.98
× 11	× 7/16	18.51	188.1	27.53	3.18	3.30	90.7	16.22	2.21	2.03
× 13	× 1/2	20.96	210.2	30.97	3.16	3.88	100.7	18.36	2.19	2.11
× 16	× 5/8	25.67	251.0	37.69	3.12	3.48	119.5	22.13	2.15	2.21
× 19	× 3/4	30.26	288.4	43.91	3.09	3.60	136.5	25.73	2.12	2.34
152 × 102 × 8	6 × 4 × 5/16	19.44	472.7	45.58	4.93	4.87	173.1	22.10	2.98	2.33
× 10	× 3/8	23.29	560.6	54.40	4.91	4.93	203.9	26.22	2.96	2.39
× 11	× 7/16	26.97	643.5	62.76	4.88	4.98	233.1	30.31	2.94	2.44
× 13	× 1/2	30.65	723.8	70.96	4.86	5.05	261.0	34.08	2.92	2.51
× 16	× 5/8	37.81	877.0	87.02	4.82	5.16	313.0	41.62	2.88	2.62
× 19	× 3/4	44.77	1 020.2	102.42	4.77	5.28	361.3	48.67	2.84	2.74
× 22	× 7/8	51.48	1 154.2	117.17	4.73	5.38	405.8	55.55	2.80	2.84
× 25	× 1	58.00	1 280.0	131.5	4.70	5.50	447.5	62.20	2.78	2.96

NOTA:
Los perfiles sombreados no son de fabricación común, por lo que se recomienda consultar con el proveedor su disponibilidad.
* Redondeado al milímetro.

INSTITUTO MEXICANO DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO, A.C.

Figura 2.6.3 Propiedades del Perfil LD



II.7 Perfil T

Su sección tiene forma T, con altura igual a la anchura del patín. Las caras interiores del patín tienen una pendiente del 2% respecto de las exteriores y las del alma una pendiente del 4% respecto a su eje.

La unión entre las caras interiores del patín y el alma son redondeadas. El patín tiene el borde con arista exterior y redondeo interior y el alma con borde redondeado.

Ventajas:

- Presenta valores de límite elásticos comprendidos entre $2,530 \text{ kg/cm}^2$ y $4,691 \text{ kg/cm}^2$ a tensión.
- El alto límite elástico y la excelente soldabilidad del perfil hace de él una elección económica para el diseño de edificios multiplanta y vigas con grandes claros.
- Las excelentes propiedades mecánicas pueden llegar a reducir el peso de la construcción en un rango del 25% al 50% dependiendo de la configuración estructural, así como ofrecer una alta resistencia, una duración excepcional y una gran gama de espesores.

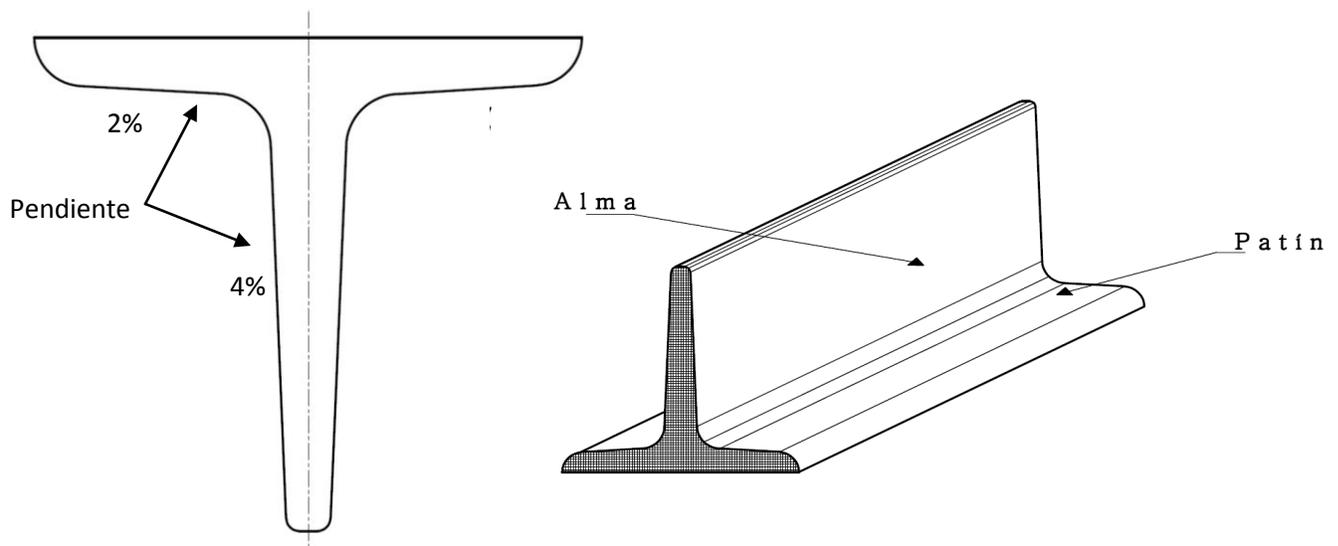


Figura 2.7.1 Perfil T

- El pedido mínimo es de 5 toneladas por perfil, calidad, longitud y destino.
- Las modificaciones en dimensiones, forma, barrenado, longitud y cortes especiales se podrán concretar en el taller con previo acuerdo.



II.8 Perfil TR

Su sección tiene forma de T, con altura menor que la anchura del patín. Al igual que el perfil T, las caras interiores del patín tienen una pendiente del 2% respecto de las exteriores, y las del alma una pendiente del 4% respecto a su eje. La unión entre el patín y el alma es redondeada, y el patín tiene el borde con arista exterior y redondeo interior y el alma con borde redondeado.

Ventajas

- El perfil TR es ligero por su geometría.
- El alto límite elástico y la excelente soldabilidad del perfil hace de él una elección económica para el diseño de edificios multiplanta y vigas con grandes claros.
- Las excelentes propiedades mecánicas pueden llegar a reducir el peso de la construcción en un rango del 25% al 50% dependiendo de la configuración estructural, así como ofrecer una alta resistencia, una duración excepcional y una gran gama de espesores.

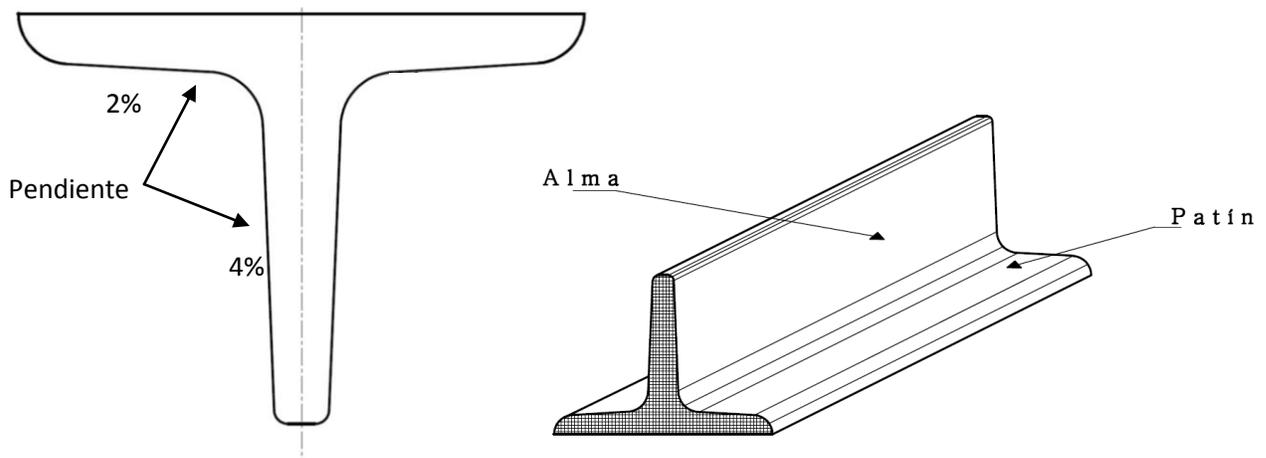
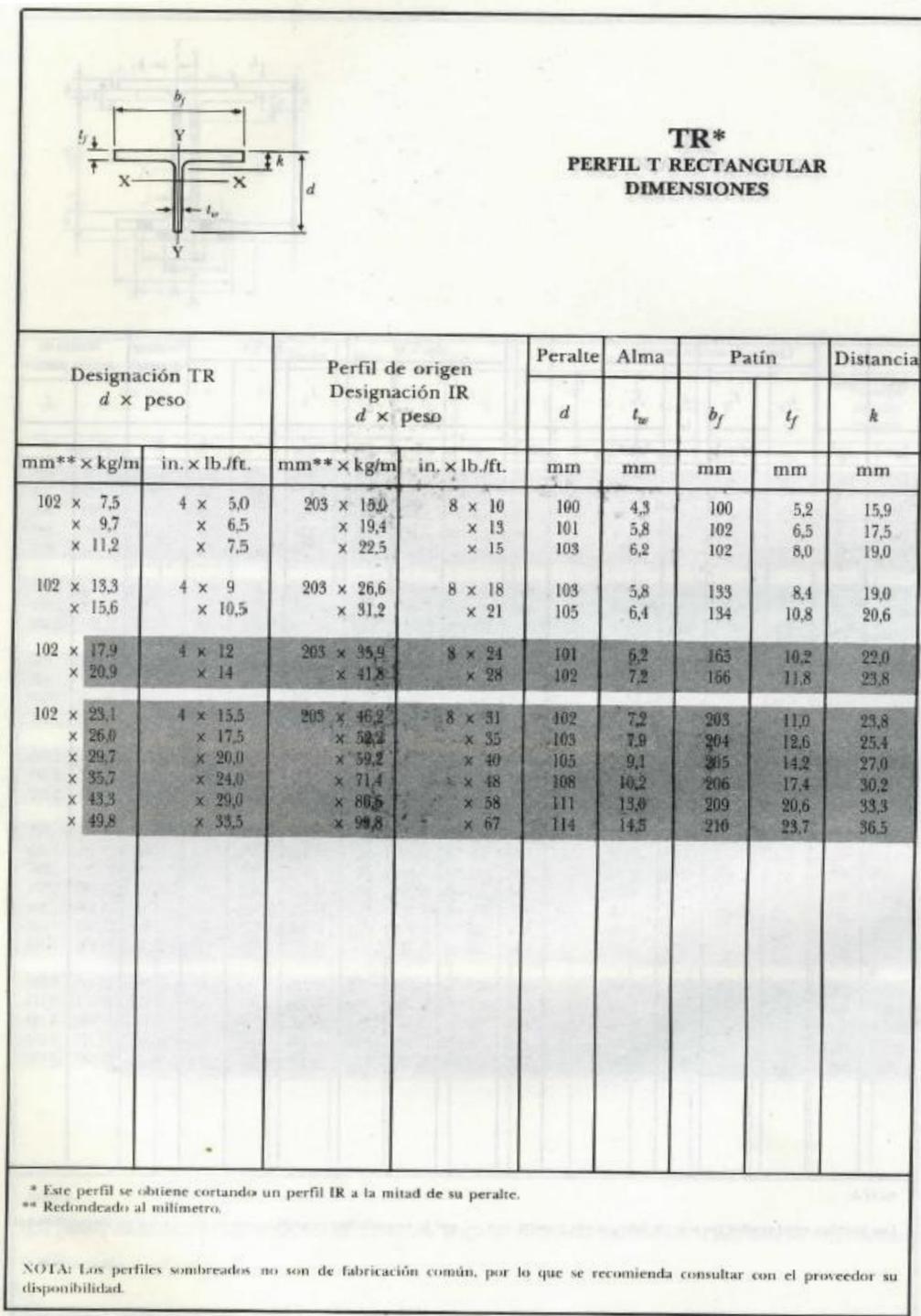


Figura 2.8.1 Perfil TD

- Las siderúrgicas ofrecen garantía de seis meses en los perfiles estructurales bajo los conceptos de corrosión (dependiendo del tipo de almacenamiento y protección del producto), calidad de la superficie (defectos o imperfecciones en el rolado) y dimensiones, forma y flecha, bajo las tolerancias de la norma ASTM A-6 (NMX 252).



INSTITUTO MEXICANO DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO, A.C.

Figura 2.8.2 Dimensiones del Perfil TR



TR*
PERFIL T RECTANGULAR
PROPIEDADES

Peso kg/m	Área cm ²	$\frac{d}{t_w}$	Eje X-X				Eje Y-Y			$C_e = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q_x Q_y}}, Q_x = 1.0$ $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$		Constante de torsión J cm ⁴
			I	S	r	y	I	S	r			
			cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	Q _e	C _e	
7.5	9.5	23.2	89	11.8	3.05	2.40	44	8.7	2.13	0.913	132	0.95
9.7	12.4	17.4	120	16.0	3.11	2.60	57	11.2	2.14	—	—	1.84
11.2	14.3	16.6	137	17.6	3.07	2.52	71	13.9	2.22	—	—	3.03
13.3	17.0	17.7	142	17.2	2.89	2.12	166	24.9	3.12	—	—	3.61
15.6	19.9	16.5	162	19.3	2.85	2.11	204	30.3	3.19	—	—	6.12
17.9	22.8	16.1	147	17.7	2.53	1.76	380	46.0	4.07	—	—	7.40
20.9	26.6	14.2	176	21.0	2.57	1.86	450	54.2	4.11	—	—	11.3
23.1	29.4	14.0	178	21.0	2.46	1.70	770	76.0	5.12	—	—	11.3
26.0	33.2	13.1	200	23.4	2.46	1.75	887	87.0	5.17	—	—	16.1
29.7	37.9	11.5	238	27.7	2.51	1.87	1020	99.6	5.19	—	—	23.7
35.7	45.5	10.6	258	32.3	2.50	1.97	1270	123.2	5.28	—	—	41.0
43.3	55.2	8.5	380	42.7	2.62	2.22	1561	149.6	5.32	—	—	69.7
49.8	63.5	7.9	454	50.0	2.67	2.38	1844	175.3	5.39	—	—	105

* Este perfil se obtiene cortando un perfil IR a la mitad de su peralte.

NOTA: Los perfiles sombreados no son de fabricación común, por lo que se recomienda consultar con el proveedor su disponibilidad.

INSTITUTO MEXICANO DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO, A.C.

Figura 2.8.3 Propiedades del Perfil TR



II.9 Tubo estructural rectangular, cuadrado y redondo

Se utilizan en todo tipo de elementos estructurales como columnas, vigas y contraventeo, en general como en cualquier otra aplicación en la que sea necesaria la resistencia y fiabilidad que ofrecen las secciones tubulares.

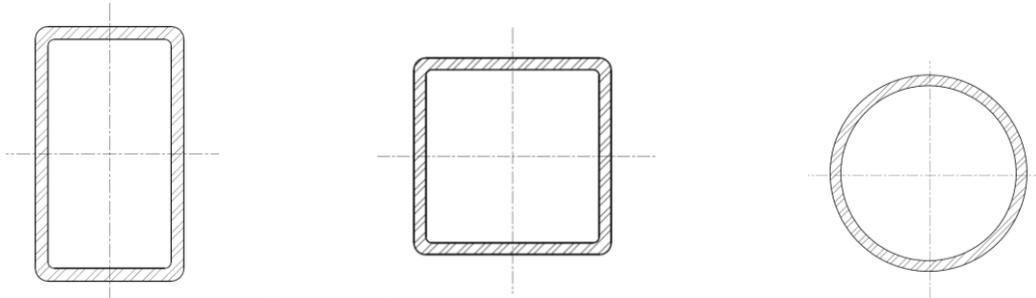


Figura 2.9.1 Tubo estructural rectangular, cuadrado y redondo

Ventajas

- Los tubos estructurales soldados ofrecen grandes ventajas sobre los clásicos perfiles estructurales:
 - Por su forma cerrada y bajo peso presentan un mejor comportamiento a esfuerzos de torsión y resistencia al pandeo.
 - Facilidad de montaje, permitiendo la realización de uniones simples por soldadura.
 - Superficies exteriores reducidas, sin ángulos vivos ni rebabas, permitiendo un fácil mantenimiento y protección contra corrosión.
 - Posibilidad de configuraciones de gran belleza.

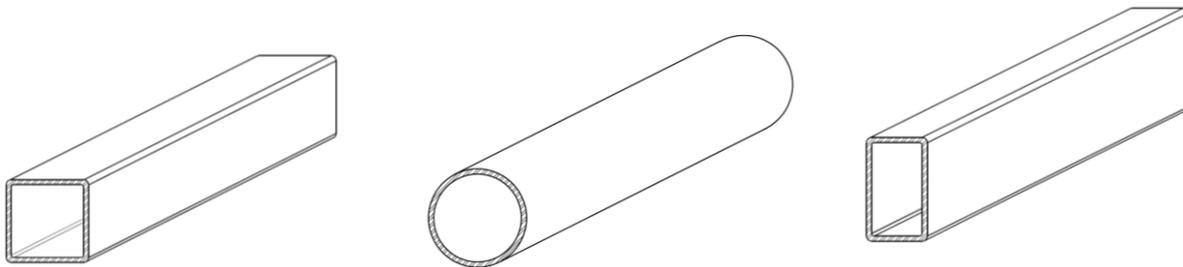
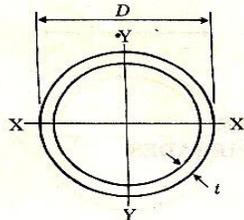


Figura 2.9.2 Isométrico de tubo estructural rectangular, cuadrado y redondo





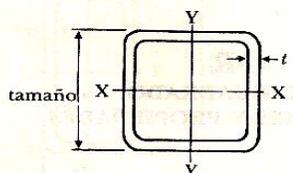
OC
TUBO CIRCULAR
DIMENSIONES Y PROPIEDADES

Designación <i>D × t</i>		Diámetro nóminal	Diámetro interior	Peso	Área	Ejes X-X y Y-Y			Denomi- nación
						<i>I</i>	<i>S</i>	<i>r</i>	
mm* × mm	in. × in.	in.	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	
21 × 2,77 × 3,73	0,84 × 0,110 × 0,147	1/2	15,76	1,27	1,61	0,71	0,66	0,66	40 E
			13,84	1,62	2,06	0,83	0,78	0,64	80 XE
27 × 2,87 × 3,91	1,05 × 0,113 × 0,154	3/4	20,96	1,69	2,15	1,55	1,16	0,85	40 E
			18,88	2,20	2,80	1,87	1,40	0,82	80 XE
33 × 3,38 × 4,55	1,315 × 0,133 × 0,179	1	26,64	2,50	3,19	3,64	2,18	1,07	40 E
			24,30	3,24	4,12	4,40	2,63	1,03	80 XE
42 × 3,56 × 4,85	1,66 × 0,140 × 0,191	1 1/4	35,08	3,39	4,32	8,13	3,85	1,37	40 E
			32,50	4,47	5,69	10,09	4,78	1,33	80 XE
48 × 3,68 × 5,08	1,90 × 0,145 × 0,200	1 1/2	40,94	4,05	5,16	12,93	5,35	1,58	40 E
			38,14	5,41	6,90	16,33	6,76	1,54	80 E
60 × 3,91 × 5,54 × 8,74 × 11,07	2,375 × 0,154 × 0,218 × 0,344 × 0,436	2	52,48	5,44	6,93	27,66	9,18	2,00	40 E
			49,22	7,48	9,53	36,09	11,97	1,95	80 XE
			42,82	11,11	14,16	48,40	16,05	1,85	160
			38,16	13,44	17,12	54,49	18,07	1,78	XXE
73 × 5,16 × 7,01 × 9,53 × 14,02	2,875 × 0,203 × 0,276 × 0,375 × 0,552	2 1/2	62,68	8,63	11,00	65,63	17,43	2,41	40 E
			58,98	11,41	14,53	80,00	21,92	2,35	80 XE
			53,94	14,92	19,00	97,85	26,81	2,27	160
			44,96	20,39	25,98	119,34	32,70	2,14	XXE
89 × 5,49 × 7,62 × 11,13 × 15,24	3,5 × 0,216 × 0,300 × 0,438 × 0,600	3	77,92	11,29	14,39	125,65	28,27	2,96	40 E
			73,66	15,27	19,46	162,09	36,47	2,89	80 XE
			66,64	21,35	27,19	209,80	47,20	2,78	160
			58,42	27,68	35,27	249,43	56,11	2,66	XXE
102 × 5,74 × 8,08	4 × 0,226 × 0,318	3 1/2	90,12	13,57	17,29	199,27	39,23	3,40	40 E
			85,44	18,64	23,74	261,47	51,47	3,32	80 XE

NOTAS:
 Se recomienda que al ordenar tubos de acero se especifique la norma oficial mexicana, el diámetro exterior y el espesor de pared.
 Se fabrican tubos de otros diámetros y espesores que no aparecen en esta tabla, por lo que deberán consultarse los catálogos de los fabricantes.
 Los espesores sombreados no son de fabricación común, por lo que se recomienda consultar con el proveedor su disponibilidad.
 * Redondeado al milímetro.

INSTITUTO MEXICANO DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO, A.C.

Figura 2.9.3 Dimensiones y propiedades del Tubo OC



OR
TUBO CUADRADO
DIMENSIONES Y PROPIEDADES

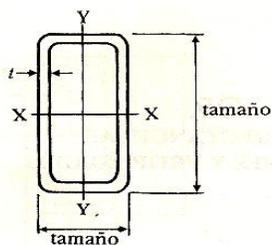
Designación Tamaño y espesor <i>t</i>		Peso		Área cm ²	Ejes X-X y Y-Y		
mm x mm	in. x in.	kg/m	lb./ft.		<i>I</i> cm ⁴	<i>S</i> cm ³	<i>r</i> cm
25 x 2,4	1 x 0,095	1,62	1,09	2,07	1,75	1,38	0,92
x 3,4	x 0,133	2,10	1,41	2,68	2,01	1,58	0,87
38 x 2,8	1,5 x 0,11	2,95	1,98	3,74	7,56	3,96	1,42
x 3,2	x 0,125	3,29	2,21	4,17	8,21	4,30	1,40
51 x 2,8	2 x 0,110	4,00	2,69	5,11	19,04	7,49	1,93
x 3,2	x 0,125	4,54	3,05	5,79	21,40	8,42	1,92
x 4,0	x 0,156	5,45	3,55	6,97	24,70	9,72	1,88
x 4,8	x 0,188	6,43	4,32	8,19	27,80	10,95	1,84
x 6,4	x 0,250	8,05	5,41	10,26	31,88	12,55	1,76
64 x 3,2	2,5 x 0,125	5,84	3,92	7,40	44,07	13,88	2,44
x 3,6	x 0,141	6,47	4,35	8,26	48,30	15,20	2,42
x 4,8	x 0,188	8,32	5,59	10,58	59,10	18,68	2,36
x 6,4	x 0,250	10,38	7,01	13,48	70,34	22,12	2,28
76 x 3,2	3 x 0,125	7,12	4,78	9,01	78,93	20,71	2,95
x 4,8	x 0,188	10,20	6,85	13,00	108,00	28,30	2,90
x 6,4	x 0,250	13,11	8,81	16,77	131,53	34,41	2,79
x 7,9	x 0,313	15,74	10,58	20,10	149,0	39,17	2,72
89 x 3,2	3,5 x 0,125	8,39	5,64	10,62	128,53	28,91	3,47
x 4,0	x 0,156	10,20	6,85	13,00	154,00	34,60	3,45
x 4,8	x 0,188	12,10	8,13	15,40	179,00	40,10	3,40
x 6,3	x 0,250	15,64	10,51	19,90	220,20	50,00	3,33
x 7,9	x 0,313	18,90	12,70	24,06	253,50	57,03	3,25
102 x 4,8	4 x 0,188	14,02	9,42	17,87	274,30	54,08	3,91
x 6,3	x 0,250	18,17	12,21	23,16	342,14	67,35	3,84
x 7,9	x 0,313	22,07	14,83	28,13	398,75	78,49	3,76
x 9,5	x 0,375	25,70	17,27	32,77	445,37	87,67	3,68
x 12,7	x 0,500	32,19	21,63	41,03	511,96	100,45	3,63
127 x 4,8	5 x 0,188	17,81	11,97	22,71	557,75	87,93	4,95
x 6,3	x 0,250	23,25	15,62	29,61	703,43	111,10	4,88
x 7,9	x 0,313	28,59	19,08	36,19	83,66	131,42	4,80
x 9,5	x 0,375	33,29	22,37	42,45	949,00	149,29	4,72
x 12,7	x 0,500	42,31	28,43	53,94	1123,82	177,00	4,67
152 x 4,8	6 x 0,188	21,62	14,53	27,53	990,63	129,95	5,99
x 6,3	x 0,250	28,30	19,02	36,10	1261,18	165,51	5,92
x 7,9	x 0,313	34,73	23,34	44,26	1510,92	198,38	5,84
x 9,5	x 0,375	40,89	27,46	52,13	1731,52	227,78	5,77
x 12,7	x 0,500	52,44	35,24	67,10	2101,97	275,30	5,61

NOTA:

Los perfiles sombreados no son de fabricación común, por lo que se recomienda consultar con el proveedor su disponibilidad.

INSTITUTO MEXICANO DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO. A.C.

Figura 2.9.4 Dimensiones y propiedades del Tubo OR



OR
TUBO RECTANGULAR
DIMENSIONES Y PROPIEDADES

Designación tamaño y espesor <i>t</i>		Peso		Área	Eje X-X			Eje Y-Y			
					<i>I</i>	<i>S</i>	<i>r</i>	<i>I</i>	<i>S</i>	<i>r</i>	
mm × mm × mm	in. × in. × in.	kg/m	lb./ft.	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	
76 × 51 ×	3,2	3 × 2 × 0,125	5,84	3,92	7,40	57,41	15,07	2,78	15,07	12,02	2,03
	× 3,6		6,47	4,35	8,26	63,30	16,60	2,77	16,60	13,20	2,01
	× 4,8		10,58	7,11	10,58	77,42	20,32	2,69	40,67	16,00	1,96
	× 6,4		8,32	5,59	13,48	92,00	24,10	1,62	47,87	18,85	1,88
102 × 51 ×	3,2	4 × 2 × 0,125	7,12	4,78	9,01	117,34	23,09	3,60	39,69	15,62	2,09
	× 4,8		10,20	6,85	13,00	161,00	31,80	3,51	53,70	21,10	2,03
	× 6,4		13,11	8,81	16,71	195,21	38,51	3,43	64,10	25,24	1,96
	× 7,9		15,74	10,58	20,10	221,44	43,60	3,33	71,18	28,02	1,89
102 × 72 ×	3,2	4 × 3 × 0,125	8,39	5,64	10,62	156,41	20,79	3,93	100,45	26,36	3,07
	× 4,0		10,20	6,85	13,00	187,00	36,90	3,81	120,00	31,50	3,05
	× 4,8		21,10	8,13	15,40	218,00	42,90	3,76	139,00	36,50	3,00
	× 6,4		15,60	10,48	19,90	269,00	52,90	3,67	171,00	44,80	2,93
× 7,9	18,90	12,70	24,10	310,10	60,96	3,58	196,00	51,46	2,84		
127 × 51 ×	4,8	5 × 2 × 0,188	12,13	8,15	15,42	286,78	45,60	4,32	66,60	26,22	2,06
	× 6,4		15,64	10,51	19,94	352,96	55,55	4,22	79,92	31,46	1,98
	× 7,9		18,90	12,70	24,10	405,41	63,91	4,11	89,91	35,40	1,93
127 × 76 ×	4,8	5 × 3 × 0,188	14,00	9,42	17,87	377,11	59,32	4,60	169,82	44,57	3,07
	× 6,4		18,17	12,21	23,16	470,34	74,10	4,50	210,20	55,22	3,02
	× 7,9		22,10	14,83	28,13	549,43	86,36	4,42	243,50	63,91	2,95
	× 9,5		25,70	17,27	31,77	611,86	96,52	4,32	269,72	70,79	2,87
× 12,7	32,20	21,63	41,03	703,43	110,61	4,14	305,10	80,00	2,72		
127 × 102 ×	4,8	5 × 4 × 0,188	15,92	10,70	20,26	466,18	73,58	4,80	331,32	65,22	4,04
	× 6,4		20,70	13,91	26,39	586,88	92,60	4,72	415,40	81,77	3,96
	× 7,9		25,24	16,96	32,13	690,94	108,97	4,65	487,00	95,86	3,89
	× 9,5		29,50	19,82	37,61	778,35	122,90	4,55	549,43	107,83	3,81
152 × 51 ×	4,8	6 × 2 × 0,188	14,10	9,42	17,87	462,00	60,63	5,08	79,10	31,35	2,11
	× 6,4		18,17	12,21	23,16	547,40	75,38	4,98	96,15	37,85	2,04
	× 7,9		22,10	14,83	28,13	666,00	87,51	4,88	109,10	42,93	1,97
	× 9,5		27,70	17,27	32,77	740,90	97,34	4,75	118,21	46,54	1,90
152 × 76 ×	4,8	6 × 3 × 0,188	15,92	10,70	20,26	595,21	78,00	5,41	201,00	52,77	3,15
	× 6,4		20,70	13,91	26,39	745,10	98,00	5,31	249,74	65,55	3,07
	× 7,9		25,24	16,96	32,13	878,25	115,20	5,23	290,53	76,20	3,00
	× 9,5		29,50	19,82	37,61	990,68	129,78	5,13	323,83	85,00	2,95

NOTA:

Los perfiles sombreados no son de fabricación común, por lo que se recomienda consultar con el proveedor su disponibilidad.

INSTITUTO MEXICANO DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO, A.C.

Figura 2.9.5 Dimensiones y propiedades del Tubo OR



II.10 Barras y Placas

Sus características mecánicas y composición química dependen de la calidad del acero. Al igual que los perfiles, las barras y placas también son fabricados bajo la laminación en caliente.

Ventajas

- Existe una gran gama de espesores.
- Se utilizan principalmente para realizar uniones con otros perfiles, en calzas y contraventeos.
- El alto límite elástico y la excelente soldabilidad hace de ellas una elección económica para realizar uniones.

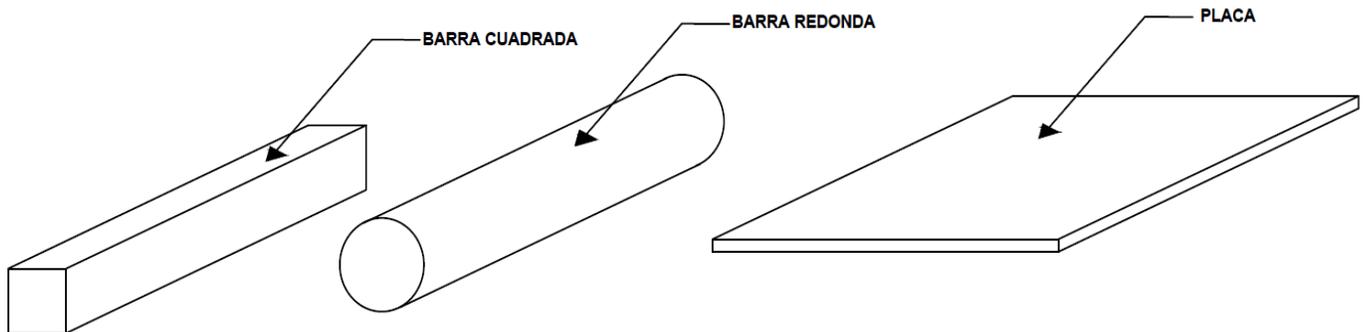
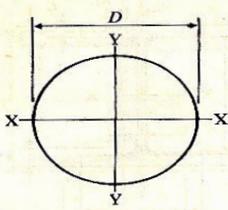


Figura 2.10.1 Barra estructural cuadrada, redonda y Placa

- La longitud mínima de fabricación es de 12m
- El pedido mínimo es de 5 toneladas por calidad, longitud y destino.
- El usuario dispone de la capacidad de determinar por sí mismo el tipo de barra y placa que desea y de que éstos se laminen a la medida. El pedido a la medida está sujeto a un peso mínimo de quinientas toneladas por tipo y calidad.





OS
REDONDO SOLIDO LISO
DIMENSIONES Y PROPIEDADES

Designación diámetro D		Peso		Área	Ejes X-X y Y-Y		
					I	S	r
mm	in.	kg/m	lb./ft.	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
6.3	1/4	0.249	0.167	0.317	0.008	0.025	0.158
7.9	5/16	0.388	0.261	0.495	0.019	0.048	0.198
9.5	3/8	0.559	0.376	0.713	0.040	0.084	0.238
11.1	7/16	0.760	0.511	0.970	0.075	0.134	0.278
12.7	1/2	0.994	0.668	1.267	0.128	0.201	0.318
14.3	9/16	1.257	0.845	1.603	0.205	0.287	0.358
15.9	5/8	1.552	1.043	1.979	0.314	0.395	0.398
17.5	11/16	1.878	1.262	2.395	0.460	0.526	0.438
19.1	3/4	2.235	1.502	2.850	0.653	0.684	0.478
20.6	13/16	2.622	1.762	3.345	0.884	0.858	0.515
22.2	7/8	3.045	2.046	3.879	1.192	1.074	0.555
23.8	15/16	3.491	2.346	4.453	1.575	1.324	0.595
25.4	1	3.973	2.669	5.067	2.043	1.609	0.635
27.0	1 1/16	4.484	3.013	5.720	2.610	1.932	0.675
28.6	1 1/8	5.022	3.375	6.413	3.284	2.297	0.715
30.2	1 3/16	5.605	3.767	7.145	4.083	2.704	0.755
31.8	1 1/4	6.208	4.172	7.917	5.02	3.157	0.795
33.3	1 5/16	6.845	4.599	8.729	6.036	3.625	0.833
34.9	1 3/8	7.514	5.049	9.580	7.282	4.173	0.873
36.5	1 7/16	8.212	5.518	10.471	8.712	4.774	0.913
38.1	1 1/2	9.00	6.048	11.401	10.343	5.430	0.953
41.3	1 5/8	10.49	7.049	13.380	14.281	6.916	1.033
44.5	1 3/4	12.17	8.178	15.518	19.250	8.651	1.113
47.7	1 7/8	13.97	9.388	17.813	25.412	10.655	1.193
50.8	2	15.89	10.678	20.268	32.690	12.870	1.27
57.2	2 1/4	20.11	13.514	25.652	52.547	18.373	1.430
60.3	2 3/8	22.41	15.062	28.580	64.900	21.525	1.508
63.5	2 1/2	24.83	16.686	31.668	79.810	25.138	1.588
66.7	2 5/8	27.38	18.400	34.913	97.156	29.133	1.668
69.9	2 3/4	30.04	20.187	38.320	117.186	33.530	1.748
73.0	2 7/8	32.84	22.072	41.881	139.400	38.132	1.828
76.2	3	35.75	24.024	45.605	165.500	43.438	1.905
82.5	3 1/4	41.97	28.206	53.518	227.400	55.127	2.063
88.9	3 1/2	48.68	32.712	62.069	306.600	68.977	2.223
95.2	3 3/4	55.88	37.552	71.293	403.194	84.706	2.380
101.6	4	63.58	42.726	81.073	528.048	102.963	2.540

NOTA:
Los perfiles sombreados no son de fabricación común, por lo que se recomienda consultar con el proveedor su disponibilidad.

Figura 2.10.2 Dimensiones y Propiedades de la barra redonda OS

- Para realizar cuantificaciones y posteriormente pedidos se recomienda indicar el grado del acero, la nomenclatura del perfil, la longitud del alma y patín y el peso total cuantificado por perfil, en este orden.
- Cuando no existe una norma oficial mexicana para aceros utilizados en nuestro medio se ha indicado solamente la norma ASTM.



Capítulo III. Sujetadores

Se usan dos tipos básicos en la construcción: pernos y soldaduras, ambos se utilizan en la planta de fabricación y en el sitio de la obra en conexiones que unen miembros individuales. Las soldaduras también se emplean para asegurar entre sí los componentes de miembros armados. Sin embargo los pernos se usan con mayor regularidad para conexiones en obra y las soldaduras para trabajo en planta. Los remaches, que solían ser muy utilizados para conexiones principales tanto de planta como de obra, ahora son obsoletos.

Muchas variables afectan la selección de sujetadores; entre estos se incluyen la economía de fabricación y montaje, la disponibilidad de los equipos, los criterios de inspección, la oferta de fuerza laboral y consideraciones de diseño como la fatiga, el tamaño y tipo de conexiones, la continuidad de la sección, la reutilización y el mantenimiento.

III.1 Tuercas

Es un elemento roscado internamente que se utiliza para unir piezas con agujeros pasantes mediante el uso de otros elementos roscados externamente (Fig. 3.1.1).

Las tuercas que se utilizan conjuntamente con los pernos de alta resistencia están especificados bajo la norma mexicana NMX-H-020 o por la norma estadounidense ASTM A563. La tuerca A563 grado C es usada para los pernos NMX-H-124 (A325), mientras que la tuerca A563 grado DH es la recomendada a usarse con los pernos H-123 (A490), al igual que los pernos, existen tuercas tipo 1 y 3.

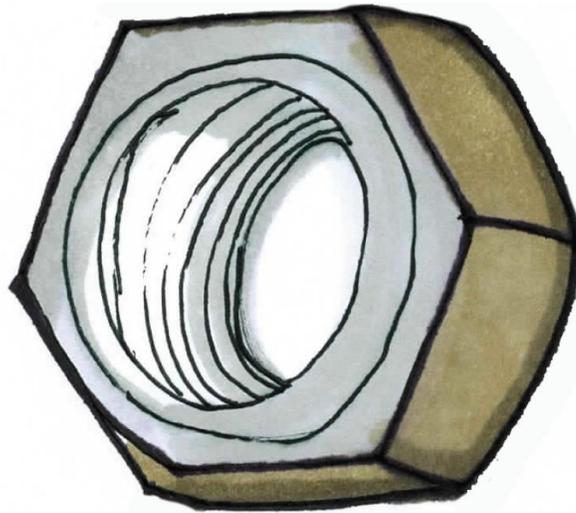


Figura 3.1.1 Tuerca ASTM A563 DH

Existen dispositivos de seguridad para pernos, en lugar de tuercas convencionales se suministran pernos con una rosca patentada que quede asegurada por sí sola. Los métodos de obra que generalmente se usan incluyen el deformado o distorsión de las roscas o asegurando las tuercas con clavetes de soldadura.

III.2 Arandela

Las arandelas son elementos circulares casi planos perforados en el centro fabricados con acero estructural, su función es la de aportar una superficie endurecida no abrasiva bajo la cabeza del perno o la tuerca (Fig. 3.2.1). Su servicio en México está avalado por la norma NMX-H-039 elaborada por el Comité Técnico de Normalización de la Industria Siderúrgica, oficializadas por la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial y en EE.UU por la norma ASTM F436



Las arandelas tienen la finalidad de proteger la superficie exterior de material juntado a fin de evitar las consecuencias del desgaste de este material por el giro de la tuerca en la instalación con el perno, evitar la oxidación del perfil estructural y ayuda a optimizar la fuerza de sujeción en la instalación del perno ya que aumenta el área de contacto.



Figura 3.2.1 Arandela ASTM F436

III.3 Pernos Ordinarios

En construcción se les conoce de diferente manera: ordinarios, comunes de máquina o burdos. Se caracterizan principalmente por la apariencia burda del espigo (Fig. 3.3.1). Su uso en México es respaldado por la norma elaborada por el Comité Técnico de Normalización de la Industria Siderúrgica, oficializadas por la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial NMX-H-118 o por la norma ASTM A307, esta última estadounidense y utiliza orificios de diámetro de 1/16" mayor que el nominal.



Los pernos ordinarios tienen una capacidad portante de carga relativamente baja. La ventaja de los pernos ordinarios es la facilidad de hacer conexiones con ellos; solo se necesita una llave. Sin embargo, en los trabajos de mayor envergadura, los montadores ven que resulta más económico apretar pernos con llave de impacto neumático. El ajuste con herramienta de potencia por lo común genera una mayor uniformidad de tensión en los pernos y favorece una conexión mejor balanceada.



Figura 3.3.1 Perno Ordinario

III.4 Pernos de Alta Resistencia

El desarrollo de los pernos de alta resistencia lo registra el Research Council on Riveted and Bolted Structural Joints of the Engineering Foundation. Su uso debe hacerse de acuerdo con la última versión de las Especificaciones para Uniones Estructurales con Tornillos ASTM 325 y ASTM 490 de origen norteamericano o con las normas mexicanas elaboradas por el Comité Técnico de Normalización de la Industria Siderúrgica, oficializadas por la Dirección General de Normas de la



Secretaría de Comercio y Fomento Industrial NMX-H-124 (ASTM 325) y NMX-H-123 (ASTM A490).

Existen dos tipos de pernos de alta resistencia, esta diferencia se debe al tipo de conexión para lo que son destinados ya sean estas de deslizamiento o de tipo aplastamiento.

Para ayudar a los instaladores e inspectores a identificar los diferentes grados de acero disponibles para las diferentes conexiones, los pernos y las tuercas se fabrican con marcas permanentes como se muestra en la figura 3.4.1.

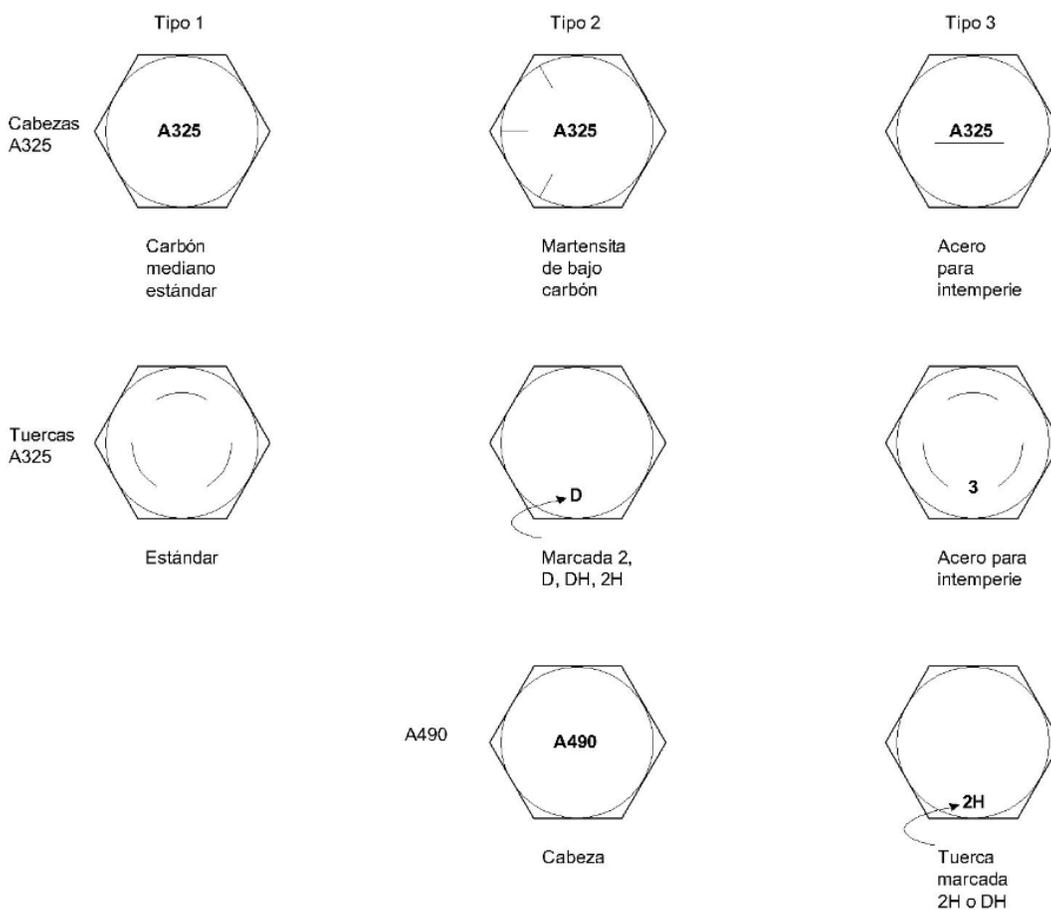


Figura 3.4.1. Marcas de identificación en las cabezas y tuercas de los pernos de alta resistencia



Para calcular de manera conveniente la capacidad de carga, la fuerza de ajuste y la fricción resultante en el perno de alta resistencia, el ingeniero estructurista calcula la resistencia de los pernos a través esfuerzos cortantes.

En general no se permite la aplicación de pintura sobre las superficies que tendrán conexiones de deslizamiento, se permitirá revestimientos galvanizados estriados, pintura inorgánica rica en zinc y revestimientos metalizados de zinc o aluminio.

Tabla 3.4.1 Dimensiones estándares de pernos y tuercas en pulgadas

Diámetro Nominal del Perno (pulg)	Dimensiones de Pernos Estructurales de Cabeza Hexagonal Pesada			Dimensiones de Tuercas Hexagonales Pesadas	
	Ancho a través de cara plana F. (pulg)	Altura H1, (pulg)	Longitud Roscada T, (pulg)	Ancho a través de cara plana W. (pulg)	Altura H2. (pulg)
1/2	7/8	5/16	1	7/8	31/64
5/8	1 1/16	25/64	1 1/4	1 1/16	39/64
3/4	1 1/4	15/32	1 3/8	1 1/4	47/64
7/8	1 7/16	35/64	1 1/2	1 7/16	55/64
1	1 5/8	39/64	1 3/4	1 5/8	63/64
1 1/8	1 13/16	11/16	2	1 13/16	1 7/64
1 1/4	2	25/32	2	2	1 7/32
1 3/8	2 3/16	27/32	2 1/4	2 3/16	1 11/32
1 1/2	2 3/8	15/16	2 1/4	2 3/8	1 15/32

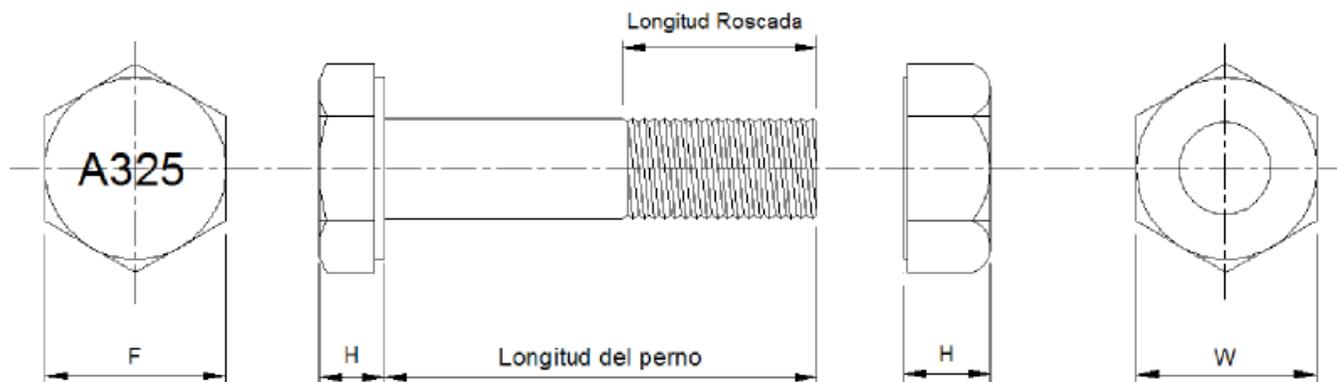


Figura 3.4.2 Dimensiones estándares de pernos y tuercas de alta resistencia de acuerdo a la Tabla 3.3.1

III.5 Soldadura

La soldadura es utilizada para asegurar los componentes de un miembro armado y para realizar conexiones entre las estructuras. Esta técnica necesita de una mano de obra más especializada de la que se requiere para uniones con pernos. Sin embargo, debido a las ventajas de costo, la soldadura se usa ampliamente en las construcciones con acero, especialmente en plantas de fabricación donde las condiciones son más favorables para controlar estrictamente los procedimientos. Cuando se especifica el empleo de la soldadura en el campo, se debe tomar en cuenta la disponibilidad de soldadores especializados, técnicos de inspección y la utilización de criterios de control de calidad más rigurosos.

Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal acepta las recomendaciones estadounidenses de la American Welding Society "Structural Welding Code-Steel".



El tipo de soldadura aplicable en la construcción con estructuras metálicas es la de arco eléctrico con electrodo metálico aplicado manual, semiautomática o automáticamente (Fig. 3.5.2). Se pueden utilizar diversos procedimientos de soldadura como son: manual con electrodo recubierto, arco sumergido, arco con núcleo (corazón) fundente, arco metálico de gas, electro-gas y electro-escoria.

La soldadura que comúnmente se emplea en la construcción es de dos tipos: de arco eléctrico (Fig. 3.5.1) y autógena (gas). Actualmente, la primera es la más usual en las estructuras metálicas porque la segunda tiene el inconveniente de debilitar las piezas, debido al adelgazamiento de estas; sin embargo, la soldadura autógena es muy útil para cortar piezas estructurales.



Figura 3.5.1 Aplicación de soldadura eléctrica



Las ventajas de emplear soldadura eléctrica son muy diversas ya que conserva integras las secciones de las piezas, porque no se descuenta nada de la sección por el uso de taladros para la colocación de los pernos, se pueden unir con facilidad piezas que prácticamente no son atornillables, los cortes incorrectos de las piezas no impiden un ajuste adecuado ya que se puede unir otra piezas para corregirlo, es un procedimiento silencioso, frecuentemente se pueden evitar el empleo de las conexiones de ángulos, placas y remaches porque son soldables pieza con pieza.

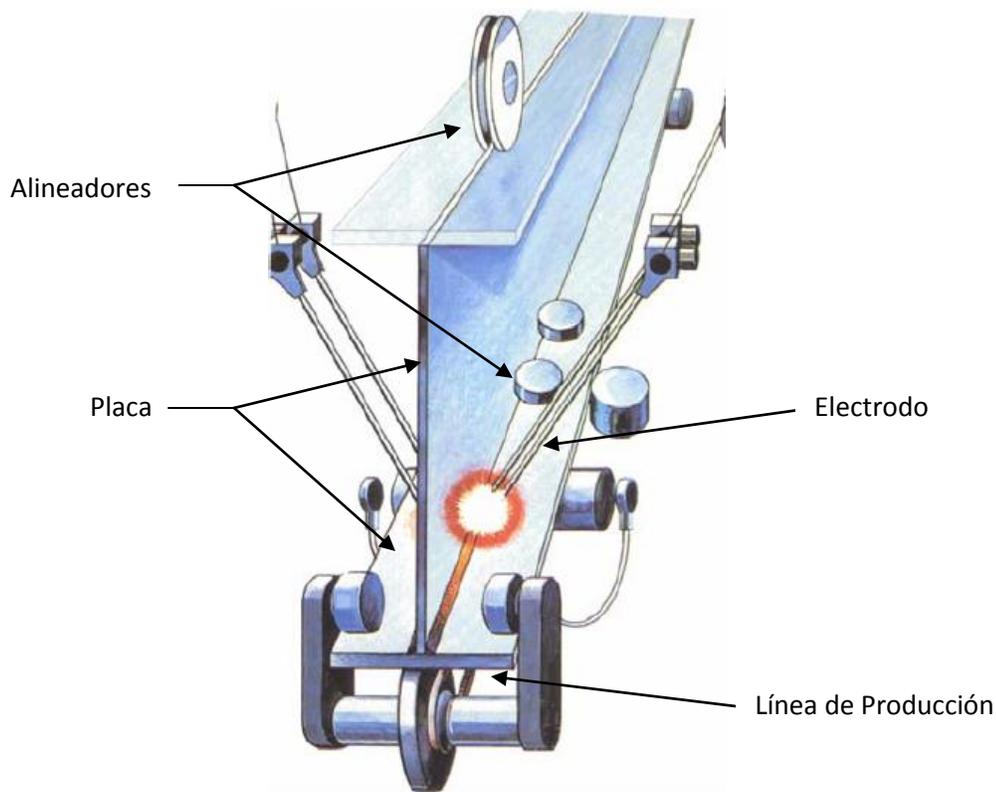


Figura 3.5.2 Aplicación de soldadura de arco eléctrico en taller



III.6 Electrodo de Soldadura

Las normas elaboradas por el Comité Técnico de Normalización de la Industria Siderúrgica, oficializadas por la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial admite las especificaciones para todos los electrodos de soldadura de las normas estadounidenses publicadas por la American Welding Society.

El uso del electrodo, o la combinación de electrodo y fundente, deben ser apropiados al material base que se esté soldando, teniendo especial cuidado en aceros con altos contenidos de carbón u otros elementos aleados, y de acuerdo con la posición en que se deposite la soldadura.

Para que una soldadura sea compatible con el metal base, tanto el esfuerzo de fluencia mínimo como el esfuerzo mínimo de ruptura en tensión del metal de aportación depositado, sin mezclar con el metal base, deben ser iguales o ligeramente mayores que los correspondientes del metal base. Por ejemplo, Los electrodos para soldadura manual de acero, que a menudo se denominan electrodos de varilla (Fig. 3.6.1), se identifican con la letra E seguida de cuatro o cinco dígitos. Los primeros dos o tres indican el nivel de resistencia E60XX o E70XX3[3], que producen metal de aportación con esfuerzos mínimos especificados de fluencia de 60,000 Lbs/pulg² y 70,000 Lbs/pulg², así como sus conversiones en las siguientes unidades 331 MPa (Mega Pascales) y 365 MPa (3,400 kg/cm² y 3,700 kg/cm²), respectivamente, y de ruptura en tensión de 412



MPa y 481 MPa ($4,200 \text{ kg/cm}^2$ y $4,900 \text{ kg/cm}^2$), son compatibles con el acero A36, por que los esfuerzos mínimos especificados de fluencia y ruptura en tensión son 250 MPa y 400 MPa ($2,530 \text{ kg/cm}^2$ y $4,080 \text{ kg/cm}^2$) respectivamente. El resto de dígitos proporcionan información sobre la utilización propuesta, como las posiciones particulares de la soldadura, el voltaje, amperaje, polaridad y tipo de corriente y los tipos de revestimiento del electrodo.



Figura 3.6.1 Electrodo de Soldadura

III.7 Tipos de Soldadura

Con el desarrollo de prácticas y procesos de soldadura se han podido crear diferentes métodos para conectar los perfiles de acero estructural. Prácticamente todas las soldaduras utilizadas para conectar acero estructural son de cualquiera de estos dos tipos: de filete o de ranura.

La soldadura de filete se obtiene depositando un cordón de metal de aportación en el ángulo arista formado por dos piezas. La longitud efectiva de una soldadura



de filete recta es igual a la longitud total del tamaño completo del filete, incluyendo retornos, cuando los haya. Si la soldadura de filete es curva, la longitud es igual al eje del cordón, trazado por el centroide del plano que pasa por la garganta.

Su sección transversal o garganta efectiva es aproximadamente triangular en la cual se transmiten esfuerzos cortantes. El tamaño efectivo de la garganta de una soldadura de filete (Fig. 3.7.1) es la distancia más corta de la raíz a la cara de la soldadura diagramática, sin incluir el refuerzo de la misma.

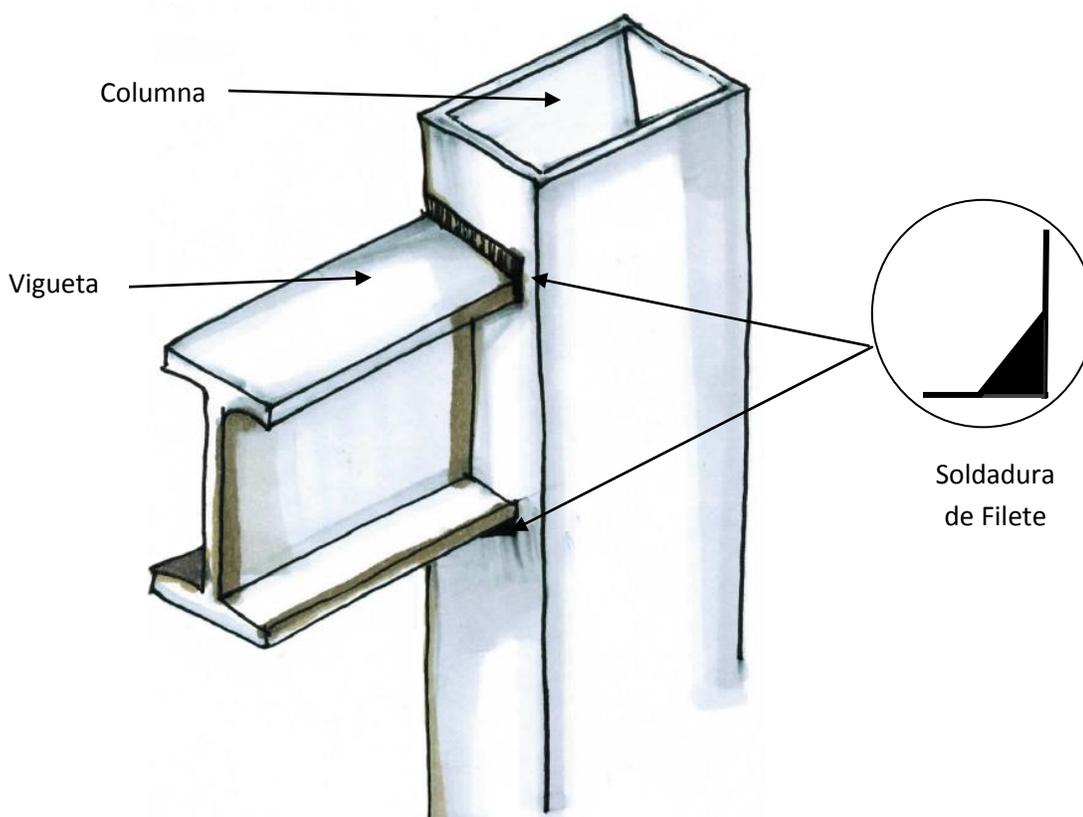


Figura 3.7.1 Detalle de unión a base de soldadura de filete

La soldadura de ranura (Fig. 3.7.2) se obtiene depositando metal de aportación entre dos placas que pueden o no, estar alineadas en un mismo plano. La



soldadura de ranura se clasifica de acuerdo con la profundidad de la soldadura, ya sea de penetración total o parcial, dependiendo si el metal de aportación abarque todo o parte del espesor de las placas que se unirán. La longitud efectiva de una soldadura de ranura entre dos piezas a tope es igual al ancho de la pieza más angosta, aún en el caso de soldaduras inclinadas respecto al eje de la pieza.

El tamaño efectivo de la garganta de una soldadura de ranura completa, depositada por un lado, con placa de respaldo, o por los dos, limpiando el segundo lado hasta descubrir metal sano antes de soldadura, es igual al grueso de la más delgada de las placas unidas. Si no se usa placa de respaldo, o no se limpia adecuadamente el segundo lado antes de depositar la soldadura, la junta se considera de penetración parcial.

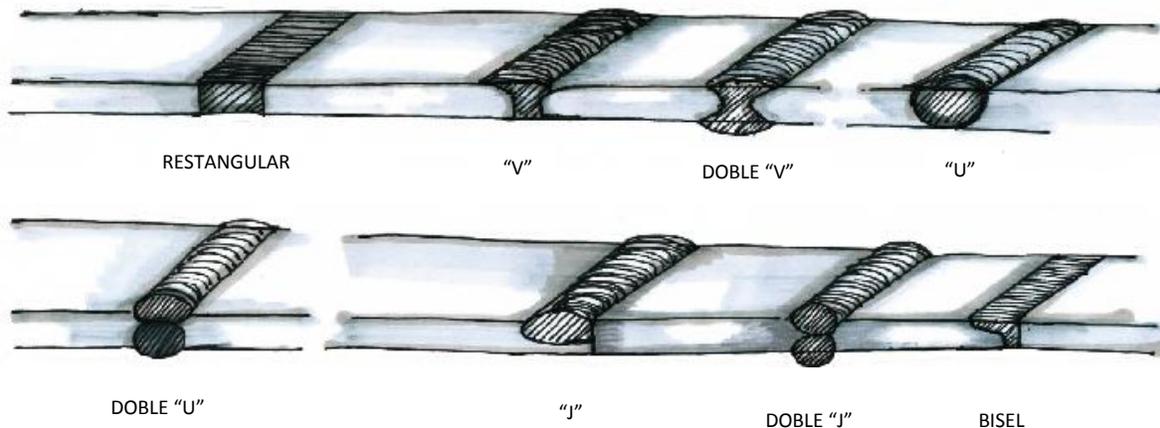


Figura 3.7.2 Diversos tipos de Soldadura de ranura

La soldadura de ranura se utiliza para transmitir fuerzas cortantes en juntas traslapadas, para evitar el pandeo de las partes conectadas y para unir elementos de miembros compuestos.



Capítulo IV. Trabajos Preliminares en Taller

Una vez fabricados los perfiles estructurales se necesitara realizar limpieza, enderezado, cortes, cepillado y pintado de los perfiles estructurales antes de ser colocados.

Las acciones antes descritas permitirán por un lado conservar las características físicas y químicas del acero estructural y por otro lado incrementar la velocidad del ensamblado de la estructura.

Este capítulo se complementó con la última edición del Código de Prácticas Generales del Manual de Construcción en Acero del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A.C. (I.M.C.A), con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal y con el Manual Integral para el Diseño y Construcción de los autores Frederick S Merrit. y Jonathan Ricketts.

IV.1 Planos de Taller

En los planos de fabricación (también conocidos como planos de taller o de detalle) se proporcionará toda la información necesaria por parte del ingeniero estructurista para la ejecución de la estructura en el taller ya que muchas veces es imposible hacerlo en la obra. Los planos de taller se prepararán antes de iniciar la fabricación de la estructura detallando la pieza a elaborar con plantas, cortes, detalles de fabricación de la estructura y anotaciones para su manufactura (tipo de perfil, electrodos, tipo de soldadura).



Tanto en los planos de fabricación y de montaje como en los dibujos y esquemas de las memorias de cálculo deben indicarse las soldaduras por medio de símbolos que representen claramente, y sin ambigüedades, su posición, dimensiones, características, preparaciones en el metal base, etc. Cuando sea necesario, esos símbolos se complementarán con notas en el plano. En todos los casos deben indicarse, con toda claridad, los remaches, tornillos o soldaduras que se colocarán en el taller y aquellos que deben instalarse en la obra.

En los planos de anclas se indicarán todos los elementos que deben quedar ahogados en la cimentación o en la estructura de concreto en la que se apoye la estructura metálica, y que son necesarios para transmitir las acciones que cada una de ellas ejerce sobre la otra.

Los sujetadores se indican sobre los planos de diseño, de taller y de montaje por medio de notas y símbolos como se muestra en la figura 4.1.1.

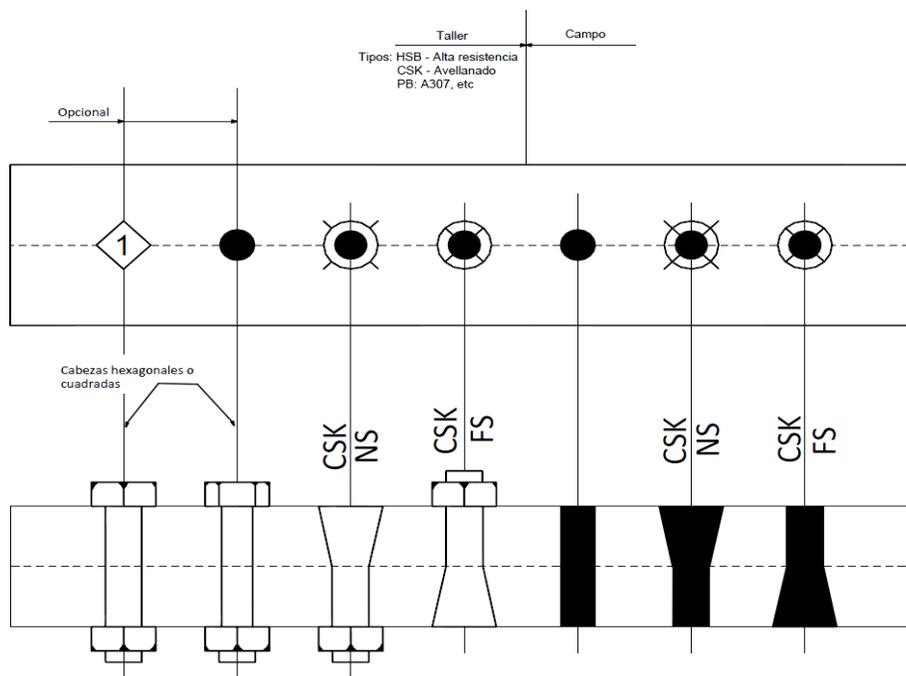


Figura 4.1.1 Símbolos de pernos de taller y de campo



Las soldaduras requieren información más explícita, puesto que su localización no es tan obvia como la de los orificios para los pernos. Los símbolos de soldadura y las claves de información (Fig. 4.1.1) están normados por la American Welding Society en la sección de "Symbols for Welding and Nondestructive Testing".

Símbolos de Soldadura														
Reves	Filete	Tipo de soldadura								Tapón y muesca	Soldadura de campo	Soldadura en todo el contorno	Contorno	
		Cuadrado	V	Bisel	U	J	V	Bisel	A ras				Convexo	

Localización de las soldaduras			

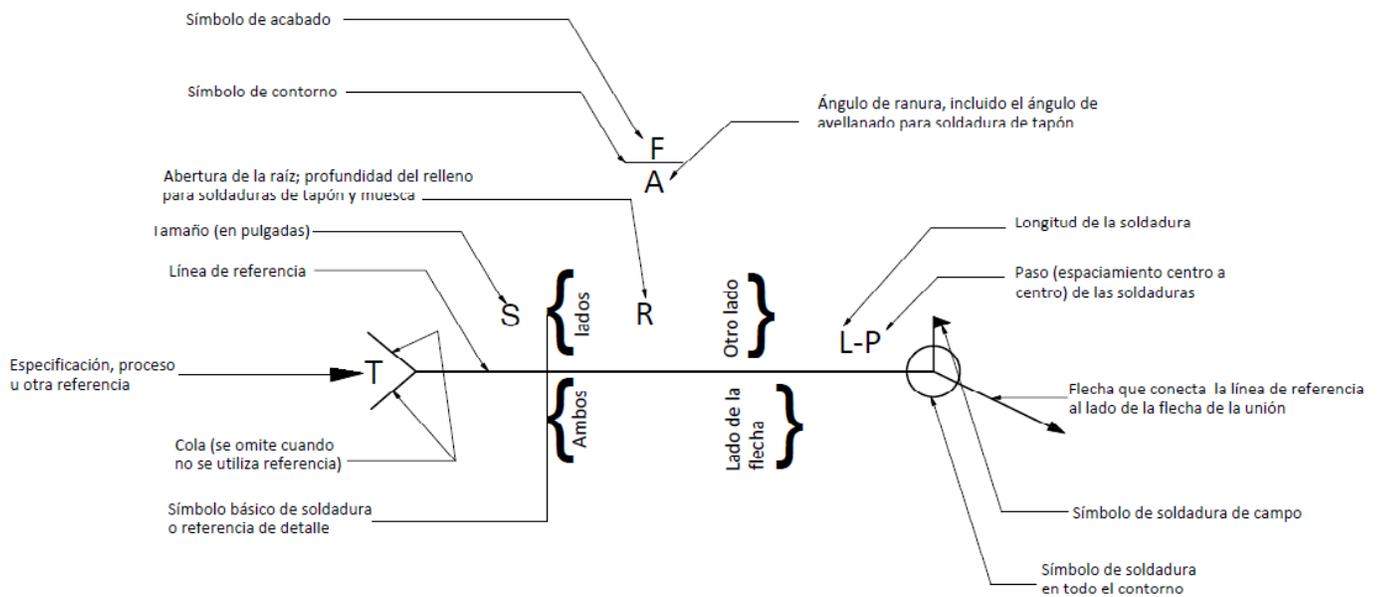


Figura 4.1.1 Símbolos para soldadura de taller y de campo



En los planos de taller deben dejarse tolerancias para el empleo de calzas, que se implantaran cuando sea necesario para el alineamiento con otras estructuras, así también colocar claves de identificación en cada plano de taller de manera que los lotes de embarque de las estructuras metálicas puedan ser identificados con las listas de embarque y con los planos de montaje en la obra.

Los dibujos de taller se harán siguiendo la práctica más moderna y en su elaboración se tendrán en cuenta los factores de rapidez y economía en fabricación y montaje que sean significativos en cada caso.

IV.2 Enderezado

Todo el material que se vaya a utilizar en estructuras debe enderezarse previamente cuando por algunas condiciones fue afectado en su forma, excepto en los casos en que por las condiciones del proyecto tenga forma curva. El enderezado se hará de preferencia en frío, por medios mecánicos, pero puede aplicarse también calor, en zonas locales. La temperatura de las zonas calentadas, medida por medio de procedimientos adecuados, no debe sobrepasar 923 K (650 °C).

Los procedimientos anteriores pueden utilizarse también para dar contraflecha a elementos estructurales que la requieran (NTC-DCEM-RCDF, 2004).

IV.3 Cortes

Los cortes pueden hacerse con cizalla, sierra o soplete; éstos se harán, 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 5mm de profundidad, pero todas las que tengan profundidades mayores deben eliminarse con esmeril o repararse con soldadura. Los cortes en ángulo deben hacerse con el mayor radio posible, nunca menor de 25mm, para proporcionar una transición continua y suave. Si se requiere un contorno específico, se indicará en los planos de fabricación.

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

Los extremos de piezas que transmiten compresión por contacto directo tienen que prepararse adecuadamente por medio de cortes muy cuidadosos, cepillado u otros medios que proporcionen un acabado semejante (NTC-DCEM-RCDF, 2004).



Figura 4.3.1 Fabricación de estructura en taller



IV.4 Limpieza y Cepillado

Todos los perfiles estructurales que deben pintarse se limpiarán con solventes para eliminar los depósitos de aceite, grasa u otros compuestos químicos que impidan la aplicación de la pintura.

Las superficies en que se vaya a depositar la soldadura se limpiarán cepillándolas vigorosamente, a mano, con cepillo de alambre, o con chorro de arena, para eliminar escamas de laminado, óxido, escoria de soldadura, basura, debiendo quedar tersas, uniformes y libres de rebabas, y no presentar desgarraduras, grietas u otros defectos que puedan disminuir la eficiencia de la junta soldada. Se permite que haya costras de laminado que resistan un cepillado vigoroso con cepillo de alambre. Siempre que sea posible, la preparación de bordes por medio de soplete oxiacetilénico se efectuará con sopletes guiados mecánicamente.

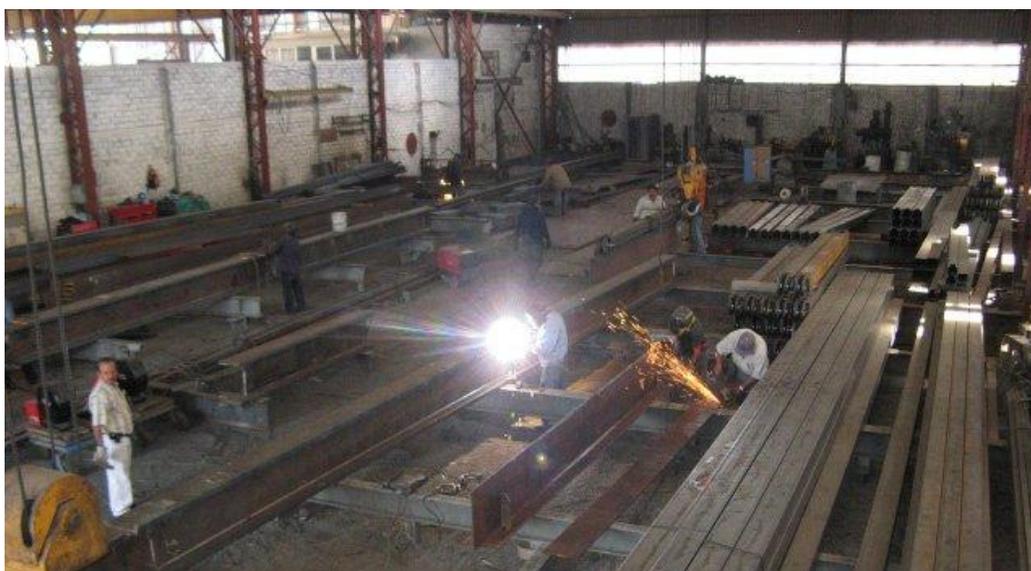


Figura 4.4.1 Preparación de bordes



IV.5 Aplicación de pintura

El objeto de la pintura de taller es proteger el acero durante un periodo de tiempo corto y puede servir como base para la pintura final, que se efectuará en obra.

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.

Todas las superficies que se encuentren a no más de 5cm de distancia de las zonas en que se depositaran soldaduras de taller o de campo deben estar libres de pintura para obtener soldaduras sanas o que no produzcan humos perjudiciales, así también no se aplicará pintura sobre las superficies en las conexiones de deslizamiento crítico (NTC-DCEM-RCDF, 2004).

Las superficies que sean inaccesibles después del armado de las piezas deben pintarse antes.

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.



Capítulo V. Maniobras de Transporte, Erección y Montaje

Al concluir los trabajos de taller se tendrá que realizar la carga, transporte y descarga del material en obra y durante la erección y montaje, se adoptarán las precauciones necesarias para no producir deformaciones ni esfuerzos excesivos. Estas actividades deben efectuarse con equipo apropiado, que ofrezca la mayor seguridad posible. Si a pesar de ello algunas de las piezas se maltratan y deforman, deben ser enderezadas o repuestas, según el caso, antes de montarlas permitiéndose las mismas tolerancias que en los trabajos de taller.

Es importante que exista un claro entendimiento entre el fabricante y el montador en cuanto qué suministra o qué no suministra el fabricante al montador, por lo general en los contratos y convenios entre el vendedor y el cliente, el fabricante únicamente realiza el habilitado y suministro del material.

V.1 Transporte

El transporte y almacenamiento de todos los materiales son responsabilidad exclusiva del contratista de obra y los realizará de tal forma que no sufran alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra.

Para obtener los precios más bajos de transporte, la carga no debe sobresalir del ancho (2.50m) ni del largo (12.20m) de las plataformas de los trailers. La altura máxima de la carga es de 4.50m, pero no hay que confiarse de estos datos porque en México hay muchos pasos a desnivel que no llegan a esta altura. La decisión de la altura a que se cargan los camiones es generalmente del fabricante, pero el



ancho y el largo de las piezas es cuestión de su diseño. Se busca generalmente que las columnas de las edificaciones alcancen cuatro o más niveles de entrepisos. Si éstos son de más de 3.00m, entonces la longitud de la pieza resulta mayor que los 12.20m mencionados. No hay que preocuparse por esto si las piezas sobresalen del camión hasta metro y medio, pero si sobresalen más de esto entonces se aplica una cuota adicional al flete. Pueden transportarse en estas condiciones piezas de 20m o más metros de largo y la decisión que tiene que tomarse, generalmente por el diseñador junto con el fabricante, es si es más conveniente hacerle a la pieza una conexión o pagar el flete adicional; muchas veces ésta es la solución más económica. Por lo que respecta al ancho, generalmente puede sobresalir de los lados de la plataforma hasta 30cm sin encarecer el flete, pero a medida que aumenta el ancho de las piezas el costo del flete se dispara, siendo a veces en el caso de piezas muy anchas, que cuesta más el flete que la estructura.

Cuando el ancho de las piezas pasa de 3.00m, debe pensarse en introducir conexiones atornilladas para embarcar piezas sueltas que se arman en el campo. Hoy en día puede decirse que en nuestro país es posible transportar piezas casi de cualquier tamaño y de cualquier peso, claro está que a mayor tamaño y peso, mayor será también el costo de transporte, pero el trabajo en campo disminuirá si las piezas se ensamblan en taller, donde se tiene la ventaja de contar con mejores medios de manejo, con más equipo y con personal especializado. El trabajo de campo siempre es más difícil y generalmente más caro que el de taller. Siempre



es cuestión de evaluar los pros y contras de las diversas alternativas y decidirse por la que presenta las mayores ventajas. Una regla es diseñar la estructura de tal forma que el tamaño y el peso de las piezas no constituyan un problema de transporte, a no ser que se puedan lograr ventajas que compensen el costo de fletes especiales.

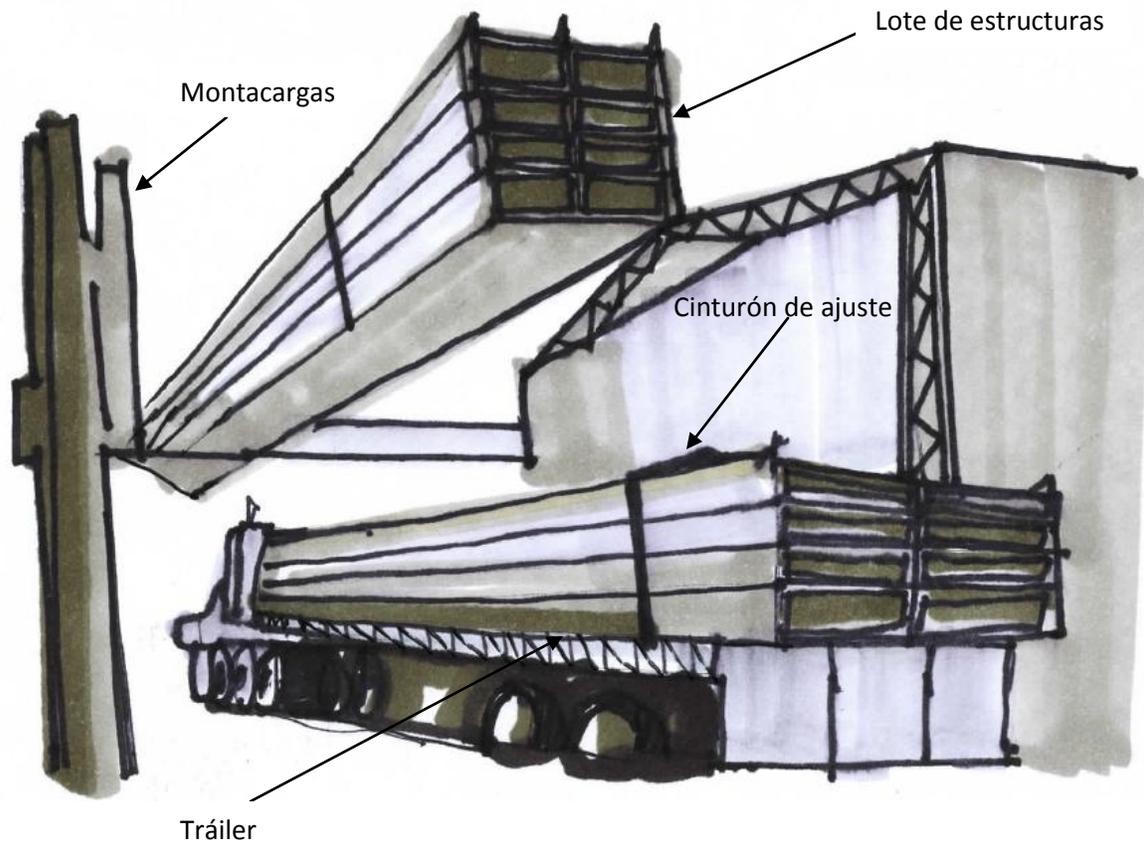


Figura 5.1.1 Maniobras de transporte de Estructuras Metálicas de la fundidora a la obra.



V.2 Equipo de montaje

Si existe una pieza universal en el equipo de montaje, es la grúa. Fija o montada sobre ruedas o sobre orugas, es extremadamente movable, tanto en el trabajo como para trasladarse de un sitio a otro.

a) Grúa Torre Trepadora

La Grúa Torre Trepadora (Fig.5.2.1) está formada por un pescante horizontal cuyos extremos se desplazan sobre rieles perpendiculares al pescante; el torno de izado se desliza en sentido longitudinal por el pescante mediante un carro.

Es orientable y giratoria se monta sobre la parte superior de una torre vertical, suele ser de instalación temporal y esta concebida para soportar frecuentes montajes y desmontajes, así como traslados entre distintos emplazamientos.

Esta grúa tiene la capacidad de ser instalada sobre la estructura de una obra en construcción y se desplaza de abajo hacia arriba por sus propios medios al ritmo y medida que la construcción progresa.

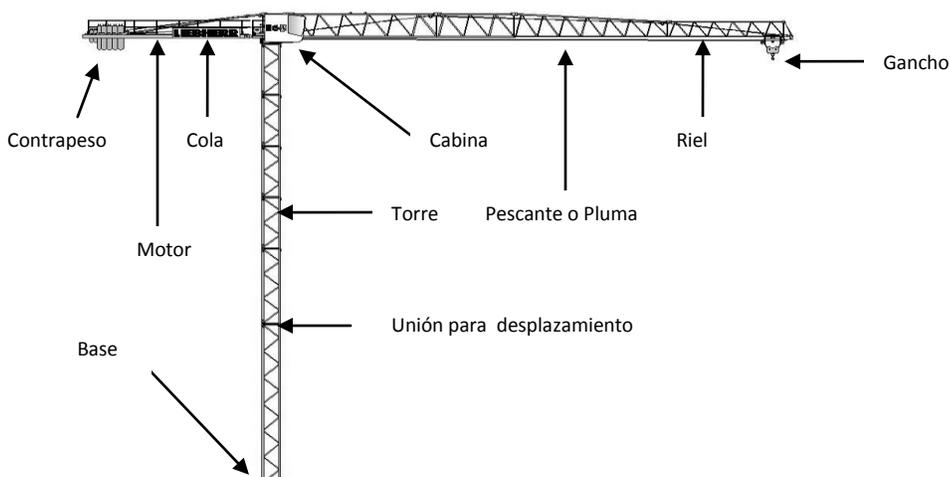


Figura 5.2.1 Grúa Torre Trepadora



b) Grúa de Pata Rígida y Postes Grúa

Las grúas de pata rígida (Fig. 5.2.2) y los postes grúa son otros mecanismos que se emplean algunas veces, generalmente en el papel de auxiliares a las grúas torre o a las grúas cable. El aparato es útil para desmantelar y bajar grandes equipos, para el montaje de acero en construcciones livianas en donde los servicios de una grúa torre no sería necesario.

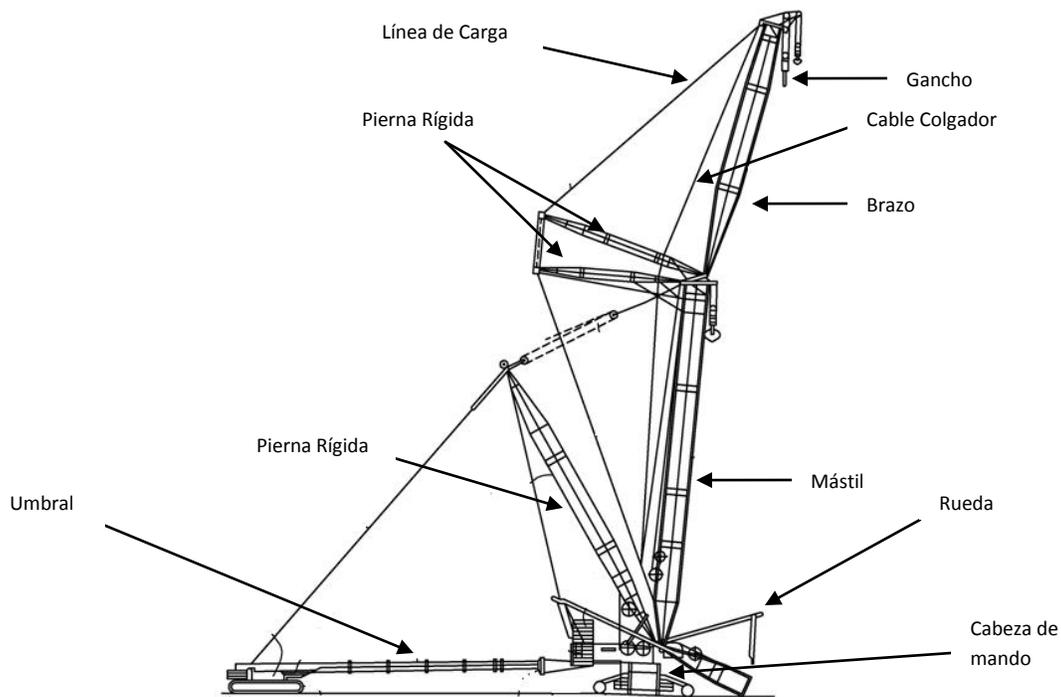


Figura 5.2.2 Grúa de pata rígida

Las grúas de pata rígida tienen la mayor eficiencia porque pueden instalarse para permanecer por largos periodos de tiempo. Se han utilizado para montar edificios de varios pisos pero no es muy común su uso debido al largo tiempo que se necesita para saltar de un piso a otro. Entre las aplicaciones de las grúas de pata rígida está: descargar el acero de los vagones de ferrocarril para transferirlo a los



camiones, almacenaje, clasificación de materiales y cuando están colocadas en una plataforma plana, levantando el acero al nivel del techo, de donde puede ser clasificado y colocado al alcance de una grúa de cables.

c) Grúas montadas

Las grúas montadas son versátiles, pueden estar acopladas sobre torres de acero, ruedas, orugas, vagón y camión. Aproximadamente la longitud del brazo es de 50m o 60m, están apoyadas en el interior del equipo que las transporta. Estas grúas se elevan hacia arriba hidráulicamente o se levantan por medio de cables. Son usadas como apoyo de otras grúas en construcciones pesadas pero principalmente son implementadas en obras de menor tamaño.

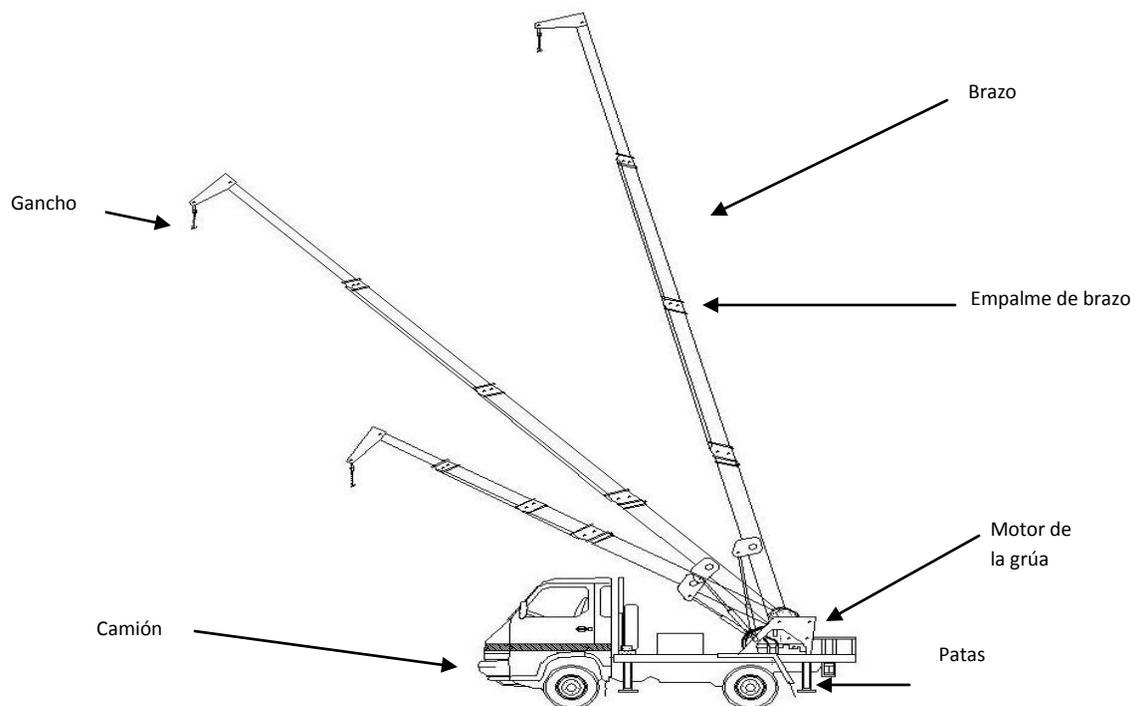


Figura 5.2.3 Grúa montada sobre camión



La elección del equipo de montaje más adecuado dependerá del tipo de edificación, del espacio

libre en la obra para los radios de giro de la grúa y del peso de las estructuras metálicas a montar.

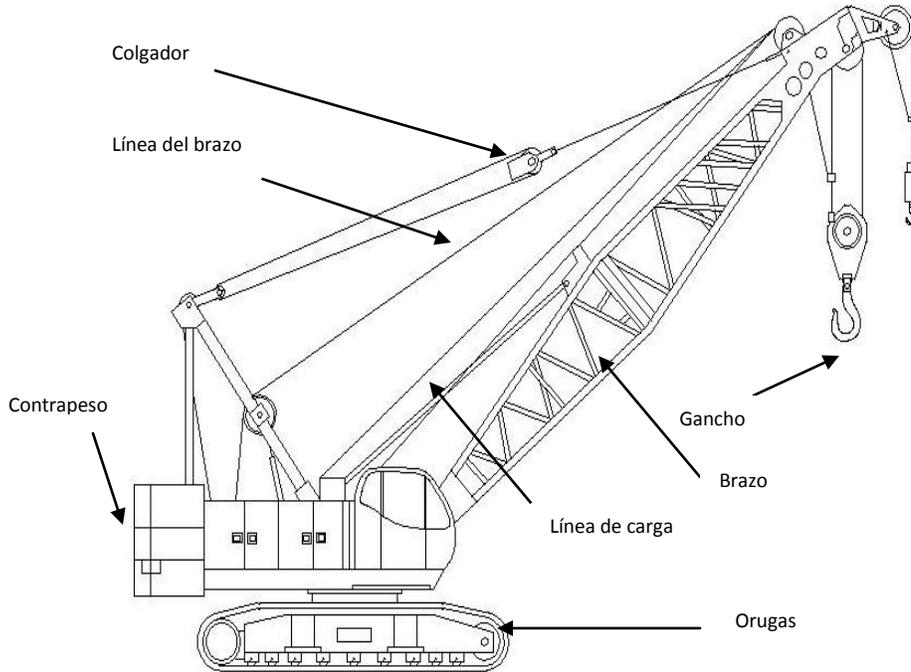


Figura 5.2.4 Grúa montada sobre orugas

Generalmente durante las operaciones de carga se despliegan las patas para estabilizar la grúa cuya función es aumentar el polígono de sustentación de la grúa, evitando el vuelco.

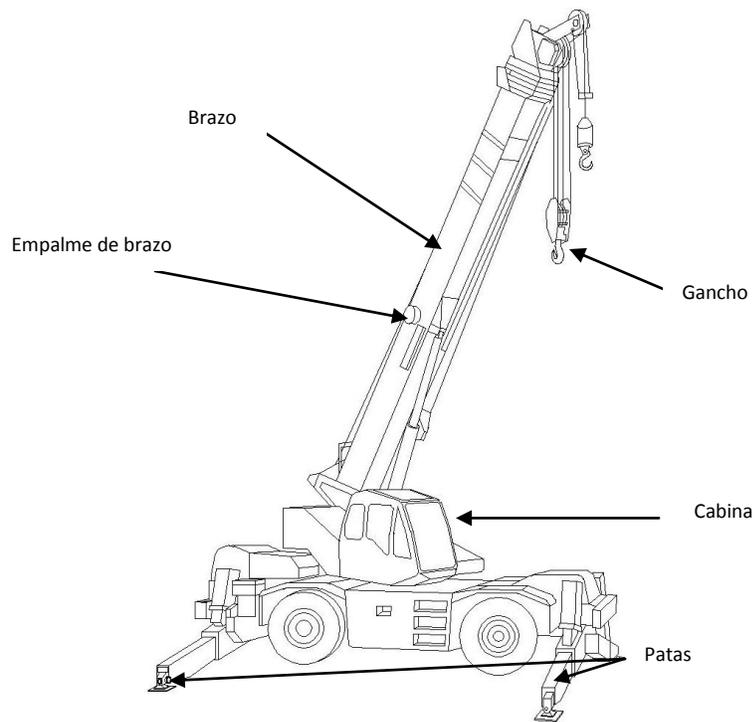


Figura 5.2.4 Grúa montada sobre ruedas



V.3 Anclajes

Antes de iniciar el montaje de la estructura se revisará la posición de las anclas, que deben ser colocadas previamente y en caso de que haya discrepancias, en planta o en elevación, con respecto a las posiciones mostradas en planos, se tomarán las precauciones necesarias para corregirlas o compensarlas (NTC-DCEM-RCDF, 2004).

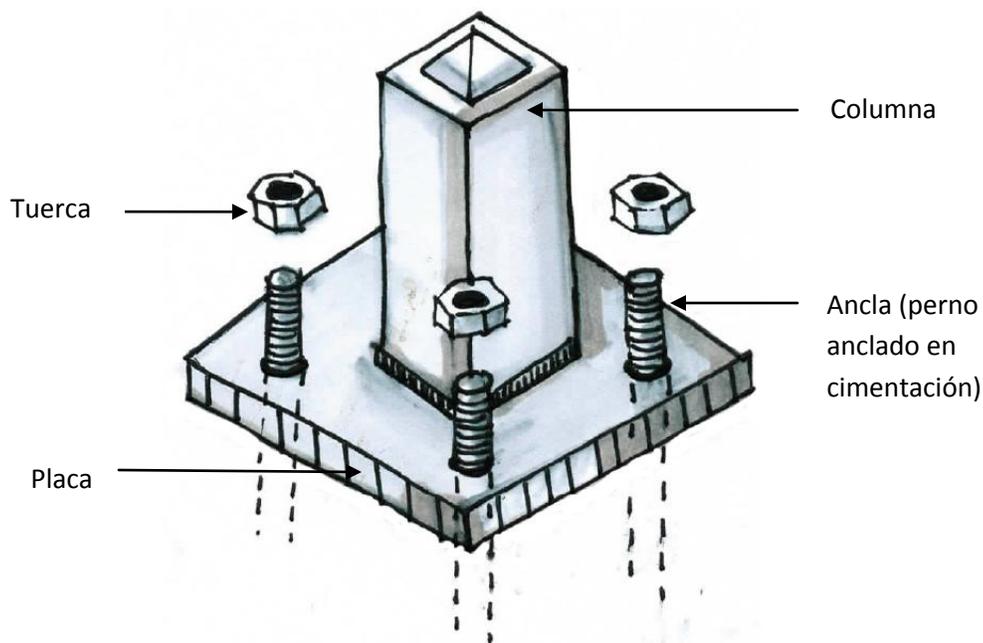


Figura 5.3.1 Montaje de estructura en anclas

V.4 Conexiones provisionales

Durante el montaje, los diversos elementos que constituyen la estructura metálica deben sostenerse individualmente o ligarse entre sí por medio de tornillos, pernos o soldaduras provisionales que proporcionen la resistencia requerida, bajo la acción de cargas muertas, esfuerzos de montaje, viento o sismo, así mismo,



deben tenerse en cuenta los efectos de cargas producidas por materiales y equipo de montaje cuando se esté trabajando en niveles superiores y haya cuadrillas trabajando en los niveles inferiores. Cuando sea necesario, se colocará en la estructura el contraventeo provisional requerido para resistir los efectos mencionados (NTC-DCEM-RCDF, 2004).

V.5 Holguras para el montaje

Todos los tipos de sujetadores necesitan holguras para una instalación adecuada, tanto en taller como en el campo. Las conexiones en taller raramente son un problema ya que cada miembro puede ser manipulado fácilmente para su montaje final. Las conexiones en el campo, sin embargo, requieren de una planeación cuidadosa, porque las conexiones solo pueden ser realizadas después de que todos los miembros que van a ser conectados estén alineados en su posición final. Esto es responsabilidad del cuerpo técnico del fabricante y se ejecuta con base en las especificaciones que indican los planos de taller y montaje.

Las holguras son necesarias por 3 razones:

- 1) Para permitir el montaje sin interferencia con los miembros previamente montados.
- 2) Para permitir el ingreso de los pernos al entrar a los orificios barrenados.



- 3) Para permitir el apriete de los pernos con herramientas en el campo o para permitir el movimiento de los electrodos manuales o para las herramientas semiautomáticas de soldadura al depositar el metal de la soldadura.

V.6 Secuencia de montaje

El orden en el cual el acero debe ser fabricado y despachado al sitio será planeado con anticipación de tal manera que no entre en conflicto con el programa de construcción del montador, si el acero va ser montado con grúas, las localizaciones aproximadas en las cuales se van a colocar las grúas determinarán las partes o secciones de la estructura que se tendrán que transportar en el embarque. Cuando los lotes se despachan al sitio y a las localizaciones predeterminadas, una planeación adecuada eliminará la cantidad de maniobras de montaje para su colocación.

Previamente al montaje de la estructura metálica, estará ejecutada la cimentación correspondiente, respetando todas las cotas de proyecto y provista ésta de sus correspondientes elementos de unión con la estructura (anclas) debiendo coincidir con los planos de taller y montaje.

El montaje de edificios de varios pisos con grúas de cable, se inicia con las piezas más distantes de la grúa y se avanzan hasta que queden cerca de la grúa.

La práctica inicial es levantar y colocar primero todas las columnas en cada piso, después las vigas exteriores para crear los confinamientos de los muros y subsecuentemente las vigas interiores con las vigas secundarias.



Posteriormente se da el salto de la grúa a la parte superior y el proceso de montaje se repite para el piso siguiente, por lo general, en cada nivel se va colocando tabloncillos de madera para obtener una plataforma de trabajo para los montadores y para suministrar protección a las cuadrillas que trabajan en los niveles inferiores soldando o colocando y ajustando los pernos.

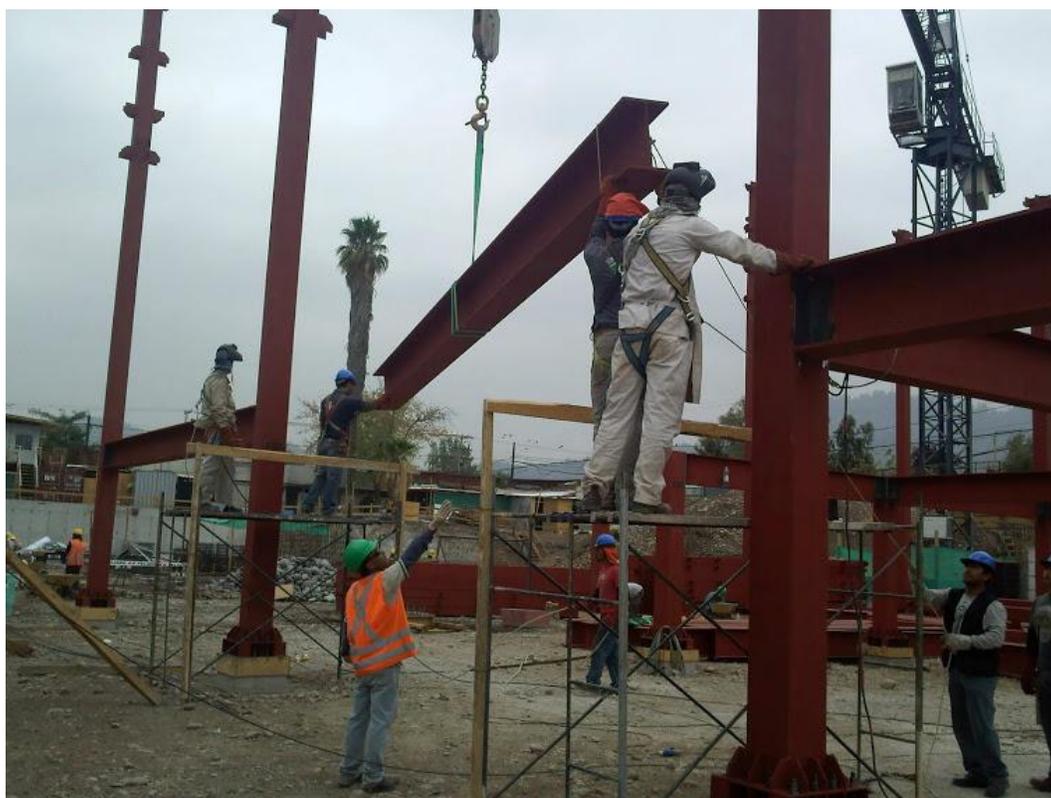


Figura 5.6.1 Secuencia de montaje

Existe una secuencia establecida para llevar a cabo las conexiones, la cuadrilla encargada del levantamiento conecta los miembros entre sí con pernos temporales de fijación o soldadura provisional cuidando que las piezas queden alineadas, la cantidad de pernos debe ser mínima, suficiente para llevar la junta



hasta su ajuste y soportar la acción de carga muerta, el viento y los esfuerzos de montaje.

Las conexiones permanentes se hacen tan pronto el alineamiento este dentro de los límites de tolerancia ya que por lo común, la sujeción permanente de los pernos o soldaduras se hace a continuación con la cuadrilla de levantamiento. Algunas veces esta última cuadrilla se desplaza más rápido que la cuadrilla que hace las conexiones permanentes, en cuyo caso puede ser prudente saltar a un piso de por medio obteniendo conexiones permanentes tan próximas como sean posibles a la grúa (Cameron Andres K. y Ronald Smith C, 1998).

Algunos montadores prefieren utilizar pernos de alta resistencia de manera permanente para la fijación temporal. Porque estos pernos no se aprietan a la tensión mínima especificada, pueden dejarse en su lugar y después apretarlos de la manera exigida para la instalación permanente.

V.7 Tolerancias para el Alineado y Plomeado

Las variaciones en las dimensiones en el campo a menudo son una consecuencia de las variaciones admisibles en el laminado del acero y en la fabricación en el taller.

Es una práctica estándar compensar en los detalles de taller para ciertas variaciones en la planta de fabricación. Los ajustes se hacen en la obra, usualmente con espacios libres y calzas.



Las tolerancias de montaje están especificadas en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, algunas de sus observaciones son las siguientes:

- a.V.7) Se considera que cada una de las piezas que componen una estructura esta correctamente plomeada, nivelada y alineada, si la tangente del ángulo que forma la recta que une los extremos de la pieza con el eje de proyecto no excede $1/500$ (solo podrá quedar desfasada 2mm con respecto al eje de proyecto si la longitud de la unión de pieza con pieza fuese de 500m) En vigas teóricamente horizontales es suficiente revisar que las proyecciones vertical y horizontal de su eje satisfacen la condición anterior.

Deben cumplirse, además las siguientes condiciones.

- b.V.7) El desplazamiento del eje de columnas adyacentes a cubos de elevadores, medido con respecto al eje teórico, no es mayor de 25mm en ningún punto en los primeros 20 pisos. Arriba de este nivel, el desplazamiento puede aumentar 1mm por cada piso adicional, hasta un máximo de 50mm.
- c.V.7) El desplazamiento del eje de columnas exteriores, medido con respecto al eje teórico, no es mayor de 25mm hacia fuera del edificio, ni 50mm hacia adentro, en ningún punto en los primeros 20 pisos. Arriba de



este nivel, los límites anteriores pueden aumentarse en 1.5mm por cada piso adicional, pero no deben exceder, en total, de 50mm hacia fuera ni 75mm hacia dentro del edificio.

d.V.7) Toda edificación deberá separarse de sus linderos con los predios vecinos una distancia no menor de 50mm, ni menor que el desplazamiento horizontal calculado para el nivel de que se trate, aumentado en 0.001, 0.003 ó 0.006 veces la altura de dicho nivel sobre el terreno, en las zonas I, II ó III, respectivamente. En este caso deben incluirse los desplazamientos debidos a la flexión de conjunto de la estructura y al giro de su base, en caso de que sean significativos. (En la sección 1.10 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, se indican más especificaciones para determinar las separaciones entre edificios colindantes, según sea el caso).

Las medidas de campo para determinar si las columnas están aplomadas deben realizarse siempre por la noche o en días nublados, nunca al sol, ya que la radiación solar causa que la estructura se arqueé en la cara opuesta al sol impidiendo las mediciones con plomada.



Capítulo VI. Armado de Estructuras Soldadas

En este capítulo se explicarán los procedimientos de soldadura en campo, las técnicas, los materiales, equipos, las tolerancias, la apariencia y calidad de las soldaduras, ya que resulta imposible transportar grandes piezas conectadas de el taller a la obra, por lo cual la mayor parte de las conexiones se soldan en campo.

VI.1 Preparación del material

Las superficies en que se vayan a depositar soldadura deberán estar tersas, uniformes, libres de rebabas y no presentar desgarraduras, grietas u otros defectos que pueden disminuir la eficiencia de la junta soldada; se permite que haya costras de laminado, un recubrimiento anticorrosivo delgado, o un compuesto para evitar las salpicaduras de soldadura.

VI.2 Pre calentamiento

Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas para el D.F, mencionan que en el orden en que se va ir ejecutando el procedimiento de soldadura en campo inicia con el pre calentamiento del material antes de depositar la soldadura, las superficies de los perfiles estructurales deben pre calentarse a una temperatura capaz de no provocar la formación de grietas. Esa temperatura debe conservarse durante la colocación de la soldadura, en una distancia cuando menos igual al espesor de la parte soldada más gruesa, pero no menor de 75 mm, en todas las direcciones, alrededor del punto en el que se está depositando el metal de aportación.



Se exceptúan los puntos de soldadura colocados durante el armado de la estructura que se volverán a fundir y quedarán incorporados en soldaduras continuas realizadas por el proceso de arco sumergido.

VI.3 Procedimientos de armado y soldadura de campo

Las partes por soldar se mantendrán en su posición correcta hasta terminar el proceso de soldadura, mediante puntos provisionales de soldadura. Los puntos de soldadura provisionales deben cumplir los mismos requisitos de las soldaduras finales; si se incorporan en estas, se harán con los mismos electrodos que ellas, y se limpiarán cuidadosamente; en caso contrario, se removerán con un esmeril hasta emparejar la superficie del metal base.

La función principal de la secuencia de soldadura es controlar la deformación del perfil debida principalmente a los efectos del calor de la soldadura. La aplicación de calor en un tiempo corto tiende a producir mayor distorsión. Por lo tanto, se debe soldar por etapas para las uniones grandes, con suficiente tiempo entre cada etapa para asegurar una completa dispersión del calor requerido durante el precalentamiento.

Si se solda sobre el patín de una columna metálica, esta tiende a curvarse hacia el lado en que se enfría el lado soldado, debido a los esfuerzos de contracción. Para evitar ese fenómeno se tendrá que soldar simultáneamente ambos lados, de esta manera se evita la contracción de los patines y la columna permanece aplomada.



Cuando no es factible la soldadura simultanea, entonces el procedimiento es soldar por etapas. Primero se aplicara soldadura en un 60% de la longitud total de la conexión de la primera viga. Posteriormente la junta sobre el patín opuesto puede ser soldado en su totalidad, finalmente soldar lo que falta de la primera viga. Procedimientos como estos pueden reducir en gran parte la distorsión.

Las juntas totalmente soldadas estéticamente son atractivas, en especial cuando se esmerilan hasta quedar lisas, pero su fabricación puede ser muy cara

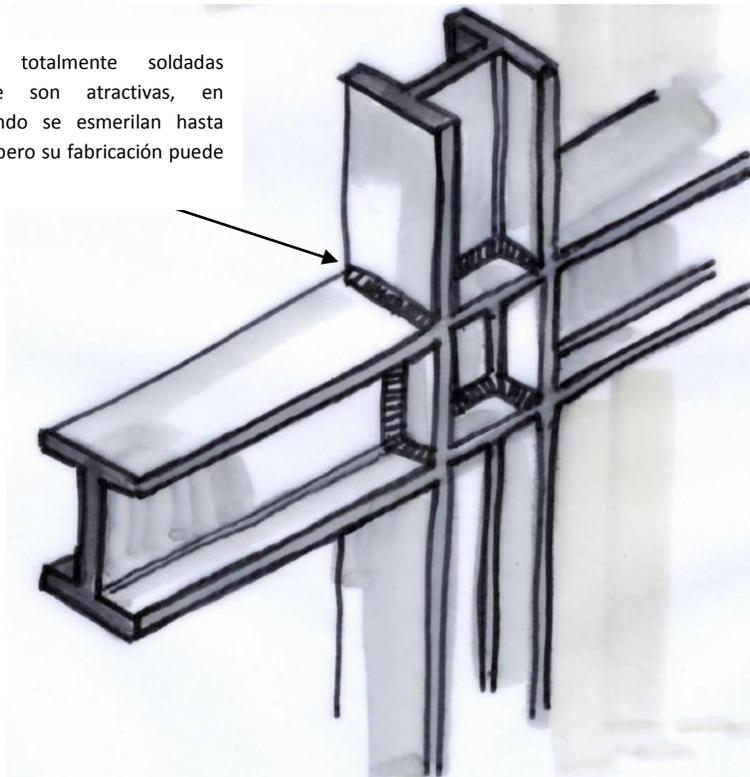


Figura 6.3.1 Juntas totalmente soldadas

Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas para el D.F, mencionan que las piezas entre las que se van a colocar soldadura de filete deben ponerse en contacto; cuando esto no sea posible, su separación no excederá de 5 mm. Si la separación es de 1.5 mm, o



mayor, el tamaño de la soldadura de filete se aumentará en una cantidad igual a la separación.

Las partes que se vayan a conectar con soldadura de ranura (Fig. 6.3.2) deben alinearse cuidadosamente, corrigiendo faltas en el alineamiento mayores $1/10$ del grueso de la parte más delgada, y también las mayores de 3 mm.

La separación entre las superficies en contacto de juntas traslapadas, así como entre las placas de juntas a tope y la placa de respaldo, no excederá de 1.5 mm.

Siempre que sea posible, las piezas por soldar se colocarán de manera que la soldadura se deposite en posición plana.

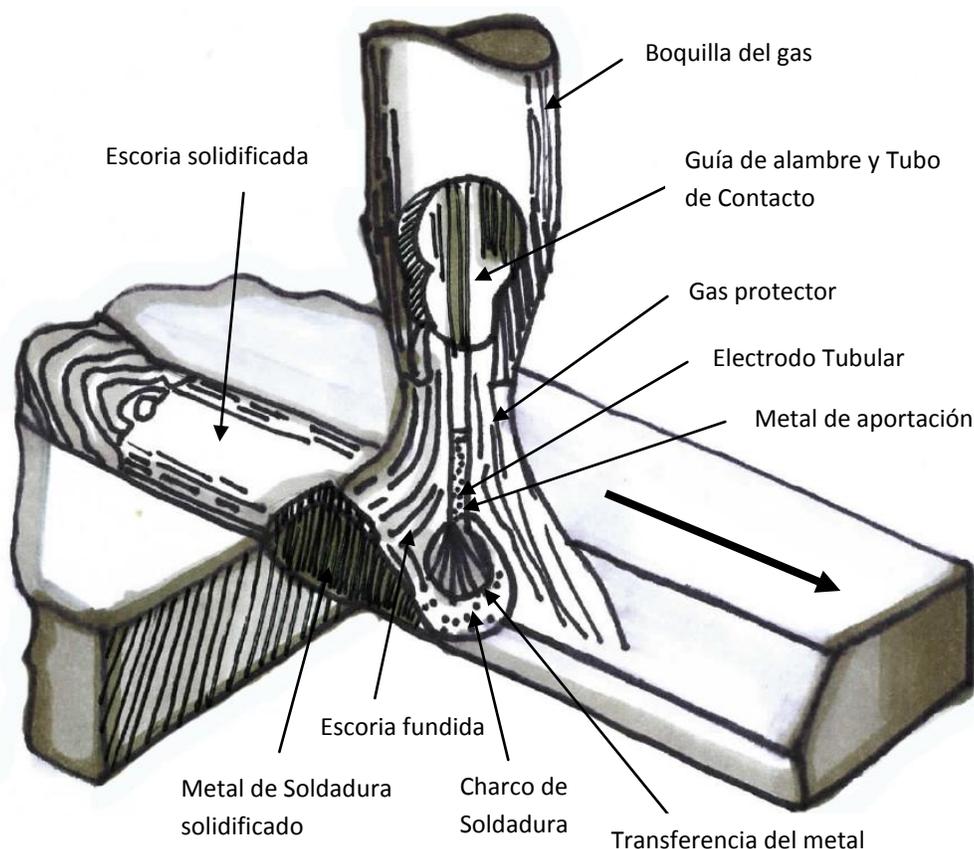


Figura 6.3.2 Aplicación de soldadura de ranura



La experiencia ha mostrado que es una buena práctica comenzar la soldadura en o cerca del centro de un edificio y trabajar hacia afuera. Las columnas deben de verificarse con frecuencia para el alineamiento vertical, porque la contracción en las columnas tiende a acortar la distancia entre las columnas.

Una manera muy usual de reducir la distorsión es permitir la contracción en cada junta, esta práctica puede realizarse, si, en el taller donde se fabrican los perfiles estructurales se reducen en 1/8 de pulgada los extremos de las vigas.

Algunas veces la contracción de las columnas provoca que se acorten sus longitudes, para corregir este fenómeno, se agregan placas de relleno o reconstruyendo con metal de soldadura para poder continuar con las conexiones de columna-viga.

Algunos diseñadores de grandes estructuras soldadas prefieren detallar la secuencia de soldadura para cada punto. Por ejemplo, en un proyecto, el procedimiento para la junta que se muestra en la figura 6.3.3 indica cuatro operaciones distintas: primero, se hacen solo unas cuantas pulgadas de la soldadura a cortante en la conexión vertical; segunda, la soldadura en el patín superior; tercera, la soldadura en el patín inferior y cuarta, el resto de la soldadura en la conexión vertical. El metal se deja que regrese a la temperatura normal antes de iniciar cada etapa.

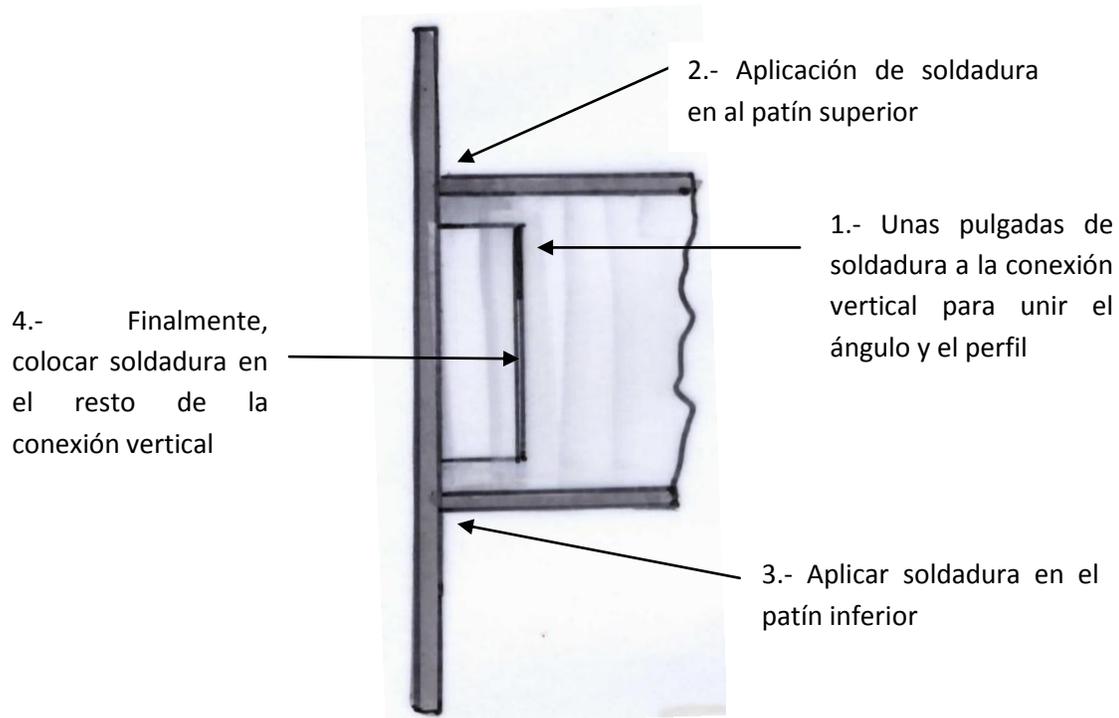


Figura 6.3.3 Secuencia de soldadura

Los esfuerzos de tensión se desarrollan en la soldadura del patín inferior al enfriarse; los esfuerzos de compresión de igual magnitud se desarrollan en el patín superior. Puesto que estos esfuerzos son opuestos a los causados por las cargas de la propia estructura metálica, los esfuerzos de tensión y compresión de la soldadura son útiles para resistir las cargas de piso.

Las estructuras de varios pisos montadas con equipo que se apoya en la estructura metálica a medida que se levantan estarán sometidas a esfuerzos y deformaciones producidas por las cargas de montaje. Las deformaciones resultantes deben ser tomadas en cuenta para formular la secuencia de soldadura en obra.



VI.4 Inspección

Los trabajos de inspección comienzan revisando los bordes de las piezas en los que se colocará soldadura, para cerciorarse de que los biseles, holguras, etc, son correctos y están de acuerdo con los planos.

Una vez realizadas, las uniones soldadas deben inspeccionarse ocularmente y se repararán todas las soldaduras que presenten defectos de importancia, tales como tamaño insuficiente de los hilos de soldadura, cráteres o socavaciones del metal base. Toda soldadura agrietada debe rechazarse. (NTC-DCEM-RCDF, 2004).

Todas las soldaduras, incluyendo los puntos provisionales, serán realizadas por personal calificado.

Cuando haya dudas, y en juntas importantes de penetración completa, la revisión se complementará por medio de ensayos no destructivos. En cada caso se hará un número de pruebas no destructivas de soldaduras (ultrasónica, líquidos penetrantes y rayos x) de taller suficiente para abarcar los diferentes tipos que haya en la estructura y poderse formar una idea general de su calidad. En soldaduras de campo se aumentará el número de pruebas y estas se efectuaran en todas las soldaduras de penetración en material de más de 20 mm de grueso y en un porcentaje elevado de las soldaduras sobre cabeza.

La prueba de ultrasonido (Fig.6.4.1) es un procedimiento de examinación de soldaduras que se basa en la velocidad de propagación de un sonido en un



material. Permite detectar discontinuidades superficiales e internas, enviando diferentes frecuencias de sonido al material.



Figura 6.4.1 Prueba de ultrasonido

La prueba líquidos penetrantes (Fig. 6.4.2) se emplea para detectar e indicar discontinuidades que afloran a la superficie de los materiales examinados. Consiste en aplicar un líquido fluorescente a la superficie a examinar, el cual penetrará al material por el principio de capilaridad, después de cierto tiempo se retira el exceso de líquido penetrante y se aplica un revelador el cual es un polvo blanco que absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades del material. Por consiguiente, las áreas en las que se observe la presencia de líquido penetrante después de la aplicación del líquido absorbente, son áreas que contienen discontinuidades superficiales.



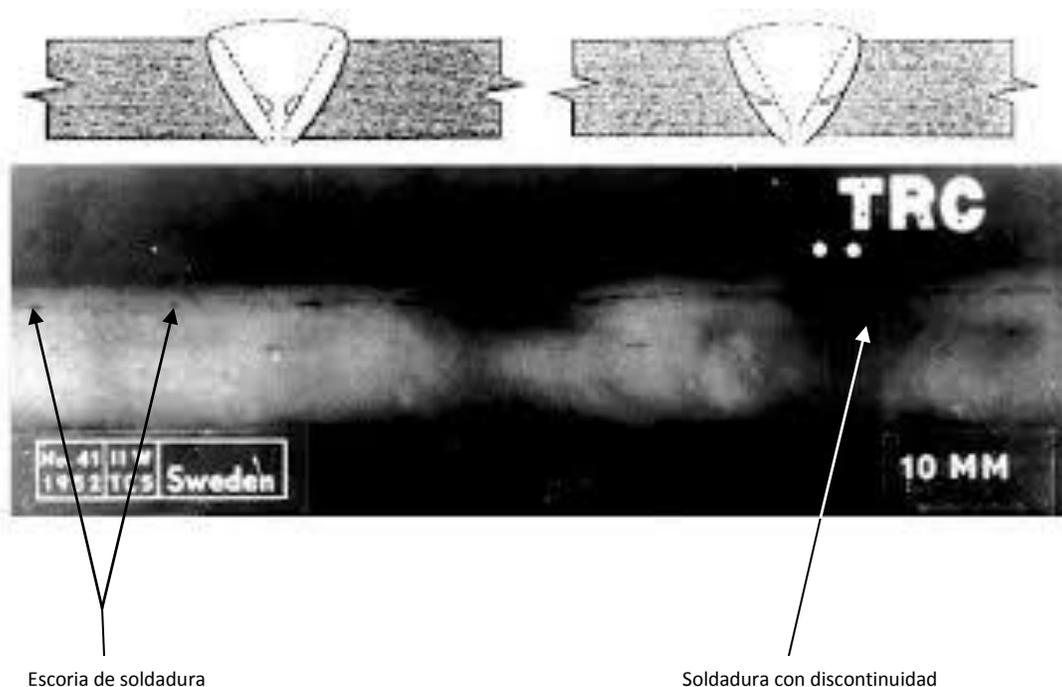
6.4.2 Prueba de líquidos penetrantes

La radiografía (Fig. 6.4.3) como método de prueba no destructivo, se basa en la capacidad de penetración que caracteriza principalmente a los Rayos X y a los Rayos Gama. Con este tipo de radiación es posible irradiar un material, se puede observar si este material presenta cambios internos considerables, entonces es posible determinar la presencia de irregularidades internas, simplemente midiendo o caracterizando la radiación incidente contra la radiación retenida o liberada por el material.

Comúnmente, una forma de determinar la radiación que pasa a través de un material, consiste en colocar una película radiográfica, cuya función es cambiar de tonalidad en el área que recibe radiación. Una fuente radiactiva emite radiación al



material, el cual a su vez podría presentar internamente una serie de oquedades, discontinuidades los cuales por contener aire o algún otro tipo de gas, dejan pasar más cantidad de radiación que en cualquier otra parte del material. Finalmente quedando plasmado el resultado en la película radiográfica o digitalmente.



6.4.3 Radiografía de soldadura



Capítulo VII. Armado de Estructuras Atornilladas

El uso de tornillos de alta resistencia sustituyó la aplicación de remaches a las estructuras metálicas. Esta revolución en el uso de otros materiales se logró porque los pernos pueden ser cargados a tensión, cortante o combinación de tensión y cortante además que su colocación es más sencilla y práctica que la de los remaches. El empleo de tornillos de alta resistencia se hará de acuerdo con la última versión de las Especificaciones para Uniones Estructurales con tornillos ASTM A325 ó A490 de origen estadounidense o con las normas mexicanas elaboradas por el Comité Técnico de Normalización de la Industria Siderúrgica, oficializadas por la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial NMX-H-124 (ASTM 325) y NMX-H-123 (ASTM A490).

VII.1 Perforaciones para construcción atornillada

Las piezas terminadas en taller son trasladadas a otra sección de la manufactura para ser barrenadas con respecto a los planos. Existen dos formas de realizar los agujeros, punzonándose o taladrándose la estructura metálica.

El punzomamiento es un esfuerzo producido por tracciones en una pieza debidas a los esfuerzos tangenciales originados por una carga localizada en una superficie pequeña logrando producir una perforación limpia en la pieza. Esto es posible utilizando punzonadoras hidráulicas (Fig. 7.1.1).

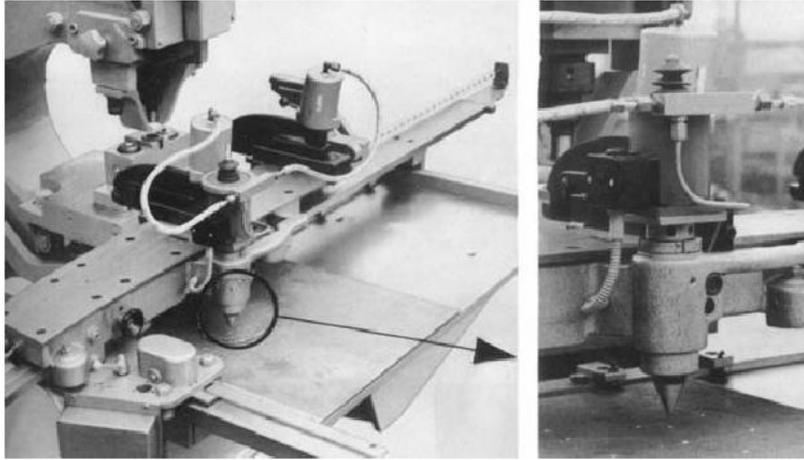


Figura 7.1.1 Maquina Punzonadora.

El taladrado es el principal método para fabricación de agujeros u orificios, por su alta productividad y bajo costo por orificio. Los retos abundan cuando se trata de fabricación de agujeros, por la viruta y la alta temperatura producida por la fricción entre la pieza y la broca, por lo cual se usa liquido refrigerante durante el taladrado y en cada perforación se quita el exceso de viruta.

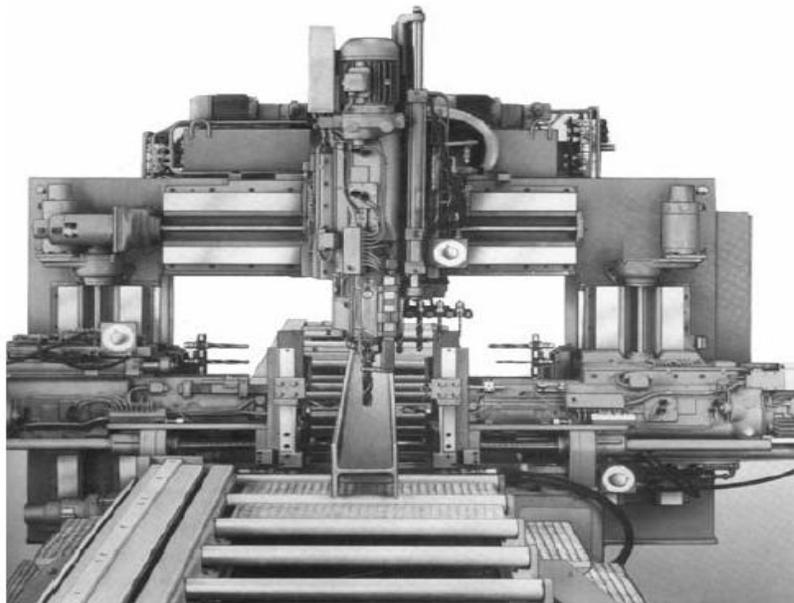


Figura 7.1.2 Taladro



El acabado final de una perforación puede desarrollarse bajo el proceso de rimado en el cual agranda el orificio perforado y se le da un terminado fino.

a.VII.1) Perforaciones estándar (STD)

Las perforaciones estándar son aquellas en las que se aumenta en 1/16 de pulgada el diámetro nominal del perno, esto con el fin de brindar una holgura en lo referente a los montajes estructurales. Los agujeros STD son recomendados a utilizar por AISC (Instituto Americano de Construcción en Acero, por sus siglas en inglés) para la mayoría de las aplicaciones.

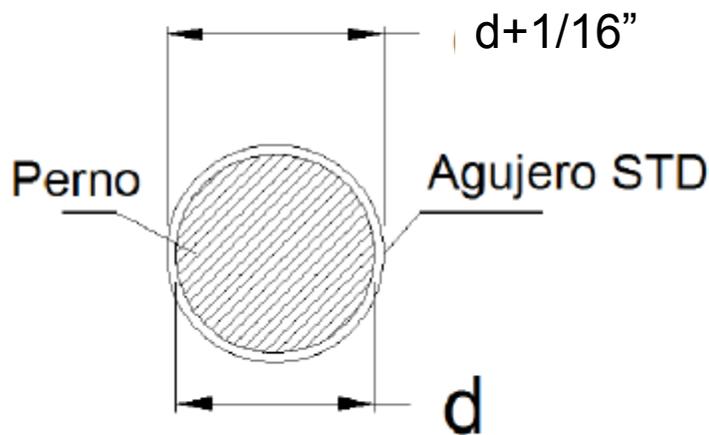


Figura 7.1.1 Agujero estándar (STD)



b.VII.1) Perforaciones Sobredimensionadas (OVS)

Proporcionan una mayor holgura para alojar los pernos de alta resistencia, se aumentan 3/16 de pulgada al diámetro nominal del perno a alojar. Los orificios sobredimensionados se permiten solo en las conexiones de deslizamiento crítico (desarrolla resistencia a la fricción).

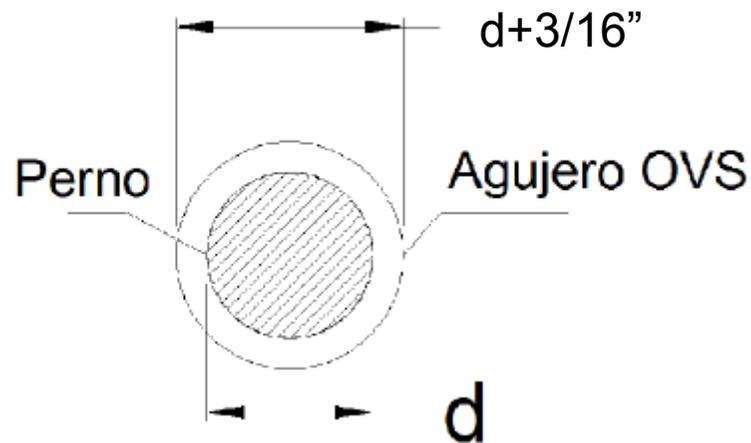


Figura 7.1.1 Agujero sobredimensionado (OVS)

c.VII.1) Perforaciones de ranura (SSL, LSL)

Los agujeros de ranura corta y larga son aquellos en los que se brinda un ajuste en una sola dirección y dependiendo de la dirección de la carga la ranura puede ser vertical u horizontal.

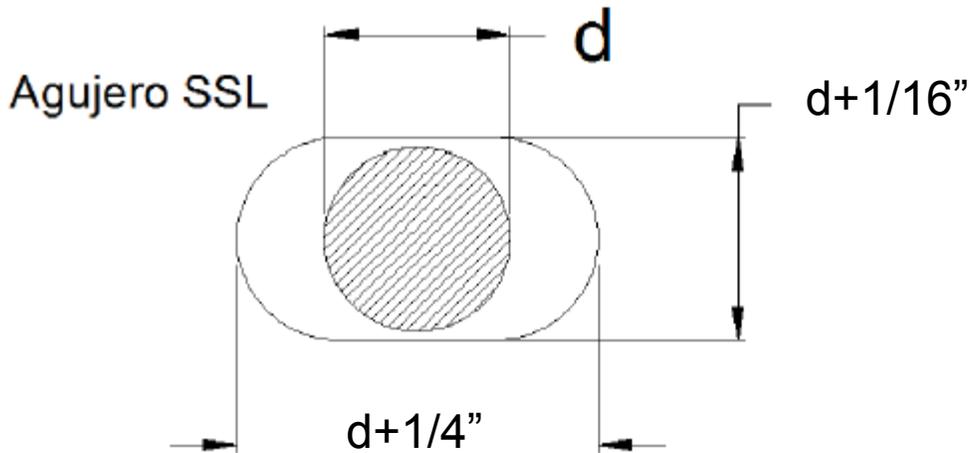


Figura 7.1.1 Agujero alargado corto (SSL)

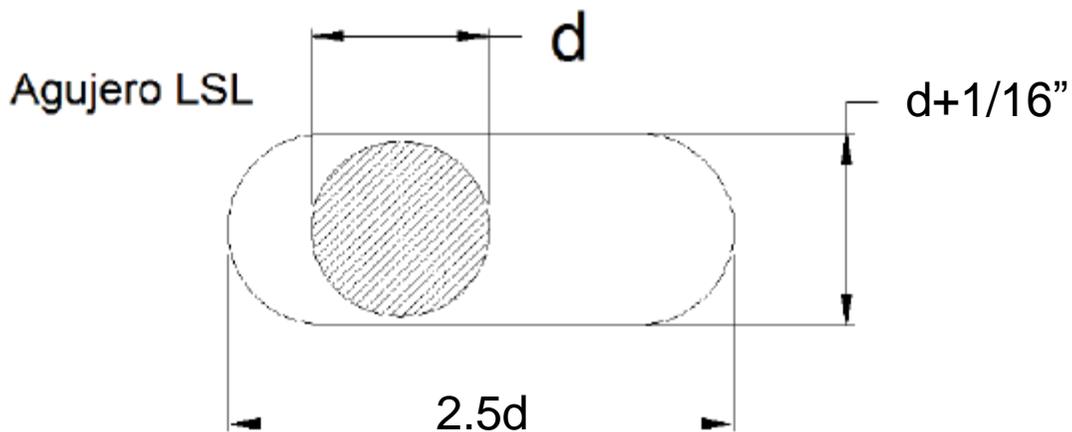


Figura 7.1.1 Agujero alargado corto (LSL)

Los tipos de agujeros estarán en función de las dimensiones del orificio (diámetro y largo). En las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas para el D.F., son reconocidos los tipos de agujeros estándar, los sobredimensionados, los alargados cortos y los alargados largos. Las dimensiones nominales de los agujeros de cada tipo se indican en la tabla 7.1.1.



Tabla 7.1.1 Tamaños máximos de agujeros para remaches y agujeros.

Dimensiones de los Agujeros									
Diámetro nominal del tornillo		Estándar (Diámetro)		Sobredimensionados (Diámetro)		Alargados Cortos (Ancho x Longitud)		Alargados Largos (Ancho x Longitud)	
mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg
12.7	1/2	14.30	9/16	15.90	5/8	14.3 X 17.5	9/16 X 11/16	14.3 X 31.8	9/16 x 1 1/4
15.9	5/8	17.50	11/16	20.60	13/16	17.5 X 22.2	11/16 X 7/8	17.5 X 39.7	11/16 x 1 9/16
19.1	3/4	20.60	13/16	23.80	15/16	20.6 X 25.4	13/16 X 1	20.6 X 47.6	13/16 x 1 7/8
22.2	7/8	23.80	15/16	27.00	1 1/16	23.8 X 28.6	1 5/16 X 1 1/8	23.8 X 55.6	15/16 x 2 3/16
25.4	1	27.00	1 1/16	31.80	1 1/4	27. X 33.3	1 1/16 X 1 5/16	27 X 63.5	1 1/16 x 2 1/2
≥ 28.6	≥ 1 1/8	d+1.5	d +1/16	d+7.9	d+ 5/16	(d+1.5)x(d+9.5)	(d+1/16)x(d+3/8)	(d+1.5)x(2.5d)	(d+1/16)x(2.5d)

En caso de ser necesario por tolerancias en la localización de pernos de anclaje en los dados de cimentación y por los detalles de la base de la columna, se utilizaran orificios más grandes que los especificados en la tabla 7.1.1



VII.2 Tolerancias en las dimensiones

a.VII.2) Distancias al borde

Las Especificaciones de Acero Estructural para Edificaciones del AISC (Instituto Americano de la Construcción en Acero, por sus siglas en ingles) de origen estadounidense recomienda para el DEA (diseño por esfuerzo admisible) y el DFRCR (diseño por factor de carga y resistencia) unas distancias mínimas al borde, del centro del orificio al borde de las partes conectadas, como se muestra en la tabla 7.2.1.

Tabla 7.2.1 Distancia mínima al borde para orificios punzonados y taladrados

Diámetros del sujetador, pulg	A los bordes cortos	A los bordes laminados de placas, perfiles o barras o bordes cortados a gas
1/2	7/8	3/4
5/8	1 1/8	7/8
3/4	1 1/4	1
7/8	1 1/2	1 1/8
1	1 3/4	1 1/4
1 1/8	2	1 1/2
1 1/4	2 1/4	1 5/8
1 1/4		1 5/8
Más de 1 1/4	1 3/4 x diámetro	1 1/4 x diámetro

La distancia máxima del centro del sujetador al extremo más próximo de las partes en contacto no debe exceder 6 pulgadas o doce veces el espesor de la pieza.



b.VII.2) Espaciamiento mínimo

La especificación del AISC también exige que la distancia mínima entre el centro de los orificios de los pernos sea por lo menos $2 \frac{2}{3}$ veces el diámetro del perno, pero es aconsejable por lo menos tres diámetros. Además, el espaciamiento entre orificios, está determinada por las líneas de fuerza. Puesto que esta regla es para orificios de tamaño estándar deben hacerse los ajustes adecuados para orificios sobredimensionados, los alargados cortos y los alargados largos. En ningún caso la distancia entre orificios debe ser menor que el diámetro del sujetador.

VII.3 Tipo de conexiones

El tipo de conexión depende de la fuerza que se aplique a los pernos estas son: corte; tensión; y la combinación de tensión y corte. Estas combinaciones dieron origen a dos tipos de conexiones que son:

a.VII.3) Conexión de Deslizamiento Crítico

Son conexiones hechas con pernos de alta resistencia en las cuales el material es unido y forzado por la tensión inducida en los pernos al apretarlos. La transferencia de carga en condiciones de servicio, se lleva a cabo vía fricción entre las placas y no existe aplastamiento de los tornillos contra el agujero. Aunque en general no se permite la pintura sobre las superficies en las conexiones de deslizamiento crítico, se permite la aplicación de revestimientos galvanizados estriados, pintura inorgánica rica en zinc y revestimientos metalizados de zinc o aluminio, por lo cual es más costosa esta conexión que la de tipo aplastamiento.



b.VII.3) Conexión de Tipo Aplastamiento

Este tipo de conexión se caracteriza porque se restringe el movimiento del material unido básicamente por el vástago del perno provocando un deslizamiento supuesto. Esta junta se diseña para transferir carga cuando los elementos conectados se deslicen contra el cuerpo del tornillo. Habitualmente se usa la conexión tipo aplastamiento con roscas en los planos de corte. Ya que la ubicación de las roscas no está restringida, los pernos pueden insertarse desde cualquier lado de una conexión. La cabeza o la tuerca puede ser el elemento girado. La pintura se permite en las superficies en contacto.

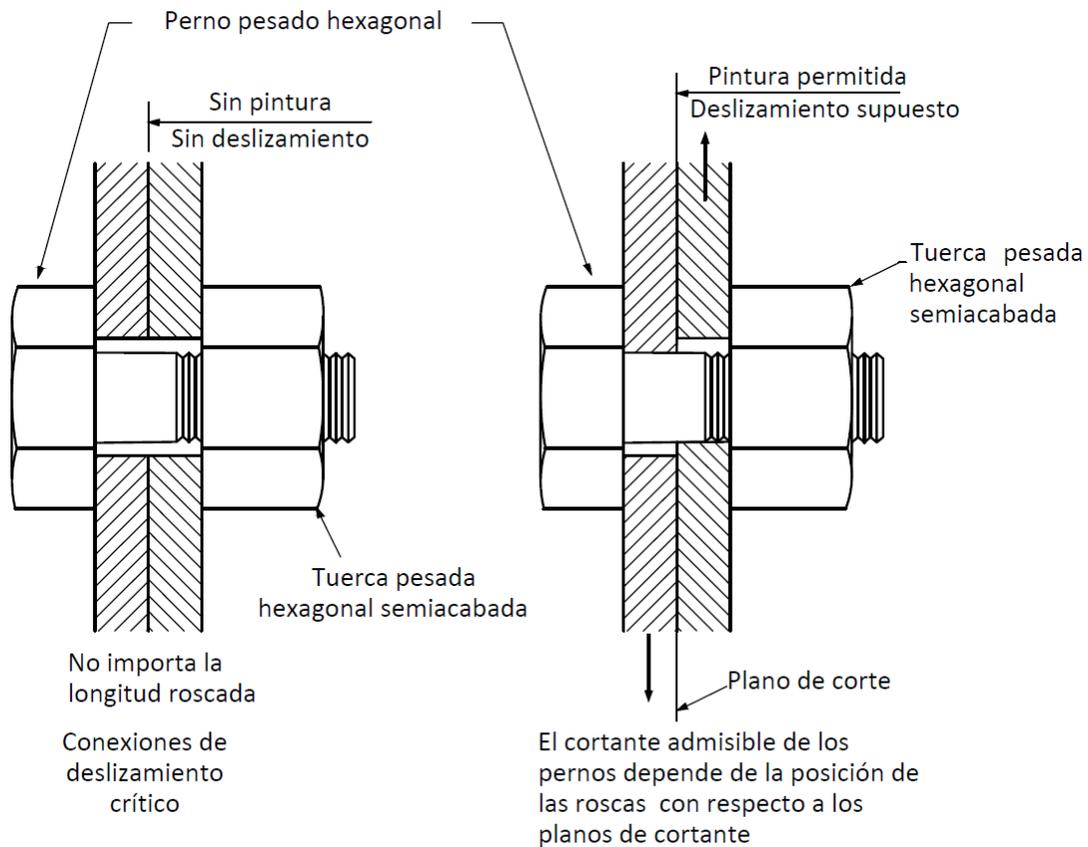


Figura 7.3.1 Conexiones de Deslizamiento Crítico y de Aplastamiento



VII.4 Armado de Estructuras Atornilladas

La instalación de pernos de alta resistencia es de vital importancia en el montaje estructural de un determinado proyecto por lo que antes de colocar los tornillos se revisará la posición, alineamiento y diámetro de los agujeros. Todas las superficies de las juntas deberán estar libres de costras de laminado, exceptuando las que resistan un cepillado vigoroso con cepillo de alambre. Las superficies de contacto en conexiones por deslizamiento estarán libres de aceite, pintura y otros recubrimientos.

Dos ángulos atornillados a la columna y al alma de la viga

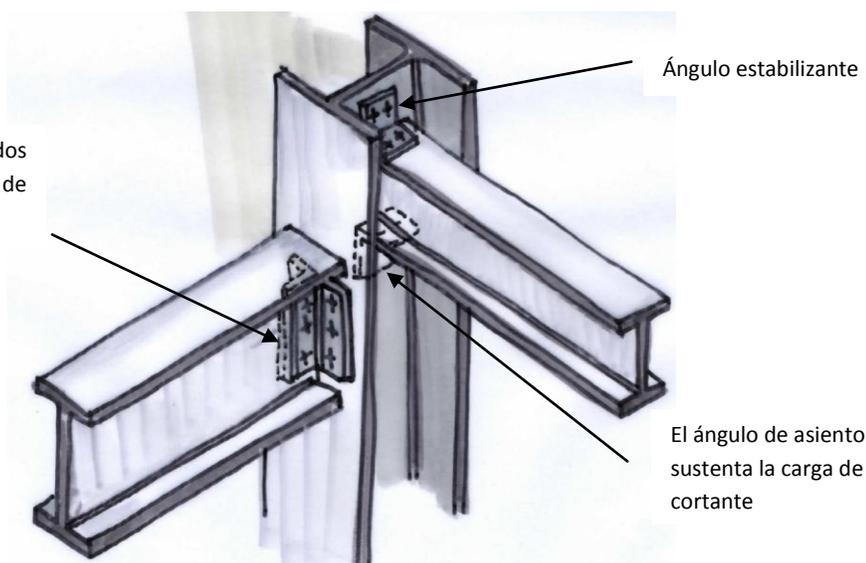


Figura 7.4.1 Juntas atornilladas

Todas las partes de miembros que estén en proceso de colocación de tornillos se mantendrán en contacto entre sí rígidamente, por medio de tornillos provisionales que proporcionen la resistencia requerida, bajo la acción de cargas muertas esfuerzos de montaje, viento y sismo. Así mismo se deberá tomar en cuenta los efectos de cargas producidas por materiales y equipo de montaje.



Posteriormente se colocará el perno en el orificio y se apretará el tornillo con pistola neumática de golpe. Cuando se comienza apretar el perno, se genera un alargamiento en el mismo que a su vez hace que se presente una pretensión hacia el perno y una compresión en la junta. A medida que se incrementa la elongación en el perno empieza aparecer la fuerza de fricción entre las placas unidas y la fuerza de compresión entre las mismas.

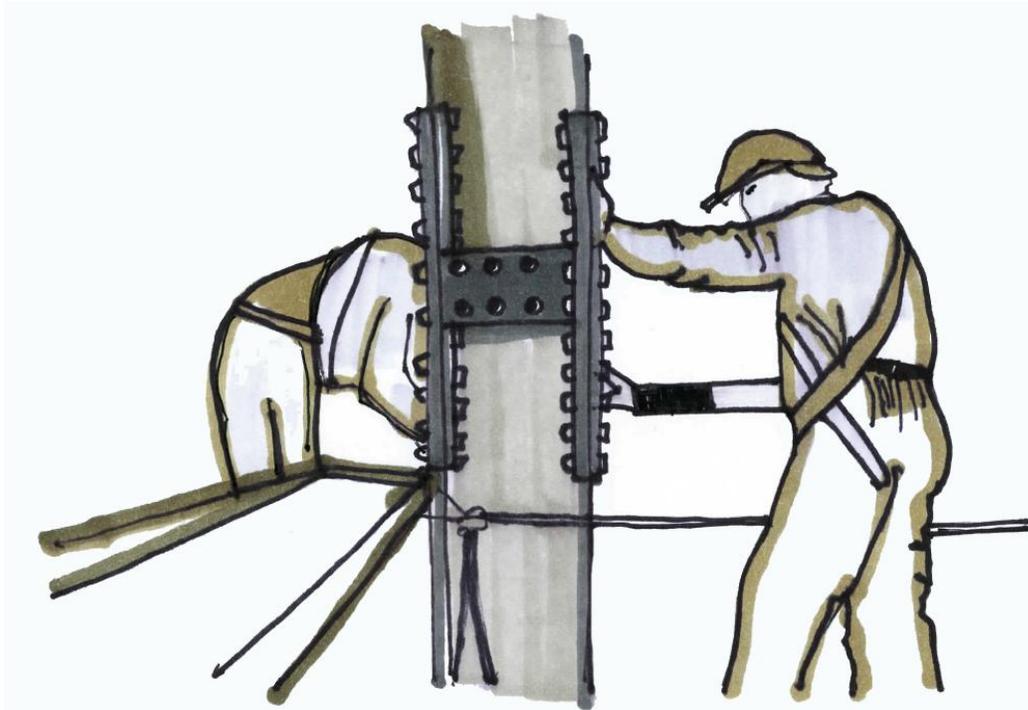


Figura 7.4.2 Colocación de tornillos con pistola neumática de golpe

Existen en la actualidad cuatro métodos para realizar la instalación en pretensión de pernos de alta resistencia los cuales son: el método de la llave calibradora (control de torque), el método de control de tensión, el método de giro de la tuerca y el método DTI (Indicador de Tensión Directa).



a.VII.4) Método de Control de Torque

El método de control de torque, consiste en registrar un torque determinado en el instrumento instalador (pistola neumática de golpe), el cual trasmite esta energía de torque en el perno y se aprecia en la elongación determinada y por ende se obtiene un precarga deseada, la llave se detiene una vez que alcanza el torque especificado. Este método presenta variabilidad en la relación torque-tensión ya que las condiciones superficiales bajo las tuercas son diversas como la lubricación, factores como la corrosión de las roscas de pernos y tuercas, cambios en el aire comprimido de la pistola y mangueras, cambios de operarios, todos estos factores causan la disipación de energía de torque y por ende la pérdida de pretensión en el perno por lo cual es necesario que en la colocación de cada perno se chequen las condiciones de estos factores.

b.VII.4) Método de Control de Tensión

Algunos pernos son instalados con calibradores de tensión, los cuales miden directamente la tensión en el perno y con esto se puede ajustar la llave para que se detenga en un valor mínimo del 5% más de la precarga deseada. Cuando se utiliza este método, una arandela NMX-H-039 (ASTM F436) deberá ser usada debajo de la tuerca como parte del ensamblaje.

c.VII.4) Método de Giro de la Tuerca

Otro método para realizar la instalación de precarga es el método de giro de la tuerca utilizando pistola neumática de impacto. Este método depende del control



de desplazamientos una vez alcanzada la posición del perno ajustado, a la tuerca se le añade un adicional de $\frac{1}{2}$ o $\frac{3}{4}$ de giro, dependiendo de la longitud del perno.

La condición de perno ajustado es definida como el punto en el cual el impacto se hace presente en la pistola. Esto ocurre cuando el giro de la tuerca es resistido por la fricción entre la cara de la tuerca y la superficie de las placas de acero juntas provocando una fuerza de sujeción en los pernos.

d.VII.4) Método Indicador de Tensión Directa

Para este método se debe utilizar la norma ASTM F959 DTI de origen americano, la cual indica las especificaciones de arandelas de compresión para ser utilizadas con el Método Indicador de Tensión Directa. Este método se caracteriza en hacer llegar al perno a la pretensión mínima de un 1.05 veces más que las pretensiones mínimas



Figura 7.4.3 Arandela ASTM F959 DTI

Cuando se utiliza el método de indicador de tensión directa se debe utilizar las siguientes consideraciones referentes a las arandelas NMX-H-039 (ASTM F436). Cuando la tuerca es girada y la arandela F959 es colocada debajo de la cabeza



del perno una arandela F436 deberá ser colocada debajo de la tuerca, como se muestra en la figura 7.4.4.

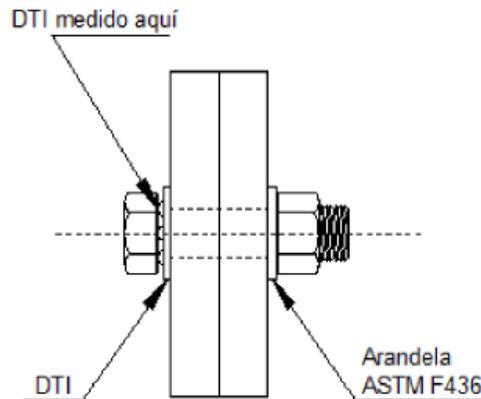


Figura 7.4.4 Arandela ASTM F959 DTI debajo de la cabeza del perno

Cuando la tuerca es girada y la arandela F959 DTI es colocada debajo de la tuerca, una arandela NMX-H-039 (F436) deberá ser colocada entre la tuerca y la arandela DTI, como se indica en la figura 7.4.5.

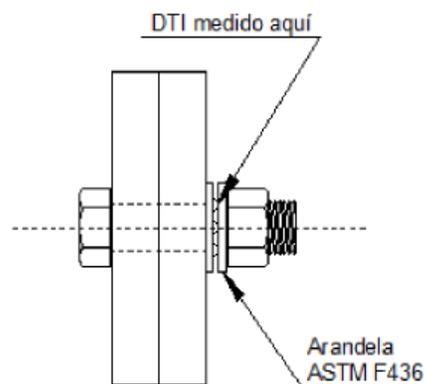


Figura 7.4.5 Arandela ASTM F959 DTI entre la arandela ASTM F436 y la tuerca



Cuando la cabeza del perno es girada y el DTI es colocado debajo de la cabeza del perno, una arandela NMX-H-039 (F436) deberá ser colocada entre la cabeza del perno y el DTI como en la figura 7.4.6.

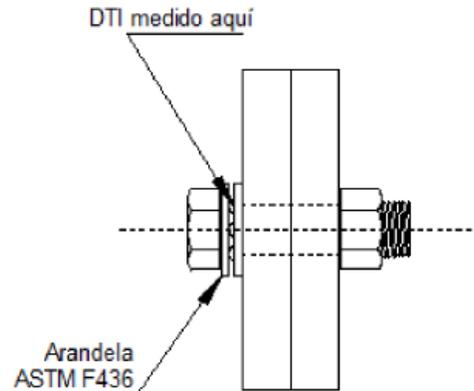


Figura 7.4.6 Arandela ASTM F959 DTI debajo de la cabeza del perno, la cabeza es girada

Cuando la cabeza del perno es girada y el DTI es colocado debajo de la tuerca, una arandela NMX-H-039 (F436) deberá ser colocada debajo de la cabeza del perno, como se representa en la figura 7.4.7.

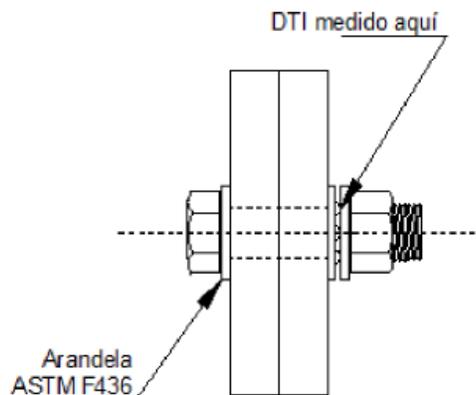


Figura 7.4.7 Arandela ASTM F959 DTI debajo de la tuerca, la cabeza del perno es girada



La ventaja de utilizar este método de ajuste consiste en verificar visualmente cuando se desprende la silicona de las cavidades del indicador de tensión directa ASTM F959, cuando esto ocurre entonces el perno posee la pretensión requerida.

VII.5 Inspección

Al iniciar el montaje se realizará una supervisión previa de las piezas para detectar fallas en la fabricación o en los tratamientos previos al montaje con el fin de detectar los problemas y poderlos corregir en la obra.

Los métodos de ajuste que mencionamos en el capítulo anterior tienen un alto índice de precisión en la fuerza de pretensión que se aplica a los pernos pero algunas veces pueden fallar ya que las condiciones superficiales bajo las tuercas son diversas como la lubricación, factores como la corrosión de las roscas de pernos y tuercas, cambios en el aire comprimido de la pistola y mangueras, cambios de operarios, todos estos factores causan la disipación de energía de torque y por ende la pérdida de pretensión en el perno por lo cual es necesario que en la colocación de cada perno se chequen las condiciones de estos factores.

Por lo tanto se verificará al azar algunos pernos con indicadores de tensión para garantizar si está sometido a la tensión especificada en el diseño estructural.



Capítulo VIII. Protección contra la Corrosión

La protección de las superficies de acero ha sido, desde el día que el acero se utilizó por primera vez un problema molesto para los ingenieros, los fabricantes de pintura y el personal de mantenimiento. A través de los años, ha habido muchos desarrollos como resultado de numerosos estudios e investigaciones. Los diferentes resultados han sido publicados en el Steel Structures Painting Manual divulgado a través del Instituto Americano de la Construcción en Acero.

VIII.1 Corrosión del acero

El acero se corroe tanto en presencia del oxígeno como del agua, pero el acero no se corroe en el aire seco y la corrosión es despreciable cuando la humedad relativa está dada por debajo del 70%. La corrosión se agrava cuando el agua y el oxígeno están en contacto con corrosivos químicos como sales solubles, ácidos, compuestos de limpieza y fundentes de soldadura.



Figura 8.1.1 Perfil estructural corroído



En lugares relativamente secos, se forma una capa transparente delegada de óxido de hierro. Esta capa de óxido férrico es realmente beneficiosa puesto que protege al acero de una mayor oxidación. Cuando se expone al agua y al oxígeno en grandes cantidades, el acero se corroe a una velocidad del orden de magnitud de 5 milésimas de pulgada de pérdida superficial de metal por año. Si la superficie se mantiene seca la velocidad de corrosión disminuye alrededor de 1/2 milésima por año después del primer año de ser colocada la estructura, que es el caso usual en las atmósferas industriales típicas.

La corrosión galvánica tiene lugar cuando dos metales diferentes entran en contacto. Los metales como el cobre y el níquel no deben conectarse al acero estructural con sujetadores de acero puesto que la acción



Figura 8.1.2 Corrosión galvánica en el sujetador

galvánica destruye los sujetadores. Estos metales (cobre y níquel) deberán

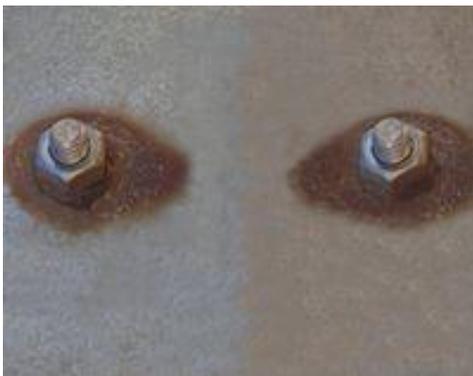


Figura 8.1.2 Corrosión galvánica en el perfil

emplearse para los sujetadores, ya que la acción galvánica se distribuye mejor sobre un área grande y en consecuencia genera un menor o ningún daño a los perfiles estructurales. Cuando se ponen en contacto metales distintos, las superficies que se juntan

deben aislarse, generalmente con pintura.



VIII.2 Pintura en las estructuras de acero

Las estructuras de acero deben pintarse o no dependiendo de su posición en la configuración estructural de la edificación, por lo cual la AISC (Instituto Americano de la Construcción en Acero, por sus siglas en inglés) a través de las Specifications for Structural Steel for Buildings ha clasificado en 3 grupos la aplicación de pintura a los perfiles estructurales.

El grupo 1 clasifica a las estructuras que no necesitan pintura, ni de taller ni de campo, incluye a las estructuras como edificios de departamentos, hoteles, edificios de oficinas, almacenes y escuelas, donde la obra de acero está cubierta por otros materiales.

En el grupo 2 están aquellas en que la obra de acero interior será expuesta, probablemente se aplicará pintura en campo. En este grupo están las bodegas, las plantas industriales, las plataformas de estacionamiento, los supermercados, las escuelas, las piscinas cubiertas, pistas de patinaje y arenas.

El grupo 3 está conformado por aquellas estructuras expuestas en su totalidad a la intemperie. Por consecuencia, la pintura de taller se necesita sólo como una primera capa y será necesario aplicar una segunda mano en campo. Para esta clasificación se contemplan, los rieles de las grúas móviles, las torres eléctricas y telefónicas, las columnas y vigas exteriores expuestas. Estos miembros pueden ser pintados después del montaje y en consecuencia puede dárseles una mano de imprimante en el taller.



Los edificios industriales deben ser examinados con cuidado, teniendo en cuenta que las condiciones originales no son siempre permanentes. En la medida en que un proceso de fabricación de algún producto cambia, así también cambia el ambiente corrosivo estimulado por los nuevos métodos de fabricación. Es bueno aplicar varias manos de pintura y prepararse para alguna eventualidad.

Para los aceros NMX B-282 (ASTM A242) y ASTM A588, la pintura de campo puede ser innecesaria. Cuando son expuestos estos aceros adquieren una capa un tanto dura de óxido que protege la superficie de la oxidación progresiva además que el color rojo bermejo que se genera por la oxidación tiene un atractivo arquitectónico.

VIII.3 Sistemas de pintura

La capa de pintura aplicada en el taller tiene una calidad comercial, empleada con brocha, por inmersión, con rodillo o atomizador a 2 milésimas de pulgada de espesor. Proporciona una protección de corta duración. Por lo tanto, el acero terminado deberá permanecer almacenado, pero si el acero es colocado en el suelo durante periodos largos o expuesto en otra forma de condiciones muy corrosivas puede exhibir alguna falla de pintura con el tiempo para el momento en que sea montada.

El Steell Structures Painting Council, publicado por el Instituto Americano de la Construcción en Acero, ha ordenado las preparaciones de las superficies y la



aplicación de pintura, las capas intermedias y las de acabado de las pinturas en sistemas, cada una diseñada para una condición de servicio común.

La selección de pintura y la preparación de la superficie son asunto de economía por lo cual el ingeniero debe elegir el sistema de pintura más eficiente. Cuando se aplica una pintura de secado lento esta contiene aceite y pigmentos inhibitorios de oxidación y la que posee una buena capacidad humectante puede aplicarse sobre el acero nominalmente limpio. Una pintura de secado rápido con pobres características humectantes requiere una limpieza de la superficie, que por lo general conlleva el retiro completo de las escamas del perfil estructural.

Cuando en una obra no existen indicaciones específicas para el suministro y aplicación de pintura, debe seguirse la práctica descrita en la Specification for Structural Steel for Buildings del AISC. Este método considera, un cepillado manual o mecánicamente al perfil estructural para retirar la capa suelta de escamas, el óxido suelto, escoria de soldadura, deposito de fundentes, suciedad y

materias extrañas que no fueron quitadas en la planta de fabricación.

Las manchas de aceite y grasa se limpiarán con algún solvente (thinner o aguarrás). Una vez limpia se aplicará el imprimante y posteriormente la pintura.



Figura 8.3.1 Aplicación de pintura por medio de atomizador



Capítulo IX. Protección contra Incendio

El acero estructural es un material no combustible. En consecuencia, es satisfactorio para su empleo sin cubierta protectora en muchos tipos de edificios donde la no combustibilidad es suficiente, desde el punto de vista tanto de las regulaciones de construcciones o de la preferencia del propietario.

Existen factores que intervienen en la determinación de la protección contraincendios para una estructura específica como son: la altura, el área de la planta, el tipo de ocupación, los aparatos contraincendios, los sistemas rociadores y su localización en el vecindario.

IX.1 Efectos del calor sobre el acero

El calor es un factor que modifica físicamente al acero, ya que a mayor temperatura el acero tiende a dilatarse, pero un aumento moderado de la temperatura del acero estructural aproximadamente hasta 260°C, no afecta la resistencia del acero estructural. Por encima de los 260°C, la resistencia disminuye. A una temperatura de 534°C, la resistencia a la compresión del acero es aproximadamente igual al esfuerzo admisible de trabajo máximo de las columnas, y a 770 °C diferentes tipos de acero se fusionan.

Con base en ensayos de incendio a columnas realizados por el American Iron and Steel Institute, se determinó que los miembros no protegidos de acero estructural resisten (comienzan a perder su resistencia a la compresión) alrededor de los primeros 15 minutos sometidos a temperaturas mayores de los 534 °C con un



área transversal de alrededor de 10pulg². Cuando el área total de la sección transversal se aproxima a 36pulg², la resistencia es 30 minutos y cuando el área es de 64pulg², resiste una 1 hora (Steel Desing Guide Fire-Resistance of Structural Steel Framing, 2003).

IX.2 Protección contra incendio de miembros exteriores

Los miembros de acero, como las vigas y las columnas, sobre el exterior de un edificio pueden estar protegidas de una manera económica contra incendio, mientras que las estructuras interiores de acero de la misma edificación deberán estar protegidas con productos que proporcionen mayor protección.

Diferentes ensayos en vigas exteriores han demostrado que si se protege el alma de la estructura contra incendio, solo será necesario proteger contra incendio los patines, esparciendo fibras minerales o aplicando algún recubrimiento contra incendio a la superficie superior e inferior del patín

En el caso de las columnas, será necesario colocarlas a distancias adecuadas de las ventanas, ubicándolas entre los muros para protegerlas del fuego y del golpe de las llamas.



IX.3 Materiales para mejorar la resistencia contra incendio

El acero estructural puede protegerse con ladrillo, piedra, concreto, paneles de yeso, fibras minerales esparcidas y varios morteros contra incendio.

La protección de las columnas de acero estructural con concreto da una estabilidad adicional a la sección de acero, es muy útil cuando se necesita resistencia a la abrasión, sin embargo, no es un medio aislante eficiente comparado con los morteros contra incendio. El concreto se coloca alrededor de las columnas y vigas pero tiene la desventaja de aplicar un gran peso sobre la estructura de acero y la cimentación

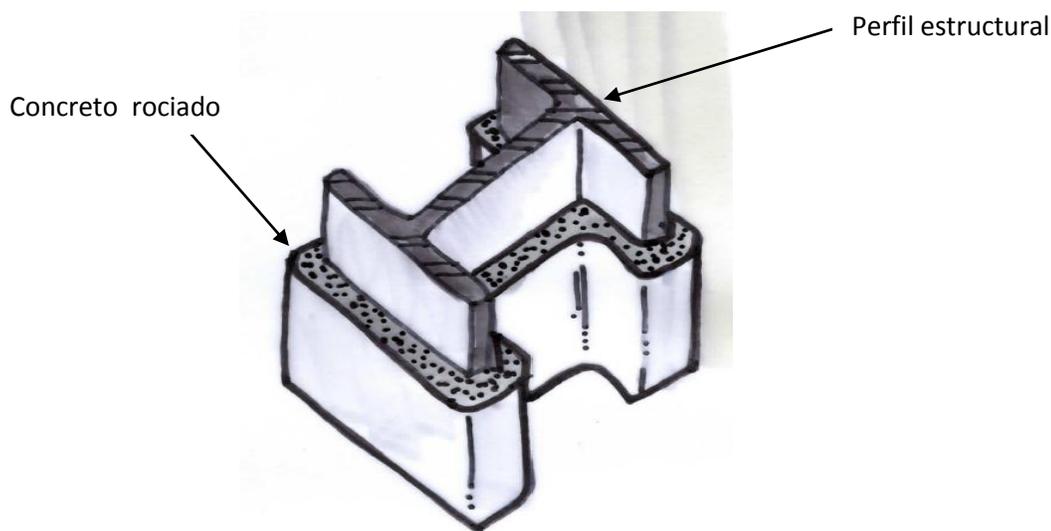


Figura 9.3.1 Protección característica contra incendio con materiales rociados.

Se ha hecho un progreso importante en la utilización de morteros livianos con agregados que poseen propiedades aislantes. Dos agregados empleados extensivamente son la perlita y la vermiculita, que remplazan la arena en la mezcla de mortero de arena-yeso. Un espesor de 1 pulgada pesa alrededor de 0.1685



kg/m², mientras que el mismo espesor de mortero de arena-yeso pesa alrededor de 0.4214 kg/m².

Por lo general, un espesor de 1 a 1 ¾ de pulgada de mortero de vermiculita y perlita proporciona una protección contra incendio de 3 y 4 horas, así también se consiguen buenas alternativas con el empleo de paneles de yeso y fibras.

Para proteger las estructuras de los techos, columnas y vigas contra incendio se ha empleado paneles, los cuales son fabricados con materiales como la perlita, vermiculita, fibras minerales con aglutinante inorgánico o cemento de oxiclورو de magnesio y estos son colocados en seco por medio de bastidores metálicos.

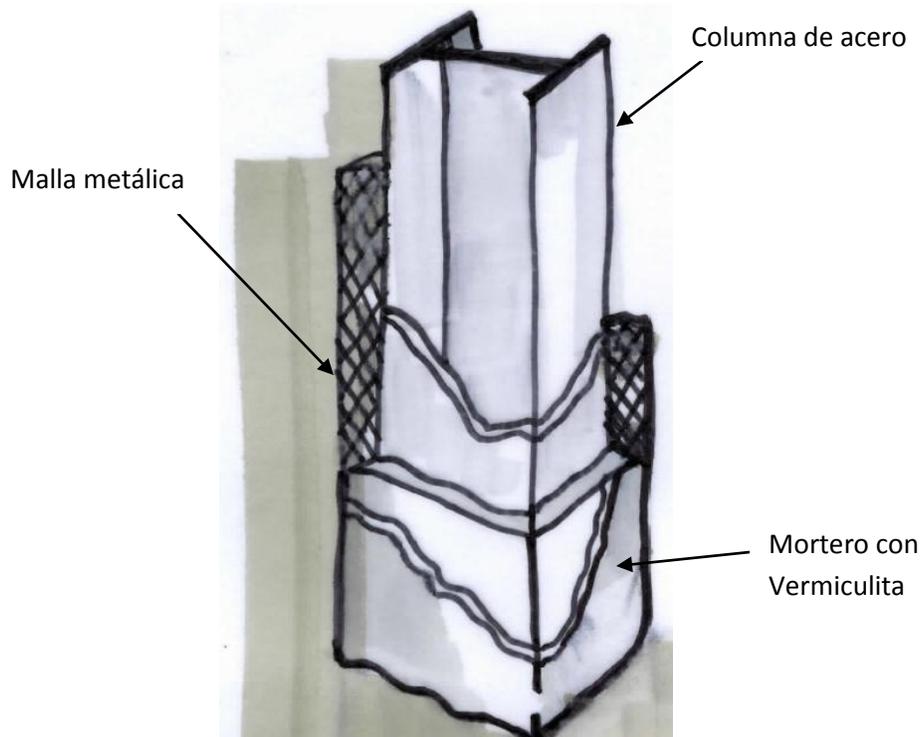


Figura 9.3.2 Protección contra incendios de las columnas de acero por encajonamiento con mortero sobre malla metálica.



Otra alternativa, que puede ser rociado, es una capa retardadora hinchable contra incendio, que es esencialmente pintura. Después de aplicada, la capa tiene un acabado duro y durable, pero a altas temperaturas se hincha a muchas veces su espesor original, formando así un manto aislante efectivo. Una capa de 3/16 de pulgada de espesor resiste 1 hora y una capa de 1/2 pulgada proporciona una protección de 2 horas contra incendio.

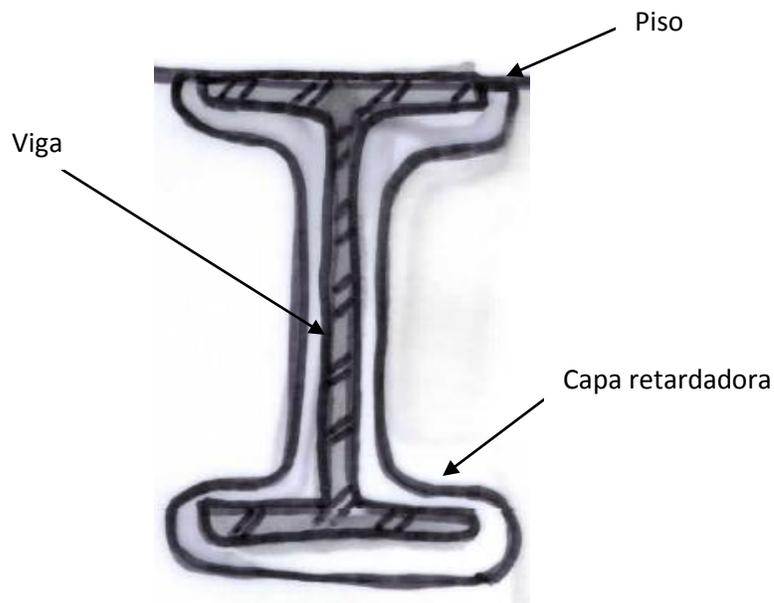


Figura 9.3.3 Protección contra incendios con aplicación de pintura hinchable.



Conclusiones

- a) El método de manufactura de los perfiles de acero está tan controlado y mecanizado, que sus propiedades físicas son casi invariables entre una pieza y otra; además la mezcla de sus elementos (carbono, hierro, fósforo, azufre, níquel, cromo, etc.) se combinan con gran exactitud científica, según fórmulas perfeccionadas después de ensayos.
- b) Cada partícula de acero se somete a ensayo antes de hacerse su comprobación final.
- c) Es muy resistente a esfuerzos de toda clase, como Flexo compresión, compresión, cortante y torsión.
- d) Es un material homogéneo, cuyas propiedades pueden determinarse con exactitud. La distribución de esfuerzos en una viga de acero puede establecerse con exactitud, mediante un análisis estructural. Su módulo de elasticidad se conoce muy bien y es una constante tanto para la tensión como para la compresión, dentro de los límites de trabajo.
- e) Los esfuerzos útiles o de trabajo por área unitaria son mayores para el acero que para otros materiales de construcción; por tanto, las vigas de acero son de menor tamaño y, a menudo, de menor peso que las de otros materiales.



- f) Antes de ser entregados, los elementos de acero para estructuras se pueden preparar, acabar y probar completamente, listos para emplearse, en longitudes o tamaños convenientes que facilitan el transporte a cualquier lugar, ya sea por ferrocarril o camión.
- g) Los perfiles de acero por usar en estructuras grandes y complicadas se arman con facilidad mediante pernos y soldadura, a menudo, con pocos elementos y personal sin mayor destreza, bajo vigilancia y supervisión adecuada.
- h) Las estructuras de acero se pueden alterar o ampliar fácilmente.
- i) Las estructuras de acero se pueden desmontar con facilidad, de manera que el material vuelva a usarse en otro lugar o para otros fines, con un valor de rescate satisfactorio.
- j) Es incombustible.
- k) No se alabea, hincha, quiebra o cede, ni lo atacan muchos elementos destructivos que afectan a otros materiales
- l) Se puede proteger de elementos destructivos aplicando diferentes sustancias que preservan al perfil estructural.
- m) Por sus propiedades elásticas, resiste grandes esfuerzos, debido a golpes o impactos fuertes y repentinos.



- n) Tiene valor especial para regiones afectadas por terremotos, debido a la gran resistencia que ofrece en proporción a su peso, porque los esfuerzos producidos por un terremoto son proporcionales al peso de la estructura.
- o) Por su gran resistencia en relación con su peso, resulta ventajoso para reducir las cargas en las cimentaciones, cuando se emplea en terrenos de alta compresibilidad como el suelo de la Ciudad de México.
- p) Una estructuración con acero bien realizada, si se le da un uso distinto al previsto o se le sobrecarga, no se desplomará sin que ello se advierta anticipadamente, a menos que falle la cimentación. Como es elástico por naturaleza, el acero presenta una deformación considerable antes de fallar totalmente.
- q) Se funda la necesidad de implementar "La Construcción Sostenible" como un tema en el programa de la asignatura "Programación y Construcción de Estructuras".
- r) Se comprueba que este trabajo desarrollará ciertos conocimientos y habilidades en el estudiante, logrando incrementar el potencial de una mayor y mejor oferta de profesionales y su vinculación directa con la fuerza productiva.
- s) Podrá ser un recurso didáctico que ayude en el proceso de enseñanza - aprendizaje, siempre que no sea el único recurso.



- t) Los conocimientos son formas de poder, ya que inauguran un nuevo sector de producción, el de la producción de los conocimientos.

- u) El nuevo papel que le corresponde jugar a nuestra Facultad de Ingeniería no podrá ejercerse sin efectuar cambios de fondo en su organización académica, en los procesos de enseñanza y aprendizaje, en lo que se investiga, en el cuidado del medio ambiente, en sus relaciones con las empresas, en los recursos públicos y privados que obtiene en sus funciones sustantivas. Se requiere, por tanto, realizar cambios en esta institución social que identifiquen una Facultad de Ingeniería dinámica, flexible, generadora de conocimientos relevantes y de profesionales creativos, autónomos y críticos.

- v) Para lograr un cambio integral se necesita la intervención de todos los actores en el proceso de enseñanza - aprendizaje donde el Consejo Técnico actualice permanentemente el plan de estudios. Los docentes incidan en la instrucción del alumnado y sobretodo que los alumnos se interesen, se comprometan y apliquen lo aprendido.

- w) Finalmente, se propone que se realicen proyectos interdisciplinarios por semestre, donde participen todas las áreas de la carrera de ingeniería civil, alumnos y profesores. Estos proyectos se enfocarán en las necesidades de infraestructura de las localidades de nuestro país. Con ello se podrá involucrar a los alumnos en proyectos de ingeniería desde su planeación,



Procedimiento Constructivo con Estructuras Metálicas



diseño, presupuestación, construcción y puesta en servicio, si se desarrollan constante y permanentemente las suficientes relaciones con el sector público y privado.



Bibliografía

American Institute of Steel Construction, INC. (2005). *Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago, Illinois, EE.UU.A.

American Institute of Steel Construction, INC. (2003). *Steel Design Guide- Fire Resistance of Structural Steel Framing*. Chicago, Illinois, EE.UU.A.

American National Standards Institute. (1999). *Structural Welding Code-Steel*. American Welding Society. Miami, Florida, EE.UU.A.

Andres, C. y Smith, R. (1998). *Principles and Practices of Heavy Construction*. EE.UU.A: Prentice Hall.

Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A.C. (1987). *Manual de Construcción en Acero*. México: Lymusa.

MERRIT, F. y Ricketts, J. (1997) *Manual Integral para el Diseño y Construcción*. Colombia: Mc. Graw-Hill Interamericana

Gobierno del Distrito Federal. (2004). *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas*. D.F, México: GDF

RESEARCH COUNCIL ON STRUCTURAL CONNECTIONS. (2009) *Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts*. Chicago, Illinois, EE.UU.A.

STEEL STRUCTURES PAINTING COUNCIL. (2002). *Steel Structures Painting Manual: Good Painting Practice, Volumen 1*. EE.UU.A.