

EDIFICACIÓN



Tema 4 Estructuras y albañilería

Tema 4.7 Estructuras de acero

Autor:

Ing. Ernesto René Mendoza Sánchez



ÍNDICE

Introducción.....	1
4.5.1 Normatividad	3
4.5.2 Aspectos relacionados con el diseño de estructuras de acero	12
4.5.3 Nomenclatura	13
4.5.4 Procedimiento constructivo	15
4.5.4.1 Planos de taller.....	16
4.5.4.2 Fabricación en taller.....	19
4.5.4.2.1 Preparación y limpieza.....	20
4.5.4.3 Limpieza.....	23
4.5.4.4 Pinturas.....	25
4.5.4.5 Embarque y transporte.....	28
4.5.4.6 Recepción de las piezas en obra.....	30
4.5.4.7 Elevación y montaje.....	30
4.5.4.8 Sistemas de unión.....	35
4.5.4.8.1 Elementos soldados.....	36
4.5.4.8.2 Elementos atornillados.....	41
4.5.4.8.3 Elementos remachados.....	44
4.5.5 Control de calidad	45
4.5.6 Tratamientos.....	47
4.5.7 Mantenimiento	49
Conclusión capitular.....	50
Bibliografía.....	51
Índice de figuras.....	55
Índice de tablas	57
Anexo A. Descripción de diferentes elementos en una estructura de acero	58



Introducción

El descubrimiento y consiguiente utilización del acero marcó un parteaguas en la historia de la humanidad. Su uso, primeramente, como arma para cazar animales, se extendió hacia múltiples campos de la actividad humana; uno de estos campos fue la construcción.

El diccionario de la Real Academia Española dice que la palabra acero proviene del latín tardío *aciarium*, que deriva de *acies* que significa filo.

Asimismo, define al acero como una “Aleación de hierro y carbono, en la que este entra en una proporción entre el 0.02 y el 2% y que, según su tratamiento, adquiere especial elasticidad, dureza o resistencia.

Por otra parte, la misma fuente indica que la palabra estructura proviene del latín *structura* y ofrece varias acepciones, de las cuales destacamos dos: “Distribución y orden de las partes importantes de un edificio” y “Armadura, generalmente de acero u hormigón armado, que, fija al suelo, sirve de sustentación a un edificio”

El acero, sus procesos de fabricación, tipos, propiedades, presentaciones comerciales, aleaciones, protección contra agentes externos y usos en la construcción, ya han sido estudiados en el curso Recursos de la Construcción, que antecede a todos los cursos del área, incluyendo al de EDIFICACIÓN.

De manera que los objetivos de este capítulo son:

- Enunciar los aspectos fundamentales que la normatividad establece durante las etapas de diseño y construcción de estructuras de acero.
- Identificar los tipos de estructuras de acero usuales en edificación, sus bases de diseño y los procesos para su construcción.
- Destacar que sus inigualables propiedades: resistencia, elasticidad, ductilidad, tenacidad y durabilidad entre otras, aunadas a la posibilidad de prefabricar en taller para posteriormente efectuar operaciones rápidas de erección y montaje, lo hacen un material excepcional para la construcción de estructuras.



- Los procedimientos constructivos usuales.
- El control de calidad y;
- Recomendaciones para el mantenimiento de estructuras de acero.

La icónica fotografía que se muestra en la figura 1, relativa a once obreros almorzando sobre una viga de acero durante la construcción del edificio RCA de 70 pisos en el Rockefeller Center de Nueva York en 1932, si bien, según se sabe, fue hecha con fines publicitarios, es, en cierta medida, una muy buena representación de la confianza que se tiene en el acero como material para la construcción de edificios altos.

Figura 1. *Obreros almorzando sobre una viga de acero durante la construcción del Rockefeller Center*



Nota: Adaptada de *Alma de Herrero. Edificios de acero* [Fotografía], por Cándido, 13 de febrero de 2018, Blogger (<https://almadeherrero.blogspot.com/2018/02/edificios-de-acero.html>).

4.5.1 Normatividad

La normatividad que rige el diseño y construcción de estructuras de acero es muy extensa. Adicionalmente a las normas y reglamentos, hay libros y manuales que de manera profusa forman parte de la literatura existente en este tema.

Si bien, estrictamente hablando, dado que hay dos etapas muy bien definidas en un proyecto, una relacionada con el diseño y otra con la construcción, y el constructor recibe de la etapa precedente el diseño ejecutivo para su ejecución en campo, por lo cual no debería involucrarse en el diseño, es conveniente que tenga conocimientos generales de los criterios para diseñar las estructuras de acero y pueda, en caso de requerirse, opinar, detectar omisiones o errores y proponer modificaciones para obtener los mejores resultados posibles en cuanto a seguridad y funcionamiento de la estructura.

Se enlistan a continuación las principales fuentes de consulta en nuestro medio, de las cuales se enlista de manera abreviada su contenido. Se puntualiza el relacionado con la etapa de construcción mismo que, por considerarlo de mayor interés para los objetivos de este tema, se desglosa en ocasiones para visualizar de mejor manera su alcance.

- *Manual de Construcción en Acero*. Editado por el Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, IMCA. Consta de tres partes:

Parte I.- Tablas del Manual IMCA.

Parte II.- Especificaciones para el diseño de estructuras de acero.

Contenido:

Símbolos y glosario

Capítulo A. Disposiciones generales

Capítulo B. Requisitos de diseño

Capítulo C. Diseño por estabilidad

Capítulo D. Diseño de miembros en tensión

Capítulo E. Diseño de miembros en compresión

Capítulo F. Diseño de miembros en flexión



Capítulo G. Diseño de miembros en cortante
Capítulo H. Diseño de miembros en torsión y fuerzas combinadas
Capítulo I. Diseño de miembros compuestos
Capítulo J. Diseño de conexiones
Capítulo K. Diseño de conexiones en miembros tubulares
Capítulo L. Diseño por estados límite de servicio
Capítulo M. Fabricación y montaje
Apéndice 1. Diseño por análisis inelástico
Apéndice 2. Diseño por cargas de encharcamiento
Apéndice 3. Diseño por fatiga
Apéndice 4. Diseño estructural para condiciones de incendio
Apéndice 5. Evaluación de estructuras existentes
Apéndice 6. Arriostamiento estable para columnas y vigas
Apéndice 7. Métodos alternativos de diseño por estabilidad
Apéndice 8. Análisis aproximados de segundo orden

Parte III.- Código de prácticas generales para la construcción de estructuras de acero.

Contenido:

Sección 1. DISPOSICIONES GENERALES

- 1.1 Alcance*
- 1.2 Documentos de referencia y definiciones*
- 1.3 Unidades*
- 1.4 Criterio de diseño*
- 1.5 Responsabilidades*
- 1.6 Patentes y derechos de autor*
- 1.7 Estructuras existentes*
- 1.8 Medios, métodos y seguridad del montaje*
- 1.9 Tolerancias*

Sección 2. CLASIFICACIÓN DE MATERIALES

- 2.1 Definición del acero estructural*



2.2 *Otros elementos de acero, hierro o metal*

Sección 3. *ESPECIFICACIONES Y PLANOS DE DISEÑO*

3.1 *Especificaciones y planos de diseño estructural*

3.2 *Especificaciones y planos de diseño arquitectónico y de instalaciones*

3.3 *Discrepancias*

3.4 *Planos legibles*

3.5 *Revisiones de las especificaciones y los planos de diseño*

3.6 *Entrega de gestión rápida del proyecto*

Sección 4. *PLANOS DE FABRICACIÓN Y PLANOS DE MONTAJE*

4.1 *Responsabilidad del propietario*

4.2 *Responsabilidad del fabricante*

4.3 *Dibujos suministrados por el propietario*

4.4 *Aprobación*

4.5 *Planos de taller y/o montaje no suministrados por el fabricante*

4.6 *El proceso de las solicitudes de información*

4.7 *Planos de montaje*

Sección 5. *MATERIALES*

5.1 *Materias primas*

5.2 *Materiales en existencia*

Sección 6. *FABRICACIÓN EN TALLER Y ENTREGA*

6.1 *Identificación del material*

6.2 *Habilitado del material*

6.3 *Ajuste y sujeción*

6.4 *Tolerancias de fabricación*

6.5 *Limpieza y pintura de taller*

6.6 *Marcas de montaje*

6.7 *Entrega de materiales*

Sección 7. *MONTAJE*

7.1 *Método de montaje*

7.2 *Condiciones del sitio de trabajo*



- 7.3 *Cimientos, pilas y estribos*
- 7.4 *Trazos y bancos de nivel*
- 7.5 *Colocación de pernos de anclaje y elementos empotrados*
- 7.6 *Placas de apoyo*
- 7.7 *Rellenos con mortero expansivo (grouting)*
- 7.8 *Materiales para conexiones de campo*
- 7.9 *Piezas sueltas*
- 7.10 *Soportes provisionales durante el montaje de las estructuras de acero*
- 7.11 *Protección de la seguridad*
- 7.12 *Tolerancias de la estructura de acero*
- 7.13 *Tolerancias de montaje*
- 7.14 *Corrección de errores*
- 7.15 *Cortes, modificaciones y agujeros para otros usos*
- 7.16 *Manejo y almacenamiento*
- 7.17 *Pintura de campo*
- 7.18 *Limpieza final*

Sección 8. CONTROL DE CALIDAD

- 8.1 *Generalidades*
- 8.2 *Inspección de materiales laminados*
- 8.3 *Ensayos no destructivos*
- 8.4 *Inspección de la preparación de superficie y de la pintura de taller*
- 8.5 *Inspección externa*

Sección 9. CONTRATOS

- 9.1 *Tipos de contratos*
- 9.2. *Cálculo del peso de la estructura*
- 9.3 *Modificaciones a los documentos contractuales*
- 9.4 *Ajustes a los precios del contrato*
- 9.5 *Programación*
- 9.6 *Forma de pago*



Sección 10. ACERO ESTRUCTURAL APARENTE

10.1 Alcance

10.2 Fabricación

10.3 Entrega de materiales

10.4 Montaje

Apéndice A. MODELOS DIGITALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

A.1 Documentos de referencia y adiciones

A.2 Especificaciones y planos de diseño

A.3 Responsabilidad del fabricante

A.4 Aprobación

El listado anterior, evidencia la gran cantidad de detalles que es necesario considerar durante las etapas de diseño, fabricación y el montaje de una estructura de acero.

Se recomienda a los estudiantes profundizar en la lectura de cada uno de los puntos considerados en el Manual y reflexionar sobre su implicación en cada uno de ellos.

- [*Norma Técnica Complementaria para el Diseño y Construcción de Estructuras de Acero.*](#) (Publicada el 6 de noviembre de 2023, con vigencia a partir del 6 de mayo de 2024)

ÍNDICE

NOTACIÓN

TERMINOLOGÍA

- 1. CONSIDERACIONES GENERALES*
- 2. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS*
- 3. ANÁLISIS Y DISEÑO DE MIEMBROS Y SISTEMAS ESTRUCTURALES*
- 4. DISEÑO POR MÉTODOS DETALLADOS*
- 5. MIEMBROS EN TENSIÓN*



6. MIEMBROS EN COMPRESIÓN
7. MIEMBROS EN FLEXIÓN (VIGAS Y TRABES ARMADAS)
8. MIEMBROS EN CORTANTE
9. MIEMBROS BAJO CARGAS COMBINADAS
10. MIEMBROS COMPUESTOS
11. CONEXIONES
12. TRABES ARMADAS
13. PLACAS BASE Y SISTEMAS DE ANCLAJE
14. CONEXIONES DE PERFILES ESTRUCTURALES HUECOS OR (RECTANGULARES, OC (CIRCULARES) Y EN CAJÓN DE PAREDES DE ESPESOR UNIFORME
15. ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO
16. ESTRUCTURAS DÚCTILES
17. ANÁLISIS SÍSMICO NO LINEAL
18. DISEÑO POR FATIGA
19. EDIFICIOS INDUSTRIALES
20. DISEÑO DE RACKS
21. CIMENTACIONES CON MIEMBROS DE ACERO
22. MODELADO
23. EJECUCIÓN DE LAS OBRAS
 - 23.1 General
 - 23.2 Planos y dibujos
 - 23.3 Fabricación
 - 23.3.1 Enderezado
 - 23.3.2 Cortes
 - 23.3.3 Estructuras soldadas
 - 23.3.3.1 General
 - 23.3.3.2 Armado
 - 23.3.3.3 Soldaduras de penetración completa
 - 23.3.3.4 Precalentamiento
 - 23.3.3.5 Inspección



- 23.3.4 Estructuras atornilladas
 - 23.3.4.1 General
 - 23.3.4.2 Armado
 - 23.3.4.3 Agujeros para construcción atornillada
- 23.3.5 Tolerancias en las dimensiones
- 23.3.6 Acabado de bases de columnas
- 23.3.7 Agujeros para drenar
- 23.3.8 Pintura
- 23.4 Montaje
 - 23.4.1 Condiciones generales
 - 23.4.2 Anclajes
 - 23.4.3 Conexiones provisionales
 - 23.4.4 Tolerancias
 - 23.4.5 Alineado y plomeado
 - 23.4.6 Ajuste de juntas de compresión en columnas
- APÉNDICE A. Estándares y referencias de los comentarios
- APÉNDICE B. PLACAS BASE
- APÉNDICE C. CONEXIONES DE PERFILES ESTRUCTURALES
HUECOS (HSS) Y EN CAJÓN DE PAREDES DE
GRUESO UNIFORME
- APÉNDICE D. DISEÑO POR FATIGA
- APÉNDICE E. EDIFICIOS DE UN PISO
- APÉNDICE F. ANÁLISIS SÍSMICO
- APÉNDICE G. DOCUMENTOS DE CONSULTA

En el subtema 23.1.1, se señala que este capítulo se complementa con la información adicional siguiente:

- 1) *Manual de Construcción en Acero, IMCA, en su última versión*
- 2) *Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360, en su última versión*



3) *Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges, ANSI/AISC 303, en su última versión*

- **Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal:** Aunque el Reglamento no contiene algún capítulo o subcapítulo específico para las estructuras de acero, sí se encuentran alusiones concretas al tema. Se transcriben a continuación:

Artículo 53, segundo y cuarto párrafos del inciso e):

- *En los planos de estructuras de acero se mostrarán todas las conexiones entre miembros, así como la manera en que deben unirse entre sí los diversos elementos que integran un miembro estructural. Cuando se utilicen remaches o tornillos se indicará su diámetro, número, colocación y calidad, y cuando las conexiones sean soldadas se mostrarán las características completas de la soldadura; éstas se indicarán utilizando una simbología apropiada y, cuando sea necesario, se complementará la descripción con dibujos acotados y a escala.*
- *En los planos de fabricación y en los de montaje de estructuras de acero o de concreto prefabricado, se proporcionará la información necesaria para que la estructura se fabrique y monte de manera que se cumplan los requisitos indicados en los planos estructurales.*

Otros aspectos del Reglamento son de carácter general, pero aplican también a las estructuras de acero: Algunos de estos aspectos son:

- Disposiciones generales
- De los directores responsables de obra y corresponsables
- De las manifestaciones de construcción y de las licencias de construcción especial
- de la ocupación, del visto bueno de seguridad y operación de las instalaciones en



las construcciones y de la constancia de seguridad estructural

- De la seguridad estructural de las construcciones
- De los criterios de diseño estructural
- De las pruebas de carga
- De la construcción
- De la seguridad e higiene en las obras
- De los materiales y procedimientos de construcción
- Del dispositivo para transporte vertical en las obras

En el artículo 139, el Reglamento hace una clasificación de las construcciones que es importante tomar en consideración ya que aplica a todo tipo de edificaciones, incluyendo las que se realizan con acero.

- *American Institute of Steel Construction, AISC*. Tiene entre otras publicaciones, el STEEL Construction Manual, a la fecha disponible en su decimosexta edición.

El Manual consta de 18 partes, de las cuales las 15 primeras tratan aspectos de diseño; la parte 16, titulada especificaciones y códigos, está dividida en tres partes relacionadas con el diseño, fabricación y erección de acero estructural.

- La Parte 16.1 comprende la Especificación de 2022 para edificios de acero estructural (ANSI/AISC 360-22)
- La Parte 16.2 comprende la Especificación RCSC 2020 para juntas estructurales que utilizan pernos de alta resistencia.
- La Parte 16.3 comprende el Código de prácticas estándar de 2022 para edificios y puentes de acero (ANSI/AISC 303-22).
- Finalmente, las partes 17 y 18 relativas a datos diversos, información matemática, símbolos e índice.

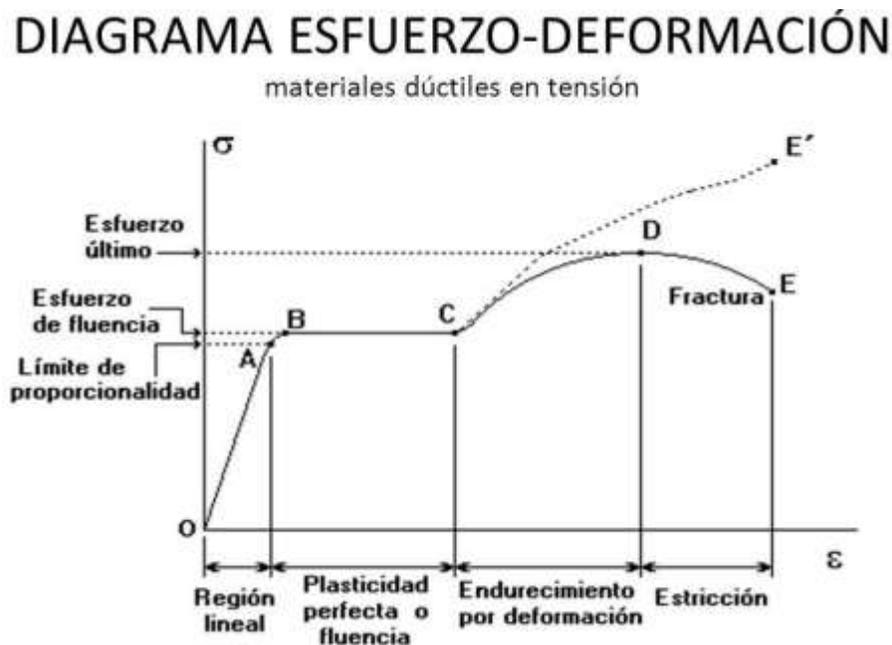


4.5.2 Aspectos Relacionados con el Diseño de Estructuras de Acero

Es conveniente que el ingeniero civil encargado de la construcción conozca los aspectos relacionados con el diseño de las estructuras de acero, con el propósito de optimizar los procedimientos constructivos que implemente y observar el comportamiento del material durante todos estos procesos.

El comportamiento del acero cuando está sujeto a tensión, está definido por la curva representativa esfuerzo deformación que se muestra en la figura 2, en la cual se puede identificar con claridad un punto de sumo interés: el límite de proporcionalidad o límite de fluencia, característica esencial en el análisis estructural.

Figura 2. Gráfica esfuerzo-deformación típica del acero sujeto a tensión



Nota: Adaptada de *Materiales de Construcción: El Acero* [Gráfico], por L. M. Vélez Moreno, 17 de marzo de 2009, Blogger (<https://materialesparaconstruir.blogspot.com/2009/03/el-acero.html>).

Por lo que corresponde al diseño de estructuras de acero, se pueden distinguir dos criterios:

- Criterio elástico.** En el cual se estiman las cargas que deberá soportar la estructura y con esta información, los elementos estructurales se diseñan

tomando como base los esfuerzos permisibles, que son un porcentaje del esfuerzo de fluencia. Los porcentajes o fracción del esfuerzo de fluencia que debe considerarse están especificados en los reglamentos y normas.

- b) *Criterio por factores de carga y resistencia.* En el cual los elementos estructurales se diseñan por esfuerzos límites de falla; se pretende que la resistencia del acero sea igual o mayor que el valor de los elementos mecánicos derivados de las cargas a las que estará sometida la estructura. Por otra parte, se aplican simultáneamente dos consideraciones: se incrementa el valor de las cargas y se disminuye la resistencia de los elementos estructurales.

Los elementos de una estructura metálica deben diseñarse conforme el tipo de esfuerzos a los que estén sujetos: tensión, compresión, flexión, cortante, torsión o a esfuerzos combinados. Asimismo, deben diseñarse las conexiones y los conectores correspondientes en su caso, la soldadura; revisar el diseño por cargas de encharcamiento, por pandeo, por fatiga y ante condiciones de incendio. Como se ve, el diseño es exhaustivo e integral. El resultado será plasmado en planos y especificaciones de construcción físicos o digitales para conformar el diseño ejecutivo.

4.5.3 Nomenclatura

Es importante conocer la nomenclatura que se utiliza para designar los distintos perfiles que se utilizan en la construcción de estructuras de acero.

La tabla 1 muestra la designación de los diferentes perfiles de acero estructural conforme el Instituto Mexicano de la Construcción en Acero:



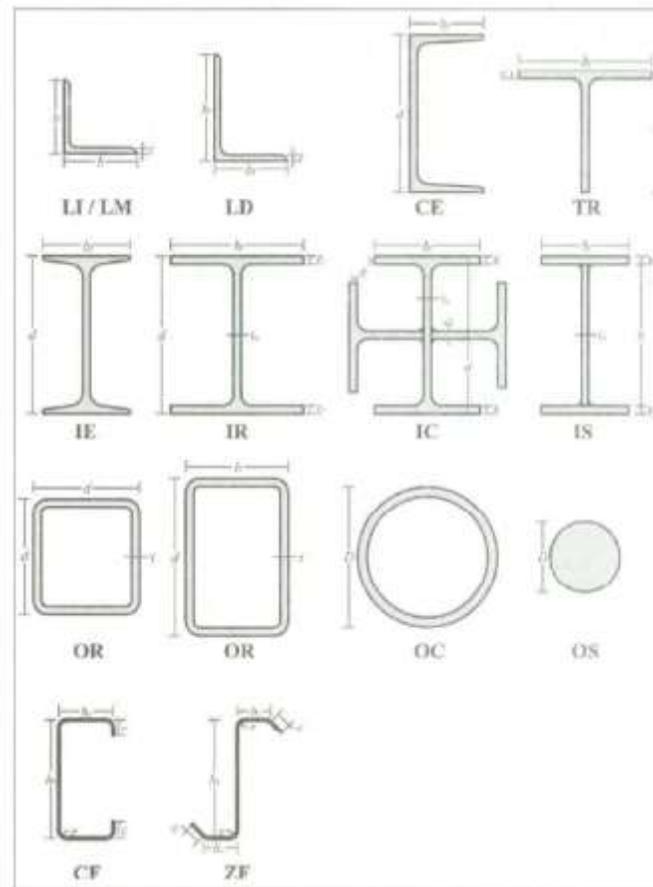
Tabla 1. Designación de los perfiles estructurales de acero

Tipo de elemento de acero	Designación IMCA
Ángulo de lados iguales	LI
Ángulo de lados desiguales milimétrico	LM
Ángulo de lados desiguales	LD
Perfil C estándar	CE
Perfil T rectangular	TR
Perfil I estándar	IE
Perfil I rectangular	IR
Perfil I soldado	IS
Perfil cruciforme	IC
PTE circular	OC
PTE rectangular	OR
PTE cuadrado	OR
Redondo sólido liso	OS
Perfil C formado en frío	CF
Perfil Z formado en frío	ZF

Nota: Adaptada de *Manual de Construcción en Acero (5ª Edición)*, por Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, 2014, LIMUSA.

La figura 3, tomada del Manual de Construcción en Acero del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, muestra gráficamente los perfiles contenidos en la tabla precedente.



Figura 3. Designación IMCA para perfiles de acero estructural

Nota: Adaptada de *Manual de Construcción en Acero (5ª Edición)*, por Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, 2014, LIMUSA.

4.5.4 Procedimiento Constructivo

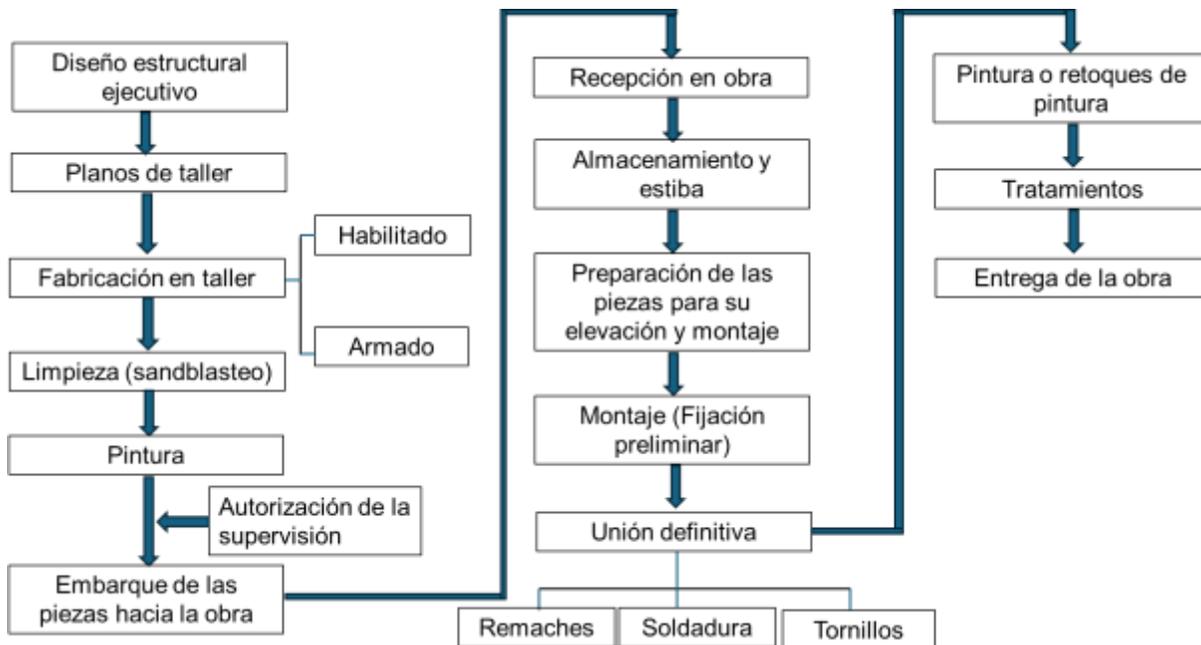
El procedimiento constructivo de las estructuras metálicas involucra diferentes etapas en las que intervienen los tres insumos o recursos de la construcción estudiados en cursos anteriores: materiales, mano de obra y maquinaria.

La mano de obra que se utiliza en la construcción de estructuras de acero debe ser especializada, calificada y, en algunos casos, certificada. Asimismo, la herramienta debe ser de buena calidad y estar en buenas condiciones. El personal deberá utilizar en todo momento el equipo de seguridad adecuado.

La figura 4 muestra un diagrama de flujo con los pasos o etapas que en orden cronológico se van siguiendo para la construcción de una estructura de acero. Por supuesto que puede haber variantes con respecto al diagrama mostrado, todo dependerá de la naturaleza y magnitud de la estructura, misma que pudiera construirse totalmente en obra sin necesidad de recurrir a la prefabricación en taller. La pintura es otra actividad que puede ejecutarse en la obra o previamente en taller antes de embarcar las piezas y solamente detallarla en la obra. Asimismo, algunos tratamientos a la estructura, por ejemplo, el tratamiento anti-fuego, pudieran no ser considerados.

Con base en el diagrama referido, se irá desarrollando la descripción de las diferentes etapas que comprende el procedimiento constructivo.

Figura 4. Actividades que comprende la construcción de una estructura de acero



Nota: Estructura mixta 1 [Diagrama], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

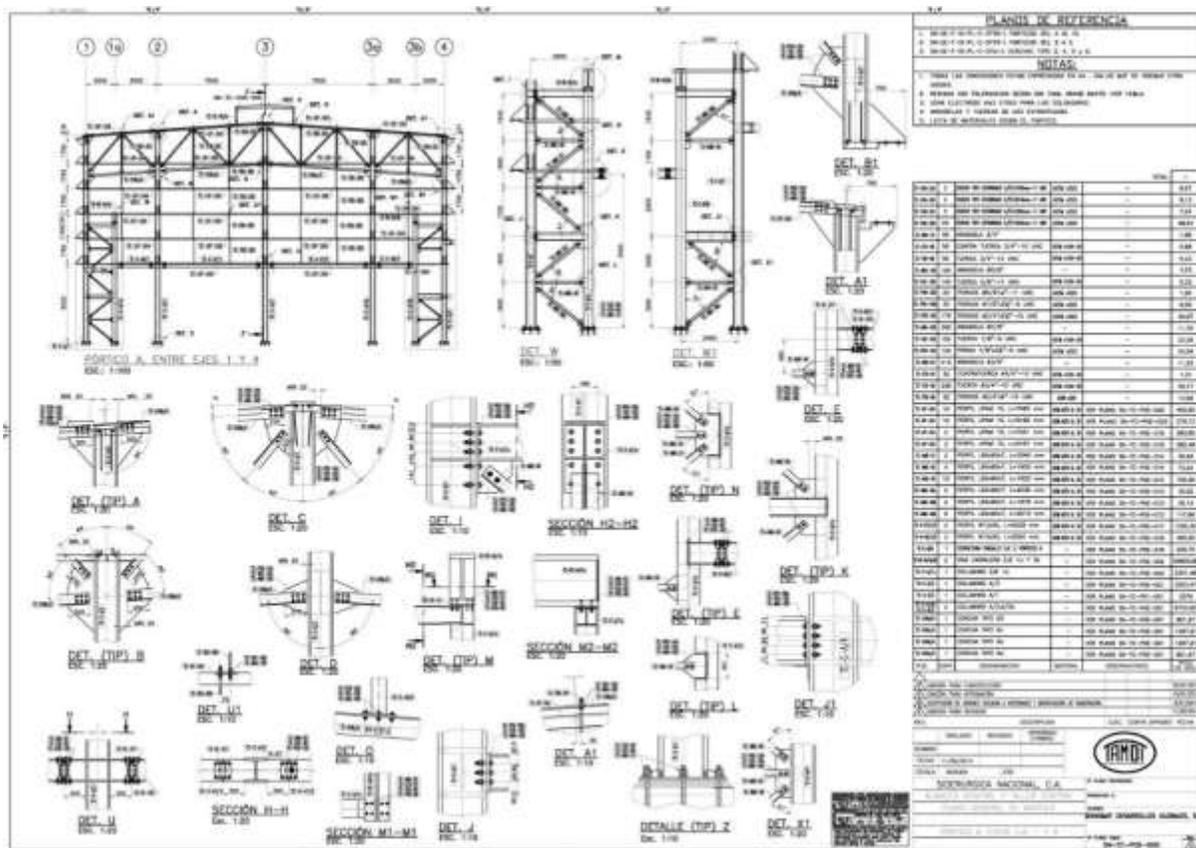
4.5.4.1 Planos de Taller.

Los planos de taller o planos de fabricación, ver figura 5, deben elaborarse previamente a la fabricación de la estructura metálica, en ellos debe aparecer toda la información necesaria para la fabricación de los componentes de la estructura: tipos de elementos,

ubicación, dimensiones exactas, tolerancias, plantas, cortes, conexiones, anclajes, detalles, etcétera. Estos planos los elabora el fabricante de la estructura tomando como base los planos del diseño ejecutivo. El fabricante debe obtener la aprobación del dueño de la obra antes de proceder a la fabricación.

Los planos deben también contener información sobre los materiales: tipos de acero a utilizar, resistencia y características en general, cantidad y especificaciones de los perfiles, placas, pernos, tuercas y todos los componentes de la estructura, especificaciones de los procedimientos y tipos de soldadura, el material de aporte y las tolerancias permitidas.

Figura 5. Ejemplo de plano de taller



Nota: Adaptada de *Proyectos: Elaboración de Planos de Fabricación y Montaje de Estructuras Metálicas* [Ilustración], por E. Gutiérrez, 22 de abril de 2018, Blogger (<https://edgar-gutierrez.blogspot.com/2018/04/proyectos-de-elaboracion-de-planos-de.html>).

Las Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero, contempla disposiciones relativas a la etapa de fabricación y montaje. Se transcribe a continuación lo que la Norma indica al respecto:

23.2.2 En los planos de fabricación (también conocidos como planos de taller o de detalle) se proporcionará toda la información necesaria para la ejecución de la estructura en el taller, y en los de montaje se indicará la posición de los diversos elementos estructurales con sus respectivas marcas, así como, su orientación. Los planos de fabricación y de montaje se prepararán antes de iniciar la fabricación de la estructura. Se señalarán las juntas de campo, con indicaciones precisas para su elaboración, y se crearán planos de tornillería para la totalidad de las uniones atornilladas con la descripción geométrica detallada de tornillos y arandelas, así como, la especificación de los materiales.

23.2.3 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, etcétera Cuando sea necesario, esos símbolos se complementarán con notas en el plano. En todos los casos deben indicarse, con toda claridad, los tornillos o soldaduras que se colocarán en el taller y aquellos que deben instalarse en la obra.

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

23.2.5 El fabricante se obliga a preparar los planos de taller y montaje a cuyo término someterá al propietario o su representante, y al Director copias de los mismos para su aprobación. El propietario o su



representante y el Director se obligan a devolver al fabricante los planos aprobados, sujetos a las correcciones indicadas, dentro del plazo acordado por las partes involucradas. El fabricante quedará así autorizado para proceder con el inicio de la fabricación, después de corregir los planos, enviando las copias corregidas al propietario o su representante, y al Director.

23.2.6 Los planos de taller y de montaje deben indicar claramente el tipo de apriete que se requiere en cada unión atornillada, ya sea al contacto, pretensionado o por deslizamiento crítico.

Los planos de fabricación y montaje deben indicar la manera de marcar y etiquetar las piezas para facilitar su identificación y ensamblaje en el lugar de construcción.

4.5.4.2 Fabricación en Taller.

En el proceso de fabricación en taller se distinguen dos etapas:

1. Habilitado y;
2. Armado.

En la etapa de habilitado, participa personal especializado que utiliza máquinas herramienta específicas para llevar a cabo operaciones como el trazado, corte, esmerilado, taladrado y, en general, actividades que permitan preparar los elementos de acero para la siguiente etapa, ver figura 6. Algunos de los equipos y herramientas que se utilizan en esta etapa son el pantógrafo, el tiralíneas, sierras, cizalla, taladros con brocas especiales, equipo de oxicorte, equipo de plasma, etcétera.



Figura 6. *Corte de placa con pantógrafo*

Nota: Adaptada de *Corte de placa con Plasma en pantógrafo* [Fotografía], por Aceros Poltech, 2024, Poltech (<https://poltech.mx/corte-de-placa-pantografo>). Todos los derechos reservados.

En la etapa de armado, se reciben las piezas habilitadas para ser armadas conforme los planos de fabricación. Puede distinguirse el armado de perfiles laminados o de perfiles a base de placa. En todo caso es necesario verificar longitudes, biselar en caso de ser necesario, alinear las piezas, puntearlas, colocar atezadores y colocar las marcas necesarias para ayudar a las conexiones posteriores.

4.5.4.2.1 Preparación y Limpieza.

Tanto en la etapa de limpieza como en la de aplicación de recubrimientos para proteger las estructuras de acero, se dispone de la norma internacional ISO 12944, la cual consta de 9 partes. Se mencionan a continuación algunos puntos relevantes de esta Norma relacionados con la edificación, con el propósito de tener presentes los factores que inciden en las etapas de preparación de la superficie y pintura de estructuras de acero¹:

¹ (HEMPEL, diciembre de 2018)

1. *Presenta la terminología y definiciones.* Establece el tiempo estimado que se espera dure el sistema de recubrimiento.

Tabla 2. *Tiempo estimado que durará el recubrimiento*

Durabilidad	Tiempo estimado
Baja (L)	Hasta 7 años
Media (M)	7 a 15 años
Alta (H)	15 a 25 años
Muy alta (VH)	>25 años

2. *Cubre las categorías de corrosión.* Hay dos categorías: condiciones atmosféricas y condiciones sumergidas. En este documento, únicamente se presenta la primera categoría.

Tabla 3. *Corrosión en condiciones atmosféricas*

Categorías de corrosión	Efecto de corrosión
C1	Muy baja
C2	Baja
C3	Media
C4	Alta
C5	Muy alta
CX	Extrema



Tabla 4. *Pérdida de masa por unidad de superficie/pérdida de grosor^a*

Categoría de corrosión	Acero bajo en carbono	
	Pérdida de masa (g/m ²)	Pérdida de grosor (mm)
C5 Muy alta	>650 a 1,500	>80 a 200
CX Extrema	>1,500 a 5,500	>200 a 700

Nota: ^a Mediciones tras un año de exposición

3. *Contempla cómo crear el mejor diseño estructural para el uso correcto del sistema de pintado.*
4. *Tipos y preparación de superficie.* Describe las superficies y los métodos de pretratamiento requeridos para asegurar el mejor rendimiento del sistema de pintado.
5. *Sistemas protectores de pintura.* Plantea cómo elegir los sistemas de pintura e incluye guías para diferentes entornos y diferentes requisitos de durabilidad. Establece, entre otros aspectos, espesores de película de pintura (en micras), tipos de imprimación, ligante de base de la imprimación y ligante de base de las capas posteriores.
6. *Ensayos de comportamiento en laboratorio.* Sin comentarios.
7. *Ejecución y supervisión de trabajos de pintado.* Describe cómo llevar a cabo y supervisar la aplicación del recubrimiento. Hace referencia al uso de la ISO 19840 para la medición de espesores secos.
8. *Desarrollo de especificaciones para trabajos nuevos y mantenimiento.* Sin comentarios.
9. *Sistema de pintado para construcciones en alta mar.* Sin comentarios



4.5.4.3 Limpieza.

Cuando se requiere hacer una limpieza profunda de los elementos de acero estructural, uno de los procedimientos más utilizados es el de sopletearlos con chorros de abrasivos granulados a presión. El abrasivo, es expulsado por aire comprimido a través de una boquilla. Con este procedimiento se remueven de las piezas tratadas sustancias como óxido, escamas de laminación e incluso pintura vieja. La superficie queda así preparada para la aplicación de algún recubrimiento. A este procedimiento se le conoce como sandblasteo.

El sandblasteo, logra que los elementos de acero queden totalmente limpios, cosa que solamente se logra de manera parcial con el lijado o el esmerilado.

La figura 7 muestra la aplicación del chorro de arena sobre una estructura de acero.

Figura 7. Aplicación del sandblasteo sobre una estructura de acero.



Nota: Adaptada de *Everything You Must Know About Metal Sandblasting* [Fotografía], por Masion, s.f., (<https://sheetmetalmasion.com/metal-sandblasting/>). Todos los derechos reservados.

Los niveles de limpieza se especifican conforme normas internacionales ISO y su requerimiento puede ser, de mayor a menor grado, como sigue:

- Chorreado abrasivo a nivel blanco.

- Chorreado abrasivo a metal casi blanco.
- Chorreado comercial.
- Chorreado ligero.
- Limpieza con cepillo y disco.

La figura 8 muestra parte del equipo requerido para efectuar el sandblasteo. Se observa el tanque que almacena el material abrasivo, la manguera y la boquilla, misma que puede ser de diferentes tamaños. El equipo se complementa con el compresor que provee el aire comprimido.

Figura 8. *Equipo para aplicar chorros de material granular a las piezas de acero (sandblasteo)*



Nota: Adaptada de *Equipos de Sand-Blast* [Fotografía], por QUVANA HERRAMIENTAS, s.f., (<https://www.quvana-fabricaciones.com/equiposdesandblast>).

Se recomienda ver el video en YouTube “¿COMO USAR UNA OLLA DE SAND BLAST | OLLA SANDBLASTER 272 KG | GRUPO COMPRESORES Y MAQUINARIA?” (Canal Compresores y Maquinaria, 2020, 3m07s).

4.5.4.4 Pinturas.

Una vez que la estructura está completamente limpia al nivel especificado, se procede a pintarla. Los sistemas utilizados por lo general consisten en una capa de imprimación y posteriormente la aplicación de esmalte en el color especificado.

Como ejemplo, se muestra un sistema propuesto por una casa comercial especializada en protección y pintado de estructuras de acero que cumple con la norma ISO 12944 en cuanto a tipo de material, espesor y número de capas:

- a) *C3: Norma ISO 12944*. Categoría de corrosividad atmosférica media. Aplicable en estructuras de acero, tuberías, soportes, equipos, etcétera, ubicados en áreas industriales urbanas con moderado nivel de contaminación de dióxido de azufre. En esta categoría, la Norma marca una pérdida de material metálico entre los 200 y 400 gramos por metro cuadrado al año.
- b) *Preparación de la superficie*. Chorreado abrasivo al grado Sa2 ½ según ISO 8501-1 con perfil de rugosidad medio 6.5 según ISO 8503-2.
- c) *Sistema de pintado*: Consta de 3 capas de revestimiento descritas a continuación:
 1. Imprimación Epoxi-Poliamidica rica en zinc.
 - Con alta capacidad de auto oxidación, con óxidos metálicos y extendedores inertes que permiten frenar los efectos de la corrosión.
 - El espesor mínimo aplicado estará por encima de las 60 micras con un tiempo de repintado de 4 horas.
 2. Imprimación rica en resinas epoxídicas modificadas.
 - Con un alto extracto seco y una viscosidad tixotrópica. Alto contenido de sólidos. Compatible con la capa de primer aplicada anteriormente.
 - El espesor mínimo deberá encontrarse entre 80 y 90 micras y un tiempo de repintado superior a las 24 horas.



3. Esmalte de acabado en el color deseado.
 - Poliuretano alifático con mezcla de resinas acrílicas y polisocianuratos que contiene pigmentos de alta resistencia al exterior y a los rayos ultravioleta. El espesor mínimo recomendado es alrededor de 60 a 70 micras.
 - El espesor del sistema de pintado especificado oscila por tanto entre 200 y 230 micras.

Las figuras 9 y 10 muestran la aplicación del primario y del esmalte, respectivamente, en una estructura de acero.

Figura 9. Aplicación de “primer” en estructura de acero



Nota: Adaptada de *Tratamientos anticorrosivos para estructuras metálicas* [Fotografía], por Grupo UNISERSA, 26 de noviembre de 2019, (<https://grupounisersa.com/2019/11/26/tratamientos-anticorrosivos-para-estructuras-metalicas/>).

Figura 10. *Aplicación de esmalte en estructura de acero*



Nota: Adaptada de *Pintado general de maquinaria industrial* [Fotografía], por Nagoadmin21, 9 de marzo de 2023, NAGO electric (<https://nagoperu.com/pintado-general-de-maquinaria-industrial/>).

Para medir el espesor de la película de pintura aplicada se utilizan aparatos como el que se muestra en la figura 11.

Figura 11. *Aparato digital para medir el espesor de la capa de película aplicada en una estructura de acero*



Nota: Adaptada de *Los 5 mejores medidores de espesores de pintura de 2021, comparativa de precios y funciones* [Ilustración], por Santiago, 2 de junio de 2021, kusitest (<https://www.kusitest.pe/los-5-mejores-medidores-de-espesor-de-pintura-de-2021-comparativa-de-precios-y-funciones>).

4.5.4.5 Embarque y Transporte.

La selección y organización de los diferentes elementos estructurales armados en taller para un correcto embarque en los vehículos que habrán de transportarlos, se hace conforme al orden contenido en el plan de montaje, mismo que debe contener el registro de la carga, las remisiones correspondientes, la indicación de las sujeciones de los elementos a la unidad de transporte, en su caso, las protecciones adicionales que deben proveerse y la ruta que seguirá el transporte desde la salida del taller hasta el punto de entrega en la obra.

“Si no se estipula otra cosa, las marcas de montaje se pondrán en los miembros de la estructura con pintura u otro medio adecuado.

Los ensambles de tornillos y los tornillos, las tuercas y rondanas sueltos se enviarán por separado en contenedores cerrados de acuerdo con la longitud y el diámetro, según corresponda. Las partes pequeñas y los paquetes de tornillos, tuercas y rondanas se enviarán en cajas de cartón o de madera, barriletes o barriles. En el exterior de cada contenedor cerrado aparecerá una lista y la descripción de los materiales contenidos.”²

Durante todos los procesos debe cuidarse en extremo la seguridad del personal que participa en las maniobras, el cuidado del equipo y evitar hasta donde sea posible daños a terceros.

Las figuras 12 y 13 muestran elementos de acero montados en los vehículos de transporte.

² (Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, 2014)

Figura 12. Viga de acero lista para ser transportada a la obra



Nota: Adaptada de *Logística de estructuras metálicas de acero a medida* [Fotografía], por Ruiz Construcciones Metálicas, s.f., RCM (<https://www.ruizcm.com/logistica-de-estructuras-metalicas>).

Figura 13. Armadura de acero sobre plataforma lista para ser transportada a la obra



Nota: Adaptada de *Fabricación de estructuras de acero* [Fotografía], por Ingeniería Metálica, s.f., (<https://ingenieriametalica.com/fabricacion-estructuras-de-acero/>).

4.5.4.6 Recepción de las Piezas en Obra.

Los responsables de la recepción en obra deben verificar que los elementos estructurales lleguen conforme lo estipulado en los documentos contractuales y en la secuencia adecuada para su montaje, así como que la remisión esté completa.

“Si la estructura llega dañada a su destino, la parte responsable de su recepción debe notificar al fabricante y al transportista antes de la descarga del material o inmediatamente después de descubrir el daño.”³

4.5.4.7 Elevación y Montaje.

La planeación y programación para la colocación de la estructura de acero es fundamental: el orden de colocación inicia con las columnas, que deben quedar perfectamente verticales, luego seguirán las trabes principales previamente unidas en piso si fuese necesario por su longitud, a continuación, se colocan los contraventeos y finalmente, los largueros para recibir el tipo de cubierta que indique el diseño: lámina, sistema “losacero” u otro.

La colocación de las placas base de las columnas unidas a las anclas previamente colocadas en los dados de cimentación, debe terminarse con la aplicación de un mortero expansivo autonivelante denominado grout (lechada en inglés) para rellenar el hueco entre la placa de la columna y la corona del dado de cimentación. Ver figura 14.

El diseño de la estructura pudiera contemplar la colocación de pernos de cortante (pernos tipo Nelson) para la instalación de lámina galvanizada en la conformación del entrepiso denominado “losacero”. Actualmente existen pernos “autosoldables” que se fijan a la estructura con una máquina perneadora que fusiona el perno con la ayuda de un elemento cerámico. Ver figura 15.

³ (Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, 2014)

Figura 14. *Aplicación de grout en la base de una columna de acero*



Nota: Adaptada de *Grouting en columnas* [Fotografía], por Ferrocement®, 2024, (<https://www.ferrocement.com.ar/proyectos/grouting-en-columnas>). Todos los derechos reservados.

Figura 15. *Colocación de pernos de cortante*



Nota: Adaptada de *La Soldadura de pernos de acero conectores de cortante* [Fotografía], por A. Soto S., s.f., Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (<https://www.imca.org.mx/newsletters/news23.php>).

La elevación y montaje de los diferentes elementos que conformarán la estructura de acero se hace usualmente con grúas de diferentes tipos y capacidades. Las grúas se seleccionan de acuerdo con la capacidad de carga requerida, es decir, con el peso del elemento y sus dimensiones. Es necesario también definir las rutas de acceso, emplazamiento, radios de giro y facilidad de retiro entre otros aspectos.

Para satisfacer las diferentes necesidades, hay en el mercado diferentes tipos de grúas.

Una posible clasificación es la siguiente:

- Grúas montadas sobre camión (por ejemplo, grúa hiab).
- Grúas telescópicas montadas sobre camión.
- Grúas telescópicas montadas sobre oruga.
- Torres grúa.

Particularmente la marca Grove clasifica sus grúas en grúas todo terreno, grúas hidráulicas montadas sobre camión, grúas para terrenos difíciles, grúas industriales o grúas de patio.

Figura 16. Grúa Hiab maniobrando una estructura de acero



Nota: Adaptada de *Grúas de Carga* [Fotografía], por HIAB, 2024, MYCSA Grúas – Hiab (<https://www.hiab.com/es/productos/gruas-de-carga>). Todos los derechos reservados.

Figura 17. Grúas telescópicas montadas sobre camión maniobrando de manera coordinada una estructura de acero de gran tamaño



Nota: Adaptada de *Grúas Telescópicas* [Fotografía], por Grúas y Aparejos, 12 de junio de 2024, (<https://gruasyaparejos.com/grua-telescopica/gruas-telescopicas/>).

Figura 18. Grúa telescópica montadas sobre orugas en trabajo de montaje de una estructura de acero



Nota: Adaptada de *Grúa telescópica de 129 T demuestra su efectividad durante su primera aplicación en Max Bögl* [Fotografía], por F. Attenhauser, 15 de septiembre de 2015, SENNEBOGEN (<https://www.sennebogen.com/es/noticias/noticias-y-prensa/grua-telescopica-de-120-t-demuestra-su-efectividad-durante-su-primera-aplicacion-en-max-boegl>).

Figura 19. Torre grúa en montaje de una estructura de acero

Nota: Adaptada de *Equipos de izaje. Torres Grúa* [Fotografía], por ITQM Servicios de Inspeccion y Gestion de Calidad, 2024, (<https://www.ensayosnestructivos.com.ec/torres-grua.html>). Todos los derechos reservados.

Para tener una idea de la información disponible para seleccionar una grúa, se presenta la tabla 5, relativa a grúas montadas sobre orugas.

Tabla 5. Especificaciones de grúas montadas sobre orugas de la marca Grove

 Modelo	Longitud de pluma principal	Altura máxima de punta	Capacidad máxima	Peso bruto total
	m	m	ton	kg
GHC130	40.2	70	120	113,780
GHC50	30.4	45.4	45	45,770
GHC30	30.4	40.2	30	33,000
GHC55	30.4	45.4	50	45,770
GHC75	36	52.7	70	71,760

Nota: Adaptada de *Grúas telescópicas sobre orugas*, por SITSA, 2024, (<https://sitsa.com.mx/gruas/gruas-telescópicas-sobre-orugas>). Todos los derechos reservados.

4.5.4.8 Sistemas de Unión.

La unión de los diferentes elementos que conforman una estructura metálica es de capital importancia porque garantiza la estabilidad de la estructura y su buen comportamiento en condiciones de servicio y ante cargas accidentales como puede ser un sismo.

Los sistemas de unión más utilizados en la actualidad son con base en soldadura o tornillos, si bien se puede tener en una estructura la utilización de ambos. Aunque también se pueden utilizar remaches para este fin, su uso prácticamente ha sido abandonado.

El árbol de conexiones que se muestra en la figura 20 es un buen ejemplo de los tipos de conexiones y de perfiles utilizados en la construcción de estructuras de acero.

Figura 20. *Árbol de conexiones*



Nota: *Árbol de conexiones, Facultad de Ingeniería UNAM, CDMX [Fotografía], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.*

Se presentan a continuación cada uno de los sistemas de unión.

4.5.4.8.1 Elementos Soldados.

La Real Academia Española define la palabra soldar como: “*pegar y unir sólidamente dos cosas, o dos partes de una misma cosa, normalmente con alguna sustancia o semejante a ellas*”. Son algunos sinónimos: unir, juntar, pegar, ligar, trabar, adherir. Por supuesto, el antónimo es: desoldar. La misma fuente define *soldeo* como la acción de soldar.

El Informe Técnico CEN/TR 14599⁴ de origen español define soldeo como el

“...proceso de unión en el que dos o más piezas se unen produciendo una continuidad en la naturaleza de los materiales de las piezas por medio de calor o presión, o ambas cosas, y con o sin la utilización de material de aportación”.

De manera que la soldadura o el soldado de dos o más elementos de acero, tiene el propósito de garantizar una unión segura y duradera de las piezas que conforman la estructura y garantizar su estabilidad e integridad. La figura 21 muestra la acción de soldado en una estructura de acero.

Figura 21. *Aplicación de soldadura en una unión de elementos de estructurales de acero*



Nota: Adaptada de *Especialistas en Relevado de Esfuerzos* [Fotografía], por SISTERE DE CHIAPAS, 12 de julio de 2013, Blogger (<https://relevadodeesfuerzo.blogspot.com/>).

⁴ (Asociación Española de Normalización y Certificación, mayo 2006)

Las directrices en el tema de soldaduras, las dicta la AWS (American Welding Society), si bien en el Diario Oficial de la Federación del 18 de mayo de 1988, se publicó la Norma Oficial Mexicana NOM-H-111-1988, relativa a “Símbolos para Soldadura y Pruebas no Destructivas”.

La Norma en cuestión, en su parte “A” presenta los “símbolos de soldadura” y establece la diferencia entre el símbolo de soldar y el de soldadura. El primero indica el tipo de soldadura mientras que el segundo se refiere a un método de representar en planos la forma de soldar que incluye información suplementaria que consiste en ocho elementos los cuales pueden o no ser empleados en su totalidad según el caso. Dichos elementos son:

1. Línea de referencia (indicada horizontalmente)
2. Flecha
3. Símbolos básicos de soldar
4. Dimensiones u otra información
5. Símbolos suplementarios
6. Símbolos de acabados
7. Cola
8. Norma, proceso u otras referencias

Los símbolos básicos de soldar deben dibujarse sobre la línea de referencia la cual se muestra de forma punteada en la figura 22.

Por otra parte, en la figura 23 se muestran los llamados símbolos suplementarios a usarse junto con los símbolos de soldadura básicos.



Figura 22. Símbolos básicos de soldar

Ranura							
Escuadra	Sesgada	V	Bisel	U	J	Abocinado V	Abocinado en bisel

Filete	Tapón o botón	Puntos o proyección	Costura	Refuerzo o resaca	Recubrimiento	Abocinado	
						Extremo	Esquina

Nota: Adaptada de *Diario Oficial de la Federación (DOF)* [Archivo PDF], por Secretaría de Gobernación, 18 de mayo de 1988, (<https://dof.gob.mx/abrirPDF.php?archivo=18051988-MAT.pdf&anio=1988&repo=repositorio/>).

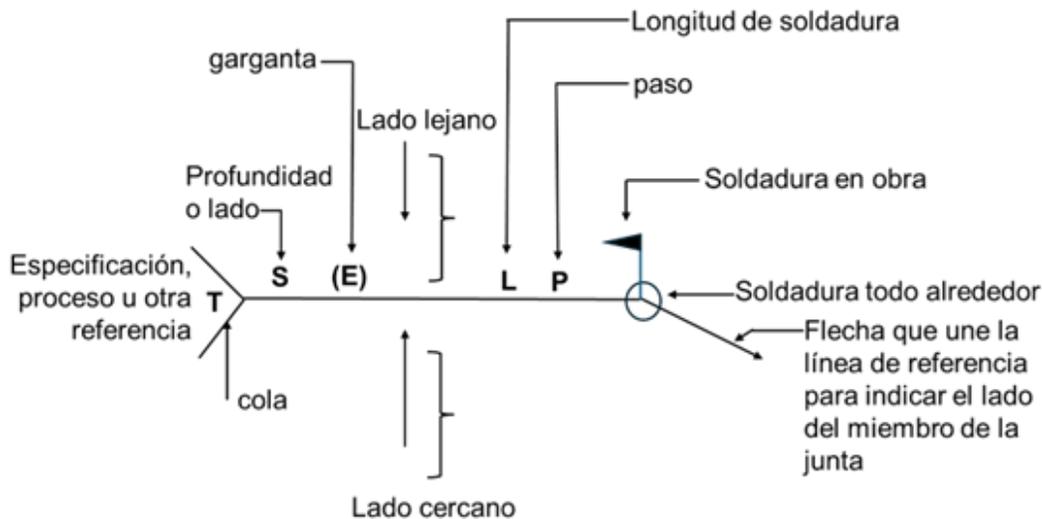
Figura 23. Símbolos suplementarios a los símbolos básicos de soldar

Soldadura todo alrededor	Soldadura de campo	Penetración completa	Respaldo o separador	Contorno		
				Enrasar	Convexo	Cóncavo

Nota: Adaptada de *Diario Oficial de la Federación (DOF)* [Archivo PDF], por Secretaría de Gobernación, 18 de mayo de 1988, (<https://dof.gob.mx/abrirPDF.php?archivo=18051988-MAT.pdf&anio=1988&repo=repositorio/>).

Los elementos de un símbolo de soldadura deben tener una posición normal con respecto a cada uno como se muestra de manera simplificada en la figura 24. Una figura más completa puede verse en el Diario Oficial de la Federación del 18 de mayo de 1988 ya mencionado anteriormente.

Figura 24. Simbología para uniones soldadas

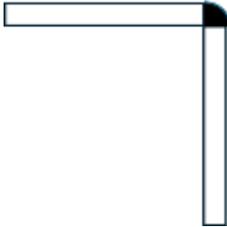


Nota: Adaptada de *Diario Oficial de la Federación (DOF)* [Archivo PDF], por Secretaría de Gobernación, 18 de mayo de 1988, (<https://dof.gob.mx/abrirPDF.php?archivo=18051988-MAT.pdf&anio=1988&repo=repositorio/>).

En el DOF multicitado, se pueden observar los tipos básicos de juntas y las soldaduras aplicables en cada tipo de junta. La tabla 6 muestra un resumen esta información:

Tabla 6. Tipos básicos de juntas y soldaduras aplicables

Junta	Soldaduras aplicables	
A tope 	Ranura cuadrada	Ranura en V abocardada
	Ranura en V	Ranura de bisel abocardada
	Ranura en bisel	Extremo doblado
	Ranura en U	Fuerte
	Ranura en J	

De esquina 	Filete	Ranura de bisel abocardada
	Ranura cuadrada	Extremo doblado
	Ranura en V	Esquina doblada
	Ranura en bisel	Punto
	Ranura en U	Proyección
	Ranura en J	Costura
	Ranura en V abocardada	Fuerte
En T 	Filete	Ranura de bisel abocardada
	Tapón	Punto
	Agujero	Proyección
	Ranura cuadrada	Costura
	Ranura en bisel	Fuerte
De traslape 	Filete	Ranura en bisel abocardada
	Tapón	Punto
	Ranura	Proyección
	Ranura en bisel	Costura
	Ranura en J	Fuerte
De borde o de orilla 	Ranura cuadrada	Extremo doblado
	Ranura en bisel	Esquina doblada
	Ranura en V	Costura
	Ranura en U	Borde
	Ranura en J	

Nota: Adaptada de *Diario Oficial de la Federación (DOF)* [Archivo PDF], por Secretaría de Gobernación, 18 de mayo de 1988, (<https://dof.gob.mx/abrirPDF.php?archivo=18051988-MAT.pdf&anio=1988&repo=repositorio/>).

Hay diferentes tipos de soldadura que se utilizan en la construcción de estructuras metálicas. Conforme la técnica de aplicación se pueden considerar los siguientes tipos:

- a) *Soldadura por arco eléctrico*. En este sistema, se genera un arco eléctrico entre un electrodo metálico y el material base. Al generarse un calor intenso, se derriten tanto el electrodo como el material base lo cual provoca una sólida unión cuando se lleva a cabo el enfriamiento.
- b) *Soldadura MAG (Metal Active Gas)*. También conocida como soldadura de arco de metal con gas activo como el argón mezclado con CO₂, consiste en la utilización de alambre de metal consumible como electrodo y un gas para dar protección de la contaminación a la soldadura.
- c) *Soldadura MMAW (Manual Metal Arc Welding)*. También conocida como soldadura por electrodo revestido; en ella se utiliza un electrodo metálico revestido para crear un arco eléctrico con el material base.

4.5.4.8.2 Elementos Atornillados.

Actualmente, debido a las ventajas que ofrece, son múltiples las estructuras cuyas uniones se llevan a cabo a base de tornillos o pernos⁵. Ver figura 25.

Los tornillos que se utilizan para unir estructuras de acero deben cumplir con al menos dos requisitos esenciales:

1. Calidad de los tornillos
2. Método y grado de apriete al momento de su instalación

Con relación a la calidad de los tornillos; los tornillos de acero de alta resistencia empleados en conexiones estructurales deberán cumplir con la última edición de una de las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM), listadas en la tabla 7.

⁵ La diferencia básica entre el perno y el tornillo es que el perno necesita una tuerca o un burlón para realizar la fuerza de sujeción entre los elementos

Figura 25. Estructura de acero con uniones atornilladas

Nota: Uniones atornilladas del árbol de conexiones, Facultad de Ingeniería UNAM, CDMX [Fotografía], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

Tabla 7. Tornillos de alta resistencia utilizados en conexiones estructurales

Norma de la ASTM	Características por cumplir
H-118 (ASTM A307)	Sujetadores de acero al carbono con rosca estándar exterior ($F_u = 414 \text{ MPa}$; $4,220 \text{ kg/cm}^2$).
H-124 (ASTM A325)	Tornillos de alta resistencia para conexiones entre elementos de acero estructural [$F_u=830 \text{ MPa}$ ($8,440 \text{ kg/cm}^2$) para diámetros de 13 a 25 mm ($\frac{1}{2}$ a 1 pulgada) $F_u=725 \text{ MPa}$ ($7,380 \text{ kg/cm}^2$) para diámetros de 29 ay 38 mm ($1\frac{1}{8}$ " y $1\frac{1}{2}$ ").
H-123 (ASTM A490)	Tornillos de acero aleado tratado térmicamente para conexiones entre elementos de acero estructural ($F_u= 1,035 \text{ MPa}$, $10,550 \text{ kg/cm}^2$).

Nota: Adaptado de *Manual de Diseño para la Construcción con Acero* [Archivo PDF], por Altos Hornos de México, 2013, (p. 8), AHMSA (https://www.ahmsa.com/assets/files/manuales/MANUAL_AHMSA_2.pdf).

Las normas para tornillos NOM-H-118 (A307) cubren dos grados de sujetadores; ambos pueden usarse bajo las especificaciones de diseño. Sin embargo, debe notarse que el grado “B” se emplea generalmente para conectar bridas de tubo y el grado “A” es la calidad que más comúnmente se usa para fines estructurales.

4.5.4.8.2.1 Apretado de los Tornillos.

El American Institute of Steel Construction establece que: todos los pernos de alta resistencia que se especifiquen en los planos de diseño para ser usados en juntas pretensionadas o de deslizamiento crítico deben ser ajustados de tal forma que resistan una tracción no menor que las presentadas en la tabla 5.

Tabla 8. Tensión de apriete de tornillos de alta resistencia

Diámetro de tornillos		Tensión de apriete de tornillos en toneladas métricas ^a	
pulgadas	milímetros	tornillos A325	tornillos A490
1/2	12.70	5.43	6.80
5/8	15.80	8.62	10.90
3/4	19.05	12.7	15.90
7/8	22.22	17.65	22.25
1	25.40	23.15	29.10
1 1/8	28.58	25.4	36.30
1 1/4	31.75	32.2	47.30
1 3/8	34.93	38.6	54.90
1 1/2	38.10	46.8	67.10

Nota: ^aIgual al 70% de la resistencia mínima a la tensión de los tornillos, redondeada a toneladas como se determina en las especificaciones ASTM para A325 y A490.

Adaptada de *Diseño de Conexiones* [Archivo PDF], por C. Charazo Rosario, s.f., (p. 20), GERDAU CORSA (https://www.gerdaucorsa.com.mx/sites/mx_gerdau/files/PDF/DISENO%20DE%20CONEXIONES_2019-min-min.pdf).



La instalación debe ser realizada por cualquiera de los métodos siguientes:

- a) -Método del giro de la tuerca
- b) -Indicador de tracción directa
- c) -Pernos de tensión controlada por giro
- d) -Llave calibrada
- e) -Algún diseño alternativo de los pernos

4.5.4.8.3 Elementos Remachados.

La unión de elementos estructurales de acero con remaches es el método más antiguo del que se tiene noticia: data del siglo XIX.

Los remaches, también conocidos como roblones, son elementos de fijación que se componen de una cabeza y un vástago cilíndrico como lo muestra la figura 26.

Figura 26. Remaches para unir elementos de acero



Nota: Adaptada de *Uniones y conexiones en estructuras de acero* [Fotografía], por J. Orozco, 10 de junio de 2019, Láminas y Aceros (<https://blog.laminasyaceros.com/blog/uniones-y-conexiones-en-estructuras-de-acero>).

El procedimiento de instalación consiste en hacer perforaciones a las piezas que se van a unir, introducir el remache (precalentado a una temperatura del orden de 1,200 °C) por estas perforaciones y remachar la cara opuesta con un martillo o con un equipo especial

con aire comprimido para formar una segunda cabeza. Las dos cabezas aprisionan las piezas de acero acción que se incrementa cuando el remache se enfría.

En la figura 27 se muestran elementos estructurales de acero, unidos con remaches.

Figura 27. Elementos de una estructura de acero unidos con remaches.



Nota: Adaptada de *Métodos de unión: los remaches* [Fotografía], por Bearcat, 21 de diciembre de 2020. BEARCAT S.A. (<https://bearcat.es/2020/12/21/metodos-de-union-los-remaches/>).

Actualmente el uso de remaches ha sido desplazado por los procedimientos ya presentados anteriormente esto es, soldadura, tornillos o una combinación de ambos.

4.5.5 Control de Calidad

En todo proceso constructivo es necesario establecer mecanismos de control para garantizar la buena calidad de la obra.

La construcción de estructuras de acero no es la excepción; se debe controlar la calidad de los materiales empleados: acero, soldadura, tornillos, pinturas, etcétera, la mano de obra que debe ser calificada, con experiencia y aún certificada, por supuesto, la correcta selección y utilización de la maquinaria y equipo que intervienen y la observancia de

buenas prácticas en los procedimientos constructivos.

Particularmente en el caso de la soldadura, la American Welding Society tiene una “Guía de inspección visual de soldaduras” que proporciona los fundamentos para inspeccionar la soldadura antes, durante y después de su aplicación. Algunos de los defectos que puede presentar la soldadura son: porosidad, fusión incompleta, socavación, laminación, grietas y otras más.

Por otra parte, el Manual de Inspección de Soldadura, que es una traducción del Welding Inspection Handbook, señala los ensayos destructivos y no destructivos que pueden practicarse a las soldaduras.

Como ejemplos de ensayos destructivos se tiene:

- Ensayos de macrograbado,
- Ensayo de rotura de soldadura de filete,
- Ensayo de tensión transversal,
- Ensayo de flexión guiado.

Entre los ensayos no destructivos se pueden mencionar:

- Inspección con líquidos penetrantes,
- Inspección con partículas magnéticas,
- Inspección radiográfica,
- Inspección con ultrasonido.

La figura 28 muestra la prueba denominada de líquidos penetrantes, la cual es una prueba no destructiva que consiste en que un fluido de baja tensión superficial penetre, por capilaridad, en los defectos discontinuos de la soldadura.



Figura 28. Prueba de líquidos penetrantes

Nota: Adaptada de *Dye Penetrant Inspection* [Fotografía], por GAMMANDT, 2017, (<https://en.gammandt.com/urun/dye-penetrant-inspection.html>). Todos los derechos reservados.

4.5.6 Tratamientos

Adicionalmente a la aplicación de pintura, que es en sí un tratamiento contra la oxidación, es conveniente y en ocasiones obligatorio, proteger las estructuras de acero contra el fuego. Si bien el acero es un material que no produce humo ni gases tóxicos, las altas temperaturas hacen que pierda rápidamente sus propiedades mecánicas.

Los tratamientos contra los efectos del fuego son de dos tipos:

- a) Aplicación de pinturas intumescentes
- b) Aplicación de morteros ignífugos

Las pinturas intumescentes tienen la característica de reaccionar y formar una espuma aislante cuando se presentan temperaturas superiores a los 200 °C. Ver figura 29.

Figura 29. Aplicación de pinturas intumescente en estructuras de acero.



Nota: Adaptada de *Pintura intumescente e ignífuga: definición y aplicación* [Fotografía], por Pinturas y Decoraciones Llorca, 20 de septiembre de 2017, Llorca Pintura y Decoración (<https://pinturasllorca.es/pintura-intumescente-e-ignifuga-definicion-aplicacion/>).

Los morteros ignífugos se aplican con equipos neumáticos en espesores que varían entre 1 y 5 cm; contienen minerales que proporcionan un aislamiento térmico adecuado. Ver figura 30.

Figura 30. Protección de estructura de acero contra el fuego con mortero ignífugo



Nota: Adaptada de *Soluciones Constructivas Tecwool® F: Tecwool® F – Protección elementos de acero (vigas y pilares)* [Fotografía], por Tecresa Protección Pasiva, S. L., 2024, mercor® tecresa (<https://mercortecresa.com/morteros-tecwool/tecwool-f/proteccion-de-elementos-de-acero>). Todos los derechos reservados.

4.5.7 Mantenimiento

No obstante, su resistencia y flexibilidad, las estructuras de acero requieren de mantenimiento para prevenir fallas en su funcionamiento, alargar su vida útil y, sobre todo, brindar mayor seguridad.

Algunos de los problemas que pueden presentarse en las estructuras de acero son la corrosión, fallas por fatiga debido a la inversión de esfuerzos, abrasión, deformaciones excesivas en los elementos estructurales y desplazamientos en las uniones.

Un buen programa de mantenimiento debe incluir la inspección visual exhaustiva complementada con pruebas de ultrasonido, líquidos penetrantes o radiografías.

Llevar a cabo trabajos de limpieza, pintura y sellado, no modificar el uso para la que fue diseñada y efectuar las reparaciones necesarias en cuanto se detecten anomalías son recomendaciones para mantener las estructuras de acero en condiciones óptimas de servicio.



Conclusión Capitular

Al final de este capítulo podemos asegurar que la construcción de estructuras de acero en edificación es fundamental para lograr obras seguras, funcionales y económicas, además de contribuir a la preservación del medio ambiente. Para lograrlo, se requiere la atención rigurosa en todos los procesos involucrados: diseño, cálculo, fabricación, montaje, control de calidad y mantenimiento programado. El cumplimiento de la normativa garantiza la seguridad y durabilidad de las edificaciones, ya que establece estándares de calidad para cada etapa, sin dejar de lado el diseño y la estética. Las estructuras de acero están soportadas en un cálculo preciso de cargas, resistencia de los elementos y la selección adecuada de perfiles y uniones.

En este capítulo, se presenta el proceso constructivo de estructuras de acero, el cual comprende, una vez resuelto el diseño ejecutivo, la elaboración de planos, la fabricación en taller, la pintura, el transporte y montaje de las piezas en obra, la limpieza, aplicación de tratamientos protectores, los mecanismos de control y las recomendaciones de mantenimiento. En cada una de las etapas, se requieren equipos especializados cuidadosamente seleccionados según las especificaciones del proyecto, una planificación detallada para garantizar que las piezas sean fabricadas y colocadas en el orden conveniente y mano de obra calificada con especialización en cada una de las actividades que se llevan a cabo. Debe ser prioridad en todo momento la seguridad del personal involucrado. Asimismo, el control de calidad es esencial en todas las etapas para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras.

Podemos asegurar que la construcción de estructuras de acero en la edificación es un proceso complejo que demanda un enfoque meticuloso, apoyado en las normas y reglamentos en la materia, con la participación coordinada de quienes intervienen en su realización.

Se podrá garantizar así, la durabilidad, la seguridad y la funcionalidad de las edificaciones construidas con acero.



Bibliografía

- Aceros Poltech. (2024). *Corte de placa con Plasma en pantógrafo* [Fotografía]. Poltech. <https://poltech.mx/corte-de-placa-pantografo>
- American Institute of Steel Construction. (2016). *Specification for structural Steel buildings* [Archivo PDF]. Disponible en <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/a360-16-spec-and-commentary.pdf>
- American Welding Society. (2013). *Manual de Inspección de Soldadura. Traducción de la tercera edición de Welding Inspection Handbook* [Archivo PDF]. Disponible en https://pubs.aws.org/Download_PDFS/WI-2000SP-ES.pdf?srsltid=AfmBOoqtIj5XtAYr5KGxT-z49humsaRCKEX0_7HfJrX5t4NPH4wY9Bc9
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (mayo 2006). *Términos y definiciones para soldeo en relación con la Norma EN 1792*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0036204>.
AENOR
- Attenhauser F. (2015). *Grúa telescópica de 129 T demuestra su efectividad durante su primera aplicación en Max Bögl* [Fotografía]. SENNEBOGEN. <https://www.sennebogen.com/es/noticias/noticias-y-prensa/grua-telescopica-de-120-t-demuestra-su-efectividad-durante-su-primera-aplicacion-en-max-boegl>
- Bearcat. (21 de diciembre de 2020). *Métodos de unión: los remaches* [Fotografía]. BEARCAT S.A. <https://bearcat.es/2020/12/21/metodos-de-union-los-remaches/>
- Cándido. (2018). *Alma de Herrero. Edificios de acero* [Fotografía]. Blogger. <https://almadeherrero.blogspot.com/2018/02/edificios-de-acero.html>
- Charazo Rosario C. (s.f.). *Diseño de Conexiones* [Archivo PDF]. GERDAU CORSA. Disponible en https://www.gerdaucorsa.com.mx/sites/mx_gerdau/files/PDF/DISENO%20DE%20CONEXIONES_2019-min-min.pdf
- Ferrocement®. (2024). *Grouting en columnas* [Fotografía]. <https://www.ferrocement.com.ar/proyectos/grouting-en-columnas>
- GAMMANDT. (2017). *Dye Penetrant Inspection* [Fotografía]. <https://en.gammandt.com/urun/dye-penetrant-inspection.html>
- Gobierno de la Ciudad de México. (06 de noviembre de 2023). *Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*



- [Archivo PDF]. Consejería Jurídica y de Servicios Legales: Gaceta Oficial de la Ciudad de México: Disponible en https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/b3c4f4ff37241d0a93cc6742a8b0bf2f.pdf
- Grúas y Aparejos. (2024) *Grúas Telescópicas* [Fotografía]. <https://gruasyaparejos.com/grua-telescopica/gruas-telescopicas/>
- Grupo Compresores y Maquinaria. [Canal Compresores y Maquinaria] (31 de enero de 2020). *¿Como usar una olla de sand blast | olla sandblaster 272 kg | Grupo Compresores y Maquinaria?* [Archivo de Video]. YouTube. <https://youtu.be/Pos7S3dJk4o?si=aulCa0sV3iMkwKvF>
- Grupo UNISERSA. (26 de noviembre de 2019). *Tratamientos anticorrosivos para estructuras metálicas* [Fotografía]. <https://grupounisersa.com/2019/11/26/tratamientos-anticorrosivos-para-estructuras-metalias/>
- Gutiérrez E. (2018). *Proyectos: Elaboración de Planos de Fabricación y Montaje de Estructuras Metálicas* [Ilustración]. Blogger. <https://edgar-gutierrez.blogspot.com/2018/04/proyectos-de-elaboracion-de-planos-de.html>
- HEMPEL. (diciembre de 2018). *ISO 12944:2018. Resumen de los principales cambios para especificaciones y aplicadores* [Archivo PDF]. Disponible en <https://www.hempel.com/es-es/-/media/files/local/eu/brochures/es/iso-booklet-es.ashx>
- HIAB. (2024). *Grúas de Carga* [Fotografía]. MYCSA Grúas – Hiab. <https://www.hiab.com/es/productos/gruas-de-carga>
- Ingeniería Metálica. (s.f.). *Fabricación de estructuras de acero* [Fotografía]. <https://ingenieriametalica.com/fabricacion-estructuras-de-acero/>
- Instituto Mexicano de la Construcción en Acero. (2014). *Manual de Construcción en Acero*. (5ª edición). LIMUSA
- ITQM Servicios de Inspeccion y Gestion de Calidad. (2024). *Equipos de izaje. Torres Grúa* [Fotografía]. <https://www.ensayosnestructivos.com.ec/torres-grua.html>
- Masion. (s.f.). *Everything You Must Know About Metal Sandblasting* [Fotografía]. <https://sheetmetalmasion.com/metal-sandblasting/>
- Nagoadmin21. (2023). *Pintado general de maquinaria industrial* [Fotografía]. NAGO electric. <https://nagoperu.com/pintado-general-de-maquinaria-industrial/>



- Orozco J. (2019). *Uniones y conexiones en estructuras de acero* [Fotografía]. Láminas y Aceros. <https://blog.laminasyaceros.com/blog/uniones-y-conexiones-en-estructuras-de-acero>
- Pinturas y Decoraciones Llorca. (2017). *Pintura intumescente e ignífuga: definición y aplicación* [Fotografía]. Llorca Pintura y Decoración. <https://pinturasllorca.es/pintura-intumescente-e-ignifuga-definicion-aplicacion/>
- QUVANA Herramientas. (s.f.). *Equipos de Sand-Blast* [Fotografía]. <https://www.quvana-fabricaciones.com/equiposdesandblast>.
- Ruiz Construcciones Metálicas. (s.f.). *Logística de estructuras metálicas de acero a medida* [Fotografía]. RCM. <https://www.ruizcm.com/logistica-de-estructuras-metalicas>
- Santiago. (2021). *Los 5 mejores medidores de espesores de pintura de 2021, comparativa de precios y funciones* [Ilustración]. Kusitest. <https://www.kusitest.pe/los-5-mejores-medidores-de-espesor-de-pintura-de-2021-comparativa-de-precios-y-funciones>
- Secretaría de Gobernación. (1988). *Diario Oficial de la Federación (DOF)* [Archivo PDF]. Disponible en <https://dof.gob.mx/abrirPDF.php?archivo=18051988-MAT.pdf&anio=1988&repo=repositorio/>
- SISTERE DE CHIAPAS. (2013). *Especialistas en Relevado de Esfuerzos* [Fotografía]. Blogger. <https://relevadodeesfuerzo.blogspot.com/>
- SITSA. (2024). *Grúas telescópicas sobre orugas*. <https://sitsa.com.mx/gruas/gruas-telescopicas-sobre-orugas>
- Soto S. A. (s.f.). *La Soldadura de pernos de acero conectores de cortante* [Fotografía]. IMCA Instituto Mexicano de la Construcción en Acero. <https://www.imca.org.mx/newsletters/news23.php>
- Tecresa Protección Pasiva S. L. (2024). *Soluciones Constructivas Tecwool® F: Tecwool® F – Protección elementos de acero (vigas y pilares)* [Fotografía]. mercor® tecresa. <https://mercortecresa.com/morteros-tecwool/tecwool-f/proteccion-de-elementos-de-acero>.
- Vélez Moreno L. M. (2009). *Materiales de Construcción: El Acero* [Gráfico]. Blogger. <https://materialesparaconstruir.blogspot.com/2009/03/el-acero.html>



World Steel Association. (2012). *The white book of Steel* [Archivo PDF]. Disponible en <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/The-white-book-of-steel.pdf>



Índice de Figuras

Figura 1. <i>Obreros almorzando sobre una viga de acero durante la construcción del Rockefeller Center.....</i>	2
Figura 2. <i>Gráfica esfuerzo-deformación típica del acero sujeto a tensión</i>	12
Figura 3. <i>Designación IMCA para perfiles de acero estructural.....</i>	15
Figura 4. <i>Actividades que comprende la construcción de una estructura de acero.....</i>	16
Figura 5. <i>Ejemplo de plano de taller</i>	17
Figura 6. <i>Corte de placa con pantógrafo</i>	20
Figura 7. <i>Aplicación del sandblasteo sobre una estructura de acero.....</i>	23
Figura 8. <i>Equipo para aplicar chorros de material granular a las piezas de acero (sandblasteo).....</i>	24
Figura 9. <i>Aplicación de “primer” en estructura de acero</i>	26
Figura 10. <i>Aplicación de esmalte en estructura de acero</i>	27
Figura 11. <i>Aparato digital para medir el espesor de la capa de película aplicada en una estructura de acero.....</i>	27
Figura 12. <i>Viga de acero lista para ser transportada a la obra</i>	29
Figura 13. <i>Armadura de acero sobre plataforma lista para ser transportada a la obra ..</i>	29
Figura 14. <i>Aplicación de grout en la base de una columna de acero</i>	31
Figura 15. <i>Colocación de pernos de cortante</i>	31
Figura 16. <i>Grúa Hiab maniobrando una estructura de acero.....</i>	32
Figura 17. <i>Grúas telescópicas montadas sobre camión maniobrando de manera coordinada una estructura de acero de gran tamaño</i>	33
Figura 18. <i>Grúa telescópica montadas sobre orugas en trabajo de montaje de una estructura de acero.....</i>	33
Figura 19. <i>Torre grúa en montaje de una estructura de acero.....</i>	34
Figura 20. <i>Árbol de conexiones</i>	35
Figura 21. <i>Aplicación de soldadura en una unión de elementos de estructurales de acero.....</i>	36
Figura 22. <i>Símbolos básicos de soldar.....</i>	38
Figura 23. <i>Símbolos suplementarios a los símbolos básicos de soldar.....</i>	38
Figura 24. <i>Simbología para uniones soldadas.....</i>	39



Figura 25. <i>Estructura de acero con uniones atornilladas</i>	42
Figura 26. <i>Remaches para unir elementos de acero</i>	44
Figura 27. <i>Elementos de una estructura de acero unidos con remaches</i>	45
Figura 28. <i>Prueba de líquidos penetrantes</i>	47
Figura 29. <i>Aplicación de pinturas intumescente en estructuras de acero</i>	48
Figura 30. <i>Protección de estructura de acero contra el fuego con mortero ignífugo</i>	48

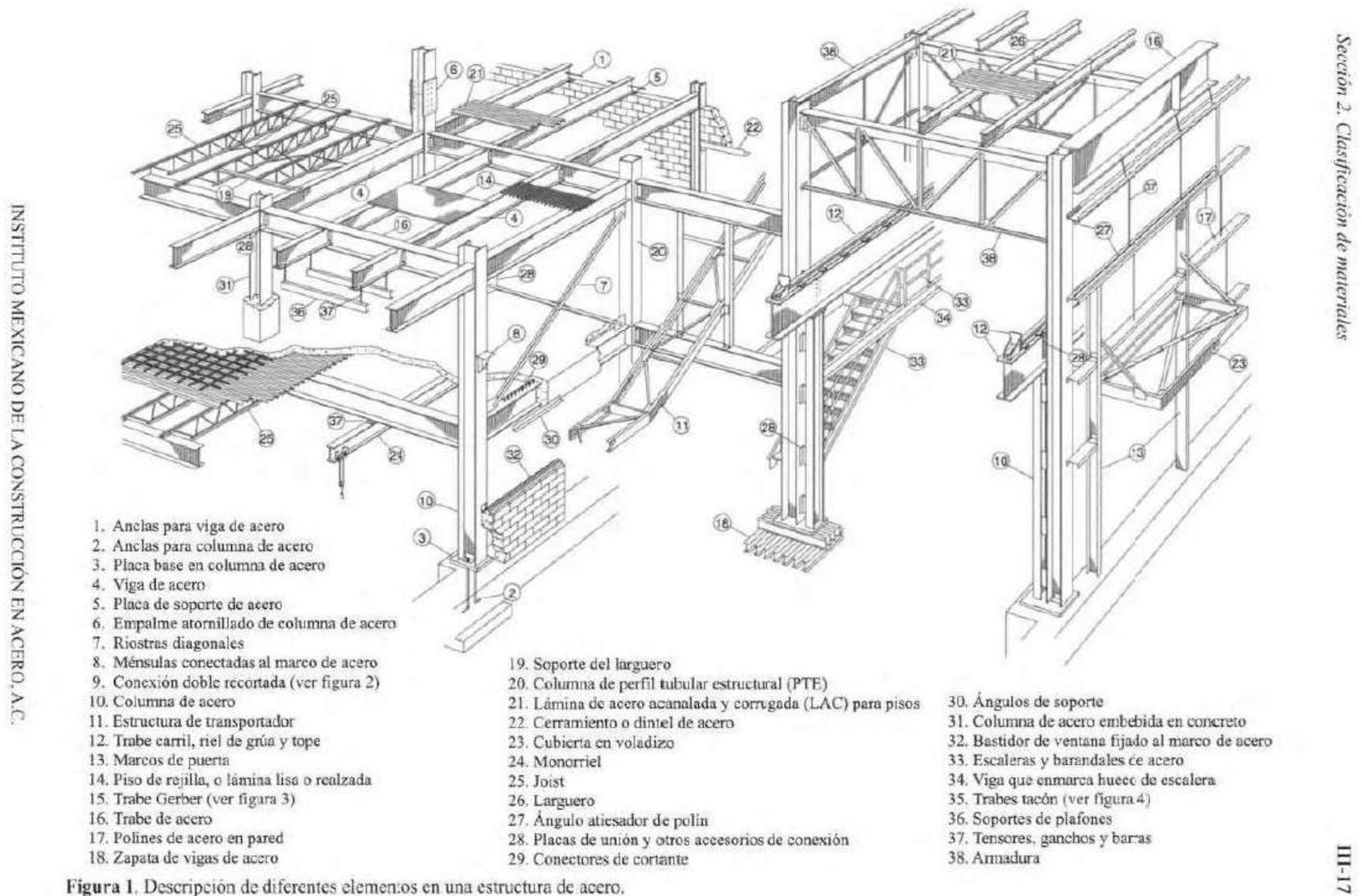


Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Designación de los perfiles estructurales de acero</i>	14
Tabla 2. <i>Tiempo estimado que durará el recubrimiento</i>	21
Tabla 3. <i>Corrosión en condiciones atmosféricas</i>	21
Tabla 4. <i>Pérdida de masa por unidad de superficie/pérdida de grosor^a</i>	22
Tabla 5. <i>Especificaciones de grúas montadas sobre orugas de la marca Grove</i>	34
Tabla 6. <i>Tipos básicos de juntas y soldaduras aplicables</i>	39
Tabla 7. <i>Tornillos de alta resistencia utilizados en conexiones estructurales</i>	42
Tabla 8. <i>Tensión de apriete de tornillos de alta resistencia</i>	43



Anexo A. Descripción de diferentes elementos en una estructura de acero⁶



⁶ (Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, 2014)

Este trabajo fue desarrollado por académicos y alumnado adscrito al Departamento de Construcción de la División de Ingenierías Civil y Geomática con recursos del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME PE101724).

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Facultad de Ingeniería (FI)

**Dirección General de Asuntos
del Personal Académico
(DGAPA)**

