4

Construcción

Instituto Técnico
de la Estructura
en Acero



ITEA

ÍNDICE DEL TOMO 4

CONSTRUCCIÓN

Lección 4.1.1: Fabricación general de estructuras de acero I 1

1 INTRODUCCIÓN 4
2 TIPOS DE CONTRATO Y ORGANIZACIÓN 5
2.1 General 5
2.2 Procedimientos contractuales 5
2.3 Plan 5
2.4 Delineación 5
3 PROCEDIMIENTOS DE FABRICACIÓN 7
3.1 Organización del taller 7
3.2 Manipulación y preparación de materiales 8
3.3 Plantillas y marcaje 8
3.4 Líneas de corte y perfiles laminados 8
3.5 Taladrado y líneas de vigas 9
3.6 Cizallas, Guillotinas y Punzonado 10
3.7 Oxicorte de chapa 10
3.8 Prensado y conformado 11
3.9 Métodos de soldeo 11
3.10 Plan de soldeo y control de la distorsión 12
3.11 Misión del ingeniero soldador 12
3.12 Producción en serie de vigas armadas 13
3.13 Operaciones de mecanizado 13
3.14 Tolerancias de fabricación 13
3.15 Premontaje en el taller 14
3.16 Inspección y Control de Calidad 14

4 RESUMEN FINAL 15
5 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 15

Lección 4.1.2: Fabricación general de Estructuras de Acero II 17

1 INTRODUCCIÓN 20
2 FACTORES ECONÓMICOS 21
2.1 Material 21
2.2 Fabricación 22
2.3 Protección de las estructuras de acero 23
2.4 Transporte 23
2.5 Factores comerciales 24
3 EJEMPLOS DE CÓMO SE MEJORA EL PROYECTO 25
4 RESUMEN FINAL 27
5 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 27

Lección 4.2.1: Montaje I 29

1 INTRODUCCIÓN 32
2 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA 33
3 ORGANIZACIÓN DE LA OBRA 34
3.1 Tareas principales en la obra 34
3.2 Estimación de necesidades 34
3.3 Instalaciones básicas y condiciones de la obra 34
3.4 Mano de obra directa 35
3.5 Grúas, herramientas y otros equipos 35
4 RESUMEN FINAL 36
5 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 36

Lección 4.2.2: MONTAJE II 37

1 INTRODUCCIÓN 40
2 PROCEDIMIENTOS DE MONTAJE 41

2.1 Recepción, descarga y manipulación del material de construcción.... 41
2.2 Cimientos y placas de asiento (nivelado, medición, etc.) 42
2.3 Armado y montaje 42
2.4 Uniones atornilladas en la obra 43
2.4.1 Tornillos ordinarios 44
2.4.2 Tornillos de alta resistencia (HSFG) 44
2.4.2.1 Método de torsión regulada 44
2.4.2.2 Método de giro parcial 44
2.4.2.3 Indicadores de carga 45
2.4.2.4 Colocación 45
3 RESUMEN FINAL 46
4 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 46

Lección 4.2.3: Montaje III 47

1 INTRODUCCIÓN 50
2 UNIONES SOLDADAS EN OBRA 51
3 CONTROL DE CALIDAD 52
3.1 Manual de garantía de calidad 52
3.2 Programa de control de calidad 52
3.3 Programa de inspección 52
4 SEGURIDAD EN EL MONTAJE 53
5 RESUMEN FINAL 54
6 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 54

Lección 4.3: Principios de soldadura 55

1 INTRODUCCIÓN 58
2 TIPOS DE UNIÓN 59
3 MÉTODOS PARA HACER UNA UNIÓN SOLDADA 60
4 ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LAS SOLDADURAS 62
5 PREPARACIÓN DE BORDES PARA SOLDADURA A TOPE 64

6 PROCEDIMIENTO DE SOLDEO 66
6.1 Corriente 66
6.2 Posición de la soldadura 66
6.3 Medio ambiente 66
7 RETRACCIÓN 67
8 RESUMEN FINAL 68
9 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 68

Lección 4.4: Procesos de soldadura 69

1 INTRODUCCIÓN-FUENTES DE CALOR Y MÉTODOS DE COBERTURA 72
2 SOLDEO MANUAL DE METALES AL ARCO 73
3 SOLDEO DE METAL CON GAS NOBLE (MAG) 75
4 SOLDEO CON ARCO SUMERGIDO (SAW) 77
5 SOLDADURA DE CONECTORES 78
6 ELECCIÓN DEL PROCESO 79
7 RESUMEN FINAL 80
8 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 80

Lección 4.5: Fabricación y montaje de edificios 81

1 INTRODUCCIÓN-FABRICACIÓN 84
2 ESTRUCTURA DEL COSTE 85
3 RED DE PRODUCCIÓN 86
3.1 Producción primaria y secundaria 86
3.2 Organización del taller-Preparación del material 86
3.3 Organización del taller-Montaje y acabado 87
4 PROYECTO/ECONOMÍA DE LOS DETALLES 89
5 GENERALIDADES-MONTAJE 91
5.1 Planificación de la obra 91
5.2 Organización de la obra 91
5.3 Comienzo 91
5.4 Operaciones 92

5.5 Edificios de una planta 92
5.6 Edificios de varias plantas 93
5.7 Tiempo 94
5.8 Seguridad 95
6 RESUMEN FINAL 96
7 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 96

Lección 4.6: Inspección/Garantía de Calidad 97

1 INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES 100
2 OBJETIVOS 102
3 MÁRGENES DE SEGURIDAD 103
3.1 Variaciones del proceso 103
3.2 Grandes errores 103
4 RESPONSABILIDADES 104
4.1 Intervención 104
4.2 Evolución mediante la experiencia 104
4.3 Causas de los fallos y su prevención 104
4.4 Programación 105
4.5 Especialización 105
4.6 Registros 105
5 TIPOS PRINCIPALES DE INSPECCIÓN 106
5.1 Proyecto 106
5.2 Fabricación 106
6 FASES DE LA INSPECCIÓN 107
7 MÉTODOS DE INSPECCIÓN, PROPÓSITO Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN 108
7.1 Identificación 108
7.2 Análisis químico 108
7.3 Ensayos mecánicos 109
7.4 Análisis dimensional 109
8 RESUMEN FINAL 111
9 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 111

Problema resuelto Nº: 4.1 (i) y (ii): Garantía de Calidad/Control de Calidad y Sistemas de Garantía de Calidad 113

1 GARANTÍA DE CALIDAD/CONTROL DE CALIDAD 116
1.1 Propósito 117
1.2 Definiciones 117
1.3 Responsabilidades 117
1.4 Descripción 117
1.4.1 Sistemas de garantía de calidad 117
1.4.2 Manual de garantía de calidad 117
1.4.3 Procedimientos 118
1.4.4 Subcontratistas y proveedores 118
1.4.5 Auditorías de calidad 118
1.4.6 Plan de calidad 118
1.4.7 Sistema de garantía de calidad mediante análisis por parte de la dirección 119
1.5 Referencias 119
2 SISTEMA DE GARANTÍA DE CALIDAD 120
2.1 Introducción 121
2.2 Bases del sistema de calidad 121
2.3 Programa de garantía de calidad 121
2.4 Manual de garantía de calidad 121
2.5 Procedimientos de Tabajo Generales 121
2.6 Plan de calidad 122
2.7 Procedimientos de Proyecto Específicos 122
2.8 Definiciones 122
2.9 Referencias 123
2.10 Matriz de referencia de la ISO 9001 124
2.11 Muestra del desglose de los Procedimientos de Trabajo Generales ... 125
DIAPOSITIVAS COMPLEMENTARIAS 127

ESDEP TOMO 4
CONSTRUCCIÓN

Lección 4.1.1: Fabricación general de estructuras de acero I

OBJETIVOS/CONTENIDO

Dar una descripción somera del proceso de fabricación de estructuras de acero; señalar los factores que influyen en los costes de fabricación y destacar la importancia de que el proyectista tenga en mente el proceso de fabricación al redactar el proyecto.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

No hay ninguno esencial.

Las siguientes lecciones pueden ser útiles:

Lección 3.1: Características de las aleaciones de hierro y carbono

Lección 3.2: Procesos de fabricación y conformado

Lección 3.3: Propiedades físicas de los metales

Lección 3.4: Calidades y tipos de acero

Lección 3.5: Selección de la calidad del acero

LECCIONES AFINES

Lección 4.3: Principios de soldadura

Lección 4.4: Procesos de soldadura

Lección 4.5: Fabricación y montaje de edificios

Lección 5.1: Corrosión general

Lección 17.8: Estructuras petrolíferas: Fabricación

Lección 18.10: Introducción a la construcción de puentes

RESUMEN

La lección resume brevemente los tipos de contrato y organización habituales en la fabricación de estructuras de acero. Examina los procesos de fabricación, con descripciones breves de las operaciones principales.

1. INTRODUCCIÓN

El objeto de esta lección es dar a conocer los aspectos de la fabricación de estructuras de acero. Sólo se puede lograr que el proyecto de una estructura de acero sea óptimo considerando su fabricación y montaje al mismo tiempo que las necesidades funcionales, arquitectónicas y estructurales.

Para reducir el coste total y producir un proyecto óptimo de la estructura de acero, importa que las distintas especialidades que intervienen trabajen coordinadamente en forma de equipo en todas las fases del proyecto.

El coste de fabricación no depende sólo de la fabricación misma, también influyen el alcance del contrato, el procedimiento de contratación y la organización. La mano de obra que interviene en la fabricación tiene gran efecto en los costes. Un buen proyecto se centra en reducir la manipulación y preparación del material; se hace notar al respecto que en los procedimientos y secuencias de fabricación influye la protección superficial que requiere la obra de acero. También debe prestarse atención cuidadosa a otros aspectos, como las características de los materiales, la distorsión y las tolerancias.

2. TIPOS DE CONTRATO Y ORGANIZACIÓN

2.1 General

El tipo de contrato y la organización dependen mucho de la clase de obra, de la propiedad y del fabricante. Es práctica común que el contrato con la empresa de construcciones metálicas comprenda la fabricación y montaje y la confección de los planos de detalle; esto favorece mucho la competencia, ya que en el coste de fabricación de una estructura de acero influye mucho la preocupación por el coste al resolver los detalles de ingeniería.

Las obras grandes, como rascacielos, puentes y estructuras marinas, suelen ser proyectadas por firmas consultoras de ingeniería especializada con un contrato aparte; sin embargo, no es raro que el proyecto total de estructuras más comunes (pórticos, etc.) lo realice el fabricante bajo un contrato conjunto con la propiedad.

2.2 Procedimientos contractuales

Después de recibir el encargo y acordar las condiciones, se pasan copias de los documentos principales a la oficina de proyectos. Estos documentos suelen ser los siguientes:

- Planos de ingeniería.
- Condiciones del contrato.
- Especificación técnica.
- Programa del contrato.

2.3 Plan

El buen fin de un contrato suele depender del cumplimiento con los requisitos del programa del proyecto; las desviaciones del programa pueden tener efectos muy serios sobre el coste y los retrasos podrían perjudicar mucho a los otros oficios participantes y posteriormente a la propiedad.

El programa se suele confeccionar en un formato de barras fundado en las técnicas de red, entre ellas el análisis de camino crítico.

Los elementos esenciales son:

- Secuencia de montaje;
- Compra de materiales a la acería;
- Elaboración de planos de taller;
- Preparación de los materiales;
- Fabricación;
- Armado;
- Tratamiento de protección;
- Entrega a pie de obra.

Todos los elementos se planean a plazos fijos y coordinados con las actuaciones paralelas de otros contratos que se realicen al mismo tiempo. Si el programa de montaje impone exigencias de trabajo en taller superiores a la capacidad del fabricante, se hace necesario subcontratar trabajos en conjunción con los requisitos de garantía y control de calidad (GC y CC).

2.4 Delineación

Únicamente se pueden confeccionar los planos con rapidez y economía si el ingeniero consultor proporciona toda la información precisa acerca de la geometría de la estructura, dimensiones de los elementos y los esfuerzos y momentos de las uniones. Sin la información oportuna, habrá retrasos muy caros, no solo en delineación de proyectos, sino en toda la cadena de producción. Las variaciones del proyecto una vez acabados los planos ocasionan gastos extra. Y peor aún, habrá más gastos extra si hay que modificar el trabajo ya realizado en el taller; las modificaciones hechas en obra suelen ser muy costosas, en particular si producen retrasos en el programa.

La delineación de los planos se divide en tres fases:

- Preparación y comienzo del trabajo.
- Dibujo de los detalles.
- Revisión de los planos.

El tiempo y dinero dedicado a la confección de los planos depende mucho del grado de

repetición y de la complejidad del proyecto; una atenta consideración de estos extremos antes de empezar a trabajar en detalle produce planos que comuniquen eficazmente y sin ambigüedades las condiciones de la estructura a los operarios del taller y al personal de montaje.

En un centro de trabajo provisto de máquinas trazadoras modernas, manejadas por delineantes bien formados, el ritmo de producción de planos es mayor. También producen planos de mejor calidad y es más fácil incorporar modificaciones. Es posible la transmisión telefónica a distancia. Estos equipos tienen además la ventaja de producir automáticamente listas de materiales y cintas de control numérico (CN) para fabricación.

3. PROCEDIMIENTOS DE FABRICACIÓN

3.1 Organización del taller

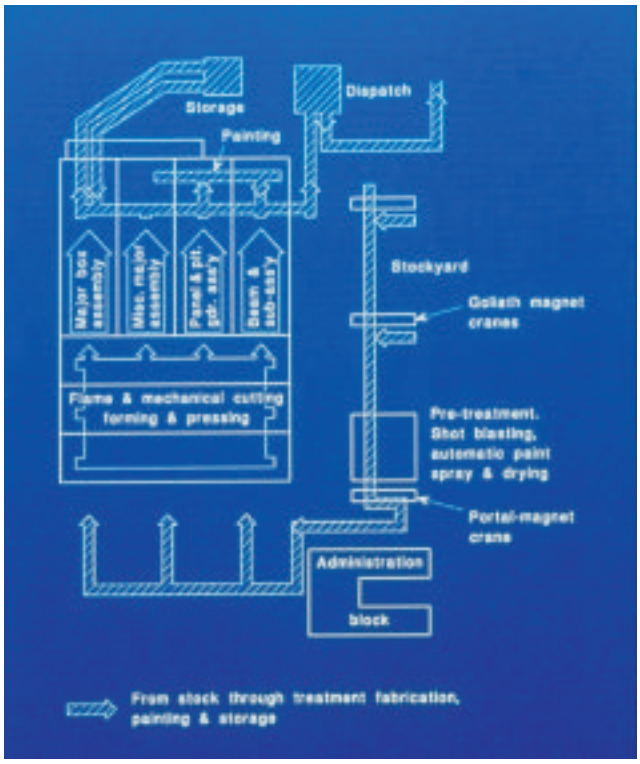
Los fabricantes de estructuras van desde pequeñas empresas generalistas hasta grandes fábricas especializadas que disponen de distintos equipos. En todo caso, la fabricación debe organizarse siempre de modo que el material circule por el taller en un solo sentido desde que entra hasta que sale (diapositiva 1). Un diagrama de circulación, como el de la diapositiva 2, muestra las principales actividades de un taller moderno; las actividades concretas de la fabricación de una estructura sencilla también se pueden organizar mediante un diagrama de circulación (diapositiva 3).



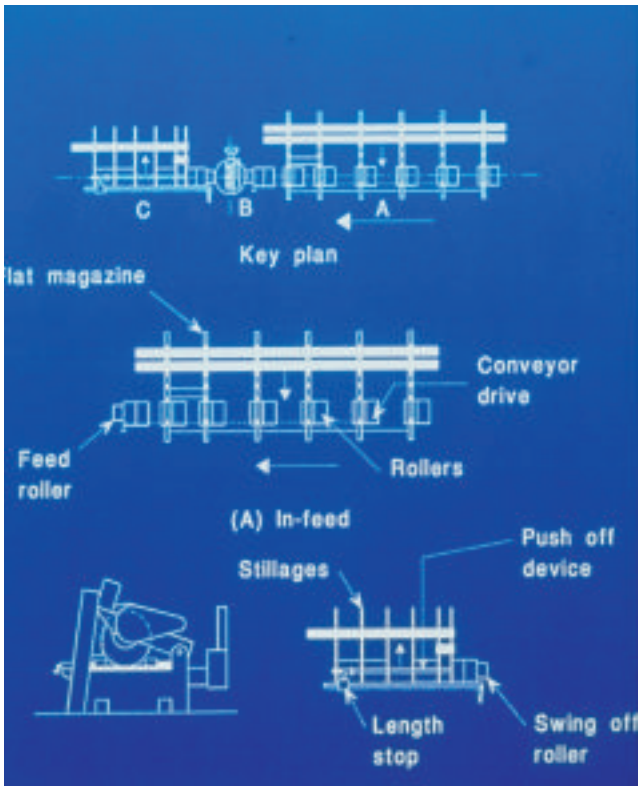
Diapositiva 1

La mayor parte de los talleres están dotados de puentes grúas móviles, a veces con control a distancia desde el suelo. En talleres grandes son comunes los sistemas de cintas transportadoras. Se reducen así mucho los costes de acarreo.

Se deben prever instalaciones especiales para almacenar materiales inflamables, e instalarse tuberías para gas y oxígeno. Las áreas de soldadura requieren un elevado suministro de energía eléctrica y pantallas para proteger la vista contra la luz ultravioleta. Ciertas operaciones, como el desbastado mecánico y el corte por arco, causan mucho polvo y ruido. Por lo tanto,



Diapositiva 2



Diapositiva 3

siempre que sea posible, deben separarse de las demás zonas de trabajo.

3.2 Manipulación y preparación de materiales

El material se almacena temporalmente de modo que sea fácil identificarlo y moverlo. Algunas empresas apilan el material de modo que se facilite el acceso y traslado con grúas con cadenas y ganchos. En otras se maneja el material con mucha automatización, mediante grúas y transportadores de izado magnético; en la diapositiva 4, por ejemplo, se ve una grúa móvil magnética Goliath capaz de izar chapas y perfiles (la diapositiva 5 muestra una operación similar). Los datos de dimensión, longitud, peso y calidad del acero perteneciente a una marca de identificación se registran por medios informáticos.

Si es necesario, se granalla el acero, ya sea a mano o mecánicamente. Algunas instalaciones automatizadas pueden detectar las medidas de los elementos. Puede seguir la pintura con pistola (a mano o automática), pero en función del programa de producción; por ejemplo, si hay que soldar, se debe pintar posteriormente.

3.3 Plantillas y marcaje

El acero se puede marcar directamente trazando a mano líneas de corte y ejes de taladros; pero actualmente casi todos los talleres tienen máquinas automáticas programables. Tradicionalmente se hacían plantillas a tamaño natural de madera o cartón grueso para trazar las líneas de corte y los ejes de los taladros que debían hacerse en el acero.



Diapositiva 5

A veces se producen piezas repetidas por medio de una plantilla de acero taladrada para evitar el desgaste. Aún se trabaja con plantillas, en especial para chapas y cartelas de unión pequeñas, pero las propias plantillas se trazan por métodos automáticos una vez trazados en la sala de dibujo con ordenador. Esta técnica reduce mucho el trabajo del trazador de plantillas tradicional.

3.4 Líneas de corte y perfiles laminados



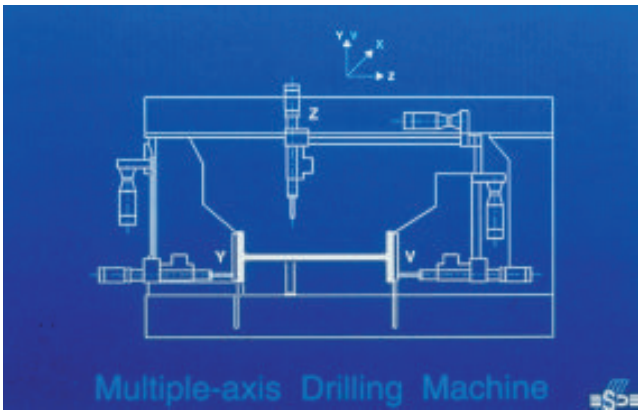
Diapositiva 4



Diapositiva 6



Diapositiva 7



Diapositiva 9

En casi todos los casos los perfiles laminados se sierran a su longitud, siendo otras posibilidades el corte mecánico o a el oxicorte. El fabricante dispone de tres tipos de sierra:

- Sierra circular;
- Sierra de cinta;
- Sierra oscilante a motor.

Sin duda, la sierra con más ventajas es la circular en frío, porque su rendimiento es mayor que el de la sierra de cinta o la oscilante. En muchos casos estas sierras van montadas en líneas automatizadas, dotadas de transportadores longitudinales y laterales y sistemas de medición, como se ve en las diapositivas 6 y 7.

La precisión de la sierra es de una fracción de milímetro en longitud y del 0,2% del canto en escuadra. El tipo más exacto está provisto de un brazo giratorio que hace descender la hoja sobre el perfil. La velocidad de la hoja se ajusta automáticamente al atravesar la pieza. Un sistema de sierra totalmente automático se dirige por medio de control numérico.



Diapositiva 8

3.5 Taladrado y línea de vigas

El método de taladrado tradicional consiste en tres operaciones:

- Marcar la posición de los taladros que han de realizarse;
- Llevar la pieza al taladro con grúa, transportador u otro medio;
- Taladrar el orificio mediante, por ejemplo, un taladro radial (radio: alrededor de 1,5 metros).

Los talleres actuales mejor equipados tienen líneas automáticas para trabajar vigas en serie (diapositiva 8), generalmente enlazados a los elementos de transporte de la línea de corte. Un transportador longitudinal mueve la viga (diapositiva 9) a lo largo del eje Y, llamado V y X a cada ala, y las brocas que taladran el alma se trasladan en el sentido del eje Z.

Este sistema, como la línea de corte, se dirige por programas informáticos; algunas máquinas están provistas de cabezas taladradoras múltiples que les permiten taladrar varios orificios simultáneamente en cada eje (diapositivas 10 a 12).



Diapositiva 10

Existen unas brocas espirales nuevas, capaces de alcanzar mayores velocidades y rendimientos, a saber:

- Brocas refrigeradas que triplican la velocidad de perforación.
- Brocas forradas de nitruro de titanio que sextuplican la velocidad de perforación.
- Brocas con punta de carburo con velocidades de perforación excepcionales.

3.6 Cizallas, Guillotinas y Punzonado

Los perfiles pequeños de reducido espesor se pueden cortar con cizalla.

Las chapas de hasta 25 mm de espesor se pueden cortar con guillotina, pero la fuerte presión de contacto de la hoja inferior suele deformar la chapa y por tanto sólo puede hacerse si lo permite la especificación. Sin embargo, las punzonadoras modernas que funcionan a gran velocidad deforman menos el material.

Es mucho más rápido punzonar el acero que taladrarlo, y por lo tanto menos costoso; pero el punzonado se reduce generalmente a las estructuras de poco espesor con carga predominantemente estática o elementos secundarios, salvo que las uniones sean con tornillería de alta resistencia o los taladros se escarien a mayor diámetro. El máximo espesor al que se puede aplicar el punzonado depende de la clase y calidad del material.

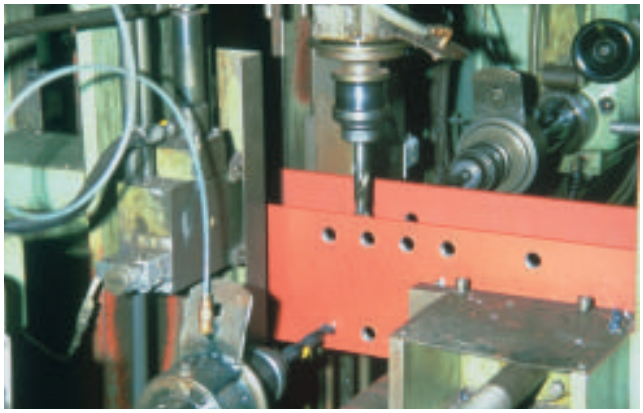
3.7 Oxicorte de chapa

El biselado y oxicorte de chapas es práctica general en muchos talleres. El oxígeno y el propano se suelen guardar a granel en depósitos exteriores y alimentan al taller por tuberías. El equipo para cortar a la llama va desde el soplete manual hasta multilanzas con control numérico (diapositiva 13). Para cortar chapas anchas se disponen varios cabezas a fin de asegurar la misma temperatura a cada lado, evitándose así la deformación. Se puede dotar incluso el tren de corte de tres sopletes para producir cantos con doble bisel.

Las máquinas de una sola cabeza pueden operar dirigidas por un cabezal óptico, siguiendo un perfil trazado en papel a escala



Diapositiva 11



Diapositiva 12



Diapositiva 13

1:10 o tamaño natural. El perfilado lo suelen realizar máquinas con control numérico que también pueden marcar la posición de los agujeros y estampar marcas de identificación.

Si no se considera esencial la precisión de los bordes, hay otros métodos con mayor velocidad de corte, como corte con plasma bajo agua o bajo polvo inerte. El corte con láser empieza a introducirse, pero por ahora se reduce a chapas finas; no obstante, la poca precisión del borde resultante lo hace inadecuado para ciertas aplicaciones.

El fabricante debe estar al tanto de que el oxicorte siempre causa contracción, por las mismas razones que el soldeo.

El oxicorte simétrico de las chapas reduce la distorsión. El mecanizado de un solo lado produce deformación debido la tensión residual.



Diapositiva 14

3.8 Prensado y Conformado

Para el fabricante moderno, la aplicación más importante del prensado y conformado de chapas es aumentar la gama disponible de perfiles laminados. Un buen ejemplo es la viga artesa trapezoidal con la que se rigidizan tableros de puente (diapositiva 14). Otro ejemplo son las secciones tubulares de dimensiones mayores que las normalizadas (diapositiva 15).

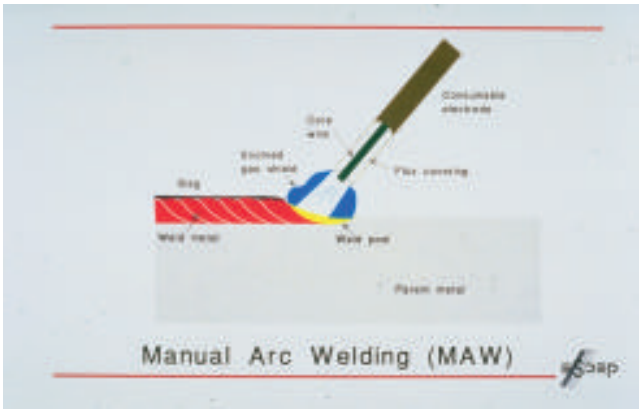


Diapositiva 15

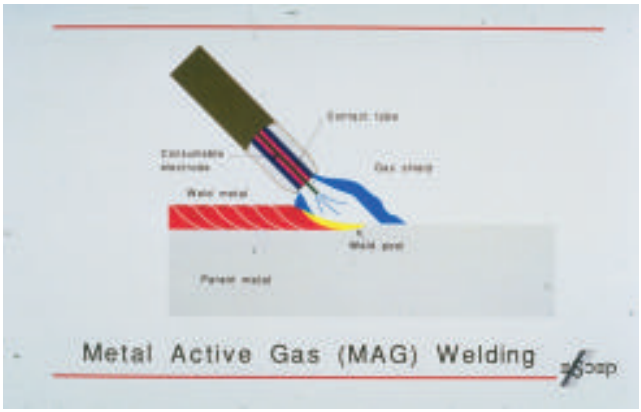
3.9 Métodos de soldeo

Son tres los procesos de soldeo más utilizados en los talleres modernos:

- Soldeo manual con arco para piezas auxiliares y ciertas soldaduras de perfiles y posicionales (diapositiva 16);



Diapositiva 16



Diapositiva 17

- Soldeo de metales con gas activo (MAG) y soldadura con varilla forrada, con y sin gas (diapositiva 17);

- Soldeo con arco sumergido (diapositiva 18) en procesos totalmente automáticos; particularmente útil para soldadura pesada en posición horizontal o vertical y cordones largos en vigas armadas.

- Soldeo de conectores al arco eléctrico, principalmente en estructuras mixtas de acero y hormigón.

3.10 Plan de soldeo y control de la distorsión

Como la soldadura de penetración completa es más difícil de hacer que la de resistencia total, sólo debe soldarse a penetración completa donde sea preciso, como las uniones donde pueden producirse grandes tensiones de fatiga. Un correcto diseño de soldeo refleja los aspectos económicos y ventajas de los distintos tipos de soldeo, eligiendo los adecuados a las necesidades del proyecto.

La soldadura de resistencia total se logra fácilmente soldando en ángulo; soldaduras con penetración completa sin inclusiones en el centro, sólo se consigue preparando bordes por la parte posterior antes de soldar el otro lado. El riesgo de fallos en la soldadura de penetración completa es mucho mayor y la distorsiones son mucho más difíciles de evitar.

Las distorsiones se reducen pretensando los elementos antes de soldarlos o aplicando calor por igual a cada lado del eje del perfil. También deben calcularse las tolerancias de acuerdo a la contracción total debida a la soldadura. La calidad de los ajustes es muy importante pues las holguras excesivas influyen en la distorsión y aumentan la contracción.

Es difícil mantener la calidad de la soldadura al final del cordón. En la soldadura a tope el problema se resuelve soldando chapas en cada extremo, que se quitan al terminar la soldadura.

3.11 Misión del ingeniero soldador

Los procedimientos de soldadura son responsabilidad del ingeniero soldador, quien



Diapositiva 18



Diapositiva 19

redactará una hoja con procedimientos para cada tipo de soldadura. También comprobará que el soldador está calificado según la norma exigida.

Igualmente debe supervisar los ensayos no destructivos (END) que se realicen por medios radiográficos, ultrasónicos, partículas magnéticas o líquidos penetrantes.

3.12 Producción en serie de vigas armadas

Las vigas armadas soldadas son una manera de suplementar la gama de perfiles laminados existente. La secuencia de producción típica es como sigue:

- Las chapas para las vigas se ensayan con ensayos no destructivos por si hubiera hojas procedentes de la laminación u otros defectos; luego se oxicortan a la medida precisa y se chorrean con granalla.

- Las vigas se fijan firmemente en posición y se sueldan por puntos; sigue el soldeo con arco sumergido, moviéndose las cabezas por las líneas de soldadura (diapositivas 19 y 20). Los rigidizadores que hagan falta se sueldan por puntos y luego, generalmente, con soldadura MAG.

La soldadura simultánea de ambas alas reduce la distorsión.



Diapositiva 20



Diapositiva 21

3.13 Operaciones de mecanizado

Casi todos los talleres disponen de cepilladoras, fresadoras radiales y máquinas para mecanizar la superficie de la chapa (diapositiva 21).

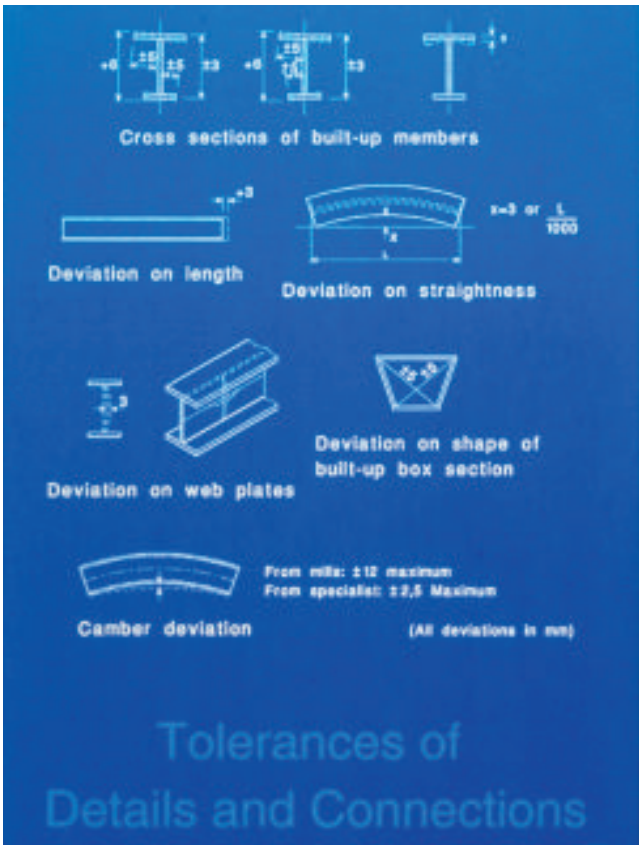
Las asperezas de los bordes de la chapa, a menudo debidas al oxicorte, se suprimen cepillándolas.

Los bordes de las piezas se cepillan para conseguir una escuadra mejor que la que produce la sierra. El eje de la pieza se alinea con la cabeza de corte mediante métodos de rayo láser óptico.

Sólo es necesario mecanizar las superficies de apoyo especiales, y a veces, la placa de asiento de los pilares sobre el forjado.

3.14 Tolerancias de fabricación

Los talleres modernos regulan con precisión las dimensiones de las piezas fabricadas y no tienen dificultad para cortar el material laminado a su tamaño. El mayor problema estriba en la inexactitud de los perfiles y planchas que sirve la



Diapositiva 22

acería. Las Euronormas (EN) y las normas ISO establecen las tolerancias dimensionales de los perfiles, chapas y pletinas, perfiles huecos y angulares laminados. Las alas de los tramos de viga en los puntos de unión críticos se enderezan con plegadora. Como se ha dicho, reducir la distorsión debida a la soldadura es un factor importante para producir con precisión perfiles soldados.

Los detalles y las uniones han de proyectarse de modo que se respeten las tolerancias dentro de los límites de la buena ejecución. Se da un ejemplo en la diapositiva 22.

3.15 Premontaje en el taller

A veces es preciso comprobar las correctas dimensiones del producto premontando una parte de la estructura en el taller.

Es probable que lo requieran las partes de la estructura de un puente, en especial las destinadas al extranjero, o que pertenezcan a instalaciones complejas.

El premontaje es caro y debe evitarse si es posible incorporando al proyecto medios de ajuste en obra y con perfecta control de las medidas.

3.16 Inspección y Control de Calidad

El control de calidad debe empezar en el proyecto y seguir durante la elaboración de los planos y el acopio de materiales; el mantenimiento de la calidad en todo el proceso de producción depende mucho de los detalles de fabricación y de los materiales que se acopien.

Los fabricantes grandes tienen un control de calidad propio que crea y mantiene un manual de Calidad describiendo el método de trabajo en todo el proceso de fabricación. El departamento de control de calidad se integra con la dirección del taller para asegurar que todos los trabajadores poseen la formación que exige el trabajo y los soldadores la homologación para ejecutar los procedimientos de soldadura prescritos.

Es necesario realizar revisiones periódicas que aseguren que:

- Todos los materiales coinciden con los especificados.
- Se examine el material por si hubiese hojas o defectos de laminación.
- Los electrodos de soldadura sean identificables.
- Los electrodos de soldar se almacenen en las condiciones exigidas.
- Se sigan los procedimiento de soldadura.
- Se inspeccionen las soldaduras mientras se ejecutan.
- Se han implantado procedimientos correctos para apretar los tornillos de alta resistencia
- Las marcas de identificación son claras y visibles.
- Todo el equipo se conserva en perfecto estado.

Debe mantenerse siempre un enlace estrecho entre el personal de control de calidad y el de delineación.

4. RESUMEN FINAL

1. Un buen proyecto aprovecha eficazmente los materiales y prevé debidamente las tolerancias de fabricación y montaje.
2. Es indispensable la buena colaboración entre el taller y la delineación para que la fabricación y montaje sea económico y eficaz.
3. Los operarios deben trabajar con toda la eficacia posible para reducir los costes de mano de obra. Debe recurrirse a procesos automáticos cuando sea posible y apropiado.
4. El control de calidad es esencial.

5. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

1. Davies, B. J. y Crawley, E. J., Structural Steelwork Fabrication, British Constructional Steelwork Association (BCSA), Londres, 1980.

2. Arch, W. H., Structural Steelwork - Erection, British Constructional Steelwork Association (BCSA), Londres, 1989.

3. Firkins, A., Fabrication Cost of Structural Steelwork, Steel Construction, Vol. 24, No. 2, Australian Institute of Steel Construction, 1990.

4. Wardenier, J., Design and Fabrication of Steel Structures, Engineering Design of Welded Construction, IIW 1992, Houdremont lecture, Pergamon Press, 1992.

5. Varios autores, Steel Construction Today, Vol. 5, No 3, Steel Construction Institute, Mayo 1991.

6. Eurocode 3: “Design of Steel Structures”: ENV 1993-1-1: Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings, CEN, 1992.

ESDEP TOMO 4
CONSTRUCCIÓN

Lección 4.1.2: Fabricación general de Estructuras de Acero II

OBJETIVOS/CONTENIDO

Esta lección debe considerarse un suplemento de la lección de introducción 4.1.1.

Trata de la gestión general de la fabricación en el taller con relación al coste del trabajo terminado. También contiene algunos ejemplos de cómo se evitan las complicaciones durante la fabricación.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Esencial:

Lección 4.1.1:	Fabricación general de estructuras de acero I

También pueden ser de utilidad las siguientes lecciones:

Lección 3.1:	Características de las aleaciones de hierro-carbono
Lección 3.2:	Procesos de fabricación y conformado
Lección 3.3:	Propiedades físicas de los metales
Lección 3.4:	Clases y calidades del acero
Lección 3.5:	Selección de la calidad del acero

LECCIONES AFINES

Lección 4.3:	Principios de soldadura
Lección 4.4:	Procesos de soldadura
Lección 4.5:	Fabricación y montaje de edificios
Lección 17.8:	Estructuras petrolíferas: Fabricación
Lección 18.10:	Introducción a la construcción de puentes

RESUMEN

Esta lección trata del desglose del coste de la estructura metálica suministrada en obra. Se refiere a los costes bajo los epígrafes de materiales, fabricación, tratamiento superficial, transporte y factores comerciales. Se dan ejemplos sobre cómo mejorar cada partida para disminuir los costes.

1. INTRODUCCIÓN

Esta lección es una continuación de la lección 4.1.1 y se centra más en los costes relacionados con la manipulación de los materiales y el equipo de fabricación; ofrece varias sugerencias para mejorar los proyectos y facilitar una fabricación más económica.

2. FACTORES ECONÓMICOS

Los programas modernos de cálculo de costes determinan el de las estructuras de acero partiendo de las partes que las componen. Calculan el coste del material, manipulación, preparación, soldadura, tornillería, etc., de cada elemento.

Pero el precio de la construcción metálica se oferta a menudo por tonelada de material empleado, fabricación, pintura y suministro en obra. En una construcción sencilla, el coste del material es a menudo igual al de elaboración de los planos, la fabricación, la pintura y el suministro. Sólo en estructuras complejas, el coste de la fabricación supera en mucho el valor del material.

Los tipos clásicos de las estructuras de acero en orden ascendente de coste por tonelada son los siguientes:

- Estructuras simples de viga y pilar de perfiles laminados;
- Estructuras de pórtico de una planta de perfiles universales;
- Puentes simplemente apoyados de perfiles laminados:
- Estructuras de varias plantas con algunos perfiles armados;
- Estructuras con tramos de vigas armadas y secciones en cajón;
- Estructuras de perfiles tubulares;
- Estructuras de tolvas y silos;
- Puentes con vigas armadas o en cajón de construcción mixta;
- Puentes trapezoidales con losa ortótropa;
- Estructuras especiales con gran cantidad de soldaduras;
- Estructuras de plataformas petrolíferas marinas.

El desglose del coste de construcciones “medias” puede ser el siguiente:

- Material 38%
- Fabricación 32%
- Delineación 6%
- Tratamiento de protección 10%
- Entrega 4%
- Factores comerciales 10%

Todos estos capítulos se examinan en los siguientes apartados, excepto la delineación de planos, de lo que se trató en una lección anterior.

2.1 Material

El acero puede comprarse directamente al fabricante o a un almacenista. En general, los pedidos grandes, si el plazo lo permite, conviene comprarlos al fabricante, puesto que los precios son del 10 al 15% más bajos que en el almacén. Sin embargo, las cantidades pequeñas (de unas 10 toneladas) podría ser más interesante comprárselas al almacenista.

Al preparar el programa de construcción debe considerarse el plan de producción de la acería, ya que ciertos perfiles se laminan con menor frecuencia que los más habituales.

El constructor de estructuras encarga el acero procurando que los despuntes sean mínimos. Suele asignar a despuntes alrededor del 2,5%, que luego se venden como chatarra.

El precio fijado por los fabricantes está basado en partidas de 20 toneladas o más de acero dulce y longitudes de hasta 15 metros, cortados con una tolerancia de 50 milímetros.

Los precios por tonelada son más altos para pequeñas cantidades de perfiles y para aceros de más calidad con especificaciones más estrictas.

La chapa se pide por espesores y en varios anchos y largos, con suficiente margen para cortar y cantear, reduciendo el despunte lo más posible.

Las secciones tubulares circulares y las rectangulares se compran a un precio fijo por tonelada. Se añadirán unos cargos por peque-

ñas cantidades y por menor tolerancia de longitud.

El precio del acero depende también de la certificación que se requiera. Tienen un cargo extra las exigencias adicionales respecto a la composición química y las propiedades mecánicas y de ductilidad, p. ej.: uniformidad en dirección transversal (grado Z) supone extracoste.

Teniendo en mente estos puntos, el fabricante hace un análisis de todo el material que necesita para realizar el trabajo para que los extras por pedidos pequeños sean mínimos. Por la misma razón, el ingeniero experimentado evita hacer el proyecto con demasiadas perfiles diferentes.

El coste de materiales debe incluir los artículos de almacén, como tornillos y consumibles de soldeo, etc.

2.2 Fabricación

La fabricación depende de los medios y equipos de que disponga el taller. El trabajo bajo techo aumenta el rendimiento al ser independiente del tiempo atmosférico. El fabricante en gran escala monta cadenas de producción eficaces con control numérico (no hay que marcar el acero) para corte, sierra, cizallado, taladrado, punzonado y soldadura. El rendimiento de estas máquinas es muy alto cuando se producen grandes cantidades. Puede que los fabricantes pequeños todavía hagan plantillas o marquen el acero directamente para cortarlo o taladrarlo.

Las fábricas modernas utilizan mucho las transportadoras de rodillos motorizadas; la capacidad de carga de los puentes-grúa y de los rodillos multirruedas limitan el peso de los conjuntos armados. En último caso, el piso del taller ha de tener suficiente capacidad portante.

Algunas fábricas tienen instalaciones de granallado y pintura a pistola automáticas.

A veces hay que precalentar el material (diapositiva 1) o darle un tratamiento térmico después de soldar (diapositiva 2), por ejemplo si el material es de gran espesor, pero a menudo puede evitarse especificando debidamente la calidad del acero y el procedimiento de soldadura.



Diapositiva 1



Diapositiva 2



Diapositiva 3



Diapositiva 4

2.3 Protección de las estructuras de acero

El coste de la protección superficial varía según el sistema elegido; los sistemas siguientes están ordenados por orden ascendente de precio:

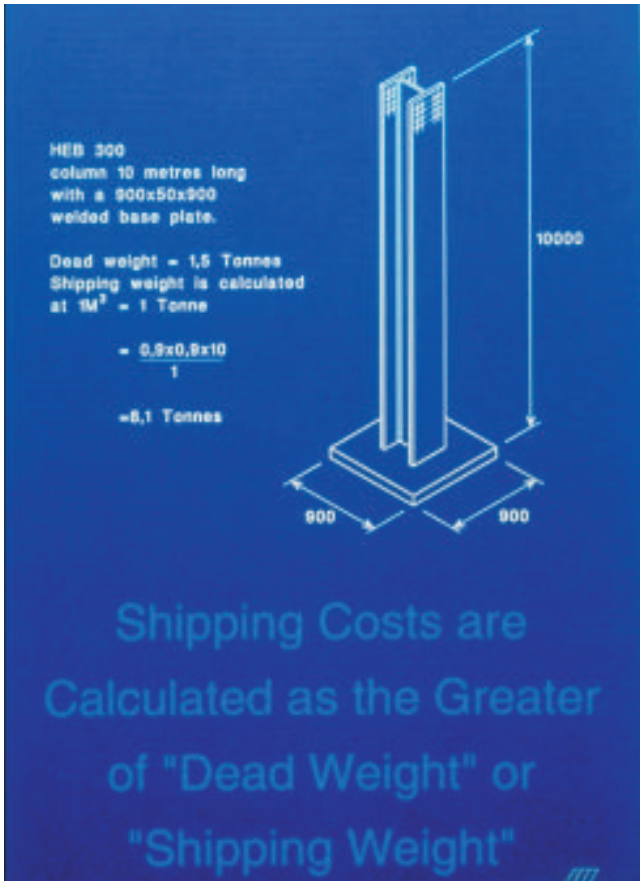
- La estructuras interiores cubiertas sin tratamiento;
- Cepillado e imprimación como preparación para pintura posterior;
- Galvanizado por inmersión;
- Granallado y metalización;
- Granallado y cuatro manos de tratamiento de pintura.

Aunque aumente considerablemente el coste del transporte, es muy importante manipular el material con sumo cuidado después de pintarlo. También ocasiona costes extra tener que dejar partes sin pintar, como las superficies que deben estar sin pintar para unirlas con tornillos de alta resistencia, o para soldarlas en obra.

2.4 Transporte

Generalmente es más caro transportar conjuntos armados que piezas sueltas de la estructura. El peso o las dimensiones que excedan de las dimensiones de los vehículos normales originan gastos extra. La normativa varía entre los países. Las diapositivas 3 y 4 muestran las normas en vigor establecidas por el Ministerio de Transportes del Reino Unido.

El coste de embarcar una estructura de acero al extranjero es a veces más del 10% del coste total de suministro. El precio del transporte se basa en el peso o en el volumen de la



Diapositiva 5

estructura. Se aconseja tener en cuenta los costes desde el principio. No es raro que el "peso de embarque" (coeficiente de estiba) de una estructura quintuplique el peso real (diapositiva 5). Para reducir dichos costes es deseable realizar la mayor parte posible del montaje en la obra.

2.5 Factores comerciales

Los costes de fabricación deben incluir factores comerciales tales como los seguros, riesgo y beneficio industrial, y podrían incluir también los de liquidez, avales bancarios y los que originen las retenciones de garantía.

En muchos contratos la propiedad se compromete a pagar por fases; las condiciones pueden estipular pagos al acopiar el material, al finalizarse los planos, durante la construcción, después del suministro en obra o del montaje, lo que ayuda a financiar el trabajo. No obstante, el fabricante ha de calcular el coste de los intereses de sus pagos diferidos y el de las retenciones, que la propiedad puede mantener durante uno o dos años.

3. EJEMPLOS DE CÓMO SE MEJORA EL PROYECTO

El fabricante que se preocupa del coste hará una valoración del proyecto con arreglo a los siguientes criterios:

a. Fabricación,
b. Transporte,
c. Montaje,
d. Inspección,
e. Mantenimiento,
f. Gastos generales.

a. La chapa de la sección HE que se muestra en la diapositiva 6a no se puede soldar con doble cordón en ángulo. Debe hacerse con un solo cordón o una soldadura de penetración parcial o total por una cara.

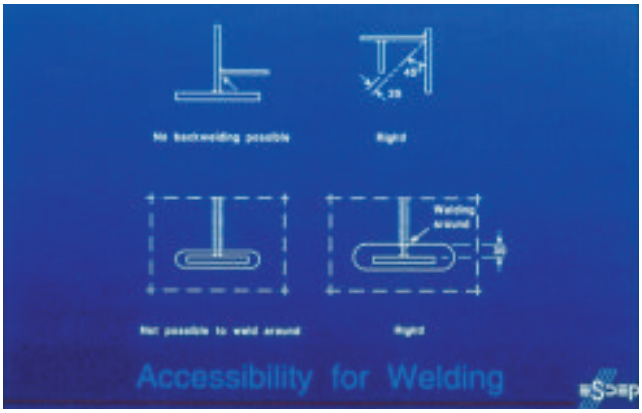
Las dimensiones mostradas en la Diapositiva 6a son demasiado pequeñas para soldar debidamente por el interior. Debe hacerse una sola soldadura en ángulo de penetración parcial o total con un cordón ortogonal y dar otra solución para la cartela rigidizadora.

Es muy importante el acceso para soldar (diapositiva 7). Las uniones solapadas de las celosías de elementos tubulares (diapositiva 8) son menos flexibles cuando se requieren tolerancias dimensionales para hacer ajustes. Si hay que soldar las zonas inaccesibles entre los tirantes y cordones, las piezas verticales no se pueden colocar a menos que se hagan en dos piezas, que cada una de las cuales exigirá más corte, soldadura e inspección.

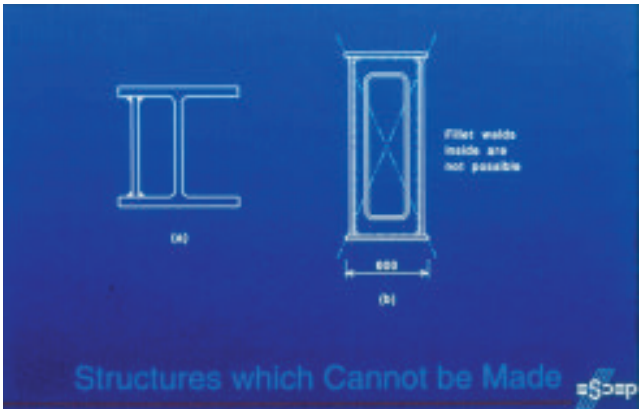
Estas complicaciones no surgirían haciendo uniones con holgura. Una diagonal excéntrica serviría en este caso, si de otro modo la excentricidad excediese de lo permitido.

b. Las dimensiones de los conjuntos prearmados vienen limitadas por:

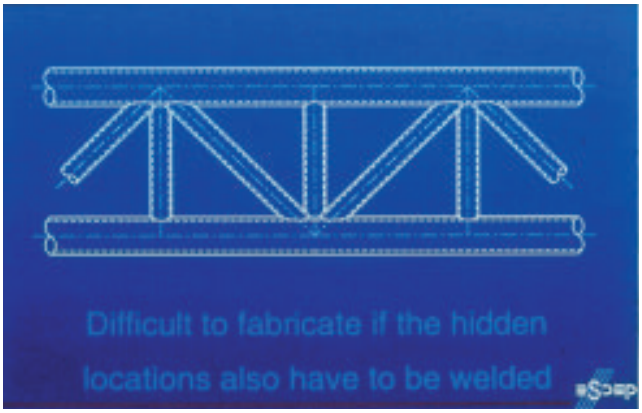
- la anchura y gálibo de puentes y viaductos y el límite de carga y las nor-



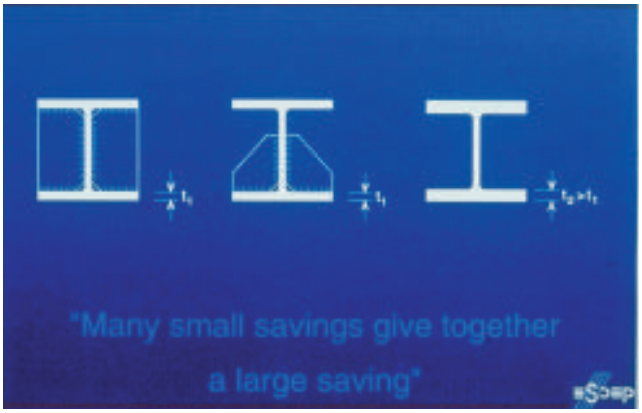
Diapositiva 7



Diapositiva 6a y 6b



Diapositiva 8



Diapositiva 9

mas de tráfico si se transportan por carretera.

- la capacidad de las gabarras (carga y estabilidad), el calado, el gálibo y anchura de vano de los puentes, capacidad de las esclusas, etc., si se transportan por vía acuática.

- la capacidad portante de la playa y el puerto, la marea durante la descarga, etc., en el caso de que la gabarra cargue o descargue en el taller o la obra.

En general, hay que considerar las cargas que origine el sistema de transporte sobre la estructura, como esfuerzos, apoyos, estabilidad del conjunto integrado, etc.

c. Deben examinarse los métodos de montaje e instalación respecto a la existencia en la obra de los equipos de izado necesarios, tales como grúas móviles, cabrias de tijera, grúas flotantes, etc.

Es importante considerar las capacidades netas, teniendo en cuenta radios de giro, altura de izado y peso total del equipo de elevación, incluyendo grilletes y eslingas.

d. La inspección de uniones soldadas inaccesibles, tales como la que muestra la diapositiva 8, presenta una seria dificultad. Esta es otra razón para estudiar otra solución alternativa, como se ha dicho en el apartado a).

e. Deben evitarse con vistas al mantenimiento, las esquinas y las formas que permitan la entrada de agua y polvo. El proyecto estructural debe prever el granallado, la pintura y otros tratamientos de protección.

f. Deben evitarse rigidizadores en vigas de tablero, como se ve en la diapositiva 9, reduce el coste considerablemente.

En muchas especificaciones el método de inspección se relaciona con el tipo de soldeo sin considerar su importancia estructural. En muchos casos una soldadura de penetración total, que exige una inspección rigurosa, se puede sustituir por otra en ángulo más económica.

La elección del espesor de la chapa tiene un efecto considerable sobre la calidad del acero, la temperatura de precalentamiento, los electrodos para soldar y las inspecciones requeridas.

4. RESUMEN FINAL

1. El ingeniero proyectista debe pensar en los procedimientos de fabricación y montaje y evitar gastos innecesarios.
2. El material acopiado en grandes cantidades es más barato. Han de evitarse en lo posible las cantidades pequeñas de perfiles distintos.
3. El número de piezas que hayan de manipularse debe reducirse al mínimo y evitarse el exceso de rigidizadores.
4. Deben disminuirse las deformaciones causadas por la soldadura y las tolerancias de fabricación.
5. Las técnicas de fabricación automática reducen los costes.
6. Un proyecto cuidadoso reduce el coste del envío, especialmente al extranjero.
7. Es esencial un buen control de la calidad, pero las especificaciones no deben ser más estrictas de lo necesario puesto que encarecen la obra.

5. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

1. Davies, B. J. y Crawley, E. J., Structural Steelwork Fabrication, British Constructional Steelwork Association (BCSA), Londres, 1980.

2. Arch, W. H., Structural Steelwork - Erection, British Constructional Steelwork Association (BCSA), Londres, 1989.

3. Firkins, A., Fabrication Cost of Structural Steelwork, Steel Construction, Vol. 24, No. 2, Australian Institute of Steel Construction, 1990.

4. Wardenier, J., Design and Fabrication of Steel Structures, Engineering Design of Welded Construction, IIW 1992, Houdremont lecture, Pergamon Press, 1992.

5. Varios autores, Steel Construction Today, Vol. 5, No 3, Steel Construction Institute, Mayo 1991.

6. Eurocode 3: “Design of Steel Stuctures”: ENV 1993-1-1: Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings, CEN, 1992.

ESDEP TOMO 4
CONSTRUCCIÓN

Lección 4.2.1: Montaje I

OBJETIVO/CONTENIDO

Dar a los estudiantes, ingenieros jóvenes y directivos una introducción a la industria de montaje de construcciones en acero.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

No es esencial ninguno.

Pueden ser de utilidad las siguientes lecciones:

Lecciones 4.1.1 y 4.1.2:	Fabricación general de estructuras de acero
Lección 4.3:	Principios de soldadura
Lección 4.4:	Procedimientos de soldadura

LECCIONES AFINES

Lecciones 4.2.2 y 4.2.3:	Montaje
Lección 4.4:	Fabricación y montaje de edificios
Lección 17.8:	Estructuras marítimas: Fabricación
Lección 18.10:	Introducción a la construcción de puentes

RESUMEN

Esta lección destaca la importancia de considerar el montaje en todas las fases del proyecto. Describe los requisitos principales de una especificación técnica y trata también de los aspectos de la organización de la obra.

1. INTRODUCCIÓN

Es muy importante considerar el montaje de la construcción metálica desde las primeras fases del proyecto. Tanto el ingeniero autor del proyecto como el fabricante deberían considerar lo siguiente:

- **Uniones en obra:** las uniones hechas en obra deben hacerse con pernos, no soldadas.

- **Prearmado:** el fabricante debe reducir las uniones en obra al número indispensable para minimizar el coste del proyecto. El tamaño y peso de los conjuntos de acero estructural está limitado por la capacidad de la obra y el taller, el peso permitido y los gálibos del transporte disponible y las condiciones de la obra.

- **Dimensiones:** todas las medidas necesarias para el montaje en obra deben acotarse en los planos.

- **Programa:** el orden del montaje debe considerarse parte integral del proyecto y fijarse y documentarse desde el principio.

- **Marcado:** las marcas hechas en todas las piezas deben ser claras y uniformes en todo el proyecto.

- **Recursos:** es esencial asegurar que se dispone de los recursos apropiados con arreglo al método de montaje en obra.

El equipo de montadores en la obra debe asegurar que:

- los trabajadores conozcan las normas y reglamentos sobre la materia y los cumplan.

- los cambios de procedimiento que se hagan necesarios durante el montaje se convengan con el ingeniero y se corrijan los documentos técnicos en concordancia.

- se disponga de equipo de elevación adecuado para los conjuntos prearmados que deban izarse.

- se instalen medios de auxiliares de montaje, tales como andamios, escaleras y plataformas, que permitan atornillar y soldar satisfactoriamente.

Por lo tanto, el montaje de construcciones metálicas es una actividad que exige un estudio detallado tanto en el proyecto de ingeniería como en la organización. Los apartados 2 y 3 de esta lección tratan estos aspectos bajo el título de Especificación técnica y Organización de la obra.

2. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

La especificación técnica del montaje debe redactarse lo antes posible y ha de describir las condiciones que debe tener la obra y las normas técnicas en vigor. La documentación debe tratar los siguientes aspectos:

- Orden básico del montaje.
- Especificaciones de montaje, (véase abajo).
- Normas en vigor.
- Organización de la obra.
- Espacio disponible en la obra.
- Estimación del número de horas-hombre.
- Personal de montaje.
- Herramientas principales de la obra.
- Programa de montaje.
- Planos de montaje.
- Plan de seguridad.
- Programa de control de calidad.

Especificaciones de montaje

Las especificaciones de montaje deben contener con el mayor detalle posible, la información siguiente:

1. Necesidades para la descarga, acopio y manipulación.
2. Detalles de los conjuntos que deban llevarse prearmados a la obra.
3. Tolerancias de dimensión y nivel, incluso las exigidas a la cimentación y placas base.
4. Especificación de las actividades del montaje mismo, como tornillería, soldaduras y ensayos.

3. ORGANIZACIÓN DE LA OBRA

3.1 Tareas principales en la obra

La organización que necesite la obra dependerá especialmente de la magnitud del proyecto; tratándose de un proyecto grande, podría dividirse, por ejemplo, en las siguientes secciones:

- Oficina técnica.
- Programación y planificación.
- Ejecución y producción.
- Administración.
- Seguridad.
- Control de calidad.
- Gestión laboral.

3.2 Estimación de necesidades

La Figura 1 es un ejemplo de organigrama para el caso extremo de un proyecto de montaje de una estructura de acero de gran tonelaje. El gráfico es aplicable a una plantilla de montaje directo de unas 125 personas.

3.3 Instalaciones básicas y condiciones de la obra

La empresa de montaje debe disponer de los servicios básicos en la obra para su personal, incluyendo oficina adecuada, servicios sanitarios y áreas de almacén. También debe asegurarse que la obra tenga los suministros necesarios para el montaje, tales como electricidad, gas, aire comprimido, etc. Estas instalaciones y suministros deben cumplir las siguientes requisitos:

1. Estar situados, en lo posible, próximos al lugar de trabajo, con fácil acceso a la obra sin estorbar de ningún modo el progreso del trabajo;

2. Estar bien construidas cumpliendo al menos los mínimos requisitos legales;

3. Tener medios de comunicación;

4. Ser mantenidos en buen estado durante todo el trabajo y retirarlos a la finalización.

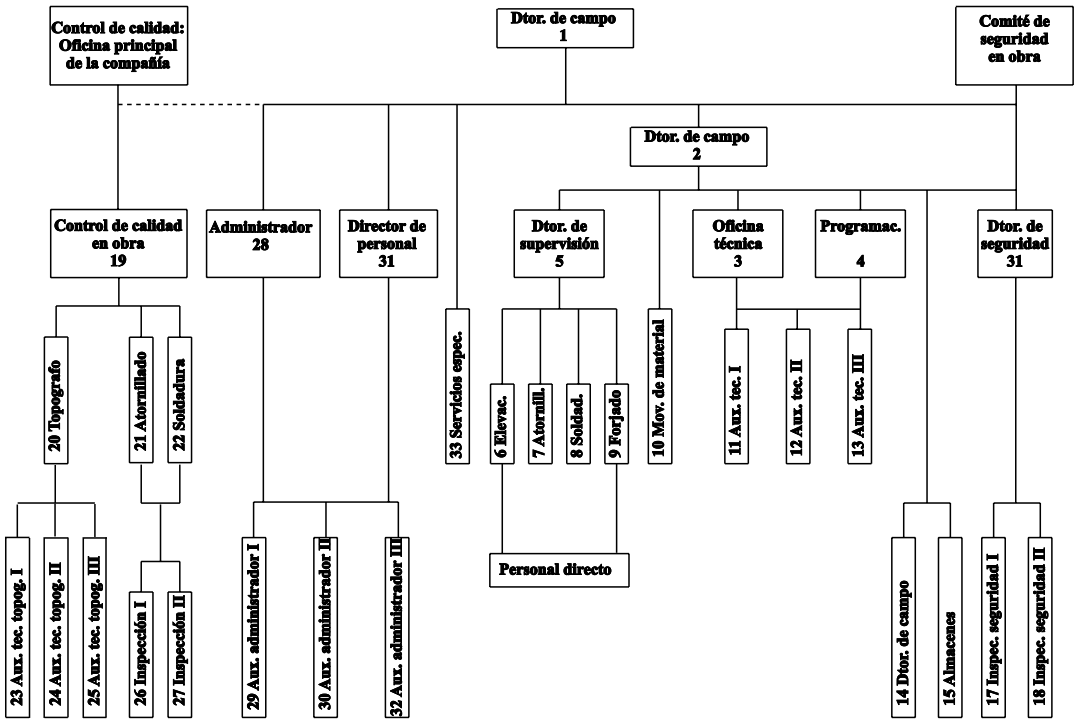


Figura 1 Organización en obra para el montaje de una gran estructura de acero

3.4 Mano de obra directa

Para programar correctamente el proceso de montaje y prever exactamente el plazo de terminación y los costes, es esencial calcular los recursos humanos directos necesarios.

La mano de obra se calcula normalmente sobre el número de horas-hombre necesario para montar la construcción metálica. Se logra una estimación suficiente desglosando el peso del montaje por unidades (pilares, vigas, riostras, forjados, etc.) y asignándoles distintos valores por peso (en horas) con arreglo a la experiencia anterior.

Para un cálculo más exacto, se puede valorar cada actividad, además de en términos de tiempo, en cuanto al personal necesario para ejecutarla. El producto de multiplicar el tiempo (en horas) por el número de trabajadores por equipo, arroja las horas-hombre de cada actividad, que sumadas, dan las horas-hombre directas que requiere la ejecución de todo el trabajo.

3.5 Grúas, herramientas y otros equipos

Una vez decidido el proceso de montaje, se pueden definir las herramientas y equipos necesarios para ejecutarlo, ello debe incluir:

- Grúas de varios tipos.
- Equipo de transporte.
- Equipo especial para el montaje, tales como tornapuntas, etc.
- Cabrestantes (eléctricos y neumáticos).
- Equipo para tornillería, como llaves dinamométricas, de trinquete, torsiométricas, etc...
- Equipo para soldar, incluyendo mangueras, sopletes y estufas.
- Compresores de aire.
- Grupos electrógenos.
- Gatos hidráulicos.
- Instrumentos de medición, como taquímetros, niveles, cintas, y equipos láser.
- Equipos varios, como poleas, vigas separadoras, etc..
- Cables, eslingas, grilletes, etc..
- Herramientas para manipulación.

El elemento más pesado, el que vaya a montarse más alto, o la pieza que requiera la máxima capacidad de izado (radio y peso) marca la capacidad máxima de la grúa que se utilice.

En la Figura 2 se muestran las capacidades de carga de una grúa torre.,

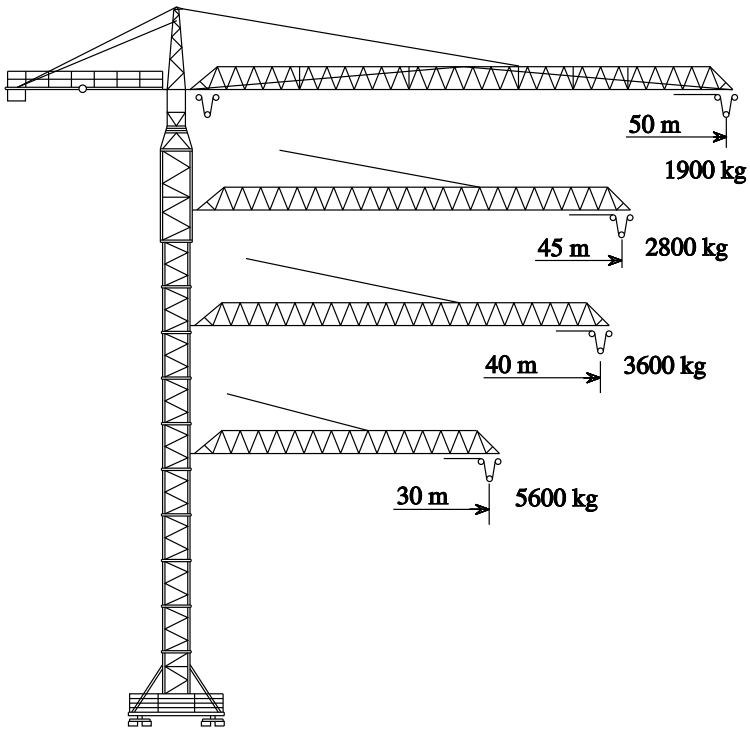


Figura 2 Grúa torre

4. RESUMEN FINAL

1. El ingeniero y el fabricante por igual deben estudiar las necesidades del montaje desde el primer momento del proyecto.
2. La especificación técnica del montaje debe describir las condiciones que debe haber en la obra y las normas técnicas en vigor; debe también describir en detalle cómo ha de montarse la estructura; es decir, descarga, prearmado, tolerancias, uniones, etc.
3. Debe estudiarse atentamente la organización de la obra en términos de mano de obra, herramientas e instalaciones y servicios en la obra.

5. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

1. Arch, H., Erection, Chapters 33 - Steel Designers' Manual, Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1992.

2. Thornton, W. A., "Design for Cost Effective Fabrication and Construction", Chapter 7.1 Constructional Steel Design, Londres, Elsevier Applied cience, 1992.

3. Miller, E. W., "Erection of Steel Structures", Chapter 7.2 Construction Steel Design, Londres, Elsevier Applied Science, 1992.

4. Potter, P. D., "Fast Steel Erection": Steel Fabrication Journal, No. 46, Febrero 1983, Australian Institute of Steel Construction.

5. The Steel Construction Industry Code of Practice for Sage Erection of Building Steelwork: Part 2 - Multi-storey Buildings and Structures, Australia, Australian Institute of Steel Construction, 1989.

6. Eurocode 3: "Design of Steel Structures" ENV 1993-1-1: Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings, CEN, 1992.

ESDEP TOMO 4
CONSTRUCCIÓN

Lección 4.2.2: Montaje II

OBJETIVO/CONTENIDO

Informar más detalladamente de los aspectos técnicos relacionados con el montaje de construcciones metálicas introducidos en la lección 4.2.1

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Lección 4.2.1:	Montaje I

Las siguientes lecciones pueden ser útiles:

Lecciones 4.1.1. y 4.1.2:	Fabricación general de estructuras de acero
Lección 4.3:	Principios de soldadura
Lección 4.4:	Procedimientos de soldadura

LECCIONES AFINES

Lección 4.2.3:	Montaje III
Lección 4.5:	Fabricación y montaje de edificios
Lección 17.8:	Estructuras marítimas: Fabricación
Lección 18.10:	Introducción a la construcción de puentes

RESUMEN

Esta lección trata de los aspectos técnicos del montaje de construcciones metálicas, tales como descarga, manipulación de materiales, examen de cimientos y corrección de errores, procedimientos de montaje y uniones atornilladas.

1. INTRODUCCIÓN

La lección 4.2.1 esbozaba un concepto ideal del montaje de la construcción de acero, resaltando la importancia de tener una especificación técnica de montaje y buena organización de la obra para anticiparse a los problemas que pudieran surgir cuando llegue la estructura.

Esta lección trata con más detalle de las actividades en la obra. Señala la necesidad de prestar atención al detalle para asegurar que se cumpla la especificación y mantener siempre la buena ejecución. Las operaciones se examinan en secuencia, desde la descarga de los elementos de la estructura, pasando por la revisión de los cimientos y corrección de errores, hasta el montaje y uniones atornilladas de la estructura definitiva.

2. PROCEDIMIENTOS DE MONTAJE

2.1. Recepción, descarga y manipulación del material de construcción

La logística es una parte muy importante del proceso de montaje y debe tenerse siempre presente.

Los fabricantes tienen la fuerte tendencia a enviar los elementos de construcción en el mismo orden que los fabrican; esto está bien si se fabrican en el mismo orden que se montan. A este fin se requiere un plan detallado de los procesos de fabricación y montaje.

Es preciso, por tanto, preparar un programa de entregas coordinado con la capacidad del equipo de montaje. Generalmente hay en la obra un lugar para acopiar el material, cuando los envíos no se puedan coordinar exactamente. De ser posible, debe organizarse un plan de entregas “a tiempo justo” de los elementos más pesados para evitar las costosas maniobras de descarga y manipulación intermedias.

Se separarán enseguida los materiales que lleguen dañados y haya que reparar o devolver, y se informará al director del proyecto para que pueda valorar el efecto que pudiera tener en el programa de construcción.

En la manipulación de los elementos individuales, debe tenerse en cuenta que:

- las piezas con marcas de referencia distintas no deben mezclarse ni embalarlas juntas.
- deben indicarse los puntos de izado en las piezas mayores o más pesadas, incluso cuando sea posible la situación del centro de gravedad.
- todas las piezas que sean fáciles de dañar deben estar debidamente protegidas durante el transporte y la manipulación.
- las piezas en acopio han de estar elevadas del suelo, protegidas contra la humedad y el polvo con durmientes o cuñas.

Si las eslingas son de cable de acero, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Proteger con madera las aristas vivas de las vigas para proteger la eslinga, el acabado de la superficie y los bordes que estén preparados.
- inspeccionar las eslingas periódicamente y ver que la carga máxima segura esté indicada con una placa de acero.
- si la eslinga es de dos cables, recordar que la capacidad de izado disminuye a medida que aumenta el ángulo entre los cables; la carga en los cables se calcula así:

$$R = P/2 \times 1/\cos \alpha$$

siendo R la carga en un cable
P la carga total
α el semiángulo entre los cables de la eslinga.

- la carga máxima segura no debe exceder de 1/6 de la carga de rotura del cable con que está hecha la eslinga.
- inspeccionar periódicamente las eslingas y retirarlas del servicio en cuanto el número de hilos rotos en un tramo de un metro llegue al 20% del total o lo supere.
- no curvar las eslingas a un diámetro menor de seis veces el diámetro del cable. Si fuere necesario, apoyar la eslinga en almohadillas redondeadas.

Se observará lo siguiente en el transporte y suministro de tornillería, tuercas y arandelas a la obra:

- deben estar adecuadamente embalados y con suficiente protección para evitar daños en el transporte.

- en el caso de tornillos de alta resistencia, los tornillos y las tuercas deben estar engrasados correctamente.

- cada paquete debe contener una sola clase de tornillo, tuerca o arandela, del mismo diámetro, longitud y calidad.

- todos los paquetes llevarán una etiqueta indicando la marca del fabricante, el tipo (tornillo, tuerca y arandela), la calidad y el número.

- los tornillos de alta resistencia se distinguirán con etiquetas de colores, según tipo y calidad (5,6 = verde, 8,8 = rojo, 10,9 = azul)

Se tendrá en cuenta lo siguiente en cuanto el almacenamiento y uso de materiales consumibles de soldeo:

- Los electrodos deben estar envasados en paquetes o botes cerrados estancos; se almacenarán en sitio cerrado y seco a una temperatura lo bastante alta que impida la condensación y teniéndose un cuidado especial en que no se dañe el recubrimiento.

- los electrodos de tipo básico deben secarse u hornearse de acuerdo con el procedimiento de soldeo.

- una vez que se abran los paquetes estancos, los electrodos deben ponerse en una estufa secadora portátil.

- las estufas secadoras portátiles deben ponerse cerca del sitio donde se suelda; el soldador dispondrá de una funda con aislamiento para guardar los electrodos que tome de la estufa más próxima.

- en casos muy especiales y habiendo mucha humedad, se debe dotar a los soldadores de estufas secadoras portátiles individuales, de donde sacarán los electrodos uno a uno según los necesiten.

Con fines generales, se tendrá en la obra una lista de los elementos que se han de montar, indicando la marca, peso, medidas, etc., y especificando el sitio donde se van a montar.

2.2 Cimientos y placas de asiento (nivelado, medición, etc.)

Los pilares de una estructura de acero transmiten la carga a los cimientos por medio de placas de asiento. Los pernos constituyen el elemento de unión entre la estructura y la cimentación.

Cuando los pilares sólo transmitan cargas de compresión (teóricamente no se requieren pernos), los pernos sirven para situar los pilares correctamente.

Los pernos de anclaje se colocan antes de hormigonar, o después, bien taladrando el hormigón fraguado o dejando huecos en los cimientos que se rellenan posteriormente.

Debe inspeccionarse la cimentación antes de empezar el montaje para comprobar la nivelación y la alineación de los anclajes. A este fin se suelen establecer un punto de nivelación fijo y tres puntos de alineación fijos. Los errores de los cimientos de hormigón que aparezcan en esta fase inicial son fáciles de corregir con forros suplementarios.

Debe limpiarse la cimentación antes de montar la estructura de acero y asegurar que los huecos para los anclajes no tengan ninguna suciedad.

2.3 Armado y montaje

El montaje de la estructura de acero puede empezar cuando las placas de asiento (o los suplementos) estén situados.

El principal objetivo durante el montaje es mantener estable la estructura en todo momento. El derrumbe de una estructura durante el montaje se debe a menudo al desconocimiento de los requisitos de estabilidad.

Es posible que los esfuerzos se inviertan durante el montaje, y cada inversión, por muy temporal que sea, debe preverse en el proyecto.

Deben resolverse las cuestiones relativas al orden de montaje y su efecto sobre la estabilidad. El autor del proyecto debe disponer los vanos arriostrados de modo que sean las primeros en montarse. Es esencial que la estructura esté siempre arriostrada y aplomada y nivel mientras avanza el montaje.

Prearmar conjuntos es un modo de reducir la cantidad de trabajo a hacer a alturas elevadas. Sin embargo, varios factores afectan la viabilidad y economía de armar un conjunto en el suelo. El primero es el peso del conjunto resultante, más las útiles para izarlo; otro es el grado al que se puede rigidizar el conjunto temporalmente sin aumentar demasiado su peso. El volumen del conjunto es otro factor relevante pues debe evitarse dañar el brazo de la grúa. A menudo se precisa hacer un croquis del brazo y el conjunto prearmado en el punto de máxima altura para verificar su factibilidad.

Prearmar un conjunto sólo vale la pena si se puede izar y fijar con facilidad razonable. El objeto es evitar operaciones en altura que se puedan hacer más fácilmente en tierra; tener que aflojar los tornillos y volver a apretarlos para quitar el alabeo, le quita mucho atractivo al prearmado.

Muchas piezas de acero llegan a la obra pintadas. Las eslingas de acero estropean la pintura al manipularlas; el daño debe reducirse con protecciones de madera, que además evitan que la carga se deslice al izarla y que las eslingas, de cadena o cable, se dañen al doblarse sobre cantos vivos.

Las protecciones contra el deslizamiento son aún más necesarias si la posición final de la pieza no es horizontal. Ha de procurarse siempre disponer la eslinga de modo que la pieza cuelgue en el mismo ángulo que va a tener una vez montada.

Las piezas se suelen manejar a mano mientras se izan mediante un cable ligero unido a un extremo. Este cable solamente dirige el giro de la pieza, no es para ponerla a nivel. Cuando se izan piezas grandes y pesadas en posición horizontal para ponerlas en vertical, se necesitan tirantes provisionales que eviten los movimientos incontrolados en la maniobra de aproximación a la posición vertical.

En ciertas situaciones pueden necesitarse dejar los rigidizadores provisionales después de montar una pieza hasta que se hagan las uniones definitivas. La necesidad de rigidez temporal debe preverse en el plan de montaje, para tener suficientes rigidizadores y medios de elevación y no ocurran retrasos por falta de medios para montar el siguiente conjunto.

Cuando haya de izarse una pieza muy complicada o pesada, es más fácil y seguro fabricar mordazas especiales para este fin. Un pequeño esfuerzo extra en delineación y en el taller puede ahorrar mucho tiempo y dinero en la obra.

2.4 Uniones atornilladas en la obra

Antes de hacer uniones atornillada debe comprobarse que:

- los tornillos, tuercas y arandelas se pongan exactamente como indican los planos.
- los tornillos, tuercas y arandelas estén limpios y en buen estado.
- las piezas que se van a unir estén limpias y sin defectos.

No debe permitirse escariar los taladros con soplete puesto que las uniones resultan inaceptables y se daña la pintura.

En las uniones con alas inclinadas deberán ponerse arandelas acuñadas bajo la tuerca, el tornillo, o ambos.

En el caso de taladros con el eje vertical, los tornillos deben introducirse por arriba y ponerse la tuerca por debajo.

Cuando se especifique, debe evitarse que las tuercas se aflojen poniendo otra tuerca, o con una tuerca o arandela especial.

2.4.1 Tornillos ordinarios

Los tornillos de cabeza hexagonal y las tuercas se fabrican normalmente en varios tamaños y resistencias a la tracción. Antes se acostumbraba a poner arandelas bajo las tuercas, pero ahora suelen omitirse. Los grados de resistencia más comunes de los tornillos estructurales son 4,6 y 8,8, el primero para fines generales y el segundo cuando se aplican cargas mayores.

Normalmente los tornillos se aprietan con llave a mano, en taladros con 2 mm de holgura para tornillos de diámetro de hasta 24 mm, y con holgura de 3 mm en diámetros de más de 24 mm. Cuando la posición debe ser exacta, y para evitar que se muevan las piezas unidas, se ponen tornillos hechos a máquina con precisión, en taladros escariados. Estos tornillos exigen trabajar con exactitud y su colocación es costosa. Si se requiere rigidez, es normal poner tornillos HSFG (de alta resistencia) pretensados.

2.4.2 Tornillos de alta resistencia (HSFG)

En las uniones con tornillos HSFG, el esfuerzo cortante se transmite entre las piezas unidas por fricción. La fuerza de fricción procede del apriete de los tornillos, realizado de manera controlada para crear una tensión específica en la espiga. Los tornillos se colocan en taladros con holgura, así que puede no haber efecto portante en la transmisión de la carga.

Para aprovechar el efecto de fricción, se necesitan tornillos de alta resistencia a la tracción de modo que se logre el par de apriete adecuado con tornillos de tamaño moderado. La tensión inducida en los tornillos al pretensarlos es igual, o cercana, a la de prueba.

Existen tornillos HSFG de dos grados de resistencia, calidad general (equivalente a 8,8) y calidad superior (equivalente a 10,9). Las tuercas están calculadas para desarrollar la máxima resistencia del tornillo. Se ponen arandelas reforzadas bajo la pieza que va a girar en el apriete.

Para movilizar el efecto de fricción es necesario que el tornillo desarrolle la pretensión requerida. Esto se hace, bien regulando el apriete de las tuercas mediante métodos de torsión regulada o de giro parcial, o con medidores de carga, que pueden ser tornillos especiales, fijadores especiales o arandelas que indican las cargas.

2.4.2.1 Método de torsión regulada

En este método de apriete se necesita una llave torsiométrica calibrada, bien movida a mano, o mecánicamente para tornillos de mayor diámetro. Es esencial verificar muy a menudo el equipo de apriete junto a los tornillos y tuercas, mediante aparatos especiales de medición de la pretensión.

Es de esperar cierta desviación de la tensión de la espiga; los cálculos del resultado del apriete, hechos con vistas a lograr una tensión mínima en la espiga del 80% de la resistencia a la tracción especificada, indican que alrededor del 90% de los tornillos se pueden apretar satisfactoriamente.

2.4.2.2 Método de giro parcial

Este método se vale de la ductilidad del material del tornillo y de un apriete suficiente para ponerlo en tal estado plástico que sea relativamente insensible a la continuación del giro de la tuerca. Se alcanza una tensión máxima de la espiga igual a la máxima resistencia a la tensión de torsión del tornillo en las condiciones de fricción existentes en el momento del apriete. Debe tenerse cuidado con los tornillos cortos y los de espiga paralela que tienen un tramo roscado pequeño.

El método de giro parcial no se permite con tornillos de grado alto (espiga paralela). Tampoco se recomienda para tornillos M12.

2.4.2.3 Indicadores de carga

Existe diversidad de tornillos especiales que indican la carga, unos simples y otros complicados. Un dispositivo simple es la arandela indicadora de carga, que tiene varios salientes en una cara. Los salientes se van aplastando al apretar la tuerca; cuando la distancia entre el indicador de carga y el tornillo llega al valor prescrito (medido con un calibrador de espesores), la espiga ha alcanzado la tensión requerida.

2.4.2.4 Colocación

Los tornillos HSFG se colocan en taladros perforados con 2 mm de holgura para tornillos de diámetro menor de 24 mm y de 3 mm para los mayores de 24 mm. Los taladros deben estar bien alineados para que los tornillos entren fácilmente. Se pone una arandela reforzada bajo la pieza que se vaya a girar, bien la tuerca o la cabeza del tornillo.

Cuando una unión tenga varios tornillos, éstos deben apretarse un poco cada vez y al tresbolillo.

La consecución de la tensión especificada en la espiga depende del buen estado de la rosca. Por lo tanto, los tornillos y tuercas deben guardarse y manipularse de modo que no se dañen ni se ensucien las roscas. Una unión está en buen estado cuando la tuerca gira fácilmente en la rosca del tornillo.

Los tornillos que se hayan apretado por el método del giro parcial no deben volver a usarse; esta restricción vale también para los tornillos apretados por métodos de torsión regulada, si ha ocurrido la deformación plástica.

El calentamiento del tornillo mismo o de las superficies circundantes, que podría ocasionar el calentamiento de la unión, puede conducir a la destrucción de la unión y al fallo de la construcción, por lo que debe impedirse siempre. Por lo tanto, toda operación de soldeo debe realizarse antes de apretar el tornillo.

3. RESUMEN FINAL

1. Deben observarse las normas de buena práctica referidas en el apartado 2.4.1 cuando se manipulen y acopien materiales en la obra.
2. Los pilares se fijan a sus cimientos con pernos de anclaje. La mala nivelación de la cimentación se puede corregir con calzos de acero puestos bajo la placa de asiento.
3. La estabilidad debe mantenerse constantemente durante el montaje y el orden de montaje debe planificarse para asegurarlo.
4. Se pueden prearmar conjuntos con la ventaja de reducir el trabajo en altura.
5. Las uniones se hacen bien con tornillos ordinarios o de alta resistencia (HSFG). Estos últimos se pueden pretensionar mediante los métodos de torsión regulada, giro parcial o arandelas indicadoras de la carga.

4. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

1. Arch, H., Erection, Capítulo 33 - Steel Designers' Manual, Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1992.

2. Thornton, W. A., "Design for Cost Effective Fabrication and Construction", Capítulo 7.1 Constructional Steel Design, Londres, Elsevier Applied Science, 1992.

3. Miller, E. W., "Erection of Steel Structures", Capítulo 7.2 Construction Steel Design, Londres, Elsevier Applied Science, 1992.

4. Potter, P. D., "Fast Steel Erection": Steel Fabrication Journal, No. 46, Febrero 1983, Australian Institute of Steel Construction.

5. The Steel Construction Industry Code of Practice for Sage Erection of Building Steelwork: Part 2 - Multi-storey Buildings and Structures, Australia, Australian Institute of Steel Construction, 1989.

6. Eurocode 3: "Design of Steel Structures": ENV 1993-1-1: Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings, CEN, 1992.

ESDEP TOMO 4
CONSTRUCCIÓN

Lección 4.2.3: Montaje III

OBJETIVO/CONTENIDO

Dar orientaciones sobre el soldeo en obra y explicar cómo funcionan el control de calidad y los procedimientos de seguridad en la obra.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Lecciones 4.2.1 y 4.2.2:	Montaje

Las siguientes lecciones pueden ser útiles:

Lecciones 4.1.1 y 4.1.2:	Fabricación general de estructuras de acero
Lección 4.3:	Principios de soldadura
Lección 4.4:	Procesos de soldadura

LECCIONES AFINES

Lección 4.6:	Fabricación y montaje de edificios
Lección 17.8:	Estructuras marítimas: Fabricación
Lección 18.11:	Introducción a la construcción de puentes

RESUMEN

Esta lección trata del planeamiento y atenta preparación que requiere el soldeo en obra: también se ocupa de los requisitos del programa de control de calidad y da orientaciones para mejorar la seguridad de la obra.

1. INTRODUCCIÓN

La lección 4.2.2 se ocupa en detalle de los aspectos técnicos del montaje de construcciones de acero, incluso de las uniones atornilladas. Hay casos en que no es posible la unión atornillada y se hace necesario soldar. Cuando haya que soldar, se impone un plan previo cuidadoso, que se describe en el apartado 2 que sigue.

Siempre es necesario tener procedimientos de control de calidad y seguridad implantados en la obra para llevarla a feliz término con el mínimo riesgo para los obreros. Esta lección trata estos puntos en detalle, delinea la base de un programa de control de calidad y da orientaciones para reducir al mínimo el riesgo de los trabajadores.

2. UNIONES SOLDADAS EN OBRA

El autor del proyecto debe procurar que las uniones en obra sean atornilladas siempre que sea posible. Pero habrá ocasiones en que se necesite soldarlas. En tal caso, se requiere un cuidadoso plan previo como sigue:

- es preciso alinear provisionalmente las piezas que se van a soldar entre sí y mantenerlas en esa posición hasta que estén soldadas. El método de alineación que se adopte deberá poder sostener el peso de los elementos, y en algunos casos, una buena parte de la carga que soporta la estructura.

- debe disponerse un medio de acceso y una plataforma de trabajo, ambos seguros. La plataforma deberá tener también protección contra los elementos, ya que el viento, la lluvia y el frío perjudica a la calidad de la soldadura.

- en el plan de soldeo y al preparar las piezas que se van a unir, se tendrá en cuenta la posición que ocuparán en la estructura; la descripción del método de montaje y el procedimiento de soldeo de cada unión contemplarán estos factores.

- todas las soldaduras serán ejecutadas por soldadores calificados con arreglo al procedimiento aprobado.

- se hará un plan de soldeo detallado para las uniones estructurales más importantes, así como para las estructuras objeto de especificaciones especiales.

- nunca debe hacerse la puesta a tierra de la corriente eléctrica por medio de la armazón metálica del edificio o las grúas, ni por las partes metálicas de las instalaciones, sino directamente a la parte de la construcción que se está soldando.

- la superficie de la zona a soldar debe estar limpia y seca.

3. CONTROL DE CALIDAD

3.1 Manual de garantía de calidad

El manual de garantía de calidad define los procedimientos adecuados que garanticen que el producto terminado cumple la especificación. El personal a cargo del montaje debe ser informado de las variables que influyen en la calidad del conjunto para que puedan controlarlas.

3.2 Programa de control de calidad

El programa de control de calidad es el que se redacta en particular para el trabajo en cuestión.

Se funda en lo siguiente:

- el manual de garantía de calidad.
- el contrato general del proyecto.
- las normas generales aplicables al proyecto.
- las normas, procedimientos y especificaciones del fabricante.

El programa de control de calidad contendrá lo siguiente:

- la organización de la obra (respecto al control de calidad).
- los procedimientos (escritos).
- el programa de inspección.

3.3 Programa de inspección

El programa de inspección se basa en el plan de montaje y se complementa con la redacción de procedimientos y puntos de inspección. Su fin es asegurar un buen grado de ejecución.

Puede comprender lo siguiente:

- Números de referencia de los procedimientos de trabajo.
- Numeración de las correcciones.
- Procedimientos escritos para:
  - soldadura
  - tratamiento térmico
  - ensayos no destructivos
  - alineación y aplomado
  - tolerancias
  - unión con tornillos de alta resistencia.

4. SEGURIDAD EN EL MONTAJE

El montaje de una estructura es, por su propia naturaleza, una tarea con cierto grado de riesgo. El trabajo se realiza en altura, y mientras no llegue a cierto punto, no hay nada adonde fijar una plataforma para trabajar con seguridad. De hecho, se dice con verdad que la colocación de una plataforma es tan arriesgado como el montaje mismo; una posible solución es acceder por plataformas móviles, si la situación del suelo lo permite.

El objeto del procedimiento de seguridad es asegurar que se haga todo lo posible para eliminar el riesgo de accidentes. Para alcanzar este objetivo han de tomarse las siguientes medidas:

1. Informar del procedimiento de seguridad a todos a los que afecta su cumplimiento, por ejemplo, repartiendo resúmenes o dando cursillos. En la práctica, el mejor modo de mantener el interés por la seguridad es vigilar continuamente las zonas peligrosas de la obra (zonas prohibidas, andamiaje, máquinas, etc.), ver que se observen las debidas restricciones e informar de los posibles riesgos al encargado.

2. Que haya en la obra el equipo necesario y que se conserve en buen estado. Este equipo va desde cascos y cinturones, a escaleras, plataformas de trabajo y herramientas correctamente escogidas.

3. Organizar el trabajo de modo que se haga lo menos posible en altura. El peligro se reduce como sigue:

   - mediante la técnica de conjuntos prearmados.
   - fijando escaleras y plataformas de trabajo a la construcción de acero antes de elevarla a su sitio.
   - disponiendo cuanto antes pasarelas de acceso horizontales.
   - instalando escaleras o montacargas temporales cuando sea oportuno.

4. Que todos los equipos portátiles, como bombonas de gas y aparatos de soldar, estén firmemente sujetos mientras se trabaja con ellos. Se tendrá cuidado de que no haya materiales inflamables debajo de donde pudieran caer chispas.

5. Y final y fundamentalmente, redactar el proyecto pensando en la seguridad, como sigue:

   - Situando los empalmes de modo que las uniones sean simples, teniendo en cuenta que habrán de hacerse en altura.
   - Incorporando en lo posible mordazas y uniones para izar piezas pesadas o complejas en los conjuntos armados que se van a unir.
   - Considerando en la fase de proyecto incorporar mordazas, ménsulas o taladros en la fabricación para facilitar la fijación de cinturones y redes de seguridad y plataformas de trabajo.

5. RESUMEN FINAL

1. Si fuese necesario soldar en la obra, se requiere planearlo cuidadosamente de antemano.
2. Siempre debe implantarse un programa de control de calidad que incluya inspecciones.
3. Todo el personal de la obra debe estar al tanto de los procedimientos de seguridad.
4. Se debe obligar a cumplir estrictamente los procedimientos de seguridad.

6. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

1. Arch, H., Erection, Capítulo 33 - Steel Designers' Manual, Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1992.

2. Thornton, W. A., "Design for Cost Effective Fabrication and Construction", Capítulo 7.1 Constructional Steel Design, Londres, Elsevier Applied Science, 1992.

3. Miller, E. W., "Erection of Steel Structures", Capítulo 7.2 Construction Steel Design, Londres, Elsevier Applied Science, 1992.

4. Potter, P. D., "Fast Steel Erection": Steel Fabrication Journal, No. 46, Febrero 1983, Australian Institute of Steel Construction.

5. The Steel Construction Industry Code of Practice for Sage Erection of Building Steelwork: Part 2 - Multi-storey Buildings and Structures, Australia, Australian Institute of Steel Construction, 1989.

6. Eurocode 3: "Design of Steel Structures": ENV 1993-1-1: Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings, CEN, 1992.

ESDEP TOMO 4
CONSTRUCCIÓN

Lección 4.3: Principios de soldadura

OBJETIVO/CONTENIDO

Presentar una idea general de lo que supone hacer uniones soldadas.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Lección 4.1.1: Fabricación general de estructuras de acero I

LECCIONES AFINES

Lección 4.4: Procesos de soldadura

RESUMEN

Esta lección describe los principios básicos que rigen las uniones soldadas. Trata de la estructura y propiedades del metal soldado y de la zona afectada por el calor. Explica la necesidad de preparar los bordes para soldar a tope y pone ejemplos de los tipos de uniones. Expone el modo de variar el procedimiento de soldeo para satisfacer las condiciones de una soldadura en particular.

ABREVIATURAS

MAG	Soldeo de metales con gas activo (denominado a veces MIG = Soldeo de metales con gas inerte)
MMA	Soldeo manual de metales al arco
SAW	Soldeo al arco sumergido
HAZ	Zona afectada por el calor

1. INTRODUCCIÓN

El soldeo ofrece un medio de hacer uniones continuas y portantes entre las piezas metálicas que componen una estructura.

2. TIPOS DE UNIÓN

En la obra estructural se hacen varios tipos de uniones soldadas; todas ellas se pueden componer en las cuatro formas básicas que muestra la Figura 1, que se clasifican así:

- uniones a tope.
- uniones en T.
- uniones de solape.
- uniones en ángulo.

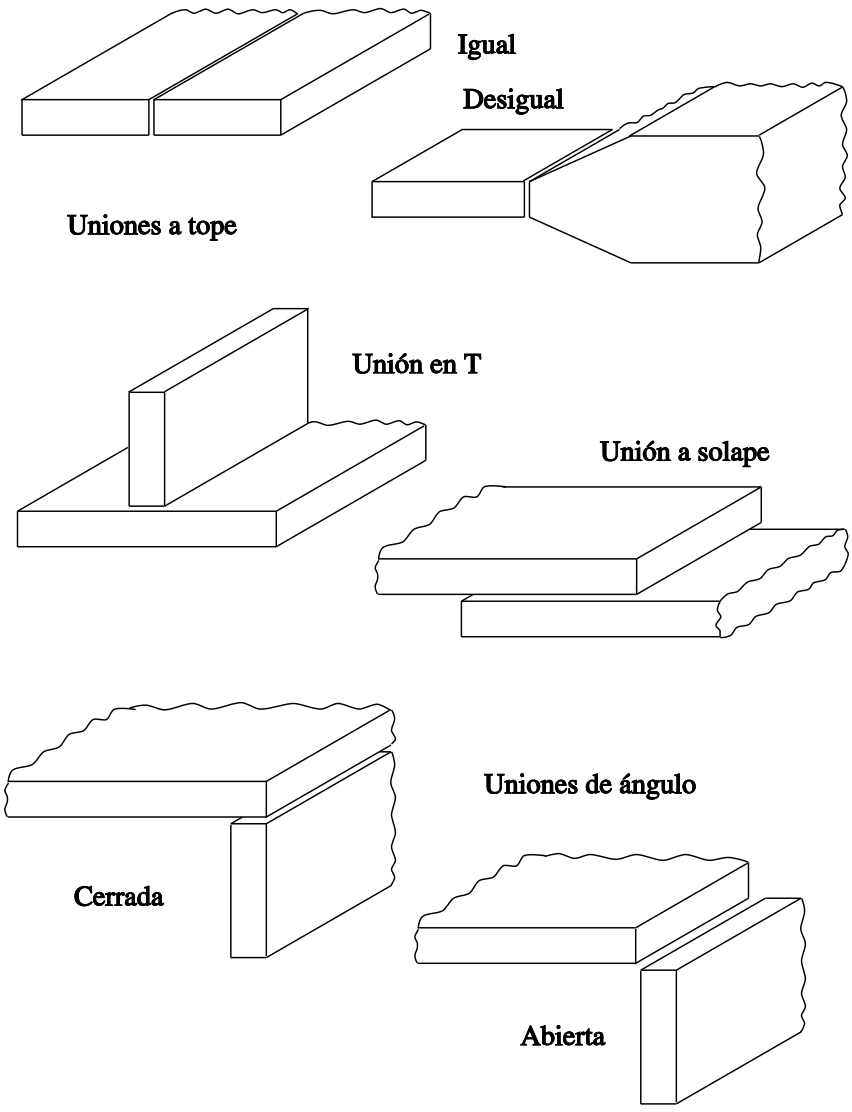


Figura 1 Tipos de unión

3. MÉTODOS PARA HACER UNA UNIÓN SOLDADA

Como muestra la Figura 2, una unión soldada se hace fundiendo chapas o perfiles de metal (metal base) por la línea de unión. El metal fundido de cada lado de la junta forma una masa líquida y une las caras en contacto. Al enfriarse el metal derretido de los extremos, se solidifica y forma una estrecha unión con el metal de base, ver Figura 3. Cuando la solidificación es total, hay continuidad metálica en toda la unión.

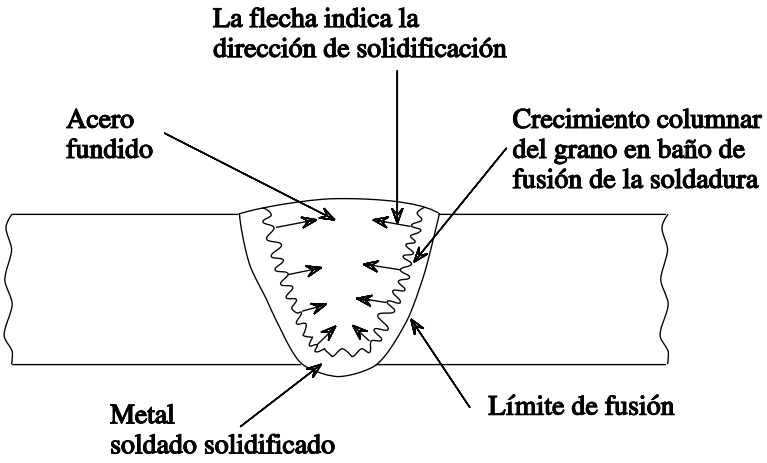


Figura 3 Solidificación de metal soldado

Son de uso común dos tipos de soldadura: soldadura a tope y soldadura en ángulo. En el primero, el metal depositado queda generalmente dentro del contorno de las piezas soldadas; en el segundo, el metal depositado queda fuera del contorno de las piezas soldadas.

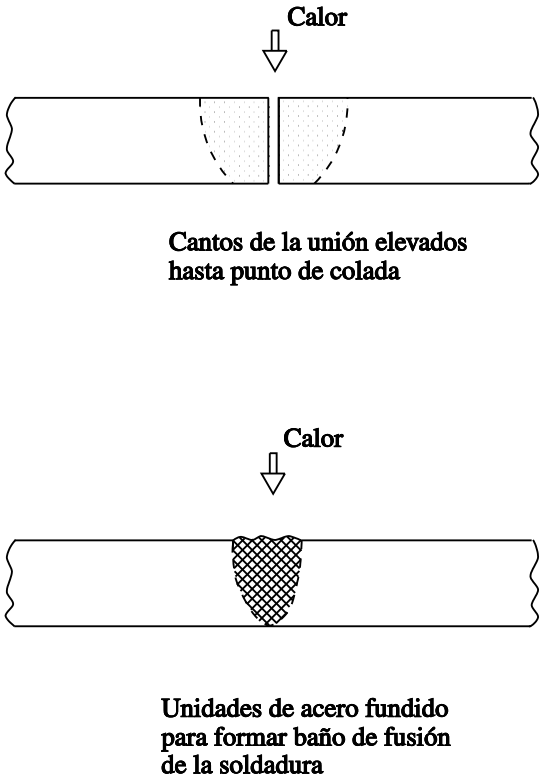


Figura 2 Formación de un baño de fusión de soldadura

Es obvio que no se puede fundir la unión de una vez a todo lo largo. En la práctica se funde una parte pequeña con una fuente de calor que avanza por la línea de unión por delante de la masa líquida, como se ve en la Figura 4. Al mismo tiempo se solidifica el metal que va quedando detrás. La fuente de calor más común en trabajos estructurales es un arco eléctrico a baja tensión (de 15 a 35 V) y alto amperaje (de 50 a 1000 A). Como indica el diagrama de la Figura 5, el arco actúa entre el extremo de un electrodo de acero (varilla) y la pieza de labor y funde el metal base y el electrodo, por lo que el

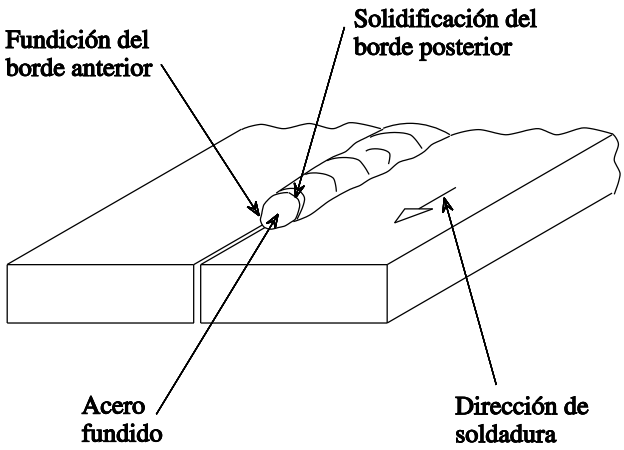


Figura 4 Fusión y solidificación progresiva

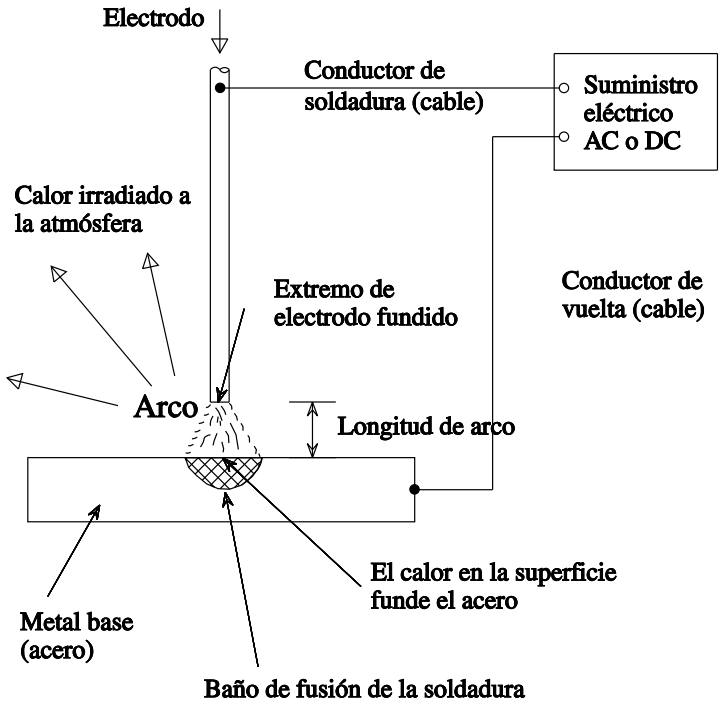


Figura 5 Arco de soldadura

electrodo fundido se añade a la masa derretida.

El acero fundido en la unión absorbe fácilmente el oxígeno y nitrógeno del aire; esto puede causar la porosidad del depósito solidificado e incluso problemas metalúrgicos. La Figura 6 muestra el modo de evitarlo cubriendo la masa líquida con fundente, como en el Soldeo manual de metales al arco y el Soldeo al arco sumergido, o sustituyendo el aire que rodea el arco por un gas inerte, como en el Soldeo de metal con gas activo o el soldeo con varilla forrada.

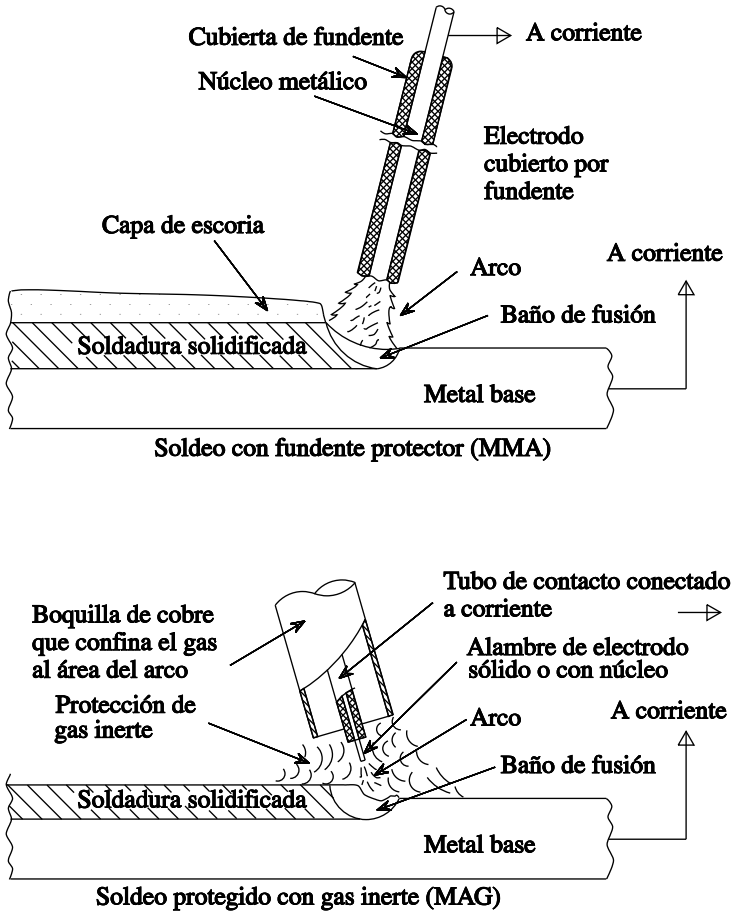


Figura 6 Métodos de protección

4. ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LAS SOLDADURAS

El metal depositado solidificado tiene estructura de metal fundido y las propiedades características del acero fundido, es decir, más límite elástico respecto a la resistencia a la rotura que el acero estructural. El metal depositado es una mezcla de metal base y del acero del electrodo. Para trabajos de estructura se suele escoger una composición del electrodo que produzca un depósito más resistente que las piezas unidas. A veces, ciertas condiciones pueden impedir esta opción. Por ejemplo, para unir acero inoxidable con acero al carbono-manganeso, el electrodo debe tener mucha aleación para impedir que se cuartee el metal depositado.

Mientras el metal depositado se enfría y solidifica, casi todo el calor fluye por el metal de base a lo largo de la unión. Así el acero se somete a ciclos de calentamiento y enfriamiento similares a los que experimenta en el tratamiento térmico. Como se ve en la Figura 7, la estructura del acero se modifica en esta zona (llamada zona afectada por el calor o HAZ). Esto se tendrá en cuenta en el proyecto en cuanto a la resiliencia (valor de Chapy), etc.

La estructura de la HAZ se regula mediante:

- la composición del acero (carbono equivalente).
- el ritmo de enfriamiento de la HAZ.

A su vez, el ritmo de enfriamiento lo determina:

- la energía del arco, o sea, la aportación de calor a la unión.
- el tipo de unión.
- el espesor del acero
- la temperatura de la chapa o perfil de acero antes de soldarlas, p. ej.: por precalentamiento.

El gráfico de la Figura 8 es un ejemplo de un método para conocer cómo se influyen mutuamente estos factores en cuanto a la evitación de grietas.

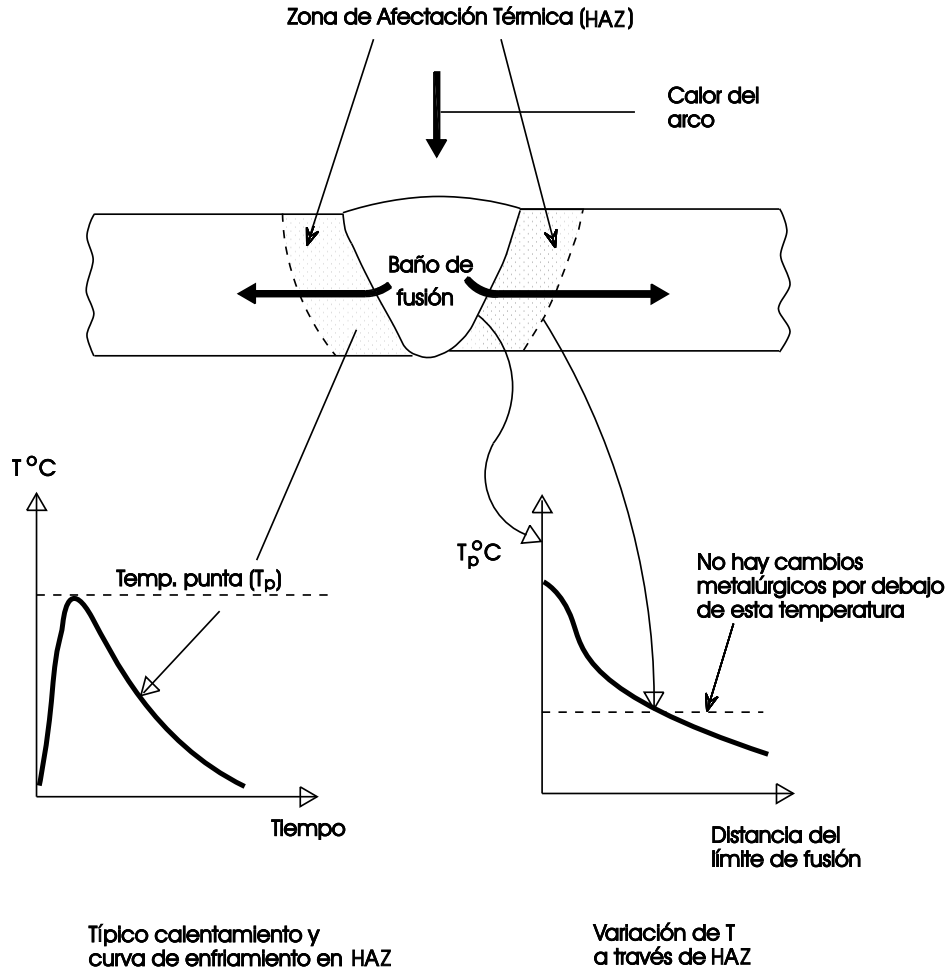


Figura 7 Formación de Zona de Afectación Térmica (HAZ)

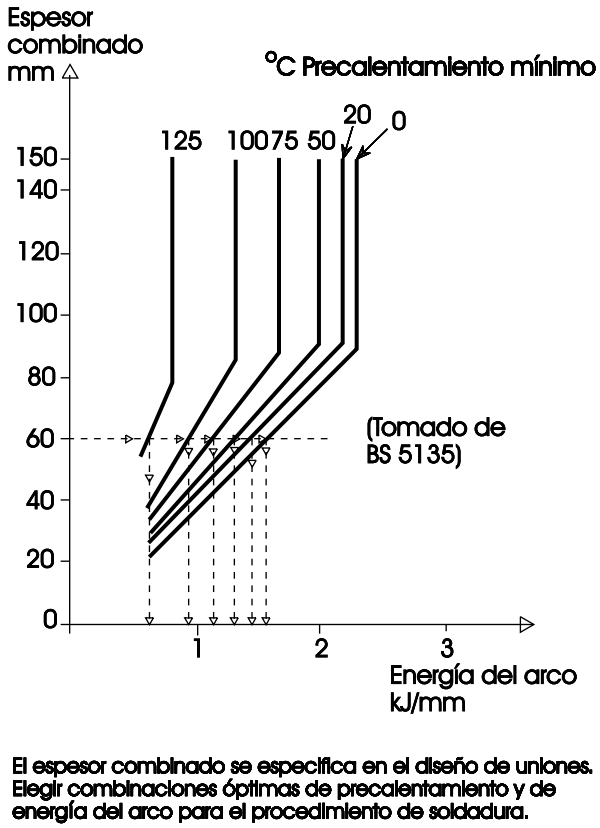


Figura 8 Predicción de las condiciones de soldadura

El precalentamiento, además de influir en el ritmo de enfriamiento, sirve para:

- Dispersar el hidrógeno del metal depositado y de la HAZ. El hidrógeno de la HAZ aumenta el riesgo de grietas si se ha enfriado. El hidrógeno lo aporta sobre todo el fundente. Un electrodo apropiado y bien almacenado reduce el riesgo de captación de hidrógeno.

- Eliminar la humedad de la superficie si el ambiente de la obra es húmedo.

- Subir la temperatura del acero a la de ambiente normal (20°C).

5. PREPARACIÓN DE BORDES PARA SOLDADURA A TOPE

En el soldeo de bordes a escuadra, el punto hasta donde se funde la chapa se llama profundidad de penetración, ver Figura 9a. La penetración es de aproximadamente 1 mm por 100A. En el soldeo a mano la corriente no suele estar a más de 350A, y más comúnmente a 150-200A. Esto obliga a preparar el borde a lo largo de la unión para lograr continuidad en todo el espesor (Figura 9b). Esta ranura se rellena con el metal fundido del electrodo (Figura 9c). Las distintas preparaciones de borde se muestran en la Figura 10; los bordes se pueden cepillar, serrar, guillotinar u oxicortar.

La primera pasada de deposición en el fondo de la ranura se llama cordón de la raíz. Las caras de la raíz deben fundirse para obtener buena penetración, pero al mismo tiempo hay que evitar que la masa fundida se hunda, como se ve en la Figura 11. Esta tarea exige conside-

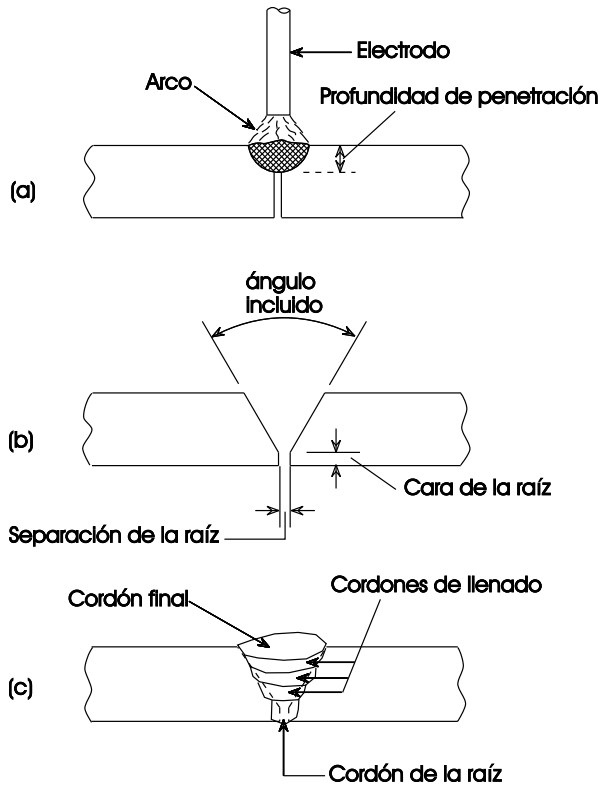


Figura 9 Penetración en soldeo por arco

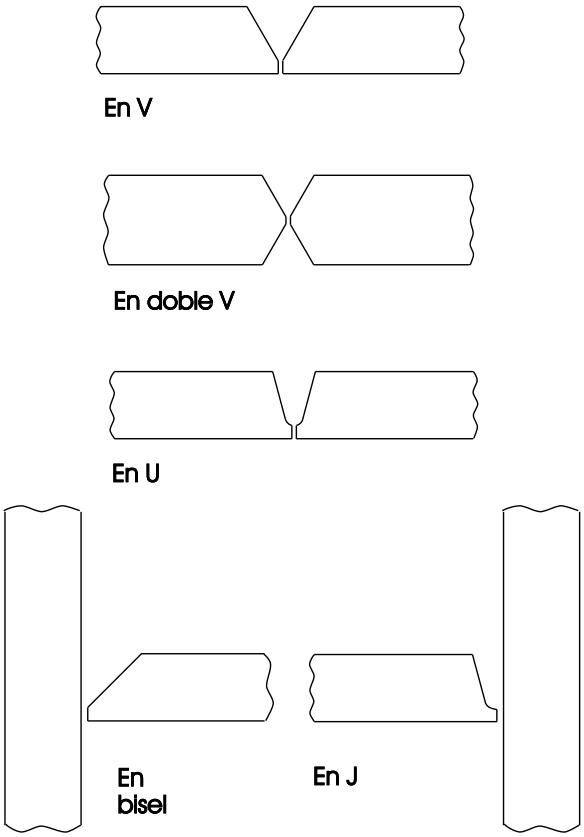


Figura 10 Preparación de bordes

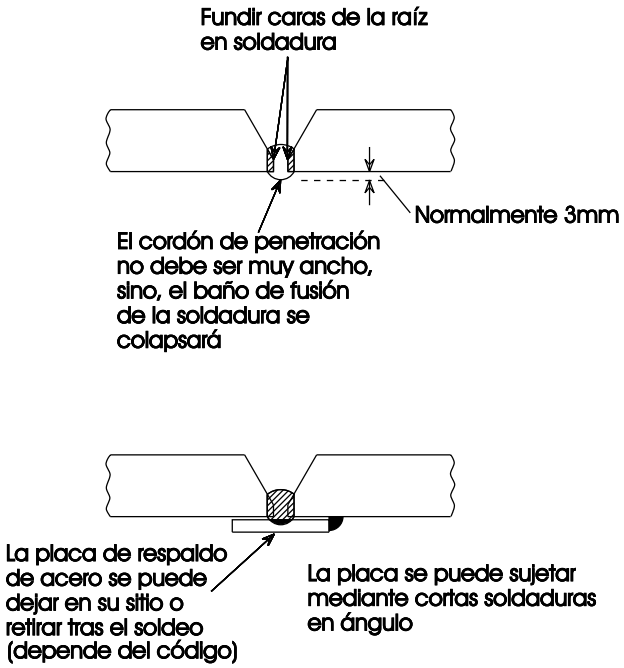


Figura 11 Técnicas de cordón de la raíz

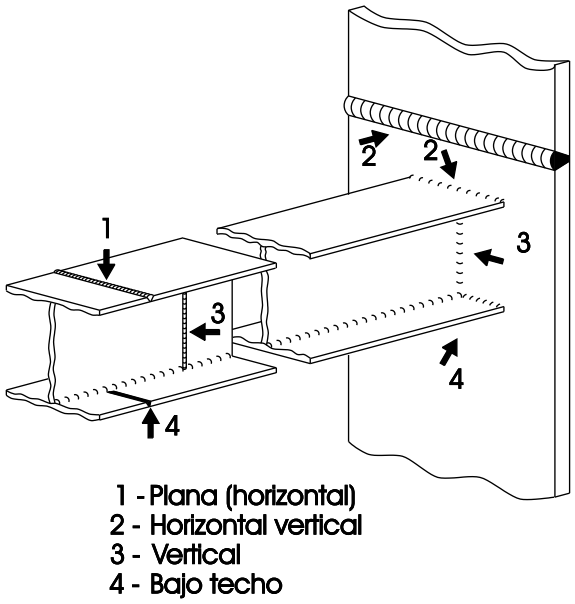


Figura 12 Posturas de soldadura

rable habilidad. Las dificultades se reducen con una placa de respaldo.

La elección de la preparación depende de:

- el tipo de proceso.
- la posición de la soldadura.
- el acceso para el arco y electrodo.
- el volumen de metal depositado que ha de mantenerse al mínimo.

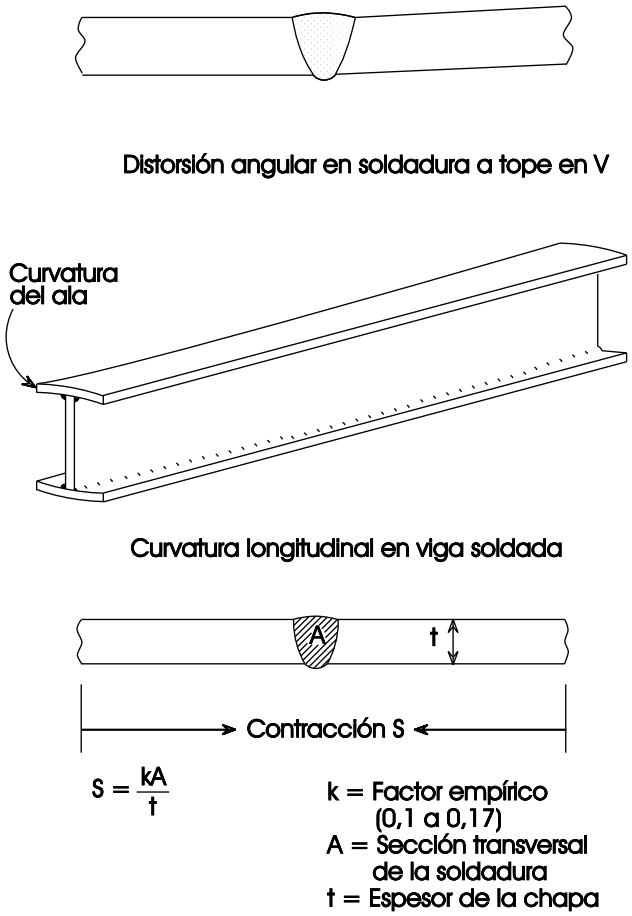


Figura 13 Distorsión en soldadura

- el coste de preparar los bordes.
- la retracción y distorsión (Figura 13).

6. PROCEDIMIENTO DE SOLDEO

Con el término procedimiento de soldeo describimos todo el proceso de realizar una soldadura. Abarca la elección del electrodo, preparación de bordes, precalentamiento, parámetros de soldeo (tensión, corriente y velocidad de avance), pasadas para llenar la ranura y tratamiento posterior, como el fresado y el tratamiento térmico. Pueden idearse procedimientos de soldeo para atender a la necesidad de rebajar costes, reducir la distorsión, evitar defectos y lograr buena resistencia al choque. Ciertos aspectos del procedimiento de soldeo merecen un comentario pormenorizado.

6.1 Corriente

La corriente controla la aportación de calor. La necesidad de fundir la chapa y de mantener la estabilidad del arco fijan el valor mínimo; pero se puede especificar un mínimo más alto para que no se agriete la HAZ. La máxima corriente depende de las condiciones de trabajo. La corriente suele ser lo más alta posible para que el soldeo sea más rápido, y de ahí, menor el coste. Ciertas posiciones obligan a rebajar la corriente máxima; p. ej.: no se puede soldar en cornisa a más de 160A. En general, la corriente alta produce baja resistencia al choque. Nótese que la corriente se elige con arreglo al diámetro del electrodo.

6.2 Posición de la soldadura

Se dijo antes que la posición de la soldadura afecta a la corriente. Hace falta mucha destreza para soldar en cornisa sin hacer defectos, como el mal perfil, y sólo debe hacerse si es absolutamente necesario. En vertical se suelda más despacio que en horizontal, pero exige menos destreza que soldar en cornisa.

6.3 Medio Ambiente

Si fuera preciso soldar en la obra deben considerarse estos puntos:

- en invierno se debe subir la temperatura del acero a 20ºC.
- la condensación nocturna y la mucha humedad producen porosidad.
- ha de cuidarse que los electrodos se conserven secos en el almacén.
- a veces es difícil ajustar la unión perfectamente; las separaciones grandes o variables pueden ocasionar soldaduras defectuosas, distorsión y aumento de costes.

7. RETRACCIÓN

Al enfriarse las zonas de contacto, el metal se contrae y hace que la unión se contraiga. El metal frío que rodea la unión retiene la contracción y crea tensiones que, si superan la de fluencia, causan deformación plástica, que puede llevar a la deformación o pandeo que se ve en la Figura 13. La distorsión se reduce eligiendo bien la forma de preparación de bordes y el procedimiento de soldeo; se ponen ejemplos en la Figura 14.

Cuando cesa la deformación plástica queda en la unión el juego de tensiones de la Figura 15, o sea, tracción en el metal depositado y en la HAZ y contracción en el acero circundante. La importancia de estas tensiones residuales se comenta en otras lecciones.

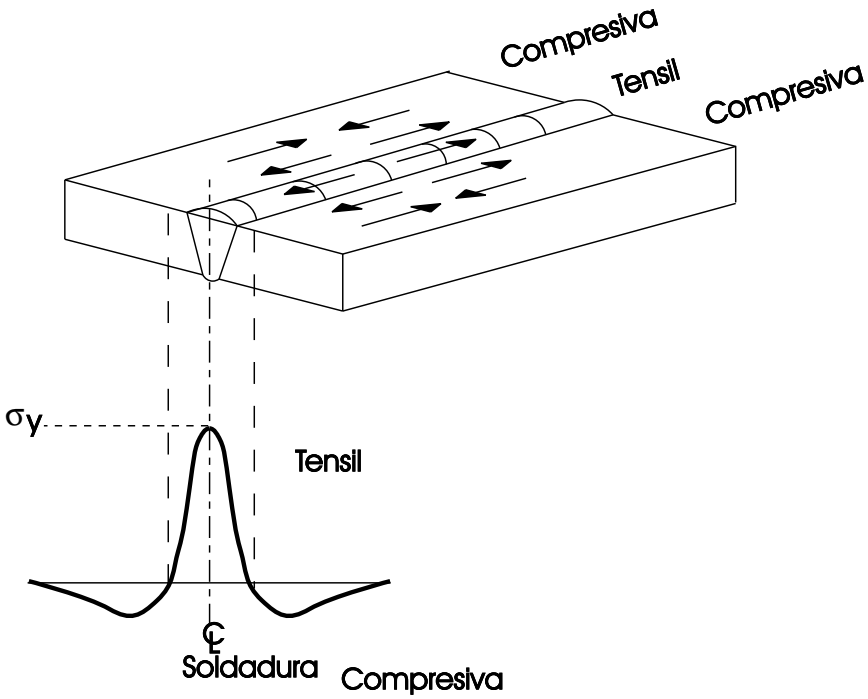


Figura 15 Tensión residual

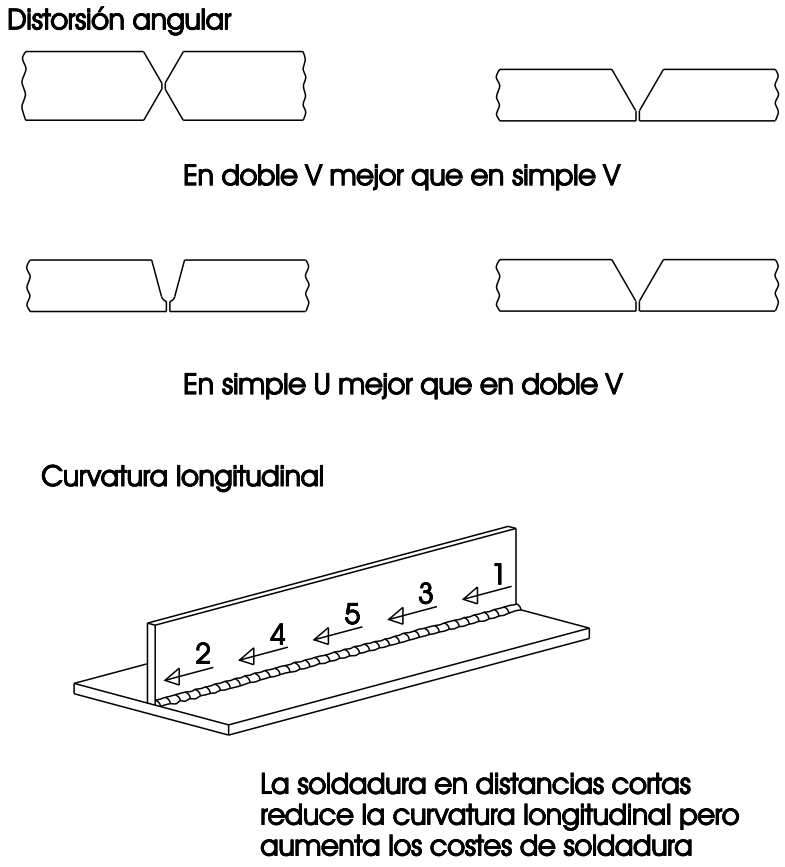


Figura 14 Control de la distorsión (ejemplos)

8. RESUMEN FINAL

1. Una unión se suelda fundiendo el metal base de las dos piezas que se han de unir, generalmente depositando metal.
2. Las propiedades del metal depositado, tras fundirse y solidificarse, y las de la zona circundante afectada por el calor, pueden diferir de las del metal de base.
3. Deben especificarse con exactitud los procedimientos de soldeo para obtener una unión soldada correctamente. Los parámetros principales son: posición de la soldadura, tipo de electrodo, preparación de bordes, precalentamiento, tensión, corriente, velocidad de avance, número de cordones y tratamiento posterior a la soldadura.
4. El metal caliente en la zona de soldadura se contrae al enfriarse causando tensiones residuales. Si no se reprimen apropiadamente, pueden producirse distorsiones.

9. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

1. Hicks, J. “Welding Design”, Granada.
   - details of joints and welds.
   - strength of welded joints.
   - effects of welding on metallurgical structures, heat affected zones, HAZ cracking.
   - edge preparation.
   - welding positions - definitions and comments.

2. Gourd, L. M. “Principles of Welding Technology”, Edward Arnold, 1980.
   - formation of a weld.
   - types of heat source.
   - strength of welded joints.
   - effects of welding on metallurgical structure, heat affected zones, HAZ cracking.
   - edge preparation.
   - comments on residual stresses.
   - control of distortion.

3. Milner, D.R. Y Apps, R. L. “Introduction to Welding and Brazing”, Pergamon.
   - effects of welding on metallurgical structure, heat affected zones, HAZ cracking.
   - control of distortion.

4. Pratt, J. L. “Introduction to the Welding of Structural Steelwork”, Steel Construction Institute - Publication No 014.

5. British Standard BS 5135: 1986, “Metal Arc Welding of Carbon and Carbon Maganese Steels”, British Standards Institution, Londres.

ESDEP TOMO 4
CONSTRUCCIÓN

Lección 4.4: Procesos de soldadura

OBJETIVO/CONTENIDO

Examinar los procesos de soldeo más habituales en la construcción y resaltar ciertos aspectos prácticos

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Lección 4.3: Principios de soldadura

RESUMEN

Esta lección describe los procesos de soldeo más habituales en la construcción: soldeo manual de metal mediante arco, soldeo con aportación de metal por inmersión y pulverización bajo gas activo, soldeo al arco sumergido y soldadura de conectores. Se describe brevemente cada proceso y se resumen sus ventajas, desventajas y limitaciones. Y trata de la elección de un proceso de soldeo en particular.

ABREVIATURAS

MAG	Soldeo de metales con gas activo (denominado a veces MIG = Soldeo de metales con gas inerte)
MMA	Soldeo manual de metales al arco
SAW	Soldeo al arco en inmersión

1. INTRODUCCIÓN –FUENTES DE CALOR Y MÉTODOS DE COBERTURA

Hay tres métodos principales para generar el calor necesario para soldar:

- llama de oxígeno-acetileno.
- resistencia al paso de la corriente.
- arco eléctrico.

Todos estos métodos producen una masa de acero fundido que hay que proteger contra la contaminación del aire. El método que se aplique, es decir, la técnica de cubrición, tiene gran influencia en las características del proceso. En los talleres de fabricación, los procesos suelen basarse en el arco eléctrico.

En el soldeo con arco se cubre la masa fundida con flux o un gas noble (inerte). Esta lección se ocupa principalmente de los cuatro procesos de soldeo al arco que se emplean comúnmente en trabajos estructurales.

2. SOLDEO MANUAL DE METALES AL ARCO

Este método manual es de los más empleados en los procesos de soldeo al arco (ver Figura 1). Hay que ser muy hábil para realizar soldaduras de buena calidad. El electrodo consiste en una varilla de acero revestido que contiene elementos en aleación, como manganeso o sílice. El arco funde el metal base y el electrodo. Al pasar el metal desde la varilla revestida a la masa fundida, el soldador acerca

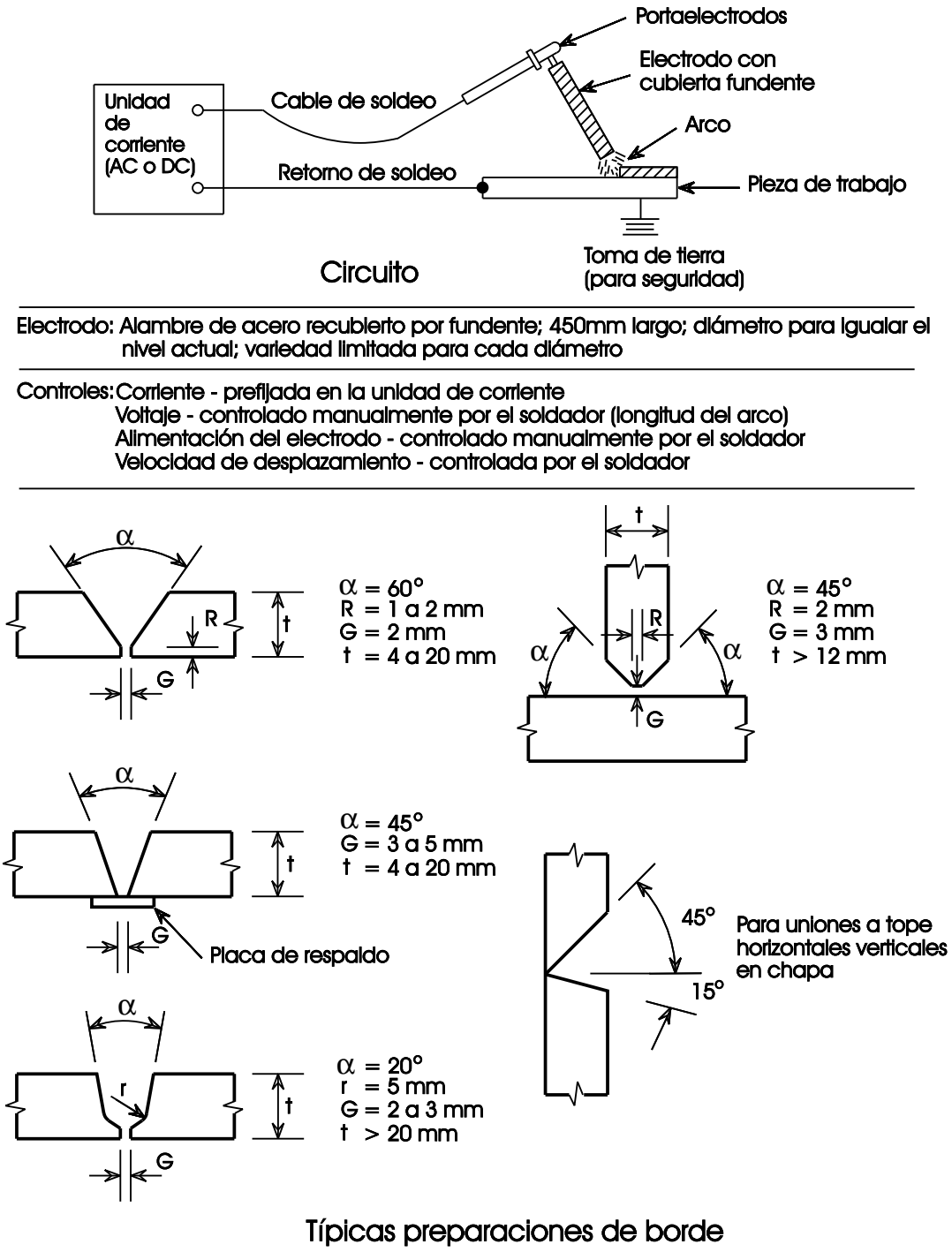


Figura 1 Soldeo en arco manual de metal

el electrodo para que la longitud del arco sea siempre igual. Esto es esencial, pues la longitud del arco determina en gran medida la anchura del cordón. El fundente se funde con la varilla, fluye por la superficie de la masa de metal derretido y forma una escoria que hay que quitar cuando se solidifique.

El MMA tiene muchas ventajas, a saber:

- Poca inversión de capital.
- Libertad de movimientos; se puede trabajar hasta a 20 m de la fuente de energía (útil en la obra).
- Se puede trabajar en todas las posiciones.
- Es apto para acero estructural e inoxidable (pero no con aluminio).

El corto ciclo de trabajo es el mayor inconveniente; es decir, el soldador deposita poco volumen de metal y luego tiene que pararse para poner otro electrodo. No es problema en soldaduras de poca longitud, pero en las largas hay que pensarlo, en especial cuando la mano de obra es cara.

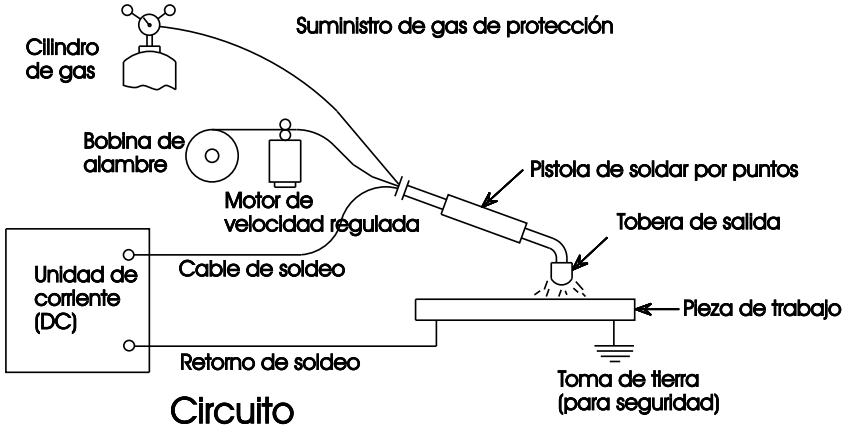
La composición del forro fundente gobierna las características de trabajo del electrodo. Existen varias clases de electrodo adecuadas para cada aplicación. Se escoge una corriente ajustada al diámetro de la varilla que se emplee. Cuando se necesite que la masa derretida contenga poco hidrógeno para que no se agriete la zona afectada por el calor (HAZ) al enfriarse, los electrodos de MMA se deben hornear y guardar a la temperatura y plazos que recomiende el fabricante. Estas medidas aseguran que el metal que depositen los electrodos tenga el debido bajo nivel de hidrógeno difusible.

3. SOLDEO DE METAL CON GAS NOBLE (MAG)

Este proceso se llama a veces soldeo de metal con gas inerte (MIG), pese a que estrictamente hablando, el término MIG debe limitarse al cubrimiento con gas argón puro, que no se utiliza con el acero al carbono.

El MAG es un proceso semiautomático en el que el soplete, unido a un conducto flexible, se maneja a mano, pero todas las demás operaciones son automáticas (ver Figura 2).

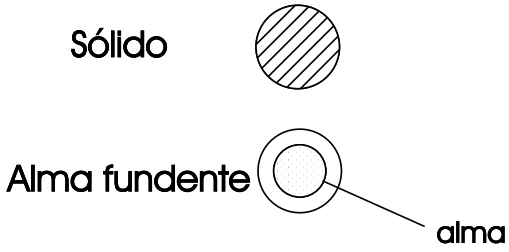
El arco y la masa derretida están envueltas en un gas que no reacciona con el acero fundido; en la práctica normal este gas es bióxido de carbono o una mezcla de argón y bióxido de carbono. No hace falta fundente para cubrir la masa derretida, ya que los elementos de aleación están en la varilla del electrodo, pero a veces se utiliza un electrodo forrado de fundente para crear una escoria que gradúa el perfil del cordón y reduce el riesgo de defectos por falta de fusión y la incidencia de porosidad. La longitud del arco es gobernada por la fuente de energía. Aunque soldar con MAG es algo más fácil que con MMA, hace falta destreza para preparar el soldeo en las debidas condiciones.



Electrodo: Alambre desnudo; 0,9 a 1,6mm diam; la bobina suele tener 10kg de alambre.
Alambre con alma de fundente; 2,4 y 3,2mm

Controles: Corriente - prefijada por el alimentador de velocidad del alambre
Voltaje - prefijado y controlado por suministro eléctrico
Alimentación del electrodo - el motor mantiene una velocidad prefijada
Velocidad de desplazamiento - Controlada por el soldador

Electrodos de alambre para soldadeo por gas para metal activo



El alma fundente tiene un propósito similar a la capa en electrodos cubiertos:
- Formación de escoria para cubrir el metal depositado,
- Inserción de elementos de aleación en el metal depositado
- Reducción de la influencia de succiones

Figura 2a Soldeo protegido con gas inerte (MAG) y soldeo con fundente protector (CO_2)

La forma en que pase el metal de la varilla del electrodo a la masa líquida depende de la corriente, la tensión y la composición del gas envolvente. Al aumentar la corriente, la deposición cambia abruptamente a un rocío muy fino impulsado a través del arco por la fuerza electromagnética de éste. Esto se llama deposición pulverizada y permite soldar contra la gravedad. El cambio del gas a bióxido de carbono (suponiendo electrodos de acero) hace que el paso sea más globular y peor dirigido; pero la situación se invierte con una mezcla de gas inerte y bióxido de carbono.

Siendo los electrodos de acero, una fuerte reducción de la tensión del arco, y también de la corriente (reduciendo el avance de la varilla) produce una deposición llamada de inmersión o de cortocircuito. De esta forma el metal se funde directamente dentro

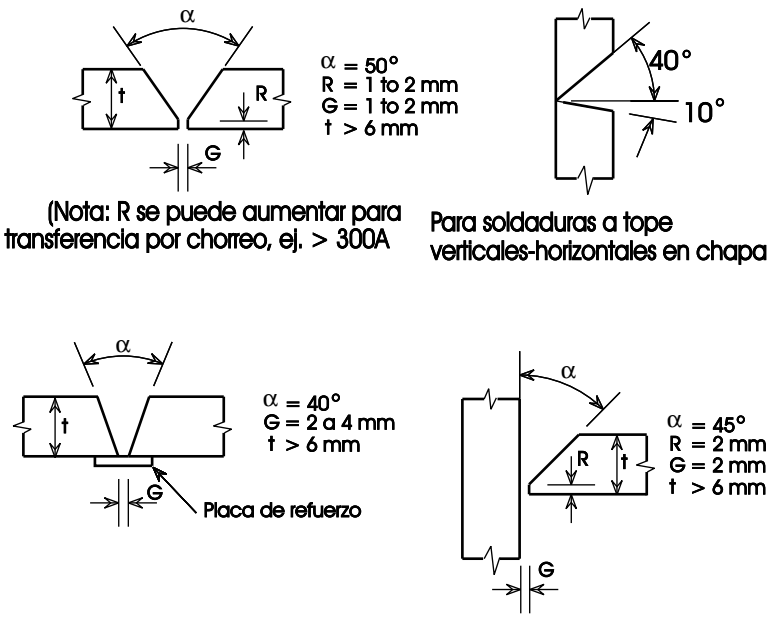


Figura 2b Típicas preparaciones del borde para MAG y soldeo con fundente protector

de la masa derretida sin pasar libremente por el espacio del arco. A tensiones algo más altas el metal pasa por el arco, pero en gotas mayores y menos dirigibles que en el soldeo pulverizado. El cambio de gotas gruesas a rocío es menos pronunciado con acero que con otros metales. A veces se hacen soldaduras de acero en las que predomina este tipo de deposición. También se puede graduar la deposición de metal a corrientes medias y bajas mediante una fuente de energía especial que envía corriente pulsante al arco.

La corriente debe estar a menos de 180A para soldar en vertical y en cornisa (para realizar la soldadura en la modalidad de inmersión), siendo la velocidad de soldeo comparable a la de MMA. El tiempo total para hacer una unión es menor, y por tanto la productividad mayor, porque no hay que quitar la escoria ni cambiar de electrodo. En posición horizontal la corriente puede llegar a 400A (deposición pulverizada) para aumentar la velocidad de soldeo. El método MAG es especialmente apta para soldar con cordón, p. ej.: viga con pilar y rigidizador con chapa. No es fácil de hacer en la obra por la dificultar de trasladar el equipo y la necesidad de poner pantallas para evitar la pérdida de gas y las corrientes de aire.

4. SOLDEO CON ARCO SUMERGIDO (SAW)

Este proceso es totalmente mecanizado pues el cabezal soldador recorre la unión automáticamente (Figura 3). El electrodo es un alambre desnudo movido a motor con mandos. La tensión y corriente se eligen antes de soldar y se mantienen a valores prefijados por sistemas de información que, en la práctica, varían en complejidad. El fundente es granular y se pone sobre la unión. El arco actúa por debajo del fundente fundiendo una parte de él, que forma una escoria. El fundente que no se ha fundido se recoge y sirve para la siguiente soldadura.

El soldeo al arco sumergido se hace generalmente a corrientes entre 400 y 1.000A. Por tanto la masa derretida es grande y sólo se puede manejar en posición horizontal, aunque pueden depositarse cordones en posición horizontal-vertical de hasta 10 mm de largo en una sola pasada. Si fuera difícil regular la penetración en el cordón de la raíz, se puede poner una chapa de respaldo, o bien hacerse el cordón de raíz con MMA o MAG y rellenar la ranura con SAW. El soldeo SAW ofrece ventajas importantes en uniones largas (o sea, de más de un metro de longitud). La gran rapidez del soldeo y la operación continua origina gran productividad. Pero el requisito primordial es el ajuste exacto de la unión.

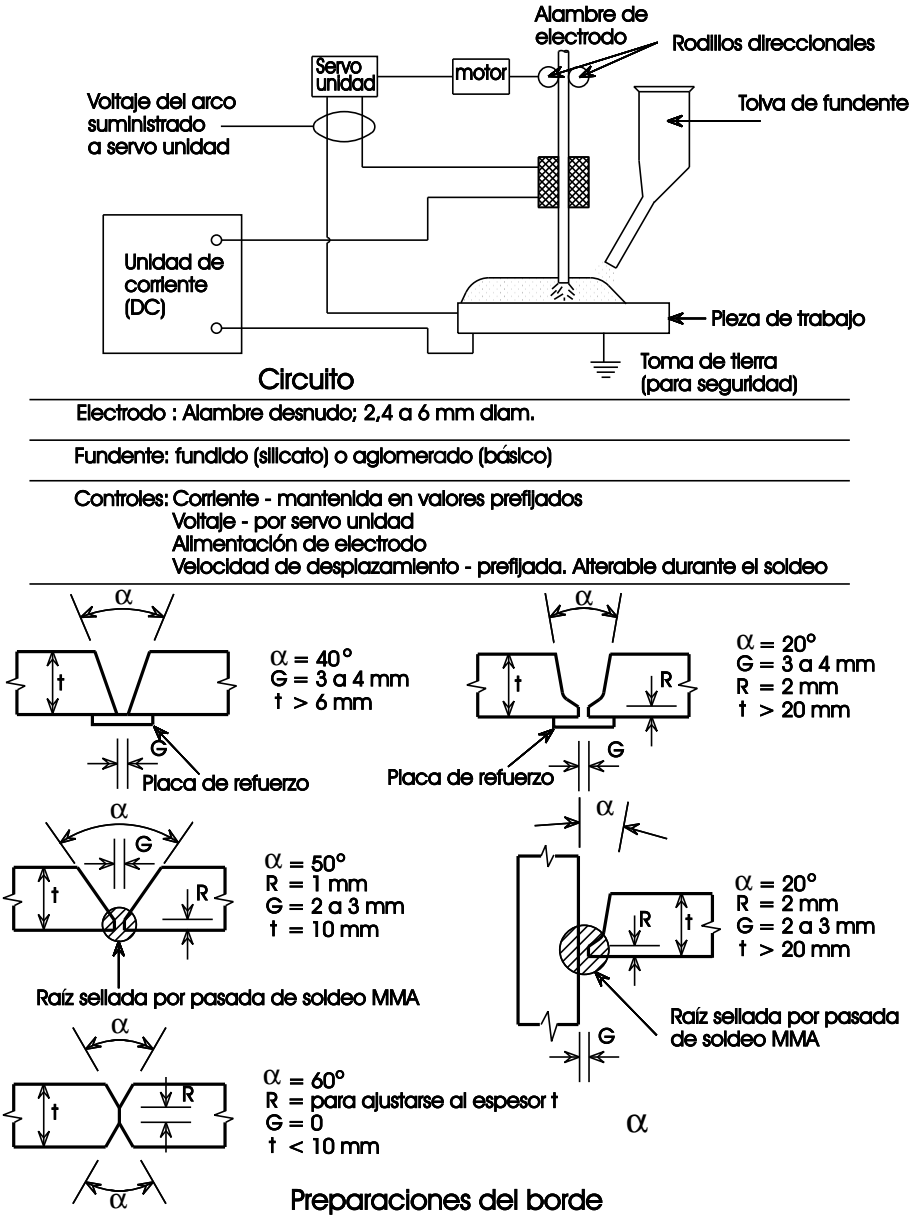


Figura 3 Soldeo por arco sumergido

5. SOLDADURA DE CONECTORES

Se trata de una variación del soldeo al arco para soldar conectores a superficies planas (Figura 4). El conector, que puede ser una barra lisa o roscada, (y si es lisa tiene cabeza), es el electrodo que se acopla en el soplete, que está conectado a la toma de corriente. Primero se pone el conector en contacto con la chapa o perfil de acero y se aparta en cuanto se acciona la corriente para formar el arco. Al formarse la masa derretida y fundirse el extremo del conector, éste se aprieta automáticamente contra la chapa de acero y se apaga la corriente. Al empezar la operación se pone un casquillo cerámico alrededor del arco en el conector, que forma un cordón con el metal fundido que sale expulsado de la superficie de contacto. Este casquillo proporciona también buena protección contra la contaminación del aire.

La soldadura de conectores es un método exacto y rápido para unir conectores a cortante, etc., con una distorsión mínima. Aunque requiere cierta destreza fijar los parámetros de soldeo (tensión, corriente, tiempo y fuerza del arco) el manejo del equipo es relativamente fácil.

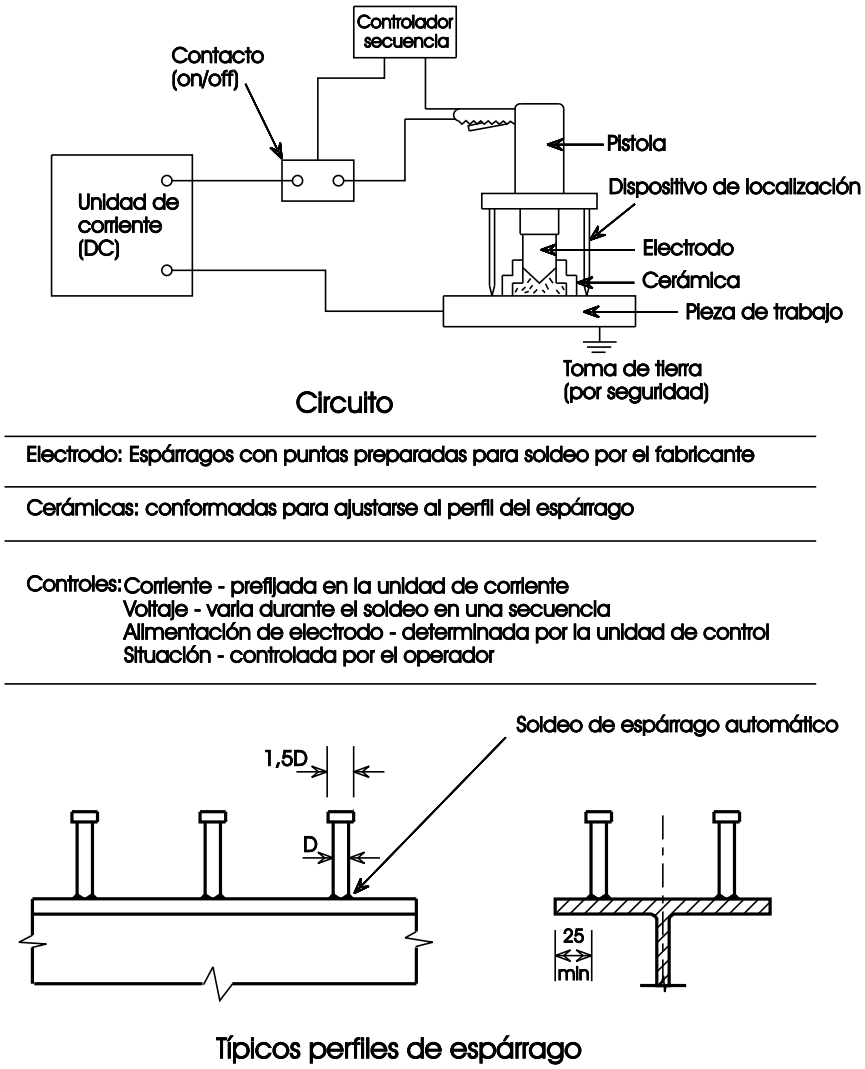


Figura 4 Soldeo por arco de espárragos

6. ELECCIÓN DEL PROCESO

Deben tenerse en cuenta varios factores al elegir el proceso de soldeo:

- El espesor del material que se ha de soldar.
- Dónde se va a realizar el soldeo. El SAW y el MAG pulverizado se ejecutan mejor en el ambiente protegido del taller. El MMA es más fácil de llevar a cabo en la obra.
- La exactitud de la preparación y la posible desalineación. El SAW y el MAG pulverizado exigen un buen montaje; influye mucho la variación de la ranura para la raíz y las dimensiones de sus caras.
- Acceso a la unión. Es necesario situar correctamente la máquina de soldar y el soplete o cabezal.
- La posición de soldeo. El SAW y el MAG pulverizado no son aptos para soldar en vertical o hacia arriba. El MAG sumergido es aceptable para soldar en vertical o en cornisa, pero quizá el MMA sea mejor para soldar en cornisa, sobre todo en la obra.
- La composición del acero. Es más fácil soldar aceros con valor bajo de carbono equivalente y requieren menos nivel de precalentamiento.
- Coste comparado. Se puede calcular el coste por unidad de longitud de soldadura, pero depende del ritmo de fusión del proceso y deben considerarse las diferencias del ciclo de trabajo (tiempo perdido para cambiar electrodos en el MMA, etc.), Figura 5.

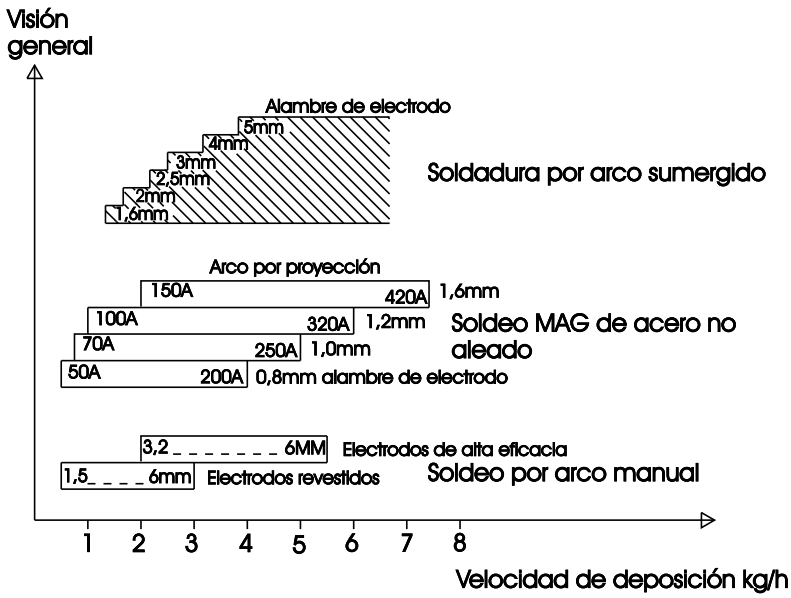


Figura 5 Velocidades de deposición en diferentes métodos

7. RESUMEN FINAL

1. Los procesos de soldeo más comunes en la construcción de obras de acero son: soldeo manual de metal al arco, soldeo de metal por inmersión y pulverización con gas noble, soldeo al arco sumergido y soldadura de espárragos.
2. La soldadura de conectores sirve para unir conectores y otros elementos salientes al acero.
3. La elección correcta del proceso depende del lugar, el montaje, el acceso, la posición, la composición del acero y factores económicos.

8. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

1. Gourd, L. M., "Principles of Welding Technology", E. Arnold, 1980.

- description of processes.

2. Houldcroft, P. T., y Robert, "Welding and Cutting - A Guide to Fusion Welding and Associated Cutting Processes", Woodhead and Faulkner, 1988.

- details of individual processes.

3. Structural Welding Code - Steel, American Welding Society, 1992.

4. EN 24063: 1992 (ISO 4063: 1990) Welding, Brazing, Soldering and Braze Welding of Metals - Nomenclature of Processes and Reference of Numbers for Symbolic Representation on Drawings.

5. EN 288: Part 1: 1992, Welding Procedures Metallic Materials, Part 1: General Rules for Fusion Welding.

6. EN 288: Part 2: 1992, Welding Procedures Metallic Materials, Part 2: Welding Procedure Specification for Arc Welding.

7. EN 288: Part 3: 1992, Welding Procedures Metallic Materials, Part 3: Welding Procedure Tests for Arc Welding of Steels.

8. EN 288: Part 4: 1992, Welding Procedures Metallic Materials, Part 4: Tests for the Arc Welding of Aluminium and its Alloys.

9. Pratt, J. L., "Introduction to the Welding of Structural Steelwork", SCI P-014, 3rd Revised Edition, 1989, Steel Construction Institute.

ESDEP TOMO 4
CONSTRUCCIÓN

Lección 4.5: Fabricación y montaje de edificios

OBJETIVO/CONTENIDO

Describir el carácter general y el orden de fabricación de las construcciones metálicas y el montaje de edificios pequeños y medianos de una o varias plantas con atención a la economía en el coste total de estructuras completas.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Ninguno es esencial.

Las siguientes lecciones pueden ser útiles:

Lección 3.1:	Características de las aleaciones de hierro-carbono
Lección 3.2:	Procesos de fabricación y conformación
Lección 3.3:	Propiedades físicas de los metales
Lección 3.4:	Clases y calidades del acero
Lección 3.5:	Elección de la calidad del acero

LECCIONES AFINES

Lecciones 4.1.1 y 4.1.2:	Fabricación general de estructuras de acero
Lección 4.3:	Principios de soldadura
Lección 4.4:	Procesos de soldadura
Lección 17.8:	Estructuras marítimas: Fabricación
Lección 18.10:	Introducción a la construcción de puentes

RESUMEN

Se describe una red de producción y una organización de talleres tipo ideales para lograr la máxima eficacia. Siguen ejemplos ilustrativos de soluciones alternativas que aumentan la economía. También se esboza el planeamiento y organización de la obra, incluyendo los aspectos de estabilidad y seguridad.

1. INTRODUCCIÓN – FABRICACIÓN

La tarea del fabricante es transformar acero laminado en bienes útiles con valor añadido. Lo realiza vendiendo en competencia el trabajo de hombres y máquinas cuyos costes se relacionan directamente con el tiempo.

Los fabricantes emplean cada vez más técnicas de ingeniería industrial. Su avance continuo en este sentido depende de que mejore la estandarización. El tiempo, y por tanto el coste del trabajo humano, se reduce considerablemente repitiendo las dimensiones y la geometría, el tamaño y forma de las piezas, los centros y diámetros de los tornillos, etc.Todo ello se presta a la racionalización. Se economiza más aún reduciendo el número de piezas complejas que suelen consumir mucha mano de obra, aunque las piezas de base resulten más pesadas. La regla de oro es que el trabajo es más caro que el material.

2. ESTRUCTURA DEL COSTE

Los costes de fabricación se calculan desglosando las distintas actividades en corte, taladrado, soldadura, etc., para poder asignarles horas-hombre y valorarlas para llegar al precio total.

Según una combinación de datos anteriores y experiencia práctica, la acumulación de costes guarda poca relación con el peso del acero elaborado, aunque la referencia en ECUS/tonelada puede ser una guía útil para hacer una comparación rápida entre distintas clases de trabajo.

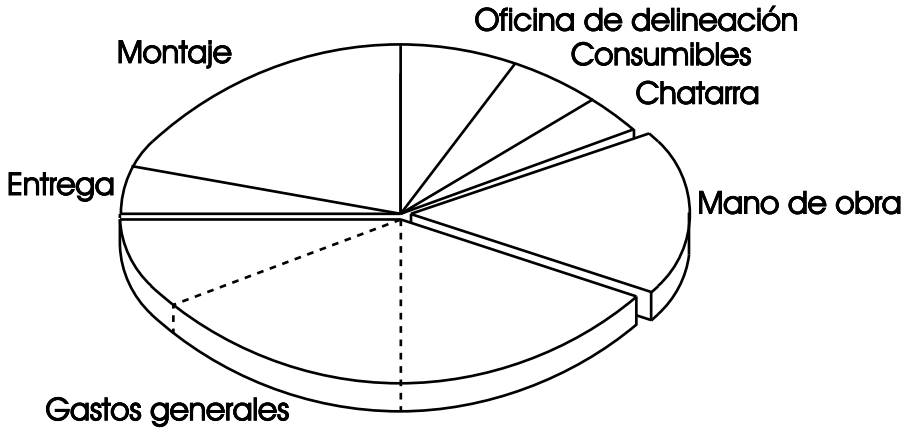


Figura 1 Costes de acería del fabricante para edificios pequeños/medianos

Un desglose típico de costes, en la categoría de pequeña a mediana, indica que más del 50% del coste de fabricación se va en salarios y gastos generales (Figura 1).

Es costumbre añadir dichos gastos a los del trabajo. Así, si la relación entre trabajo y gastos generales es 1:2,5, por cada 100 ECUS de gastos de trabajo, el importe a cobrar es 100 + 250 = 350 ECUS.

3. RED DE PRODUCCIÓN

La organización, capacidad y propósito de las empresas fabricantes varían mucho. Aunque la política y los recursos influyen en la importancia y tipo de la oferta, la secuencia básica de las actividades tiende a seguir una pauta parecida. Puede verse como una vía por donde corren las actividades principales con ramales que son las actividades secundarias (Figura 2).

Esta red forma la base del ordenamiento de la producción, donde el tiempo se relaciona con criterios de coste. La producción ha de ordenarse por la secuencia del programa de construcción, que rara vez coincide con el más eficaz aprovechamiento de todos los recursos. El sistema debe ser sumamente flexible para acomodarse a los cambios de la demanda y reducir a la vez las interrupciones y retrasos costosos.

3.1 Producción primaria y secundaria

El fin del planeamiento es programar la producción de modo que la materia prima sea transformada en producto terminado en el plazo asignado.

Como las máquinas-herramienta principales, sierras por ejemplo, están al principio de la cadena de producción, el movimiento de material debe tener el respaldo de una alimentación independiente de elementos esenciales tal como ménsulas, ejiones y pletinas, en la cantidad y el orden debidos.

Esto, y montar subconjuntos si conviniera, es el cometido de la producción secundaria. Los artículos o servicios especiales adquiridos, como forjados y prensados, e incluso los ensayos no destructivos, deben estar disponibles a su debido tiempo.

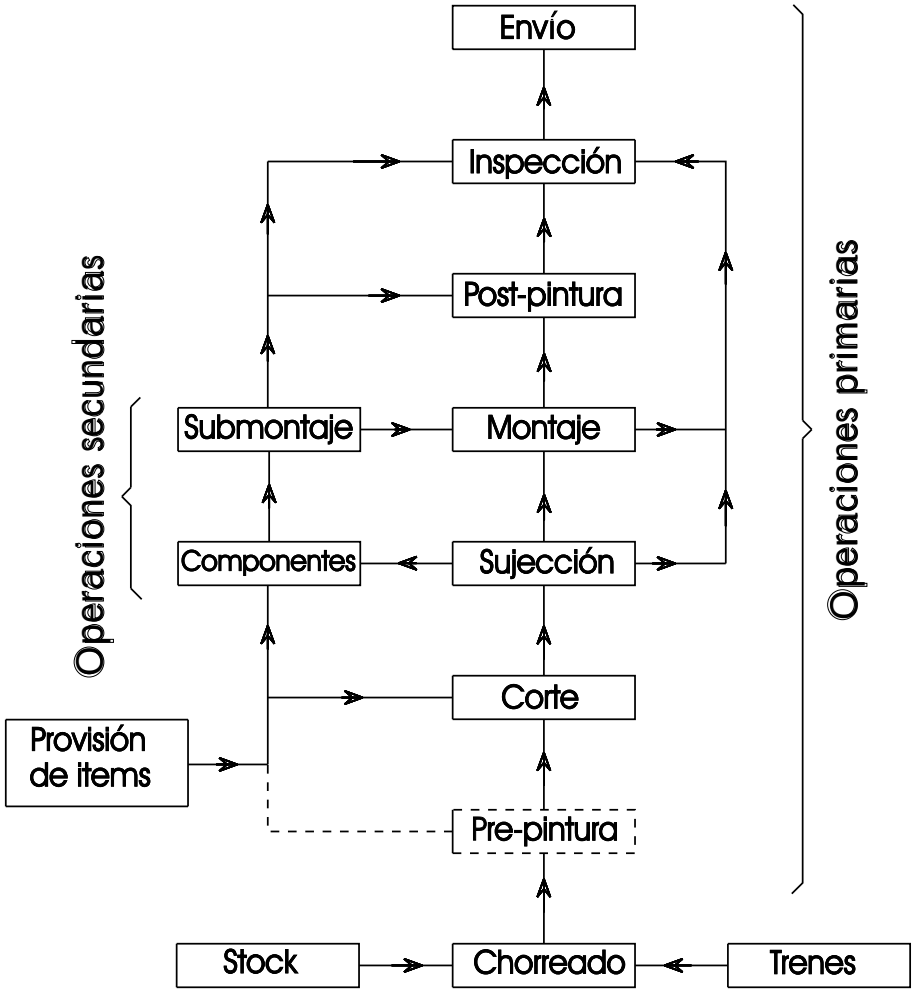


Figura 2 Red de producción

3.2 Organización del taller – Preparación del material

La estructura de acero de un edificio se construye principalmente mediante una serie de elementos lineales hechos con perfiles normalizados. La zona de preparación del material se tipifica por un grupo de secciones de trabajo que consisten en (Figura 3):

A. Chorreado de granalla
B. Corte
C. Taladrado
D. Recorte y punzonado.

El primer paso es pasar el acero por equipo de granallado en “A” para quitar la suciedad y desescamar. Hay varios grados de limpieza, pero en casi todos los edificios es suficiente el grado SA $2_{1/2}$ según la especificación sueca SIS 055900. Esto exige que el 95% de la superficie esté limpia.

La siguiente fase es llevar el acero a la zona de corte “B” para cortarlo longitudinalmente, seguido por el taladrado en “C”. En varios talleres se combina en una sola operación el corte y el taladrado simultáneo en 3 ejes. O bien, los perfiles angulares o planos de espesor adecuado para recortar y punzonar pasan directamente a “D”.

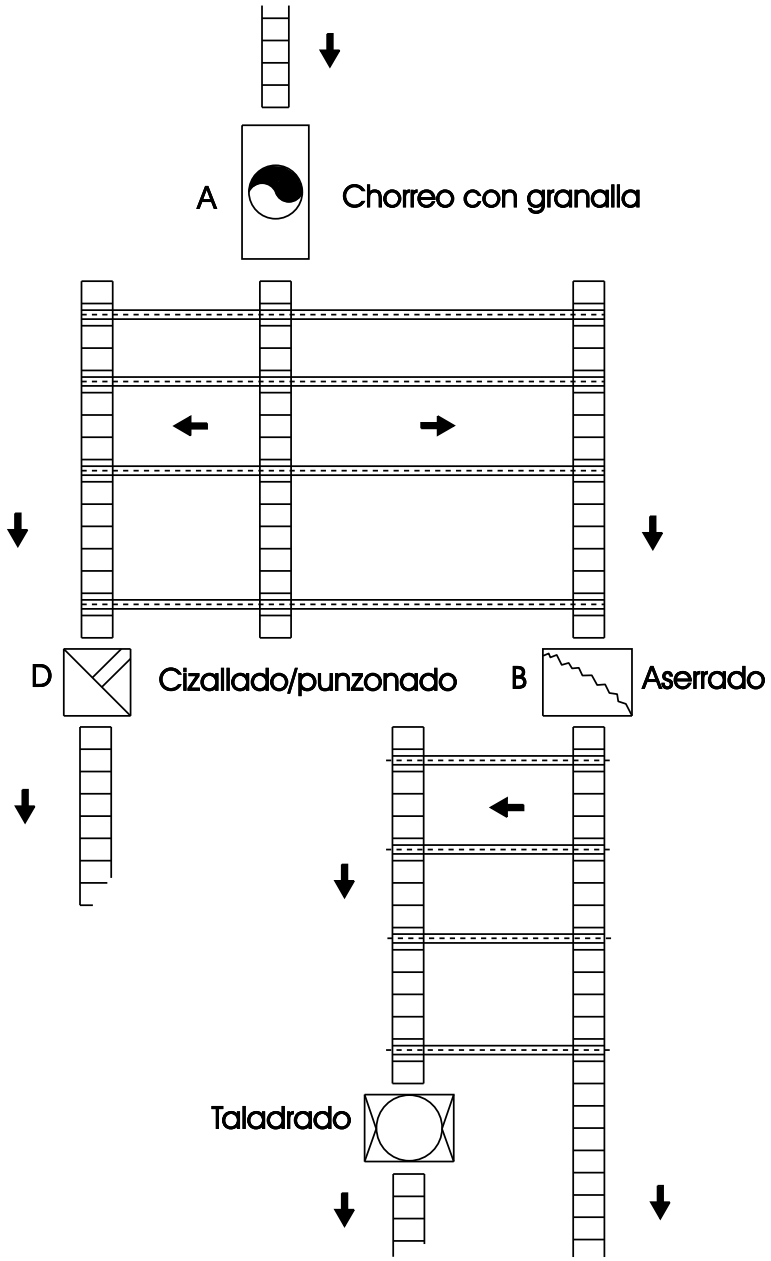


Figura 3 Disposición de un taller

Para acelerar y facilitar el movimiento de las piezas cada vez hay más redes de transporte a motor alimentados en perpendicular. Con los últimos automatismos se pueden dirigir todas las operaciones y el movimiento del material desde un pupitre central con mandos numéricos.

Al ser la chapa menos rígida es más difícil de manejar. Suelen izarse y moverse con una grúa magnética que la lleva a una zona separada de trabajo de chapa donde se corta con soplete o cizalla.

3.3 Organización del taller – Montaje y acabado

En esta fase los grandes elementos de la fase primaria se unen mediante elementos secundarios, placas de testa, rigidizadores, etc., para su ajuste y montaje, principalmente por soldeo. Se puede poner algún tornillo, según el tipo y fin de la estructura, sólo para comprobar la alineación. Pero por regla general, la uniones se sueldan en el taller y se atornillan en la obra.

Dada la variedad de tamaños y clases del trabajo realizado en cualquier momento, la zona de montaje debe ser sumamente flexible y bien

provista de grúas. La fabricación debe ajustarse a la secuencia del programa de construcción. Por ello las zonas de trabajo han de cambiar rápidamente de vigas y pilares a grandes jácenas de celosía.

La aplicación más económica del personal y maquinaria del taller rara vez coincide con las exigencias de la obra y ello crea nuevas complicaciones de organización. Por esta razón, las modificaciones que parecen sencillas son costosas de realizar después que ha empezado la construcción.

Si se precisa imprimación, las complejas especificaciones que no siempre se refieren a la construcción metálica de que consta un edificio normal pueden añadir fácilmente un 20% al coste de fabricación. Habrá que considerar en cada caso la función y las futuras necesidades de conservación en vez de adoptar un concepto general.

Las manos de pintura sobre acero estructural deben secarse pronto para poder seguir manipulando las piezas y descongestionar el taller. Aunque se puede retocar a brocha un desperfecto menor, una gran superficie sólo se puede cubrir a pistola. La pintura a pistola puede ser manual o automática, pasando la pieza por un túnel cerrado que contiene las boquillas pulverizadoras. Este proceso se puede suplementar con secado al horno.

La inspección después del montaje se centra en las dimensiones generales y la posición de las pletinas, taladros y demás, para asegurar la exacta alineación cuando se monte en la obra. Los elementos compuestos, como jácenas de celosía, se comprueban por sí solos hasta cierto punto, ya que las piezas se han ajustado al armarlas. Este principio sirve a menudo para premontar estructuras complejas antes de su envío a obra.

Si hubiera que examinar las soldaduras a fondo, se examinarán en la fase conveniente según la clase de trabajo, y hasta el punto que especifique el ingeniero. Pero se hace notar, en interés de la economía, que las técnicas radiográficas y afines, además de ser caras, acarrean gastos adicionales por su efecto perturbador de la fabricación. Habrá que estudiar la limitación del plan de inspección a las zonas decisivas para la eficacia estructural.

El objeto de la inspección es comprobar que la estructura cumple con los documentos del contrato. La forma de inspección definida para casi todas las estructuras de edificios es práctica y económica. Si se requiriesen tolerancias más precisas y mayor exactitud, la frecuencia e intensidad de las inspecciones deberá aumentarse. Por este motivo los documentos de licitación han de definir claramente los procedimientos de inspección de modo que el fabricante tome las medidas oportunas.

Tras un examen numérico pieza a pieza y poner marcas de identificación, la construcción de acero pasa al parque de elementos terminados, salvo que vaya a ser enviada inmediatamente. Allí se apilan listos para el envío, junto con las piezas de ajuste o secundarias sueltas, atadas con alambre a la pieza base.

Los costes del transporte no se basan en el peso. Enviar un camión cargado con parte de su capacidad cuesta exactamente lo mismo que uno con carga total. Los conjuntos armados ocupan un espacio considerable, pero se puede mitigar el efecto por el número y disposición de los empalmes.

Además de a la organización de la obra, se prestará la debida atención a las limitaciones de las instalaciones de descarga y manipulación, al acceso restringido a ciertos horarios, al gálibo de los puentes bajos y al permiso de la policía para transportar cargas anchas o excesivamente largas.

4. PROYECTO/ECONOMÍA DE LOS DETALLES

Al estudiar las posibles soluciones estructurales debe lograrse un equilibrio que refleje la relación entre partidas presupuestarias. Si este estudio no se extiende desde la especificación de materiales al montaje en obra, las estimaciones de precio se distorsionan. Buena parte de los detalles los dicta el concepto del proyecto, que es el factor clave para decidir cómo se va a construir la estructura, cómo se va a transportar, y finalmente montar en obra.

Si bien no es posible fijar reglas absolutas, se enumeran estos ejemplos con un fin orientativo.

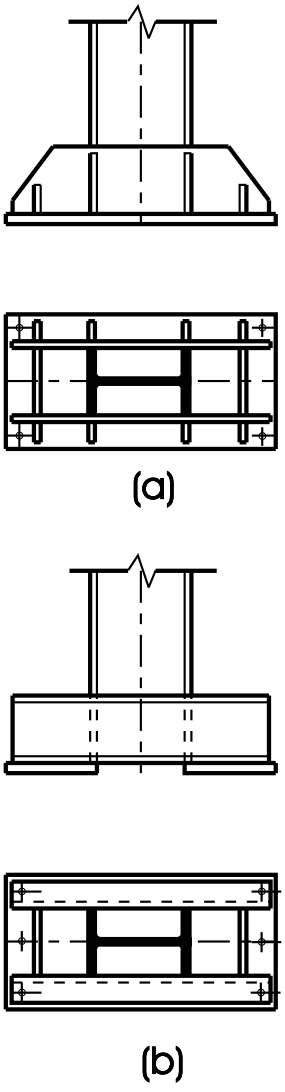


Figura 4 Bases de columna

Bases de pilares (Figura 4): El detalle a) no tiene menos de once piezas de chapa con abundante soldadura. Además de que este trabajo debe realizarse durante el montaje primario, también se necesita manipularlo mucho para tener acceso y para evitar que las soldaduras lo deformen.

En comparación, la base del detalle b) con perfiles en U, tal vez sea más larga y las placas de base más gruesas, pero el número de piezas se queda en seis y el trabajo se reduje drásticamente. Nótese también que el canto interior de dos placas de base está soldado a las alas del pilar, por lo que no se necesitan rigidizadores separados.

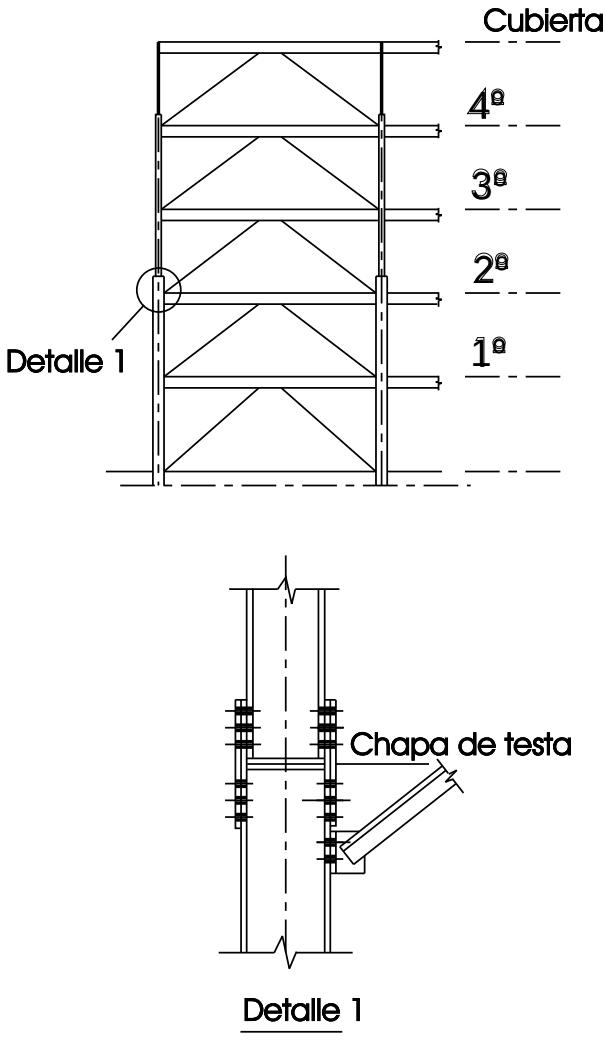


Figura 5 Pilares de varias plantas

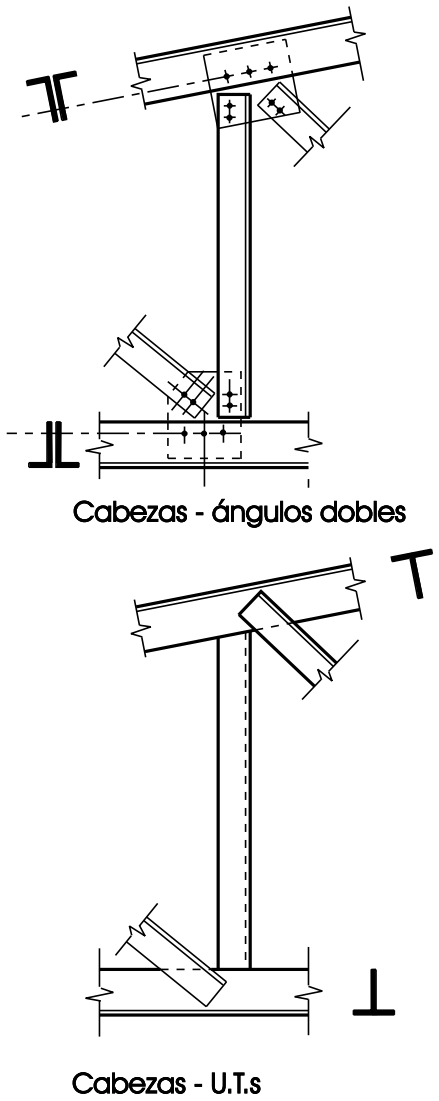


Figura 6 Vigas celosía atornilladas/soldadas

Pilares de varias alturas (Figura 5): Según el principio de menor peso, los pilares tienen tres cambios de sección con dos empalmes. Nótese que el último lleva suplementos, bien prensados o mecanizados, para ajustar la diferencia de alturas.

El ahorro del costo del material por reducir el fuste sobre la 4ª planta, se lo lleva el coste del empalme, y si todo el material empleado pesa menos de 20 toneladas, habrá un recargo en el precio del acero.

El cambio de sección también cambia la geometría y por tanto la longitud de las riostras, con el consiguiente ajuste del ángulo de las uniones.

Veamos los fustes de los pilares desde el suelo al 4º piso. Sin duda las cargas son ahí mayores. Una posibilidad es estudiar hacerlas de acero de alta resistencia y la parte alta de acero de baja resistencia de igual perfil. Aunque el acero de gran resistencia es más caro, se obtendrá uniformidad de detalles, de longitud de vigas y de uniones, de arriba abajo.

Por último, nótese que la unión se fija a los arriostramientos y no al pilar. Las ventajas son las siguientes:

1. La fabricación primaria es más rápida porque las operaciones en el pilar se reducen al mínimo.

2. El pilar tiene menos salientes, y es por lo tanto más fácil de acomodar para el transporte.

3. Los salientes soldados se exponen a sufrir daños durante el transporte y son caros de reparar en la obra.

Vigas de celosía (Figura 6): Puede haber razones fundadas para unirlas con tornillos, pero se requieren cartelas de distintas formas. Hay que punzonar o taladrar todas, además de los tirantes, y luego atornillarlas una a una.

Como las caras interiores de los cordones superiores serán permanentemente inaccesibles, habrá que pintar estas piezas y las cartelas una a una antes de montarlas. Esta tarea es cara y engorrosa. Por ello, aunque el precio del perfil T es 20% más alto que el L, la celosía soldada podría resultar una proposición más barata, excepto jácenas de vano bastante corto.

5. GENERALIDADES – MONTAJE

Si bien el montaje de la fábrica de acero puede considerarse la fase final de su fabricación, se diferencia de ella en dos cosas importantes: primero, se añade la dificultad de la altura y el tiempo dedicado a subir materiales, equipos y trabajadores; y segundo, el tener que realizar el trabajo al aire libre significa que el mal tiempo puede impedir su progreso.

Por su propia naturaleza, el trabajo realizado en la obra puede resultar demasiado caro. La meta principal del programa debe ser reducir los costes comprimiendo los plazos con realismo. Si no se estudian atentamente las opciones y alternativas en la fase de anteproyecto, la posibilidad de acortar los plazos queda disminuida innecesariamente.

Es claro que la relevancia de las distintas cuestiones varía según el tipo de edificio y las limitaciones que impongan el terreno y el medio. Incluso en estructuras muy parecidas, puede que haya que adoptar métodos y procedimientos de montaje diferentes. Por esta razón sólo se pueden establecer principios de montaje muy generales.

5.1 Planificación de la obra

Invariablemente, el montaje de la estructura de acero está estrechamente integrado con otros oficios, tales como solado, cerramiento y servicios. Las operaciones en la obra, con posible competencia por recursos limitados, pueden ser difíciles de dirigir. Se debe idear y mantener una estrategia previsora.

Deben fijarse objetivos clave con claridad, y lo más importante, las fechas de comienzo y terminación, y examinar el progreso periódicamente. El incumplir compromisos puede ocasionar fuertes penalizaciones, y hace surgir otras complicaciones completamente desproporcionadas a la causa.

5.2 Organización de la obra

Una obra con acceso limitado y restringido reduce al máximo el tamaño y peso de los elementos de acero que se pueden recepcionar.

Las calles estrechas del centro urbano ocasionan dificultades de espacio y maniobra. También el tiempo de espera para descargar puede ser reducido a ciertas horas. Estas cuestiones deben investigarse con mucha antelación y tomarse las decisiones consiguientes.

Dentro de la obra suele haber varios obstáculos, como andamios, puntales, pilotes, excavaciones, etc., que dificultan el movimiento. Las vías de servicio y áreas de descarga deben estar compactadas y bien drenadas para soportar vehículos pesados en las más crudas condiciones invernales. La construcción de acero se deberá montar en el orden general previsto en el programa de la obra. Cada entrega de acero estará regulada estrictamente respecto a este calendario. Si bien en algún caso se podrán izar ciertos elementos clave directamente del camión a su ubicación definitiva, habrá que descargar casi todo el material y acopiarlo hasta que haga falta.

El lugar de la obra destinado a acopios debe estar en orden y bien dirigido, en particular si es escaso. Se suele tener una pequeña reserva de material en previsión de interrupciones en la entrega debidas, por ejemplo, retrasos por el tráfico.

También hace falta espacio para seleccionar el material y premontar pórticos o vigas antes de izarlas a donde corresponde.

5.3 Comienzo

Antes de empezar el montaje, el fabricante deberá examinar la posición en planta y el nivel de las basas de los pilares y lo hará lo antes posible para que se puedan corregir a tiempo los errores que hubiera, o que por lo menos se aprueben e introduzcan otras alternativas.

El examen incluirá, además del centro de los pernos de la cimentación respecto a los ejes de la retícula, la proyección de los pernos sobre el nivel de las bases.

Las desviaciones menores se compensan con el espesor del mortero de nivelación bajo la placa de base y dejando juego alrededor de los pernos al hormigonar, lo que le da a los pilares una pequeña desviación del aplomado y nivelación real. Normalmente, la variación producida es de ± 25 mm en cualquier sentido.

5.4 Operaciones

El montaje del acero podría parecer una serie de operaciones separadas, cuando en realidad se solapan y unen. Sin embargo, cada fase completa del trabajo debe seguir un curso metódico que consiste en:

- Izado
- Uniones provisionales
- Aplomado, nivelación y alineación
- Uniones permanentes.

No sería práctico acabar toda la estructura sin corregir antes las pequeñas errores que se pueden acumular en la fabricación y al principio. Por lo tanto, el trabajo se divide en varias fases que se pueden comprobar por la forma, o simplemente por un número adecuado de crujías o plantas. La estabilidad de cada fase se logra con algún tipo de refuerzo que crea un efecto local de cajón. Este efecto se consigue de varias maneras, como puede ser un arriostramiento temporal o permanente.

Los extremos y los anclajes de las bases se unen al principio sólo provisionalmente. Después de aplomar, nivelar y alinear, todas las uniones se hacen definitivas apretando las tuercas o metiendo los pernos que se hayan omitido antes para facilitar el ajuste. Este proceso permite dejar libres zonas amplias para que puedan trabajar los oficios que siguen, mucho antes de lo que habría sido posible de otro modo.

5.5 Edificios de una planta

En circunstancias normales, los edificios de una planta se montan rápida y fácilmente. Una gran parte de los edificios industriales tienen uniones rígidas. Es práctica común atornillar, armar o soldar estas uniones en el suelo y luego levantar el pórtico completo con una grúa móvil.

Las jácenas y vigas de celosía se montan del mismo modo, pero puede ser necesario rigidizarlas temporalmente contra el pandeo lateral. Debe cuidarse no exponer las barras esbeltas a fuerzas de compresión excesivas, poniendo orejetas u otros medios para izarlas en posiciones determinadas.

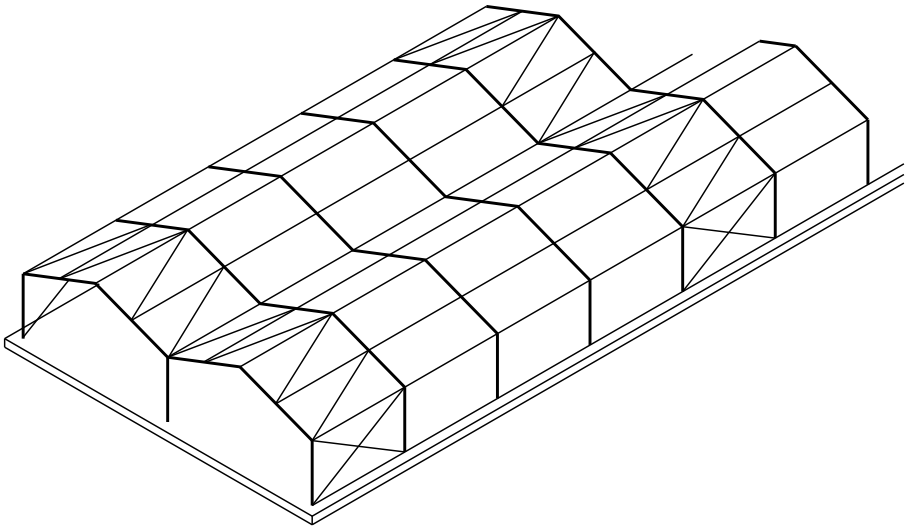


Figura 7 Edificio de una planta

Lo ideal es empezar el montaje por un extremo que esté arriostrado permanentemente. De no ser así, se pondrán riostras provisionales a distancias regulares como defensa contra el colapso o la deformación (Figura 7).

Las cubiertas tridimensionales se calculan con vanos en dos ejes. Por el gran número de uniones que requieren, es más barato armar los

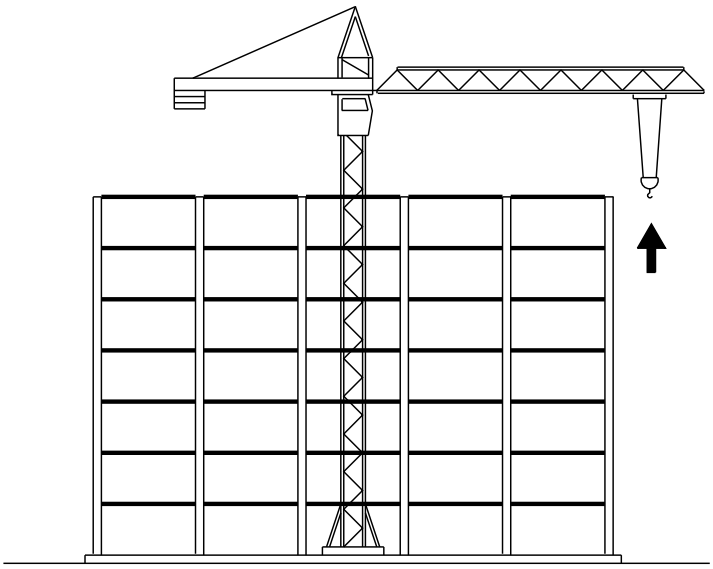


Figura 8 Edificio de varias plantas montado con grúa torre

módulos en el suelo, donde las uniones son de fácil acceso, e izar la construcción completa. Se necesitarán dos grúas, o quizás tres, según el tamaño del edificio. Es esencial una coordinación meticulosa.

5.6 Edificios de varias plantas

Casi todos los casos los edificios de varias plantas se montan piso por piso, facilitando así terminar antes las primeras plantas que ofrecen acceso, techo seguro y protección contra la intemperie. En muchas obras el único medio de elevación es una grúa torre. En este caso varios subcontratistas tienen que compartirla, lo que limita el "tiempo de gancho" de cada oficio.

Puesto que la grúa torre está en una posición fija (Figura 8), está totalmente libre de obstáculos, como sótanos o forjados de solera que impidan el acceso a una grúa móvil. Esta independencia ofrece libertad muy útil para trazar un plan general. A cambio, la posición fija tiene la capacidad de izado en un arco fijo con el mínimo de carga al extremo del gancho. La consecuencia es que habrá que realizar los empalmes de la construcción de acero en la obra, sólo para que el peso de los conjuntos esté dentro de dicho límite.

Una de las grandes virtudes de la grúa móvil (Figura 9) es la flexibilidad e independencia para moverse siguiendo el avance del trabajo. El brazo de estas grúas suele ser telescópico lo que les permite entrar en acción muy deprisa. El vehículo se estabiliza para el izado mediante soportes niveladores dotados de gatos niveladores.

Si al edificio acabado se le confiere estabilidad permanente por varios medios, a saber, crujías arriostradas, uniones rígidas, conductos rígidos de servicios (Figura 10), y mediante el efecto de diafragma de los forjados, se debe asegurar la estabilidad mientras se está construyendo. Podría ser necesario, por tanto, instalar riostrar provisionales, sólo con este fin, que no deberán quitarse mientras el sistema definitivo no esté concluido y haya entrado en carga.

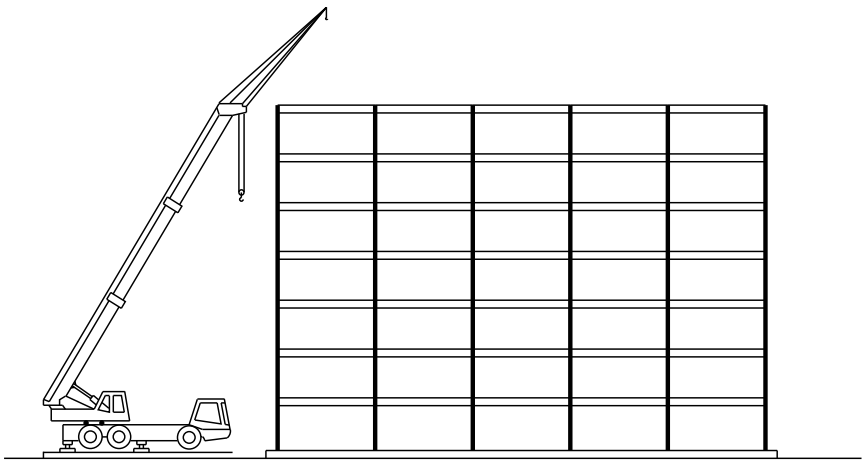


Figura 9 Edificio de varias plantas montado con grúa móvil

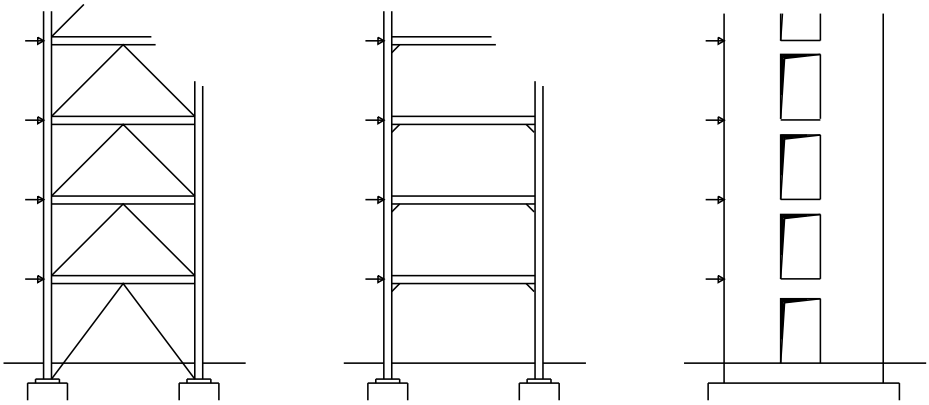


Figura 10 Sistemas de arriostramiento

Las uniones que transmiten momentos flectores son inherentemente más robustas y pueden necesitar nervios de refuerzo y rigidizadores; de ser así, ha de cuidarse que haya acceso a los tornillos. En estas aplicaciones a menudo se usan tornillos pretensados. Normalmente se aprietan con torsión mínima con una llave a automática.

5.7 Tiempo

El ritmo de montaje de la construcción de acero se rige por multitud de factores, en algunos de los cuales no puede influir el autor del proyecto. Los factores que sí dependen de su voluntad son:

- tipo de unión
- cantidad y tipo de uniones atornilladas o soldadas
- número de piezas de la estructura

Las uniones anticizalla son sencillas y se hacen con tornillos de grado 4,6 u 8,8. El diámetro del tornillo se ha de elegir con cierto cuidado. Por ejemplo, la resistencia al esfuerzo cortante del tornillo M30 es más del doble que la del M20, pero se necesita una fuerza de apriete alrededor de 3,5 veces mayor. Un tornillo M20 se puede apretar sin dificultad con herramientas de mano corrientes, una ventaja considerable cuando se trabaja en altura.

Soldar las uniones de estructuras convencionales en la obra consume más tiempo y es más caro que atornillarlas. Pero en alguna ocasión el soldeo en obra será el único modo realista de hacer una unión, por ejemplo, tratándose de modificaciones o correcciones. En este caso, la preparación, ajuste e inspección de la junta y la construcción especial de una caseta (para acceso y protección contra la intemperie), son factores de coste adicionales que han de tenerse en cuenta.

Aproximadamente, el 50% de las horas-hombre de montaje se ocupan en alinear, aplomar y nivelar y poner los tornillos definitivos, y el resto del tiempo se dedica a subir las piezas a su sitio. Pero en ciertos casos conviene armar elementos de viga y pilar en el suelo e izarlos directamente sobre su cimentación.

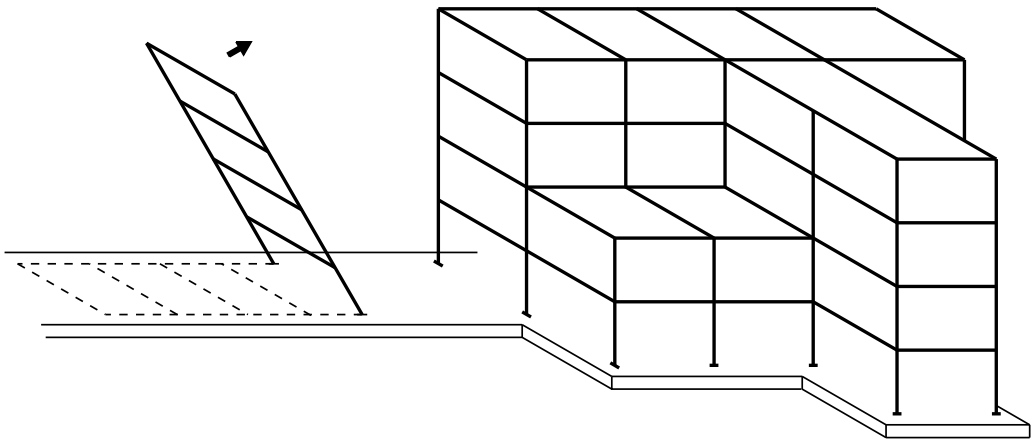


Figura 11 Montaje de estructuras ensambladas

5.8 Seguridad

El montaje de la estructura de un edificio tiene riesgos. Todos los años ocurren accidentes serios y mortales en las obras, y la mayoría son caídas desde lo alto o en el ascenso; pero manipular, izar y mover materiales es también peligroso.

Medidas tales como dotar la adecuada estabilidad durante la construcción, acceso fácil a los empalmes y uniones, quitamiedos y sujeciones de seguridad, etc., aminoran los riesgos considerablemente.

Tampoco hay que disminuir la seguridad a cambio de economía. Por ejemplo, resulta más barato armar pórticos en el suelo que en el aire (Figura 11). Los pisos de tableros metálicos, además de ser económicos, ofrecen acceso rápido a todos los oficios a la vez que protección vertical. También se promueve la seguridad colocando escaleras metálicas en cada planta a medida que avanza el montaje.

La legislación actual atribuye responsabilidad al ingeniero proyectista porque el proyecto y los detalles influyen en el método y el orden de montaje, y puede que la legislación futura aumente esta responsabilidad.

6. RESUMEN FINAL

1. El tiempo que ocupa el montaje de la estructura metálica es corto respecto al programa de construcción total, pero en ese tiempo hay una actividad considerable, vital para la ejecución completa del contrato.
2. La estructura metálica no debe verse aisladamente, sino como un eslabón vital de la cadena de construcción, donde el tiempo ahorrado puede tener un efecto importante en la reducción del coste total.
3. Debe pensarse pronto en el montaje, ya durante la elaboración del proyecto y los detalles, para poder aprovechar todas las ventajas de la construcción de acero y reducir mucho la necesidad de cambios posteriores y la imperfección consiguiente.

7. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

1. Davies, B. J, Y Crawely, E. J., “Structural Steelwork Fabrication”, BCSA, 1980.

2. “National Structural Specification for Building Construction”, BCSA, 1989.

3. Arch, W. H., “Structural Steelwork Erection”, BCSA, 1989.

4. HMSO, “Guidance Notes, Safe Erection of Structures“

GS 28/1 Initial Planning and Design, 1984.

GS 28/2 Site Management and Procedures, 1985.

GS 28/3 Working Places and Access, 1986.

GS 28/4 Legislation and Training, 1986.

ESDEP TOMO 4
CONSTRUCCIÓN

Lección 4.6: Inspección/Garantía de Calidad

OBJETIVO/CONTENIDO

Explicar que la inspección es esencial para garantizar la seguridad y presentar los tipos de inspección principales de materiales, dimensiones, soldadura y tornillería y el instrumental con que se realiza. Definir los términos y concienciar sobre la materia.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Lecciones 1: Construcción de acero: Factores económicos y comerciales

Lecciones 2: Construcción de acero: Introducción al proyecto

Lecciones 3: Metalurgia aplicada

Lecciones 4: Construcción

Lecciones 8: Estabilidad aplicada

Lecciones 13: Proyecto de uniones

Lecciones 14: Cálculo de fatiga

LECCIONES AFINES

Lección 2.2.1: Filosofías de proyecto

Lecciones 4.1.1 y 4.1.2: Fabricación general de estructuras de acero

Lección 4.3: Principios de soldadura

Lección 4.4: Procesos de soldadura

RESUMEN

Esta lección define los términos más importantes que se utilizan en este campo. Trata de los objetivos principales de la inspección y garantía de calidad para lograr seguridad sin perjuicio de la economía. Se definen las responsabilidades interdependientes del proyecto, fabricación e inspección. Se presentan los principales tipos y métodos más comunes de inspección, con una breve explicación del motivo de su necesidad.

1. INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES

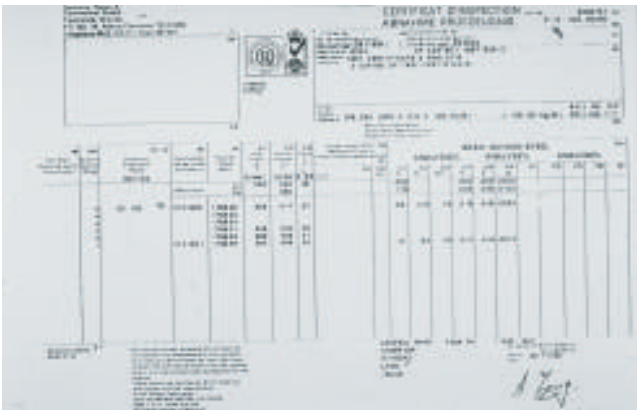
Las siguientes definiciones son de aplicación general en las actividades de proyecto y fabricación, incluso de las estructuras de acero:

Calidad: Todos los aspectos y características de un producto o servicio que inciden en su capacidad para satisfacer una necesidad determinada, Diapositiva 1.

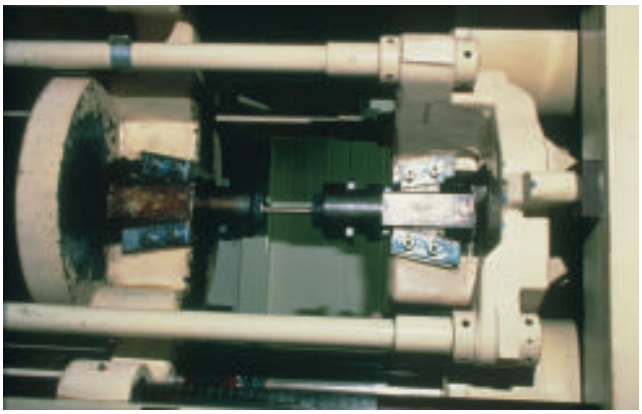


Diapositiva 1

Garantía de calidad: El sistema que comprende todas las actividades, documentación y funciones encaminadas a lograr la calidad deseada. Diapositiva 2.



Diapositiva 2



Diapositiva 3

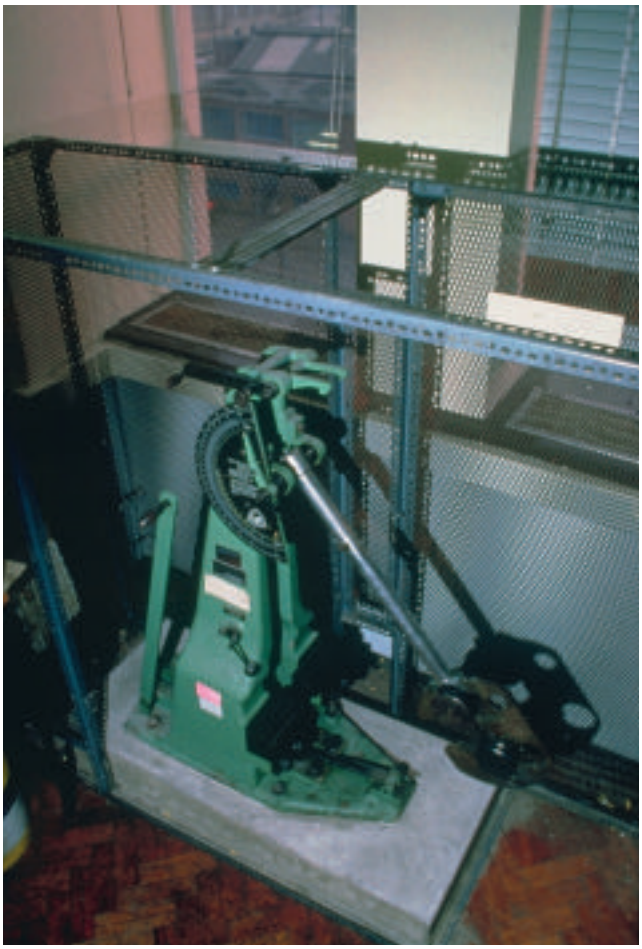
Control de calidad: Las técnicas y acciones operativas que aseguran que un producto o servicio cumpla las condiciones especificadas, y también la aplicación de dichas técnicas y acciones. Diapositiva 3.

Especificación: El documento que describe en detalle las condiciones que debe cumplir un producto o servicio. Diapositiva 4.

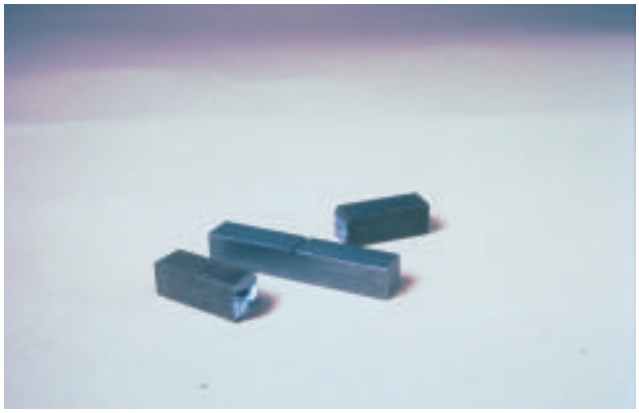
Inspección: El proceso de medir, examinar, ensayar, calibrar o comparar de otro modo un artículo con las normas que se le aplican. Diapositivas 5, 6 y 7.



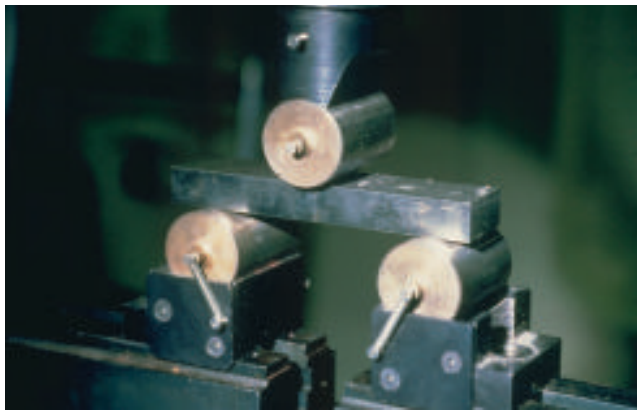
Diapositiva 4



Diapositiva 5



Diapositiva 6



Diapositiva 7

Certificación: El acta que documenta con autoridad el cumplimiento de tales condiciones.

De estas definiciones se sigue que la inspección es una parte importante del control de calidad y que el control de calidad y la certificación son partes importantes de la garantía de calidad.

2. OBJETIVOS

Los objetivos de la garantía de calidad de la construcción de acero son asegurar que:

1. La calidad del proyecto, la especificación y los detalles permiten cumplir las condiciones de estado límite con la máxima economía.
2. La calidad de los materiales, la fabricación y montaje cumplen las exigencias del proyecto.

3. MARGENES DE SEGURIDAD

3.1 Variaciones del proceso

Todos los procesos están expuestos a influencias variables y algunas de ellas pueden perjudicar a la seguridad estructural y a la economía. Por ejemplo, si un perfil de acero se lamina con mucho menos espesor que el especificado es inseguro. Si se lamina con mucho más espesor que el requerido es un desperdicio. Las dimensiones de los perfiles nunca son exactamente iguales a los estándar del acero.

Las variaciones de las dimensiones técnicas y propiedades de los materiales se deben a limitaciones económicas en la dirección del proceso industrial. Estas variaciones se pueden medir estadísticamente para asegurar el cumplimiento de las especificaciones, permitiendo escoger consiguientemente los valores apropiados de γ_m.

3.2 Grandes errores

Los otros tipos de variación caen en la categoría de grandes errores. Estas variaciones son raras, pero si suceden, pueden ser muy graves. Por ejemplo, si se entregase un pilar universal con sección de 356 x 406 y 287 kg/m, en vez de la siguiente medida (340 kg/m) y se montara sin detectarlo, la pérdida de resistencia podría ser del 16%. Y aún peor, si el acero fuese de clase Fe 275 en vez de la FE 350 especificada, se perdería otro 23% de resistencia.

No es económico prever grandes errores aumentando el factor de seguridad parcial del material. El riesgo de gran error debe reducirse a un mínimo aceptable mediante las oportunas medidas de control de calidad. Así, la identificación y marcas de origen correctas tienen tanta importancia para la seguridad como las mediciones y ensayos habituales.

4. RESPONSABILIDADES

4.1 Intervención

En la garantía de calidad del contrato de una construcción de acero intervienen:

(i) El autor del proyecto y la propiedad

(ii) El proveedor del material, el constructor y el montador

(iii) El inspector

Esto es un desglose simplificado para definir responsabilidades. La estructura organizativa depende del tipo y condiciones del contrato. Por ejemplo, el proyectista, el constructor y el inspector pueden pertenecer a una entidad y la propiedad a otra. en otro caso la propiedad y el proyectista serían el mismo. El inspector puede o no ser empleado del constructor.

Podría pensarse que la única parte interesada en conseguir la calidad debida es el inspector. Pero desde el momento en que se compra el acero hasta que se termina la estructura, todo el que tenga relación con su planificación, proyecto, construcción y montaje, interviene en algún aspecto de la calidad. La garantía de calidad es todo un mecanismo que asegura que todo aquél que interviene:

a) Sepa lo que tiene que hacer.

b) Lo haga.

c) Se compruebe que lo haya hecho.

4.2 Evolución mediante la experiencia

Los sistemas de garantía de calidad en vigor han evolucionado con los años y se han incorporado en códigos experimentales, especificaciones normalizadas y procedimientos. Estos documentos se incorporan a los contratos de proyecto y construcción. Diapositiva 8.

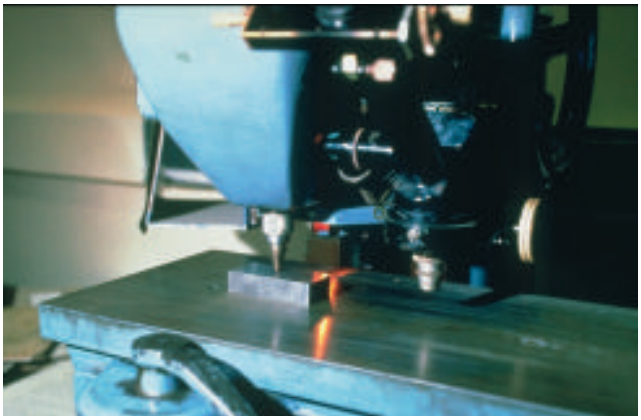
La tarea del inspector se centra fundamentalmente en lo indicado en el punto c). El personal ocupado en proyectos, suministro de material, construcción y montaje, inspecciona su propio trabajo, ya que su obligación es asegurar el cumplimiento de las normas correspondientes. Sin embargo, cuando el contrato se adjudica a la oferta más baja, hay presiones comerciales para reducir el tiempo de cada actividad, y por ende, su coste.

4.3 Causas de los fallos y su prevención

Siempre hay riesgo de que alguien:

No siempre sepa lo que tiene que hacer o que no tenga tiempo o se le olvide hacerlo.

Y que pase desapercibido.



Diapositiva 8



Diapositiva 9

Estas son las grandes causas de los fallos de las estructuras y se originan por igual en el proyecto y en las operaciones de construcción y montaje.

La misión del inspector independiente es ser la segunda línea de defensa para reducir dichas aberraciones al mínimo. Sin duda sería antieconómico vigilar continuamente la actividad de todos. La acción de la inspección independiente es por lo tanto medir, examinar y ensayar de tal modo y en tal momento que haya la máxima posibilidad de descubrir dichos errores graves lo antes posible y con el mínimo coste extra de producción. Diapositiva 9.

4.4 Programación

No se puede exagerar la importancia de descubrir oportunamente un error o incumplimiento de la especificación. El coste de que subsista un error crece geométricamente con el tiempo. Pueden ocurrir errores muy serios en las primeras fases del proyecto. Si se modelara incorrectamente el comportamiento de la estructura, se calculasen mal las solicitaciones o se escogieran materiales indebidos, y se hubiese montado así la estructura, el coste resultante podría doblar fácilmente el presupuestado. Por otra parte, si se descubre una soldadura agrietada y se repara antes de salir del taller de soldadura, las consecuencias económicas son relativamente leves.

4.5 Especialización

La inspección independiente es cada vez más una actividad especializada al crecer la demanda de fiabilidad.

Los inspectores no tienen cargos directivos ni de producción y suelen estar capacitados para realizar sólo determinadas inspecciones. En el campo de proyectos se les suele llamar ingenieros verificadores, de pruebas o de certificación, en vez de inspectores.

4.6 Registros

Una de las funciones más importantes del inspector es dejar constancia permanente del cumplimiento con las especificaciones de calidad exigidas. Esta función se desempeña de varias maneras, siendo las más comunes:

i) Redactar un informe.

ii) Presenciar una actividad y firmar un certificado de cumplimiento.

iii) Poner una marca indeleble e inconfundible en una pieza.

5. TIPOS PRINCIPALES DE INSPECCIÓN

5.1 Proyecto

Los tipos más importantes de inspección de proyectos consisten en comprobar que las dimensiones responden al buen funcionamiento y que los materiales, resistencias y flechas están dentro de los límites fijados en los códigos de práctica correspondientes. Los cálculos forma la base principal del cumplimiento y suele revisarlos un tercero.

Estas comprobaciones se hacen examinando los planos, especificaciones, cálculos y listas de programas informáticos.

5.2 Fabricación

La fabricación de piezas básicas, como perfiles y chapas de acero, tornillos y consumibles de soldeo, requieren los siguientes exámenes, que se suelen hacer en la acería:

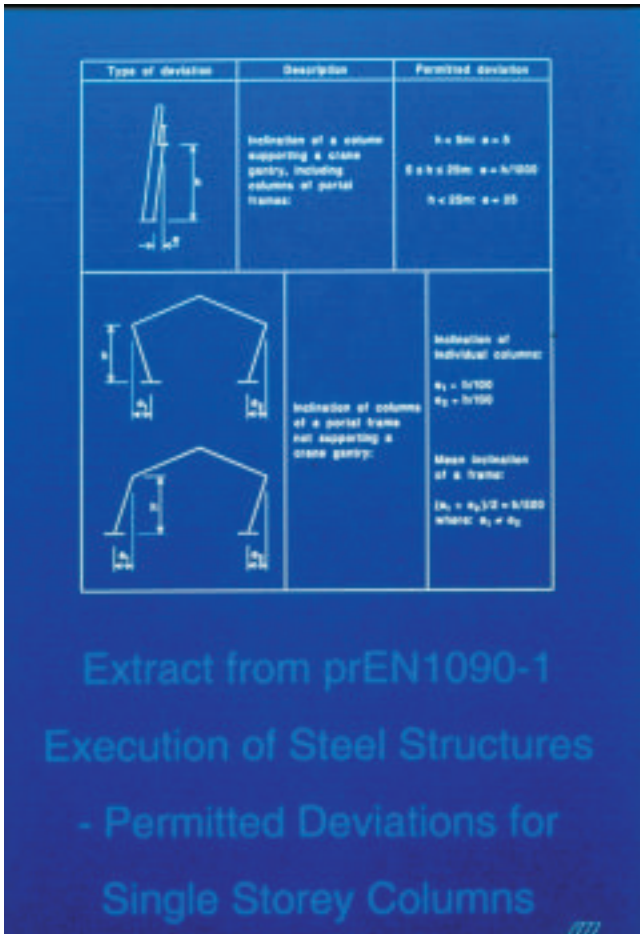
i) Identificación de la partida (u hornada).

ii) Análisis químico.

iii) Ensayos mecánicos.

iv) Comprobación de las dimensiones exteriores e interiores.

El inspector que realice o presencie las pruebas, que normalmente se hacen con el producto terminado, firma un certificado de conformidad. Diapositiva 10.



Diapositiva 10

En las fases de construcción y montaje, cuando las partes básicas se unen formando conjuntos mayores y más complejos, no procede realizar análisis químicos ni ensayos mecánicos en el trabajo hecho. Esto se aplica sobre todo a las uniones soldadas porque la soldadura altera las propiedades químicas y físicas que tenían los materiales. En este caso se confía en las inspecciones del proceso de soldeo respecto a la especificación, seguido de ensayos no destructivos (END).

6. FASES DE LA INSPECCIÓN

En el apartado 4.4 se destacó la importancia de que las inspecciones se hagan en tiempo oportuno. En los contratos de estructuras de acero hay muchas fases de inspección. Las más importantes se hacen:

i) Al acabar los cálculos.

ii) Al acabar los planos de construcción.

iii) Al acabar los planos de taller.

iv) Al fabricar los elementos principales.

v) A la recepción y la salida del acopio.

vi) Pruebas de procedimiento de ejecución.

vii) Exámenes de calificación de operarios (particularmente soldadores).

viii) Al acabar la elaboración de los materiales (corte, perforación, etc.).

ix) Al acabar el recorte y ajuste de las piezas.

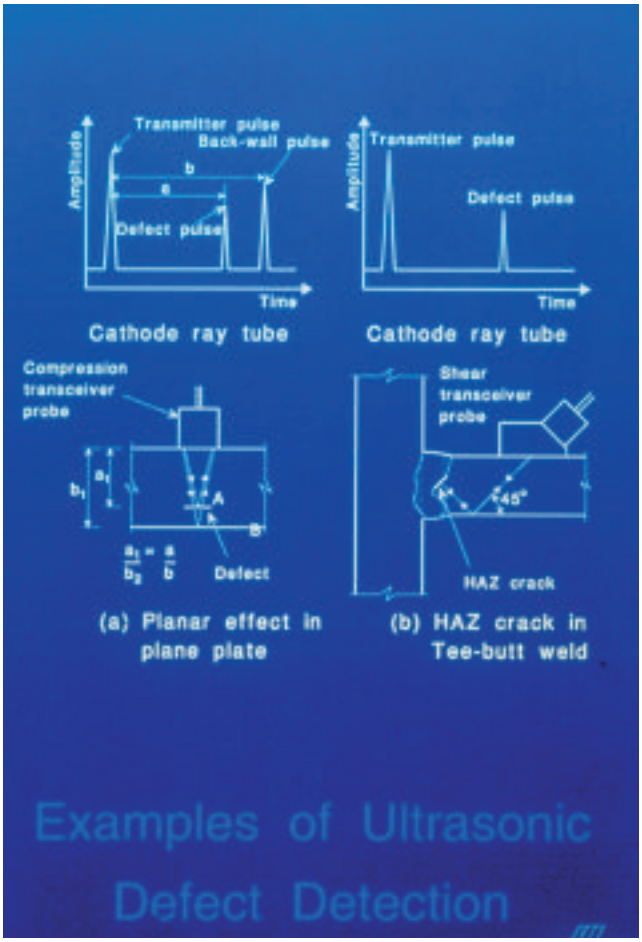
x) Al acabar el montaje en el taller (soldaduras, etc.).

xi) Al acabar la preparación para la pintura protectora.

xii) Al acabar la pintura protectora.

xiii) Al acabar el armado en la obra.

xiv) Al acabar el montaje en la obra.



Diapositiva 11

La mayoría de estas fases de inspección se efectúan al final de una fase dada en el lugar de trabajo. Así se pueden rectificar las deficiencias que hubiera con el mínimo coste y retraso del programa. Diapositiva 11.

También la conformidad con el programa de trabajo previsto es un aspecto importante de la garantía de calidad.

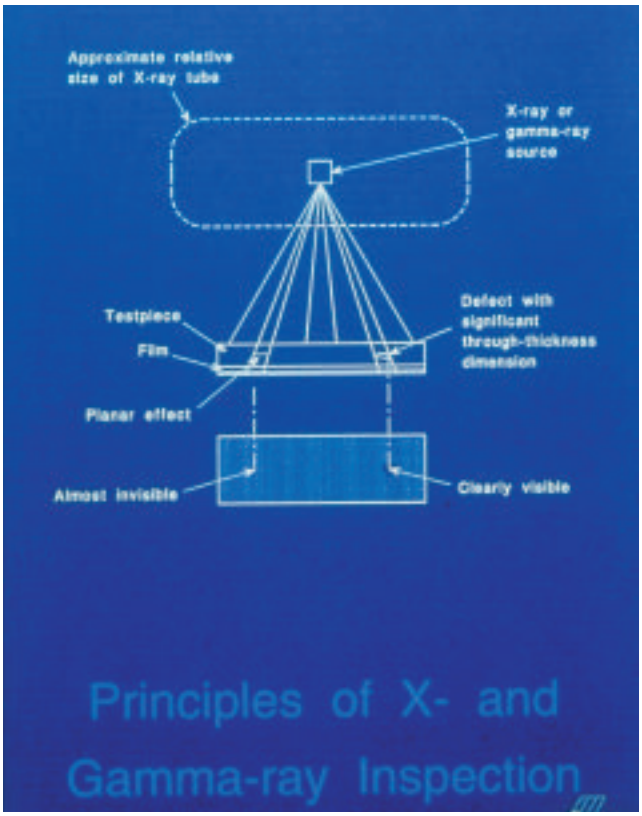
7. MÉTODOS DE INSPECCIÓN, PROPOSITO Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

7.1 Identificación

Las chapas y perfiles de acero se identifican por el número de la colada. Cada pieza lleva una marca permanente estampada o con pintura indeleble. Cuando se cortan, las marcas se pasan a todos los trozos cortados, menos los destinados a chatarra. Diapositiva 12.

Cada unidad de las piezas fabricadas pequeñas, como pernos o varillas de soldar, suelen tener grabado o marcado el grado o norma de fabricación. El número del lote va impreso en el saco o caja en que se entrega.

El fabricante pone marcas de identificación a los elementos estructurales. Los números idénticos suelen llevar la misma marca para evitar una complejidad innecesaria.



Diapositiva 12

El origen de todos los materiales y piezas debe poderse conocer en cada fase del proyecto.

Los planos y sus modificaciones deben estar identificados con claridad y los ejemplares anulados se retirarán del taller.

Los certificados de ensayo deben tener números de identificación propios.

El primer requisito para aceptar un producto es que se pueda comprobar el número de identificación y contrastarlo con un documento de origen, sea un certificado, plano, etc.

7.2 Análisis químico

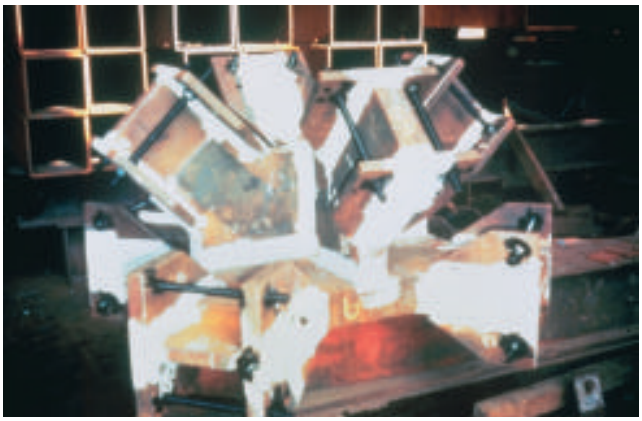
El examen por análisis químico es parte importante del control de calidad. Normalmente se analiza cada colada de acero. El contenido de carbono y manganeso tiene efectos directos sobre la resistencia.

También se considera el contenido de cromo, molibdeno, níquel y cobre, mediante la fórmula de equivalencia de carbono, para medir la capacidad de soldeo. Es vital comprobar estos contenidos en la preparación de los procedimientos de soldeo (ver Lección 4.4). También se debe examinar el contenido de azufre y fósforo para asegurar la ductibilidad y la capacidad de soldeo. Diapositiva 13.

Casi todas las especificaciones de acero estructural tienen límites definidos de carbono, manganeso y fósforo. El análisis de la colada aparece en el certificado de ensayo de la acería.

Los consumibles de soldeo se suministran según un análisis especificado.

Los aceros se suelen analizar por espectrometría de rayos-X en la acería.



Diapositiva 13

Las pinturas se someten a análisis especiales para asegurar la uniformidad de un lote a otro.

7.3 Ensayos mecánicos

El ensayo mecánico más importante es el de tracción. Este ensayo lo lleva a cabo el suministrador del acero en cada lote o colada, forma y clase de producto. Un lote normal es de 40 a 50 toneladas. La probeta se extrae mecánicamente de una esquina del producto y se ensaya hasta la rotura. Se mide la carga y el alargamiento. En el certificado del ensayo se anota la tensión de fluencia, límite de rotura y alargamiento (o reducción de la sección).

Otro ensayo mecánico importante es el de entalladura en V de Charpy para comprobar la ductilidad del acero en una muesca a una temperatura dada. Este ensayo debe realizarse a la temperatura prescrita, que puede variar desde la temperatura ambiente (+20 ºC) hasta -50 ºC ó 60 ºC, según el grado de tenacidad especificado. Se exige que la absorción de energía no sea menor que el mínimo especificado a la temperatura del ensayo (usualmente 27 Julios). La orientación, posición y mecanizado de la probeta se especifica meticulosamente. La temperatura se suele conseguir con “hielo” de bióxido de carbono.

Otros ensayos de material son el de ductibilidad a través del espesor, para conocer la resistencia a la exfoliación laminar, el ensayo de flexión de soldaduras a tope, el ensayo de fractura por flexión con muesca para cordones de soldadura en ángulo y un ensayo de flexión para conectores.

La calidad de ensayos de soldadura se suelen realizar tomando una probeta grande que la contenga. Esta probeta se pule y se graba para revelar los límites de fusión y la zona afectada por el calor (HAZ). Luego se investiga la dureza para hallar el pico. El ensayo consiste en clavar con una fuerza especificada un punzón piramidal de diamante y medir la huella dejada por el diamante. Las especificaciones suelen limitar la dureza de la HAZ en soldaduras y cantos cortados con soplete a unos 350 Vickers.

En las uniones a tope de algunas estructuras podrían requerirse pruebas de producción hechas en salientes de la soldadura de la unión estructural. Estas probetas son del mismo material que la estructura y se sueldan al mismo tiempo. Luego se cortan al extremo de la unión y se someten a los ensayos mecánicos apropiados.

7.4 Análisis Dimensional

Exteriores

El grosor de las chapas se mide con una galga micrométrica. La longitud y sección transversal con una cinta métrica metálica.

La rectitud de las vigas y pilares se comprueba poniendo un cordón tirante de un extremo a otro. La desviación de la línea recta se mide entre el canto de la pieza y el cordón en varios puntos de la longitud.

La planeidad de los elementos de chapa se comprueba con una regla de acero o aluminio y una galga de espesores o de cuadrante.

Los ángulos se miden con un transportador, o si son agudos, por la pendiente (tangente) del ángulo, es decir, 5%, 10%, etc.

Los niveles en la obra se comprueban con un nivel automático, y los cortos con un nivel de burbuja. Los pilares se nivelan o aploman con un teodolito o con una plomada.

El ajuste de las piezas mecanizadas se comprueba con un juego de galgas de espesores o un calibrador cónico.

El objeto de la comprobación dimensional es asegurar la aceptabilidad funcional y el buen aspecto y conseguir un buen ajuste, armado y montaje.

La aceptación se rige por las tolerancias indicadas en los planos o la especificación.

Interior (NDT)

Detección ultrasónica

En ciertos trabajos la calidad interna de los productos de acero es crítica y podría ser necesario comprobar la ausencia de defectos de laminación, como las arrugas. Esto se comprueba mediante una sonda ultrasónica que envía un haz sonoro de alta frecuencia, generalmente a 2MHz. Si la chapa tuviera alguna discontinuidad de la planeidad, envía un reflejo a la sonda. El tiempo que tarda en llegar a la discontinuidad y volver aparece en el eje X de la pantalla de rayos catódicos del detector. La magnitud de la señal de retorno que aparece en el eje Y da una idea de la gravedad del defecto.

El mismo principio se puede aplicar a las uniones soldadas. La única diferencia es que la geometría limita la posición de la sonda, que ha de estar siempre en una superficie lisa para que sea adecuada la transmisión de las ondas ultrasónicas. Las soldaduras a tope se verifican con esta técnica y la medición del tamaño de los defectos se ha perfeccionado mediante sistemas informáticos. Su principal inconveniente es que la caracterización de la discontinuidad es una aptitud subjetiva y que su capacidad de medición es limitada (altura 3-4 mm, longitud 5 mm).

Generalmente las soldaduras se comprueban con una sonda angular.

Radiografía

Las soldaduras también se inspeccionan con este método. Tiene la ventaja de producir un registro permanente en película fotográfica. La película se coloca en el lado de la unión opuesto a la cámara de rayos X. Esta técnica da una imagen mejor de la calidad de la soldadura, pero tiene claras desventajas en comparación con el ensayo ultrasónico:

1. Es más caro por unidad de longitud de soldadura.
2. El riesgo de radiación perturba mucho el trabajo estructural.
3. No encuentra grietas finas que estén en ángulo con los rayos X.
4. No puede medir con precisión la altura de las discontinuidades.

Su empleo en trabajos estructurales tiende a ser menor que el método ultrasónico.

Inspección por partículas magnéticas (MPI)

Este método sirva para hallar grietas muy finas en la superficie o muy próximas que no se ven a simple vista. El principio de operación es una corriente magnética que se aplica a la unión con un imán permanente o un electroimán. Se pulveriza en la superficie una disolución que contiene limaduras de hierro, que se congregan alrededor de cualquier interrupción de la corriente magnética que hubiese sido inducida por una grieta. Es de aplicación rápida, pero no deja constancia permanente a no ser que se fotografíe.

La inspección por partículas magnéticas sirve también para detectar grietas en los cantos cortados a soplete o en dobleces o curvaturas en frío.

Líquidos Penetrantes

Tienen el mismo objeto que la MPI, excepto que no pueden detectar los líquidos con colorante que no atraviesen la superficie. El principio es pulverizar un líquido en la superficie, que es absorbido por la grieta. Entonces se limpia la superficie y se espolvorea sobre ella una capa delgada de tiza. La tiza que circunda la grieta extrae el líquido de la misma.

La MPI y los líquidos penetrantes miden la longitud de la grieta, pero no la profundidad.

8. RESUMEN FINAL

La lección define términos importantes. Trata de los objetivos principales de la inspección y la garantía de calidad, que son conseguir la seguridad sin perjudicar la economía. Se definen las responsabilidades interrelacionadas del proyecto, fabricación e inspección. Se presentan los tipos de inspección principales y los métodos de inspección más comunes, con una breve explicación del por qué se requieren.

9. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

1. EN 29000, Quality systems

2. Burgess, N. I.: “Quality Assurance of Welded Construction”, Applied Science Publishers, 1983

Existen además varias normas de ensayos e inspección (internacionales, europeas y nacionales) que deben consultarse.

ESDEP TOMO 4
CONSTRUCCIÓN

Problema Resuelto Nº: 4.1(i) y (ii): Garantía de Calidad/Control de Calidad y Sistemas de Garantía de Calidad

CONTENIDO

1.0 Garantía de Calidad/Control de Calidad

1.1 Propósito

1.2 Definiciones

1.3 Responsabilidades

1.4 Descripción

- 1.4.1 Sistema de Garantía de Calidad
- 1.4.2 Manual de Garantía de Calidad
- 1.4.3 Procedimientos
- 1.4.4 Subcontratistas y Proveedores
- 1.4.5 Auditorías de Calidad
- 1.4.6 Plan de Calidad
- 1.4.7 Sistema de Garantía de Calidad mediante Análisis por parte de la Dirección

1.5. Referencias

2.0 Sistemas de Calidad

2.1 Introducción

2.2 Bases del sistema de calidad

2.3 Programa de garantía de calidad

2.4 Manual de garantía de calidad

2.5 Procedimientos de trabajo generales

2.6 Plan de calidad

2.7 Procedimientos de proyecto específicos

2.8 Definiciones

2.9 Referencias

2.10 Matriz referencial de la ISO 9001

2.11 Desglose de los procedimientos de trabajo generales

1. GARANTÍA DE CALIDAD/CONTROL DE CALIDAD

OBJETIVOS/CONTENIDO

Ofrecer un ejemplo de los requisitos para establecer un Sistema de Garantía de Calidad tal y como se utilizan en los talleres de fabricación.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Con el objeto de aprovechar al máximo este problema resuelto, el estudiante debe haber visto por lo menos las lecciones introductoras de los temas siguientes:

Tomo 1: Construcción en Acero: Factores Económicos y Comerciales

Tomo 2: Construcción en Acero: Introducción al Diseño

Tomo 4: Construcción

LECCIONES AFINES

Lección 4.1: Fabricación General de Estructuras de Acero

Lección 4.2: Montaje (incluyendo la seguridad)

Lección 4.3: Principios de Soldadura

Lección 4.4: Procesos de Soldadura

RESUMEN

El PROCEDIMIENTO GENERAL DE TRABAJO establece los requisitos del Sistema de Garantía de Calidad. Su administración depende del Departamento de Garantía de Calidad.

También proporciona las definiciones generales y las responsabilidades. Presenta el Manual de Garantía de Calidad, las Auditorías de Calidad, el Plan de Calidad y el Sistema de Garantía de Calidad mediante el Análisis por parte de la Dirección.

PRESENTACIÓN

Junto a este ejemplo se ofrece una tabla de Programa de Garantía de Calidad.

1.1 Propósito

Este documento establece los requisitos del Sistema de Garantía de Calidad, cuya administración depende del Departamento de Garantía de Calidad.

1.2 Definiciones

Calidad: conformidad con unos requisitos específicos.

Sistema de Garantía de Calidad: el sistema de documentos y actividades establecidos con el fin de conseguir y garantizar la conformidad con los requisitos.

1.3 Responsabilidades

El Sistema de Garantía de Calidad constituirá una parte integral de la gestión de la empresa y su administración será responsabilidad del Director de Garantía de Calidad.

La administración y el control serán responsabilidad del Director de Garantía de Calidad, quien habrá de informar a la Junta Directiva de la empresa.

1.4 Descripción

Se aplicará un Sistema de Garantía de Calidad a todos los departamentos que bien tomen parte directamente en contratos o en trabajos o actividades relacionados con contratos como, por ejemplo, ventas, estimaciones, adquisiciones, control de costes, proyecto/ingeniería, control de calidad, fabricación, gestión del proyecto, programación y mantenimiento de equipos. Este Sistema también se aplicará a subcontratistas y proveedores.

El sistema también incluirá los requisitos para la auditoría del Sistema de Garantía de Calidad. El Sistema de Garantía de Calidad se definirá y describirá en el Manual de Garantía de Calidad, que describirá o hará referencia a los procedimientos y a otros medios utilizados para proceder a su implementación.

1.4.1 Sistema de garantía de calidad

El Director de Garantía de Calidad preparará un Sistema de Garantía de Calidad que será aprobado por la Junta Directiva de la empresa.

El Sistema de Garantía de Calidad:

- definirá la política adoptada con respecto a la Garantía de Calidad;
- describirá la implementación del Sistema de Garantía de Calidad;
- servirá de base para cualquier otro desarrollo futuro del Sistema de Garantía de Calidad y de su manual;
- ofrecerá la base para proporcionar los requisitos de Garantía de Calidad a los subcontratistas;
- indicará los requisitos de calidad de proyecto mediante un plan de calidad.

El Sistema de Garantía de Calidad cubrirá todas las fases de un contrato, así como de los trabajos o actividades y disciplinas relacionadas. También cubrirá a todos los subcontratistas y proveedores que suministren materiales, productos o servicios para el contrato.

1.4.2 Manual de garantía de calidad

Se desarrollará un Manual de Garantía de Calidad basado en el Sistema de Garantía de Calidad. Este Manual será el documento básico y contendrá una introducción al Sistema de Garantía de Calidad, una descripción de la política de Garantía de Calidad y los requisitos y métodos que se utilizarán para la implementación de los requisitos de Garantía de Calidad.

1.4.3 Procedimientos

De acuerdo con la aplicación de la normativa sobre Garantía de Calidad, del Manual de Garantía de Calidad y de los procedimientos de Garantía de Calidad QA.1 “directrices preparativas para la instrucción y procedimientos de trabajo”, los departamentos que trabajen en el campo de la disciplina pertinente se encargarán del desarrollo de los procedimientos y efectuarán las siguientes tareas:

- establecimiento de directrices sobre política e interconexión;
- asignación de responsabilidades para la ejecución de trabajos;
- requisitos específicos de obligado cumplimiento.

En caso de que se efectuaran adiciones y/o revisiones a la mencionada normativa de Garantía de Calidad y/o especificaciones, se revisarán todos los procedimientos relacionados con ellas.

1.4.4 Subcontratistas y proveedores

Todos los subcontratistas y proveedores habrán de contar con un Sistema de Garantía de Calidad aprobado e implementado que satisfaga los requisitos de la empresa. Este sistema se definirá y describirá en un Manual de Garantía de Calidad, junto con una descripción o referencia a los procedimientos u otros medios necesarios para garantizar su implementación.

1.4.5 Auditorías de calidad

La responsabilidad de efectuar las auditorías de calidad recaerá sobre el Departamento de Garantía de Calidad de la empresa. Las auditorías constituyen la principal herramienta para asegurar la consecución de los requisitos de calidad.

El Director de Garantía de Calidad establecerá los requisitos de las auditorías de calidad, así como los métodos que habrán de utilizarse para su implementación.

Un equipo perteneciente al Departamento de Garantía de Calidad, formado por miembros seleccionados conjuntamente y nombrados por el Director de Garantía de Calidad, se encargará de la preparación los informes, hallazgos, recomendaciones y requisitos relativos a las acciones correctoras de las auditorías.

Los informes de las auditorías se distribuirán de acuerdo con los requisitos del procedimiento pertinente. El Director de Garantía de Calidad mantendrá registros de las auditorías, que habrán de estar disponibles para inspección y verificación.

1.4.6 Plan de calidad

Con el fin de definir los requisitos de calidad del proyecto y hacer referencia a los capítulos aplicables tal y como se indique en las especificaciones contractuales, se preparará un plan que habrá de ser aprobado por el Director de Proyecto pertinente.

Este plan de calidad debe indicar lo siguiente:

- los objetivos de calidad que han de conseguirse;
- las responsabilidades específicas y las autoridades designadas;
- requisitos para pruebas e inspecciones;
- criterios para la aceptación y el rechazo;
- todos los requisitos de proyecto específicos.

Estos requisitos de proyecto específicos se describirán en los procedimientos de proyecto o documentos anejos específicos.

1.4.7 Sistema de garantía de calidad mediante análisis por parte de la dirección

Todos los informes de las auditorías, junto con sus hallazgos, observaciones y recomendaciones pertinentes se habrán de distribuir entre la alta dirección. Una vez al año, todos estos hallazgos, observaciones y recomendaciones se incluirán en un resumen que se enviará a la dirección para que proceda a su análisis. Tras una reunión exclusiva, la dirección indicará, en base a este resumen, cuáles son las mejoras que han de implementarse y los ajustes que es necesario efectuar.

1.5 Referencias

QA.1 Directrices preparativas para instrucciones y procedimientos de trabajo.

QA.3 Distribución y revisiones del Manual de Garantía de Calidad.

QA.4 Auditorías de calidad.

ISO 9000 Normativas sobre gestión y garantía de calidad - Directrices para la selección y la utilización

ISO 9001 Sistemas de Calidad-Modelo para la garantía de calidad en el proyecto/desarrollo, fabricación, montaje y mantenimiento.

2. SISTEMA DE GARANTÍA DE CALIDAD

OBJETIVOS/CONTENIDO

Ofrecer un ejemplo de un SISTEMA DE GARANTÍA DE CALIDAD, tal y como se utiliza en los talleres de construcción modernos.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Con el objeto de aprovechar al máximo este problema resuelto, el estudiante debe haber visto por lo menos las lecciones introductoras de los temas siguientes:

Tomo 1:	Construcción en Acero: Factores Económicos y Comerciales
Tomo 2:	Construcción en Acero: Introducción al Diseño
Tomo 4:	Construcción

LECCIONES AFINES

Lección 4.1:	Fabricación General de Estructuras de Acero
Lección 4.2:	Montaje (incluyendo la seguridad)
Lección 4.3:	Principios de Soldadura
Lección 4.4:	Procesos de Soldadura

RESUMEN

Este problema presenta un Programa de Garantía de Calidad, introduce la base para un Sistema de Calidad, describe el Plan de Calidad y los Procedimientos de Proyecto Específicos, proporciona las definiciones y referencias adicionales y resume los procedimientos de trabajo generales.

PRESENTACIÓN

Junto a este ejemplo se ofrece una tabla de Programa de Garantía de Calidad.

2.1 Introducción

Los programas de garantía de calidad se han implantado en la organización de las empresas con el fin de garantizar el cumplimiento total de todos los requisitos relacionados con los planos, especificaciones, normativas vigentes, códigos y regulaciones aplicables a cualquier contrato que se emprenda.

El propósito del manual de garantía de calidad consiste en:

- presentar una descripción del sistema de garantía de calidad y de sus relaciones en el seno de la organización de la empresa.
- servir de base para futuros desarrollos del sistema de garantía de calidad.
- ofrecer a los clientes una descripción del sistema de garantía de calidad, cuyo control interno se estipula en el contrato.
- servir de base para la preparación de planes y procedimientos de calidad que permitan el cumplimiento de los requisitos específicos del cliente.
- proporcionar una base para los requisitos de garantía de calidad que han de transmitirse a los subcontratistas.

2.2 Bases del Sistema de Calidad

El sistema de calidad de la empresa se ha desarrollado a partir de la experiencia procedente de contratos previamente finalizados y se ha basado en:

ISO 9001 Sistemas de Calidad-Modelo para la garantía de calidad en el proyecto/ desarrollo, fabricación, montaje y mantenimiento.

Esta normativa es la conclusión de un comité técnico internacional y finalmente reemplazará a:

- NS 5801;
- BS 5750 Parte 1;
- NEN 2646.

2.3 Programa de Garantía de Calidad

El programa de garantía de calidad que establece los requisitos para el sistema de garantía de calidad y para su administración se define en los siguientes documentos:

- manual de garantía de calidad;
- procedimientos de trabajo generales;
- plan de calidad;
- procedimientos de proyecto específicos.

El programa de garantía de calidad cubrirá todas las fases del contrato, así como los trabajos o actividades asociados y las disciplinas involucradas.

También cubrirá a todos los subcontratistas/proveedores que suministran materiales, productos o servicios para el contrato.

2.4 Manual de Garantía de Calidad

El director de garantía de calidad es responsable del control, distribución y actualización del manual de garantía de calidad.

El director de garantía de calidad distribuirá copias del manual: se redactará y se mantendrá una lista de la distribución.

Los manuales de garantía de calidad controlados estarán sujetos a revisiones automáticas, mientras que los manuales no controlados tan sólo tienen carácter informativo y, por lo tanto, no se efectuarán revisiones.

2.5 Procedimientos de Trabajo Generales

Los procedimientos generales de trabajo se están preparando y desarrollarán el siguiente índice:

1. Propósito
2. Definiciones
3. Responsabilidades
4. Descripción
5. Referencias
6. Documentos anejos.

Los jefes de departamento pertinentes mantendrán los procedimientos de trabajo generales actualizados y verificados, incluyendo las modificaciones.

El director de garantía de calidad mantendrá un registro de todos los procedimientos de trabajo generales publicados y distribuidos con el fin de posibilitar el mantenimiento de una versión actualizada del sistema de calidad.

La dirección habrá de aprobar todos los procedimientos de trabajo generales antes de que se proceda a su distribución.

2.6 Plan de Calidad

Con el fin de definir los requisitos de calidad del proyecto y referirse a los capítulos aplicables tal y como se indican en las especificaciones contractuales, se preparará un plan de calidad que habrá de contar con la aprobación del director de proyecto pertinente.

Este plan de calidad habrá de indicar:

- los objetivos de calidad que han de alcanzarse;
- la asignación de responsabilidades y autoridad específica durante las diferentes fases del proyecto;
- los procedimientos, métodos e instrucciones de trabajo específicas que han de aplicarse;
- las pruebas, inspecciones, exámenes y programas de auditoría adecuados en las etapas apropiadas (por ejemplo desarrollo del proyecto);
- un método para la introducción de cambios y modificaciones en un plan de calidad durante el desarrollo de los proyectos;
- otras medidas, necesarias para el cumplimiento de los objetivos.

2.7 Procedimientos de Proyecto Específicos

Todos los requisitos de proyecto específicos que no estén cubiertos en los procedimientos de trabajo generales se describirán en los procedimientos de proyecto específicos.

Los jefes de departamento pertinentes prepararán y firmarán los procedimientos de proyecto específicos relacionados con las actividades de sus departamentos.

Si así lo requiriera el contrato, el cliente y/o una tercera parte aprobarán los procedimientos específicos antes de proceder a su distribución.

2.8 Definiciones

Para los propósitos de este manual, se aplican las definiciones contenidas en la ISO 8402.

Las siguientes definiciones adicionales se ofrecen con el objeto de asegurar una comprensión uniforme de los términos seleccionados tal y como se utilizan en este manual.

Aprobación: Declaración de que el producto o servicio está de acuerdo con los requisitos específicos.

Personas Autorizadas: El cabeza de departamento o supervisor de la disciplina que disfruta de las competencias para implementar los requisitos de la actividad o del trabajo.

Calibración: Comparación de dos herramientas o instrumentos de medición, de los que uno está homologado con certeza de exactitud y

de ajuste a una normativa nacional o internacional de alto nivel, efectuada con el fin de descubrir, registrar y eliminar posibles imprecisiones de las herramientas o instrumentos de medición que se comparan con el que está homologado.

Acción Correctora: Se define como la detección y corrección de cualquier situación que haya causado o pueda causar un incumplimiento de las especificaciones.

Documentación: Toda información gráfica o escrita que describa, defina, especifique o informe de actividades, requisitos, procedimientos o resultados de la certificación.

Inspección Final: La inspección final efectuada por el contratista con el propósito de verificar que se hayan practicado todas las inspecciones especificadas y que la entrega satisfaga todos los requisitos específicos, incluidos los relacionados con la documentación.

Artículo: Todos los niveles de unidades de montaje, incluidos los materiales.

Instrucción de Trabajo: La descripción de un cierto procedimiento de trabajo y patrón de acción determinado en situaciones concretas.

Procedimiento: Línea de actuación declarada y documentada que incluya requisitos específicos.

Fabricación: Término colectivo para la parte de la fabricación que incluye la conformación y el trabajo de materiales y el montaje de componentes.

Responsabilidad: El principio básico de que la persona que efectúa un trabajo es responsable del cumplimiento del nivel de calidad prescrito.

Sistema: Recopilación formalizada de procedimientos coordinados mutuamente.

Documentación Técnica: Planos, especificaciones, cálculos y otros datos técnicos.

Ensayos: Investigación acerca de la capacidad de un artículo para satisfacer los requisitos específicos, sometiendo el sistema o artículo a tensiones físicas, químicas, medioambientales u operacionales.

Verificación: Investigación con el objeto de confirmar que una actividad, producto o servicio se ajusta a los requisitos específicos.

2.9 Referencias

Procedimientos de trabajo generales:

Q.A.1 Directrices preparatorias para los procedimientos e instrucciones de trabajo generales.

Q.A.2 Directrices preparatorias para los procedimientos e instrucciones de trabajo específicas.

Q.A.3 Distribución y revisiones del manual de garantía de calidad.

Q.A.5 Requisitos del sistema de garantía de calidad.

2.10 Matriz de Referencia de la ISO 9001

Capítulo	Descripción/Contenido	Ref. del manual Grooting
4.1	Responsabilidad de la dirección	QAM1
4.2	Sistema de calidad	QAM2
4.3	Revisión contractual	QAM3
4.4	Control del proyecto	QAM4
4.5	Control de la documentación	QAM5
4.6	Adquisición	QAM6
4.7	Producto suministrado por el comprador	QAM7
4.8	Identificación y especificación del producto	QAM8
4.9	Control del proceso	QAM9
4.10	Inspección y ensayos	QAM10
4.11	Equipos de inspección, medición y ensayos	QAM11
4.12	Situación de inspección y ensayos	QAM12
4.13	Control de productos que no cumplen las especificaciones	QAM13
4.14	Acción correctora	QAM14
4.15	Manejo, almacenamiento, empaquetado y entrega	QAM15
4.16	Registros de calidad	QAM16
4.17	Auditorías internas de calidad	QAM17
4.18	Formación	QAM18
4.19	Mantenimiento y reparaciones	QAM19
4.20	Técnicas estadísticas	QAM20

2.11 Muestra del Desglose de los Procedimientos de Trabajo Generales

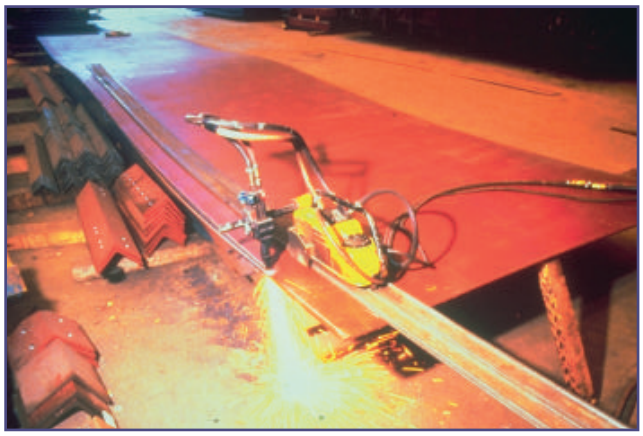
Ref. Nº	Departamento	Descripción
C.C.1.	Control de costes	Estimación/desglose de la inversión de un proyecto
C.D.1 C.D.2 C.D.3	Departamento de informática	Función y control del departamento de informática Programa de control del material Programa directriz del control de calidad
D.E.2 D.E.3 D.E.5 D.E.6 D.E.7 D.E.8 D.E.9 D.E.10 D.E.11 D.E.12 D.E.13 D.E.14 D.E.15 D.E.16	Proyecto/Ingeniería	Preparación de los métodos de montaje/soldadura Preparación de los documentos de fabricación Control del peso Manejo y transporte Procedimiento de pesaje Requerimiento de materiales y productos Trabajos de ingeniería/proyecto subcontratados Seguimiento de la construcción Procedimiento de carga y descarga Incumplimientos de las especificaciones Programación de ingeniería Manejo de los planos de taller Verificación de interferencias Manejo de las dudas en la obra
E.D.1 E.D.2 E.D.3 E.D.4	Departamento de estimaciones	Manejo del paquete de licitación Evaluación del paquete de licitación Ejecución de la licitación Distribución de documentos de manejo o licitación adicionales tras la adjudicación
E.S.1 E.S.2 E.S.3	Mantenimiento del equipo	Procedimiento de mantenimiento Procedimiento de calibración Almacenamiento del equipo de medición y ensayos
G.P.1 G.P.2 G.P.3 G.P.4 G.P.5 G.P.6 G.P.7	Procedimientos generales	Manejo de los incumplimientos de las especificaciones Acción correctora Procedimiento de formación y certificación Procedimiento para la seguridad Coordinación estructural y de canalizaciones Subcontratistas Inspección final Procedimiento de comunicación
P.C.1 P.C.2 P.C.3 P.C.4 P.C.5 P.C.6	Control de Producción	Cualificación del personal Manejo de materiales, productos y submontajes Manejo de los documentos de producción Procedimientos de producción generales Procedimientos de producción específicos Métodos de inspección

Ref. Nº	Departamento	Descripción
P.D.1	Departamento de Compras	Manejo de las consultas relativas a materiales, productos y servicios subcontratados
P.D.2		Manejo de los pedidos de compra de materiales, productos y servicios subcontratados
P.D.3		Evaluación de los subcontratistas
P.D.4		Expedición
P.M.1	Gestión del Proyecto	Creación del grupo de proyecto
P.M.2		Plazos de movilización
P.M.3		Programación del proyecto
P.M.4		Coordinación de los subcontratistas
P.M.5		Recepción/distribución de los documentos de proyecto
P.M.6		Control de costes del proyecto
P.M.7		Verificación de los subcontratistas
Q.A.1	Garantía de Calidad	Preparación de directrices para los procedimientos/instrucciones de trabajo generales
Q.A.2		Preparación de directrices para los procedimientos/instrucciones de trabajo específicos
Q.A.3		Distribución y revisiones del manual de garantía de calidad
Q.A.4		Auditorías de calidad
Q.A.5		Requisitos del sistema de garantía de calidad
Q.C.1	Control de Calidad	Inspección y requisitos
Q.C.2		Presentación de informes
Q.C.3		Documentación
Q.C.4		Publicación intermedia
Q.C.5		Cualificación y documentación para el procedimiento de soldadura
Q.C.6		Cualificación y documentación de los soldadores
Q.C.7		Requisitos y procedimientos de los tratamientos térmicos
Q.C.8		Procedimiento N.D.TO.
Q.C.9		Prueba hídrica de la canalización, certificación y documentación
Q.C.10		Criterios de garantía de calidad para los subcontratistas
S.D.1	Departamento de Ventas	Manejo del paquete de licitación
TO.S.1	Servicios Técnicos	Programación general
W.R.0.1	Oficina de Regulación del Trabajo	Manejo y distribución de los documentos de producción
W.R.0.2		Recepción/inspección y entrega de materiales, productos y submontajes
W.R.0.3		Preparación de instrucciones de trabajo específicas
W.R.0.4		Programación detallada
W.R.0.5		Almacenamiento general

DIAPOSITIVAS COMPLEMENTARIAS DEL TOMO 4: CONSTRUCCIÓN



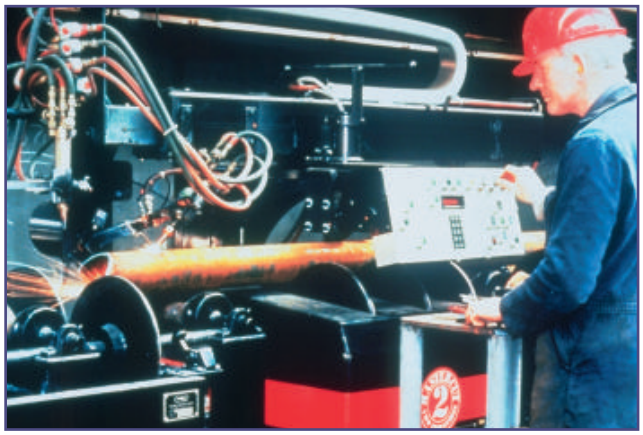
T4c1 Taller



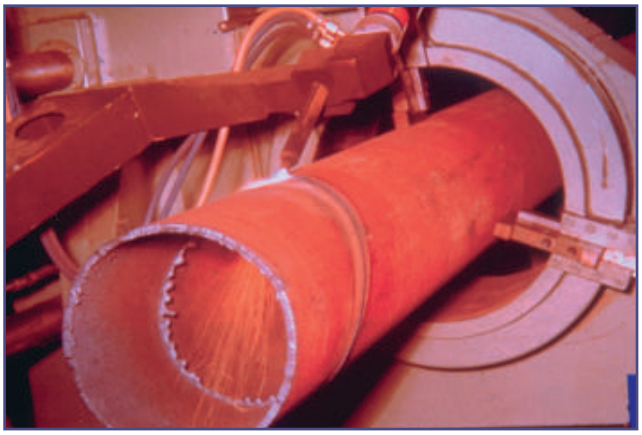
T4c2 Oxicorte



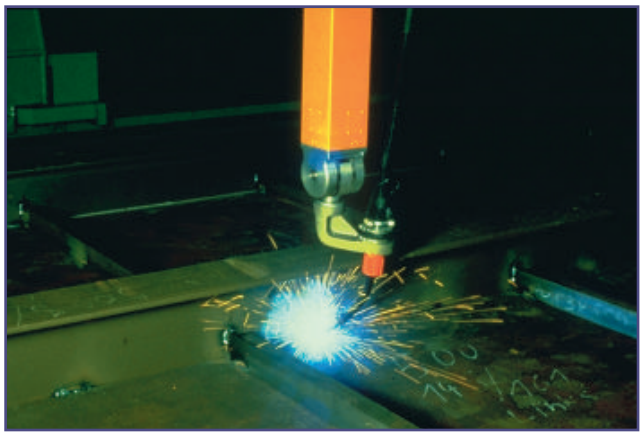
T4c3 Corte con cizalla



T4c4 Oxicorte de tubos



T4c5 Oxicorte de tubos



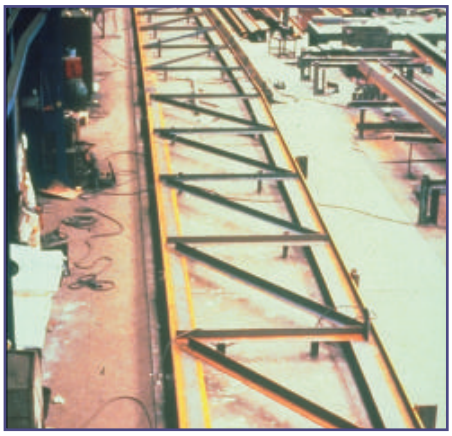
T4c6 Soldadura automática



T4c7 Elementos de unión (placas de testa, cartelas,..)



T4c8 Arriostramientos o fijaciones temporales



T4c9 Celosía con angulares en diagonales y montantes



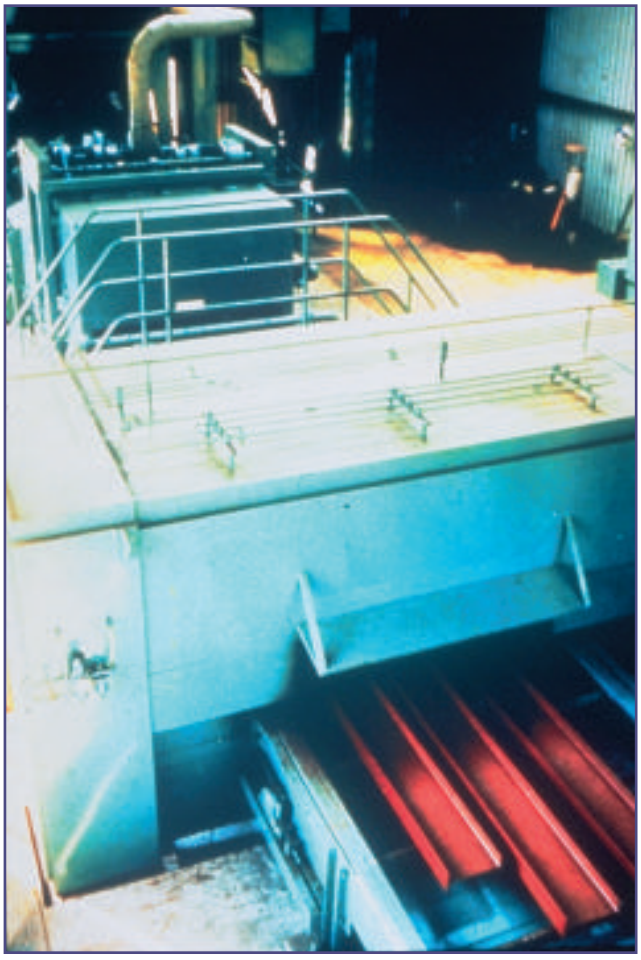
T4c10 Celosía con tubos en diagonales y montantes



T4c11 Viga armada con conectores



T4c12 Pintado con pistola a mano



T4c13 Pintado automático



T4c14 Proceso de galvanizado en caliente



T4c15 Curvado de perfiles



T4c16 Campa de almacenamiento en obra



T4c17 Transporte



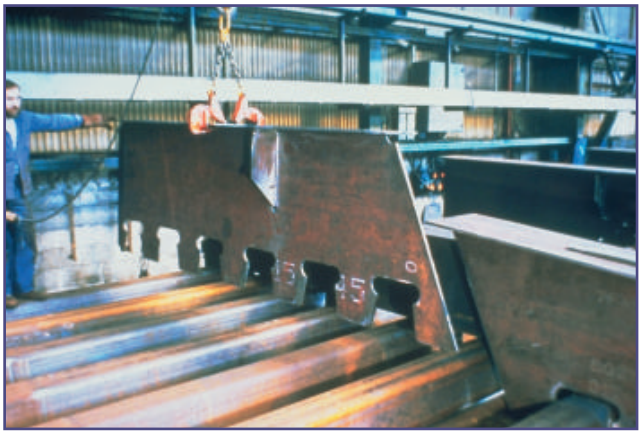
T4c18 Transporte



T4c19 Sección en cajón de chapas soldadas



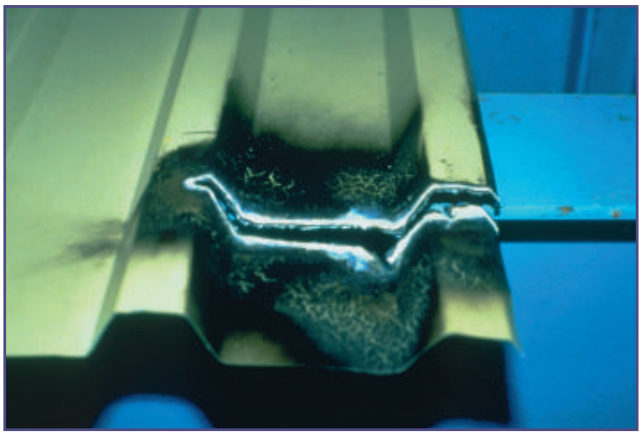
T4c20 Ensamblado de viga cajón



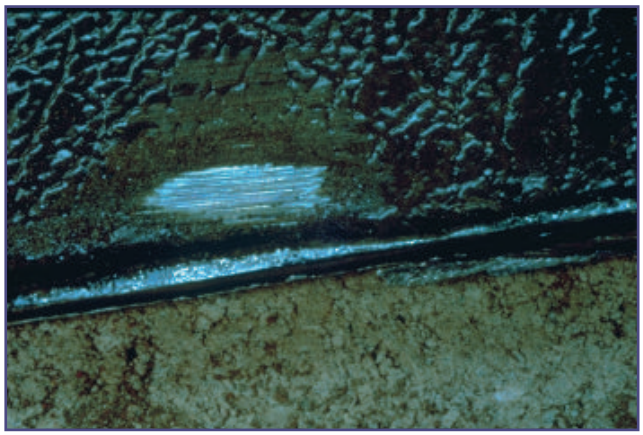
T4c21 Elementos transversales de viga cajón



T4c22 Premontaje en taller



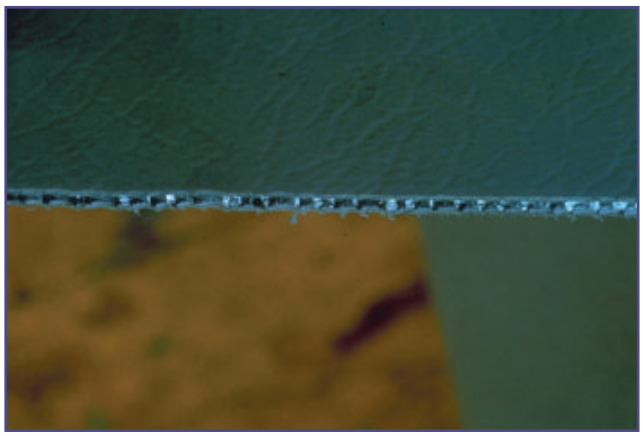
T4c23 Nunca debe cortarse la chapa galvanizada con oxi-corte



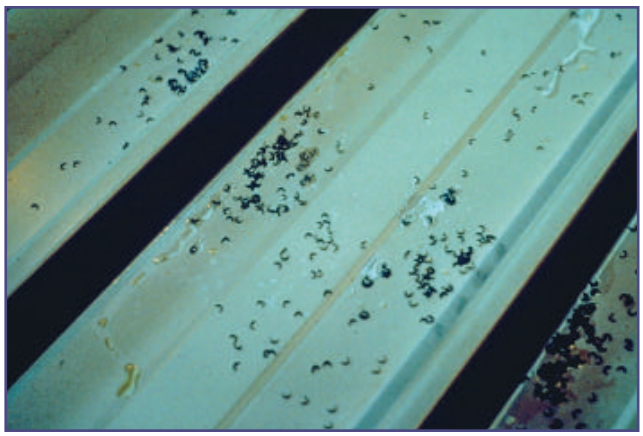
T4c24 Nunca debe cortarse la chapa galvanizada con radial



T4c25 Las chapas galvanizadas deben cortarse en obra con sierra en frío



T4c26 El acabado de borde del corte con sierra en frío es adecuado



T4c27 Hay que limpiar las chapas galvanizadas antes de cortarlas



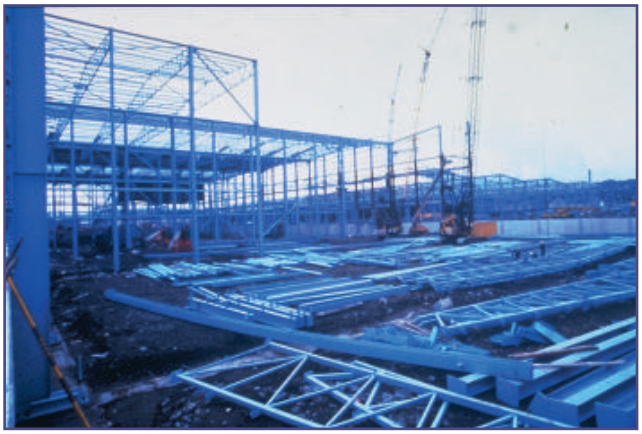
T4c28 La grúa torre es ideal para montajes de estructuras de varios pisos



T4c29 Montaje de pórticos con grúa camión telescópica



T4c30 Descarga mediante grúa e izado sin almacenaje intermedio



T4c31 Descarga con almacenaje temporal en obra



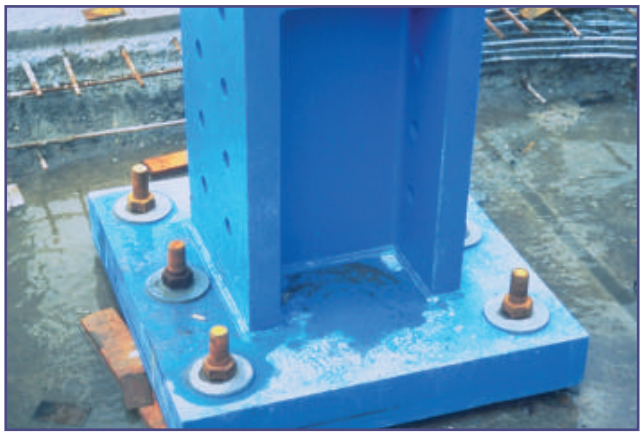
T4c32 Fijación de placa de anclaje mediante pernos



T4c33 Nivelación de pilares



T4c34 Arriostramiento temporal de estructura en fase de montaje



T4c35 Nivelación de placa de anclaje mediante forros metálicos



T4c36 Montaje de vigas atornilladas



T4c37 La prefabricación de elementos reduce trabajo en obra



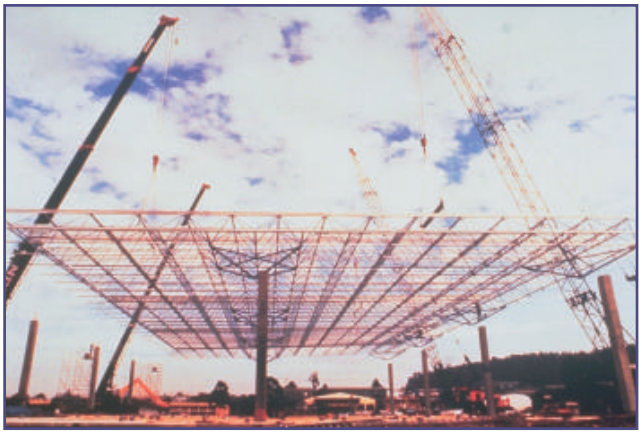
T4c38 La prefabricación de elementos reduce trabajo en obra



T4c39 La prefabricación de elementos tiene limitaciones en dimensión y peso



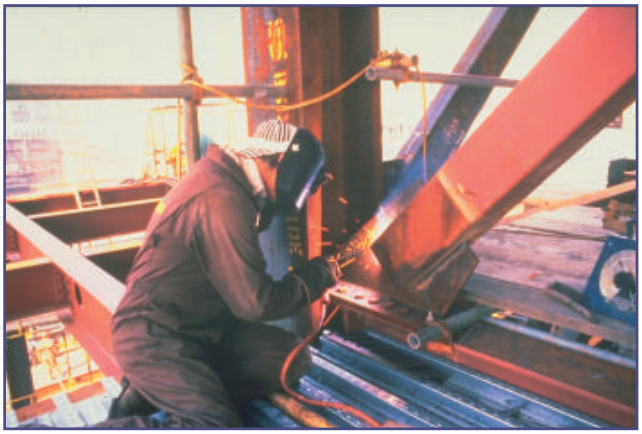
T4c40 Montaje en el suelo de estructura espacial



T4c41 Izado de estructura espacial



T4c42 Hay que dar el par de apriete especificado a los tornillos de alta resistencia



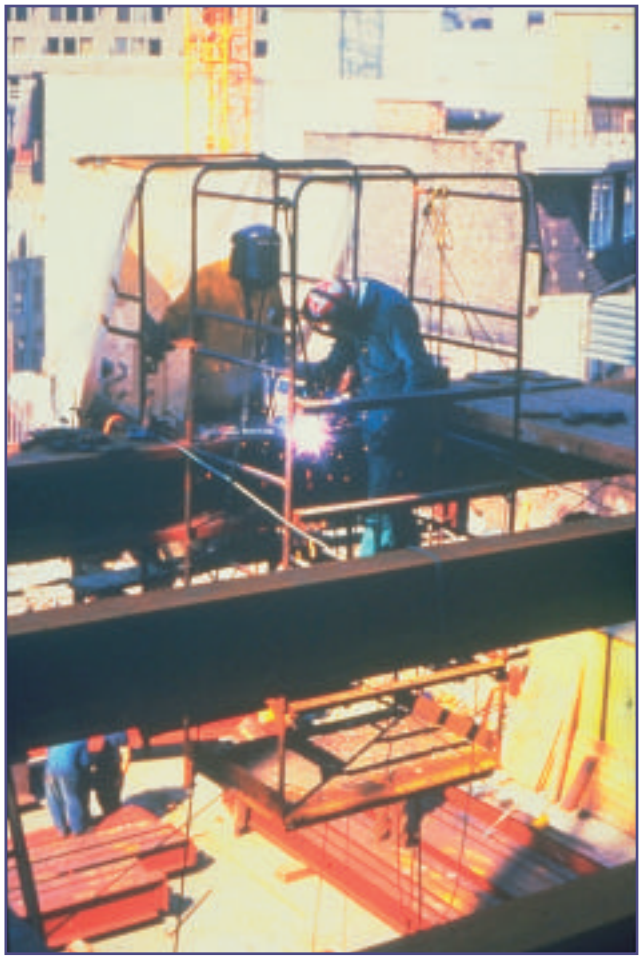
T4c43 Las soldaduras de obra, a veces, requieren arriostramientos temporales



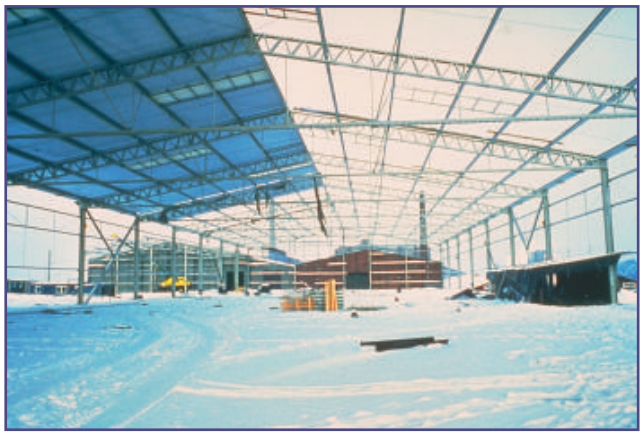
T4c44 Montaje de forjado posterior a estructura acabada



T4c45 Las uniones in situ deben ser atornilladas



T4c46 Uso de elementos auxiliares de montaje como jaulas para soldar



T4c47 Cubrición de estructura terminada



T4c48 Variedad de acabados de cerramientos



T4c49 Estructura ligera de perfiles conformados en frío para vivienda unifamiliar



T4c50 Fijación con tacos químicos de estructura ligera de perfiles conformados en frío



T4c51 Nivelado y alineación de estructura ligera de perfiles conformados en frío



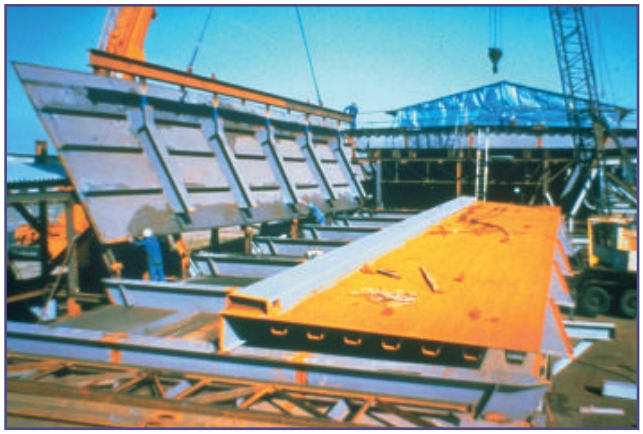
T4c52 Utilización de tornillos autorroscantes en estructura ligera de perfiles en frío



T4c53 Viga armada



T4c54 Montaje de estructura transversal con vigas principales armadas



T4c55 Ensamblaje de viga cajón in situ



T4c56 Izado de viga cajón



T4c57 Transporte mediante flotación de viga cajón de puente



T4c58 Izado de vano completo



T4c59 Izado de unidad de tablero



T4c60 Izado de unidad de tablero de puente sobre río



T4c61 Viaducto de Martigues, Francia



T4c62 A veces son necesarios arriostramientos temporales de rigidización



T4c63 Izado de unidades de tablero de puente St Nazaire, Francia



T4c64 Puente Neuwied, Alemania



T4c65 Puente Presle, Francia



T4c66 Viaducto Maupre Valley, Charolles, Francia



T4c67 Puente sobre autopista A1 en Longueil (Oise), Francia



T4c68 Utilización de vigas celosía auxiliares en montaje de viaducto



T4c69 Bastidores auxiliares para montaje de superestructura del puente Friarton, UK



T4c70 Puente de la Barqueta, Sevilla, España



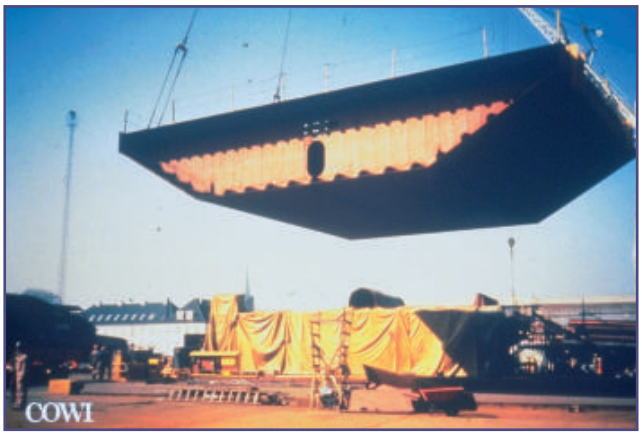
T4c71 Puente de Chapina, Sevilla, España



T4c72 Puente de Chapina, Sevilla, España



T4c73 Puente de la Barqueta, Sevilla, España



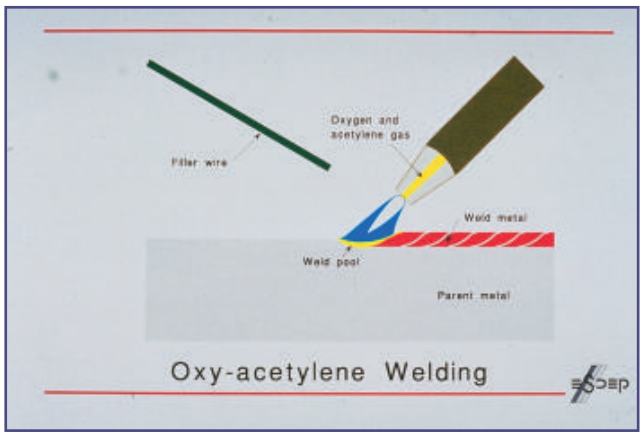
T4c74 Puente Faro, Dinamarca (1985)



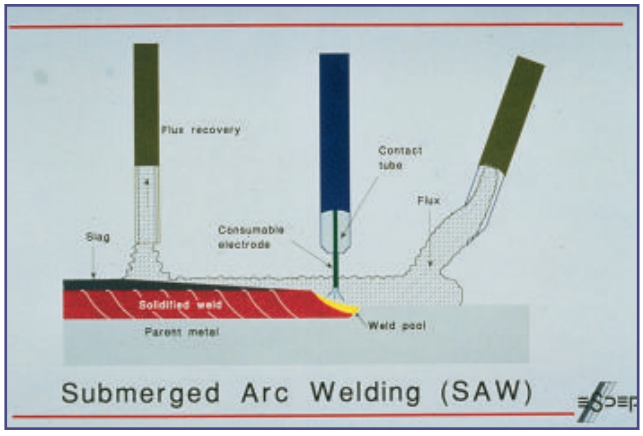
T4c75 Puente Faro, Dinamarca (1985)



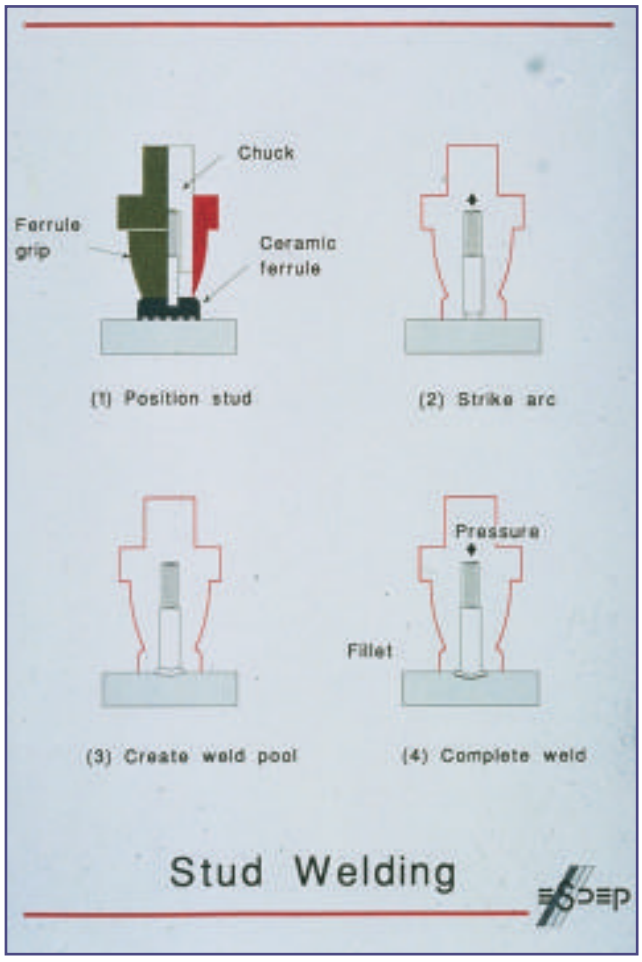
T4c76 Montaje de cables, Puente Humber, Reino Unido (1982)



T4c77 Soldadura con oxi-acetileno



T4c78 Soldadura mediante arco sumergido



T4c79 Soldadura de conectadores