13

Diseño de uniones

Instituto Técnico
de la Estructura
en Acero



ITEA

ÍNDICE DEL TOMO 13

DISEÑO DE UNIONES

Lección 13.1.1: Uniones en edificación 1

1 INTRODUCCIÓN 4
2 COMPONENTES DE LAS UNIONES 5
3 TIPOS DE UNIONES 8
3.1 Empalmes de pilares (figura 8) 9
3.2 Bases de pilar (figura 9) 10
3.3 Uniones simples viga-pilar (figura 10) 10
3.4 Uniones rígidas viga-pilar (figura 11) 11
3.5 Uniones simples viga-viga (figura 12) 12
3.6 Unión rígida viga-viga (figura 13) 12
3.7 Uniones horizontales de arriostramiento (figura 14) 13
3.8 Uniones verticales de arriostramiento (figura 15) 13
4 CONDICIONANTES ECONÓMICOS 14
5 RESUMEN FINAL 16
6 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 16

Lección 13.1.2: Introducción al diseño de uniones 17

1 INTRODUCCIÓN 20
2 REQUISITOS PARA EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL 21
3 INFLUENCIA EN EL PROYECTO DEL TIPO DE UNIÓN 23
4 TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS 27
5 RESUMEN FINAL 35
6 BIBLIOGRAFÍA 35
7 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 35

Lección 13.2.1:Generalidades sobre uniones soldadas 37

1 INTRODUCCIÓN 40
2 TIPOS DE SOLDADURAS 41
2.1 Soldaduras a tope 41
2.2 Soldadura en ángulo 41
2.3 Soldaduras de tapón y de ranura 42
2.4 Soldaduras por puntos 42
3 DESCRIPCIÓN DE LAS SOLDADURAS – DEFINICIONES 44
4 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES 46
4.1 Metal de base 46
4.2 Metal de aportación 46
5 PREPARACIÓN DE BORDES 47
6 CALIDAD DE LA SOLDADURA-DISCONTINUIDADES 50
7 RESUMEN FINAL 52
8 BIBLIOGRAFÍA 52
9 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 52

Lección 13.2.2: Uniones soldadas – Bases para el cálculo de cordones de soldadura 53

1 INTRODUCCIÓN 56
2 CÁLCULOS EN LA SOLDADURA A TOPE 57
2.1 Soldaduras a tope de penetración total 57
2.2 Soldaduras a tope de penetración parcial 57
2.3 Distribución de tensiones en soldaduras a tope 58
3 CÁLCULOS EN SOLDADURAS EN ÁNGULO 60
3.1 Hipótesis 60
3.2 Método básico 60
3.3 Método de tensiones medias 61
3.4 Cordones largos 62
4 CÁLCULO DE SOLDADURAS DE RANURA Y POR PUNTOS 63
5 RESUMEN FINAL 64
6 BIBLIOGRAFÍA 64
7 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 64

Lección 13.2.3: Uniones soldadas – Aplicaciones de cálculo de tamaños de cordón de soldadura 65

1 INTRODUCCIÓN 68
2 CORDONES DE SOLDADURA LATERALES 70
2.1 Aplicación del método de la tensión media 70
2.2 Aplicación del método alternativo 70
2.3 Resistencia de la unión igual a la resistencia del elemento 70
3 CORDONES FRONTALES DE SOLDADURA 71
3.1 Aplicación del método de la tensión media 71
3.2 Aplicación del método alternativo 71
3.3 Resistencia de la unión igual a la resistencia del elemento 72
4 CARGAS DESVIADAS 73
5 CURVAS TENSIÓN-DEFORMACIÓN 75
6 SOLDADURA EN LAS ALAS NO RIGIDIZADAS 76
7 COMPROBACIÓN DE LOS ELEMENTOS UNIDOS 77
8 RESUMEN FINAL 78
9 BIBLIOGRAFÍA 78
10 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 78

Lección 13.3.1: Uniones con tornillos sin pretensar 79

1 INTRODUCCIÓN 82
2 ESQUEMA DE TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS 83
3 DIMENSIONES DE LOS TORNILLOS 85
4 CLASES DE TORNILLOS 86
5 DIÁMETRO DE LOS AGUJEROS 87
6 SECCIONES NOMINAL Y RESISTENTE A TRACCIÓN DE UN TORNILLO 88
7 RESISTENCIA A CORTADURA 89
7.1 Uniones normales 89
7.2 Uniones largas 89
8 RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO 92
9 RESISTENCIA ATRACCIÓN 94
10 TORNILLOS SUJETOS A CORTE Y TRACCIÓN 95

11 REQUISITOS DE SEPARACIÓN ENTRE TORNILLOS 97
11.1 Bases 97
11.2 Chapas 97
11.2.1 Distancia mínima al extremo 97
11.2.2 Distancia mínima al borde 97
11.2.3 Distancias máximas al extremo y al borde 97
11.2.4 Separación mínima 98
11.2.5 Separación máxima en barras comprimidas 98
11.2.6 Separación máxima en barras traccionadas 98
11.3 Angulares unidos por un ala 98
12 RESUMEN FINAL 100
13 BIBLIOGRAFÍA 100

Lección 13.3.2: Uniones con tornillos pretensados 101

1 INTRODUCCIÓN 104
2 TRANSMISIÓN DE CARGA 105
2.1 Uniones resistente por rozamiento 105
2.2 Uniones solicitadas a tracción 105
3 PRETENSADO EN TORNILLOS 108
4 APRIETE DE LOS TORNILLOS 109
5 TUERCAS Y ARANDELAS 114
6 AGUJEROS 116
7 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO 117
8 RESISTENCIA AL CORTE Y A LA TRACCIÓN 118
9 MEDIDAS PARA UNIONES RESISTENTES POR ROZAMIENTO 119
10 RESUMEN FINAL 120
11 BIBLIOGRAFÍA 120

Lección 13.3.3: Particularidades de las uniones con tornillos 121

1 GENERALIDADES 124
2 AGUJEROS SOBREDIMENSIONADOS Y AGUJEROS RASGADOS 125

3 AJUSTE DE LAS SUPERFICIES DE CONTACTO 127
4 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO 128
5 TORNILLOS CALIBRADOS E INYECTADOS 131
6 TORNILLOS "CONTROL DE TRACCIÓN" (CT)-ARANDELAS INDICADORAS DE CARGA 134
6.1 Un tornillo de "Control de tracción" (CT) 134
6.2 Una arandela "indicadora de carga" 135
7 PLACAS PROTEGIDAS CONTRA LA CORROSIÓN 136
8 TORNILLOS GALVANIZADOS 137
9 FRAGILIZACIÓN POR HIDRÓGENO-CORROSIÓN BAJO TENSIÓN 138
10 RESUMEN FINAL 139
11 BIBLIOGRAFÍA 139

Lección 13.4.1: Análisis de uniones I: Determinación de esfuerzos 141

1 INTRODUCCIÓN 144
2 DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS 145
2.1 Esfuerzos en la unión 145
2.2 Distribución de esfuerzos en la unión 145
2.3 Hipótesis de carga básicas para elementos 146
3 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS 148
3.1 Influencia de las diferencias de rigidez 148
3.2 Centro de rotación libre y centro de rotación forzado 150
4 RESUMEN FINAL 156
5 BIBLIOGRAFÍA 156
6 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 156

Lección 13.4.2: Análisis de uniones: Distribución de fuerzas en grupos de tornillos y soldaduras 157

1 DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS 160
1.1 Conexiones largas 160

1.1.1 Uniones atornilladas largas cargadas en dirección longitudinal[1)] 160
1.1.2 Distribución de la tensión tangencial en cordones de soldadura largos[2)] 162
1.2 Distribución de fuerzas en conjuntos de soldadura 165
1.3 Distribución no lineal de fuerzas en el tornillo 171
1.4 Uniones híbridas 173
2 RESUMEN FINAL 174
3 BIBLIOGRAFÍA 174
4 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 174

Lección 13.4.3: Análisis de uniones: Transferencia de traccción directa o compresión y cortante 175

1 TRANSFERENCIA DE ESFUERZOS DE TRACCIÓN O COMPRESIÓN AXIALES 178
1.1 Soldaduras a tope 178
1.2 Transferencias de cargas axiales utilizando platabandas 178
1.3 Uniones a chapas de unión 182
2 TRANSFERENCIA DE ESFUERZOS CORTANTES 186
3 RESUMEN FINAL 192
4 BIBLIOGRAFÍA 192
5 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 192

Lección 13.4.4: Análisis de uniones: Resistencia a momento mediante tracción y compresión combinadas 193

1 INTRODUCCIÓN 196
2 TRANSFERENCIA DE ESFUERZOS DE TRACCIÓN 197
2.1 Criterios 197
2.2 Agotamiento plástico del ala del pilar 197
2.3 Fluencia/rotura del alma del pilar 204
3 TRANSFERENCIAS DE FUERZAS DE COMPRESIÓN 208
4 TRANSFERENCIA DE ESFUERZOS CORTANTES (ZONA DE CORTADURA) 210

7 RESUMEN FINAL 248
8 BIBLIOGRAFÍA 248

Lección 13.7: Uniones de rigidez plástica parcial para pórticos semicontinuos 249

1 INTRODUCCIÓN 252
2 DEFINICIONES 253
3 ANÁLISIS GLOBAL PLÁSTICO Y ELÁSTICO 254
4 QUE ES LO QUE HACE QUE UNA UNIÓN SEA ADECUADA 255
5 LA NECESIDAD DE RIGIDEZ 257
6 DISEÑO DE UNIONES ESTÁNDAR 258
7 CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES DE LA UNIÓN 261
8 DISEÑO DE UNIONES ECONÓMICO 263
9 PÓRTICOS SIN ARRIOSTRAMIENTO 264
10 RESUMEN FINAL 266
11 BIBLIOGRAFÍA 266

Lección 13.8: Uniones en edificios 267

1 INTRODUCCIÓN 270
1.1 Tipos de uniones de empalme 270
1.2 Cargas en uniones de empalme 271
1.3 Propósito de esta lección 271
2 UNIONES DE EMPALME EN BARRAS TENDIDAS 272
2.1 Uniones de empalme atornilladas con placas 272
2.1.1 Uniones resistentes por cortadura 272
2.1.2 Tornillos resistentes al deslizamiento 274
2.1.3 Empalmes atornillados a tracción 274
2.2 Empalmes soldados 275
2.3 Uniones especiales 275
3 JUNTAS DE EMPALME EN BARRAS COMPRIMIDAS 276
3.1 Uniones de empalme atornilladas con placas 276
3.2 Uniones con tornillos y placas de extremo 276

3.3 Empalmes totalmente soldados 277
3.4 Comentarios adicionales 277
4 UNIONES DE EMPALME EN BARRAS SUJETAS A FLEXIÓN 279
5 UNIONES DE EMPALME EN BARRAS SUJETAS A LA COMBINACIÓN DE FUERZAS AXIALES Y FLEXIÓN 281
6 RESUMEN FINAL 282
7 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 282

ESDEP TOMO 13
DISEÑO DE UNIONES

Lección 13.1.1: Uniones en edificación

OBJETIVOS/CONTENIDO

Identificar cómo se efectúan las uniones estructurales en edificación de acero, ver la importancia que tiene la adecuada elección del tipo de unión tanto en el comportamiento global de la estructura como en el aspecto económico, y presentar los principios básicos del diseño de uniones.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Lección 2.5.1:	Introducción al Diseño de Edificios Industriales
Lección 2.7.1:	Introducción al Diseño de Edificios de Varias Plantas
Lección 4.1.1:	Fabricación General de Estructuras de Acero
Lección 4.5:	Fabricación y Montaje de Edificios

LECCIONES AFINES

Lección 13.1.2:	Introducción al Diseño de Uniones
Lecciones 13.2:	Uniones Soldadas
Lecciones 13.3:	Uniones con Tornillos
Lecciones 13.4:	Análisis de Uniones
Lección 13.5:	Uniones Simples para Edificación
Lección 13.6:	Uniones de Momento para Pórticos Continuos
Lección 13.7:	Uniones de Rigidez Plástica Parcial para Pórticos Semicontinuos
Lección 13.8:	Uniones en Edificios
Lecciones 15:	Estructuras Tubulares

RESUMEN

Se establece la necesidad de varios tipos de uniones estructurales en edificación de acero y se identifican sus características básicas. Se discuten las distintas formas de efectuar las uniones en el contexto de transferencia de fuerzas locales entre componentes, asegurando la consistencia del comportamiento estructural global y los aspectos prácticos de construcción y montaje. Se establecen así los principios básicos del diseño de uniones.

1. INTRODUCCIÓN

Los edificación de estructura metálica están constituidos por diferentes tipos de elementos, y cada uno de estos elementos debe estar convenientemente unido a las piezas vecinas de la estructura. Esto implica la utilización de distintos tipos de uniones. Los principales tipos son:

i) Los que se producen cuando tiene lugar un cambio de dirección, por ejemplo en las uniones viga-pilar, viga-viga y uniones entre barras en las cerchas.

ii) Los que se requieren para asegurar tamaños manejables de la estructura de acero a efectos de transporte y montaje; los pilares, por ejemplo, se suelen empalmar cada dos o tres pisos.

iii) Los que se producen cuando tiene lugar un cambio de componente, lo que incluye la unión de la estructura de acero a otras piezas del edificio, como pueden ser bases del pilar, uniones a núcleos de hormigón y uniones con paredes, forjados y cubiertas.

La figura 1 muestra ejemplos de uniones en el contexto de un pórtico de varias plantas.

Las uniones son partes importantes de cualquier estructura metálica. Las propiedades mecánicas de las uniones influyen mucho en la resistencia, rigidez y estabilidad de la estructura en conjunto.

El número de uniones y su complejidad tienen una influencia decisiva en el tiempo necesario para el análisis estático y el trazado de planos.

La fabricación de uniones, o sea, el corte, taladrado y soldadura de barras, cartelas, casquillos y rigidizadores representa gran parte del trabajo del taller. La facilidad con que puedan efectuarse las uniones en la obra es un factor clave en el montaje.

Por ello, la selección, el proyecto y el detalle de las uniones de la estructura de un edificio tienen una influencia muy significativa en los costes de la misma.

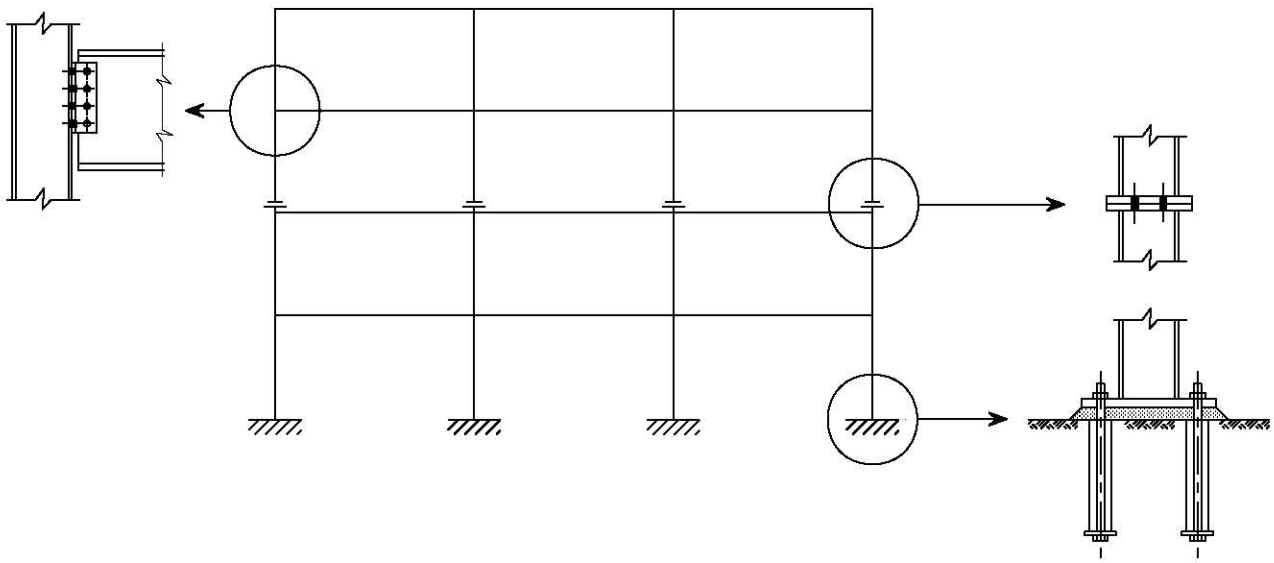


Figura 1 Uniones en un pórtico de varias plantas

2. COMPONENTES DE LAS UNIONES

Las uniones de las estructuras metálicas suelen efectuarse mediante soldaduras y/o tornillos.

Soldaduras

Aunque pueden efectuarse distintos tipos de soldaduras, normalmente se prefiere la soldadura en ángulo como la ilustrada en la figura 2a a la soldadura a tope que se muestra en la figura 2b, porque sólo requiere una sencilla preparación de las piezas a soldar y porque, generalmente, puede llevarse a cabo con instalaciones relativamente sencillas y no requiere habilidades especiales por parte del soldador.

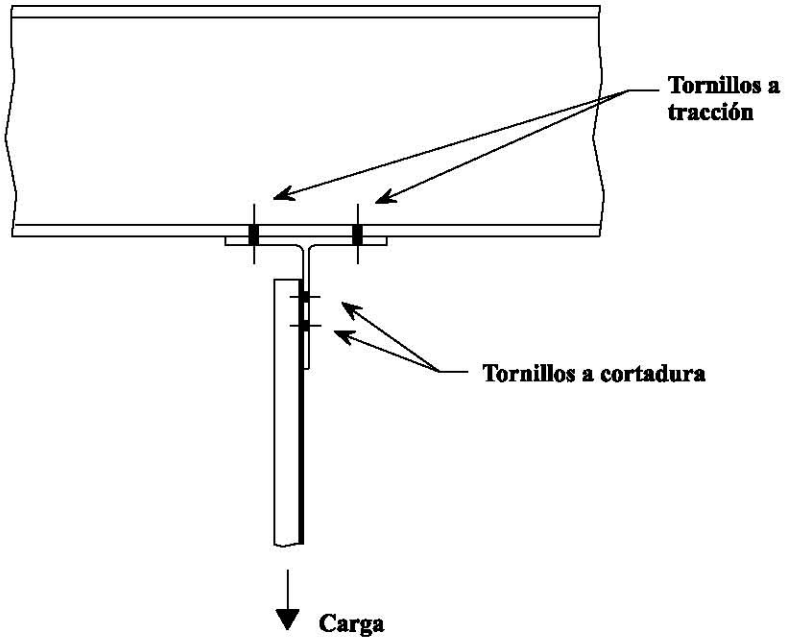


Figura 3 Tornillos solicitados a tracción y cortadura

Aunque la soldadura puede efectuarse en la misma obra, esta opción tiende a resultar cara por las siguientes razones:

- Hay que contar con plataformas de montaje a las que pueda accederse de forma segura
- Hay que proteger las soldaduras de las inclemencias del tiempo, lo que puede retrasar el trabajo.
- Hay que hacer llegar la corriente al lugar de trabajo
- Se requieren casquillos y pernos de montaje para juntar las barras
- Los costes de inspección
- Un tiempo de montaje más largo significa que el cliente tarda más en tener el edificio

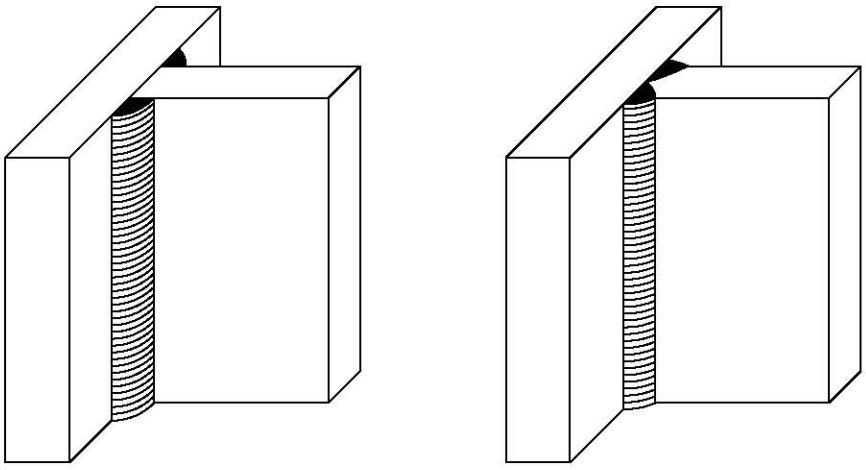


Figura 2 Diferentes tipos de soldadura para uniones en T

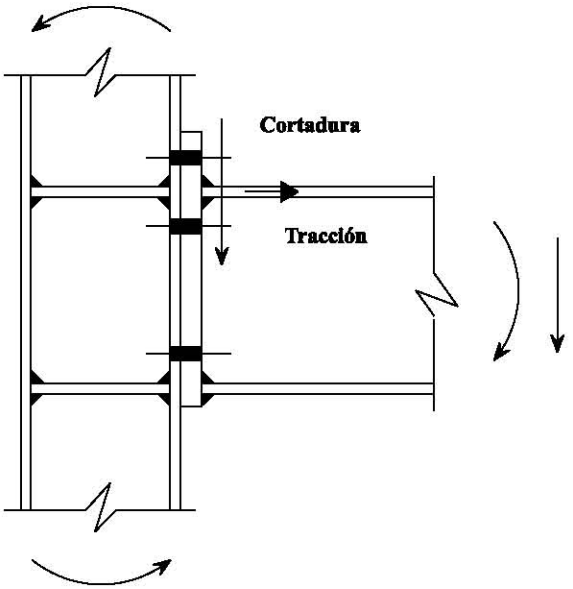


Figura 4 Tornillos solicitados a tracción y cortadura combinadas

Por todo ello, las uniones en obra suelen efectuarse mediante tornillos.

Tornillos

Según el perfil de la unión y la situación de los tornillos, están sujetos a tracción, a cortadura o a una combinación de ambas, tal como se ilustra en las figuras 3 y 4.

Para resolver un cierto desajuste entre las distancias de los taladros y los diámetros de los tornillos, los agujeros se taladran normalmente con un diámetro 2 mm más grande que el del tornillo. Cuando no pueden permitirse los desplazamientos debidos a estas tolerancias, los tornillos pueden pretensarse para evitar el deslizamiento. En las estructuras solicitadas estáticamente, como son los edificación, deberían evitarse los tornillos pretensados. El tratamiento especial que hay que dar a las superficies de contacto parar obtener un valor del coeficiente de rozamiento adecuado y fiable y los métodos de apriete son caros.

Otros elementos

Además de tornillos y soldaduras, suelen ser necesarias otras piezas para la transferencia de fuerzas, como, por ejemplo, cartelas y casquillos. La figura 5 muestra algunos ejemplos en uniones viga-pilar.

Las uniones pueden presentar zonas críticas. En la unión viga-pilar de la figura 6 estas zonas pueden ser el ala del pilar y el alma del mismo. La transmisión en el pilar de fuerzas concentradas puede ser causa de fluencia y abolladura locales. Estos modos de agotamiento pueden ser decisivos para la capacidad de una unión. Por ejemplo, la capacidad de la unión que muestra la figura 6 es menor que el momento plástico de la viga.

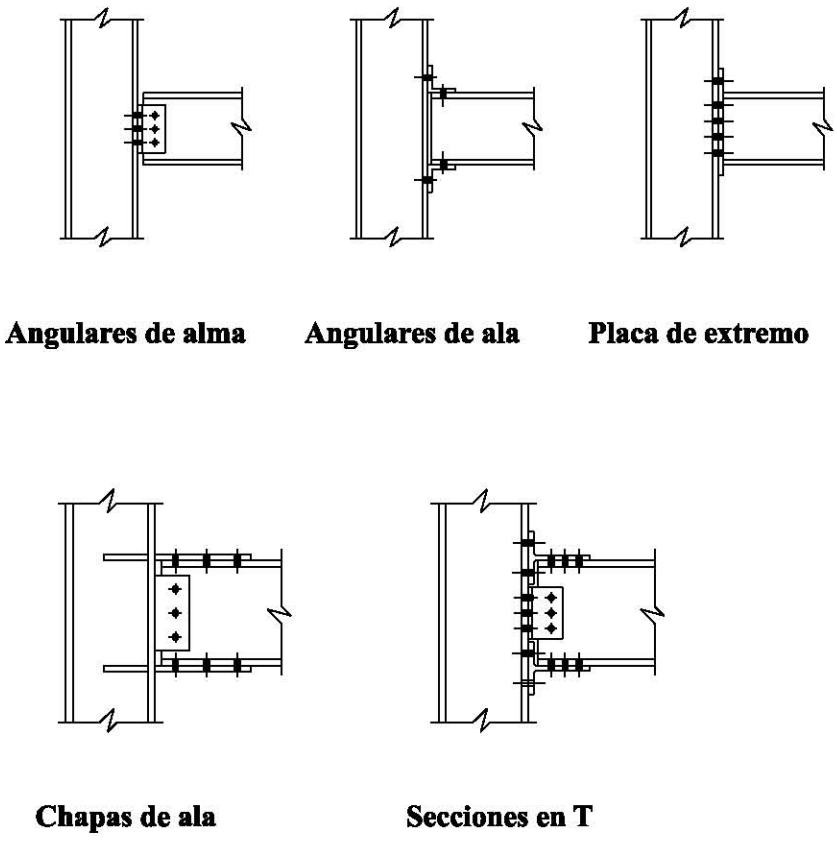


Figura 5 Elementos de uniones atornilladas

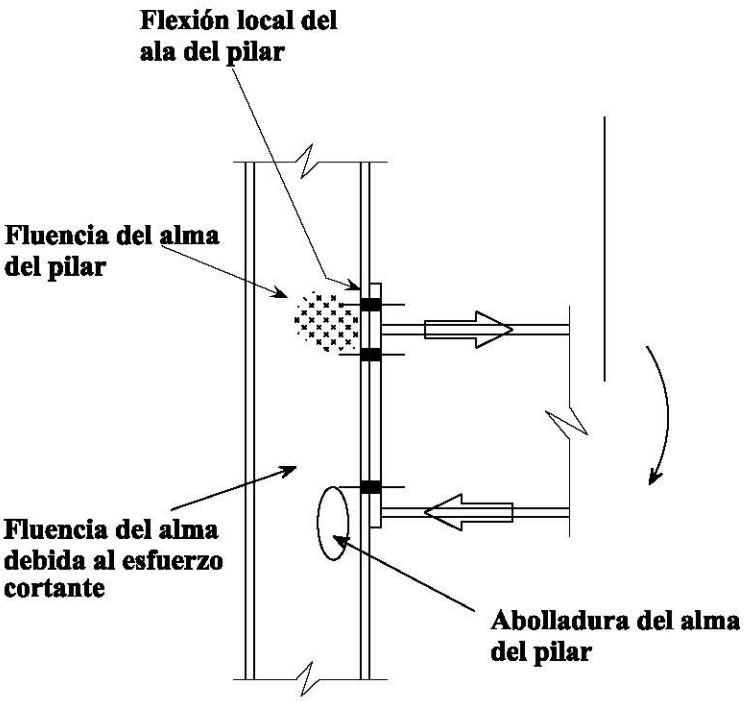


Figura 6 Modos de agotamiento en una unión viga-pilar no reforzada

Si es necesario, la capacidad puede aumentarse reforzando adecuadamente las áreas críticas de las uniones, tal como se muestra en la figura 7.

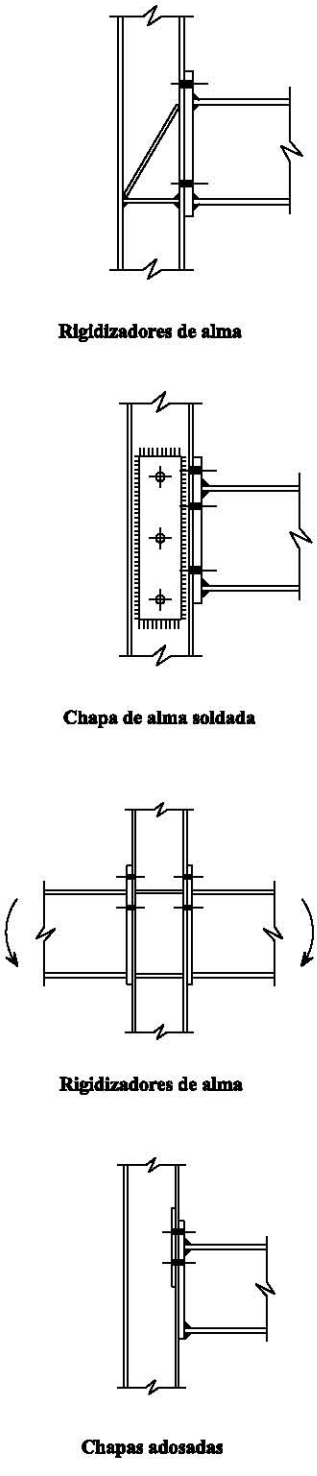


Figura 7 Posibilidades de refuerzo de uniones viga-pilar en zonas potencialmente débiles

3. TIPOS DE UNIONES

En edificación proyectados para resistir cargas estáticas, incluyendo las solicitaciones del viento, normalmente bastará con proyectar uniones que resistan fuerzas que actúan primariamente en sólo una dirección. Sin embargo, en zonas con riesgo sísmico pueden tener lugar inversiones de carga. Estas inversiones de carga requerirán normalmente un enfoque distinto del proyecto de estructuras que resistan la carga, lo que se traduce en distintas formas de unión.

En edificación de varias plantas, las uniones entre los elementos de la estructura pueden clasificarse como:

- Uniones viga a viga.
- Uniones viga a pilar.
- Empalme de pilares.
- Bases de pilar.
- Uniones a los arriostramientos.

Naturalmente, esta lista no incluye las uniones entre el pórtico principal y otros elementos de la estructura, como, por ejemplo, vigas a forjado, los anclajes de los cerramientos, etc. A pesar de las distintas configuraciones geométricas y los requisitos estructurales característicos de cada uno de los cinco tipos presentados, existen ciertos requisitos funcionales generales que siempre deben tenerse en cuenta:

- Las uniones deben ser lo suficientemente resistentes como para transmitir las cargas previstas. Para conseguirlo, deben realizarse de forma que transmitan los esfuerzos de una barra a otra a lo largo de trayectorias de carga uniformes para evitar concentraciones importantes de tensión.
- Deben tener el grado de rigidez previsto.
- Los elementos de la unión (chapas o casquillos) deben colocarse de forma tal que, en lo posible, se posicionen automáticamente, sean accesibles para la reparación (tanto en el taller como en la obra) y proporcionen un buen ajuste.

Es decir, que el proyecto de cualquier unión en la estructura metálica debe satisfacer simultáneamente los requisitos de idoneidad estructural, comportamiento adecuado y practicidad desde el punto de vista técnico. Lógicamente, a menudo serán posibles soluciones distintas que satisfacen en grado distinto cada una de estas necesidades. Se requiere cierto sentido común y experiencia para decidir la importancia relativa de los distintos criterios de proyecto y cuál es el requisito que tiene mayor importancia en una situación concreta. Obviamente, el proyectista no es totalmente libre a la hora de elegir, porque siempre debe asegurar que la unión pueda transmitir el nivel de carga requerido. Su elección influye en la solución concreta hasta el punto que una unión más simple puede proporcionar suficiente resistencia.

En este aspecto, también el taller influirá en el diseño. Deben tenerse en cuenta su capacidad e instalaciones a la hora de detallar las uniones. Por lo tanto, a la hora de trabajar los detalles, debe consultarse con el taller.

Hay que tener un cuidado especial con las uniones en las que intervengan elementos tubulares, porque puede que las instalaciones utilizadas para perfiles abiertos no se adapten. El factor más importante es, naturalmente, la limitación de acceso, que hace que no puedan utilizarse tornillos con tuercas en el interior del tubo. En los casos en que las uniones puedan efectuarse sólo con soldadura, como por ejemplo la fabricación de cerchas en el taller, la solución es clara. Sin embargo, hay que prestar especial atención a las uniones en la obra, en particular si deben preservarse los contornos limpios que a menudo son un factor importante a la hora de seleccionar la configuración tubular. En los capítulos de la lección 15 puede encontrarse más información al respecto.

Para proporcionar una visión global de la gran variedad de diseños posibles, las figuras 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15 presentan ejemplos de los tipos de unión mencionados.

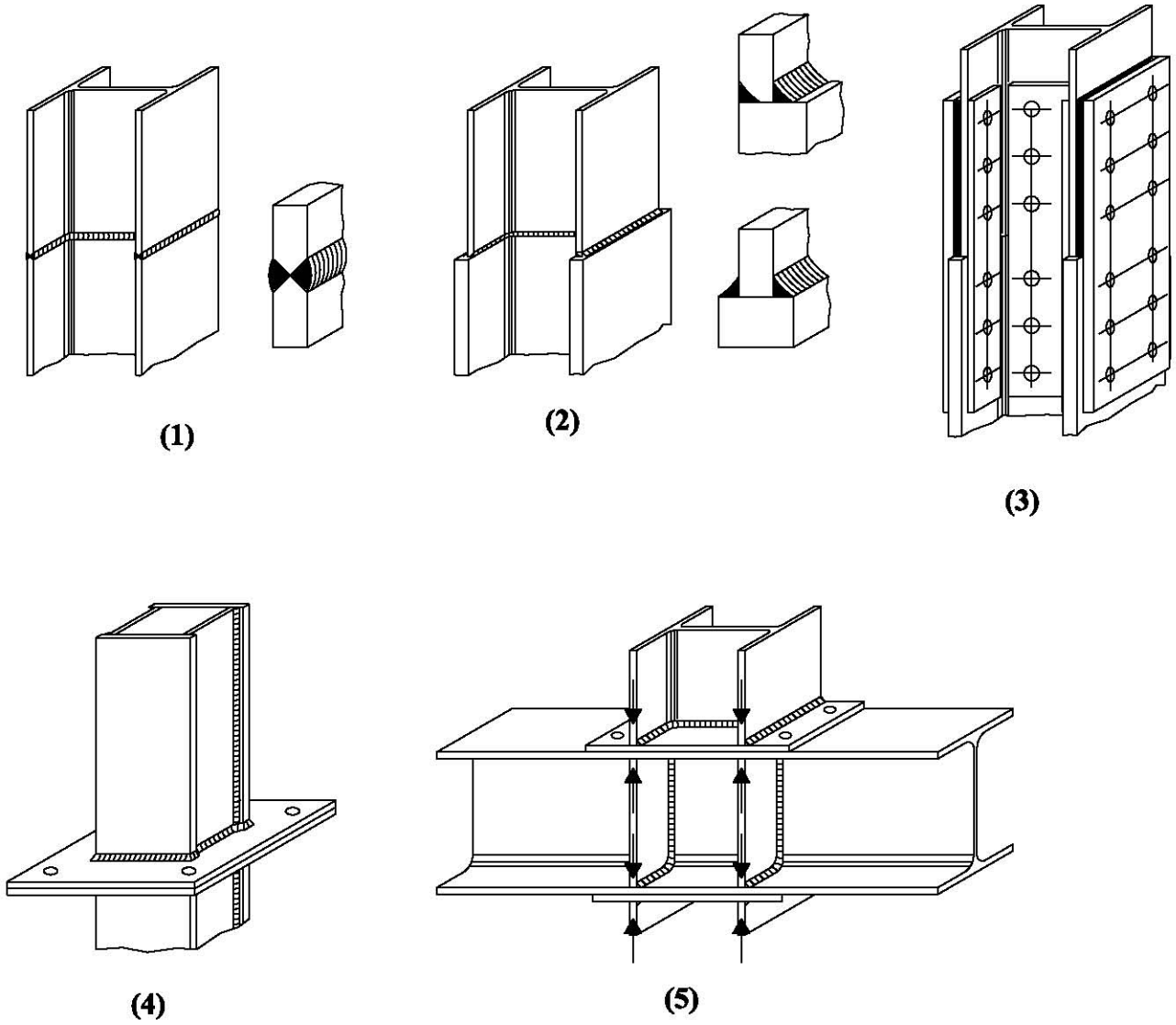


Figura 8 Empalmes de pilares

3.1 Empalmes de Pilares (figura 8)

8.1 y 8.2: Son uniones soldadas. En los casos en que las chapas tengan espesores distintos, pueden efectuarse soldaduras en ángulo, más baratas. Hay que recordar aquí que quizás la soldadura no sea el medio de unión más adecuado para las uniones de obra.

8.3: Unión atornillada. Puede suponerse que las fuerzas verticales se transmiten bien por apoyo directo, bien a través de las platabandas. Las platabandas sirven también para transmitir los momentos flectores y los esfuerzos cortantes. Cuando existen espesores distintos de alas/almas, se requieren forros.

8.4: Un empalme utilizado con frecuencia. Puede que las chapas no sean perfectamente planas, debido a la soldadura en el taller. Normalmente no hace falta ningún mecanizado posterior para aplanar estas chapas.

8.5: Algunas veces es más fácil hacer que la viga sea continua. Para transmitir las cargas y por razones de estabilidad, hay que rigidizar la viga entre las alas del pilar.

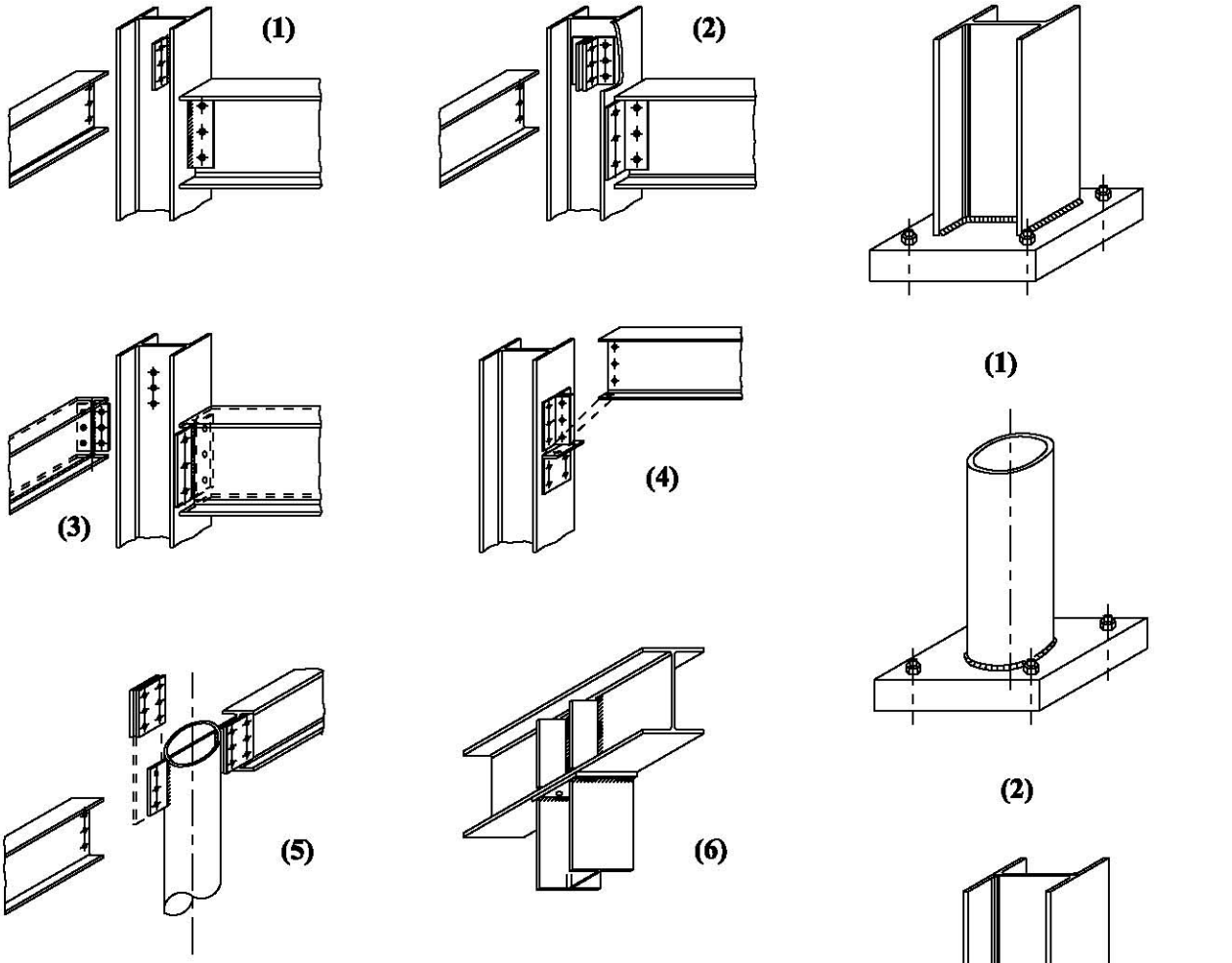


Figura 10 Uniones viga-pilar simples

3.2 Bases de Pilar (figura 9)

9.1 y 9.2: Las placas de asiento gruesas no necesitan rigidización. Normalmente es la solución más barata.

9.3: Placas de asiento más delgadas con rigidizadores, como se utilizaban en diseños antiguos.

Figura 9 Bases de pilares

3.3 Uniones Simples Viga-Pilar (figura 10)

10.1: Unión con pletinas soldadas al pilar. La viga se une por un lado.

10.2: Unión atornillada con casquillos de alma. Como alternativa, los casquillos pueden soldarse.

10.3: Unión con chapas de testa flexibles soldadas a la viga.

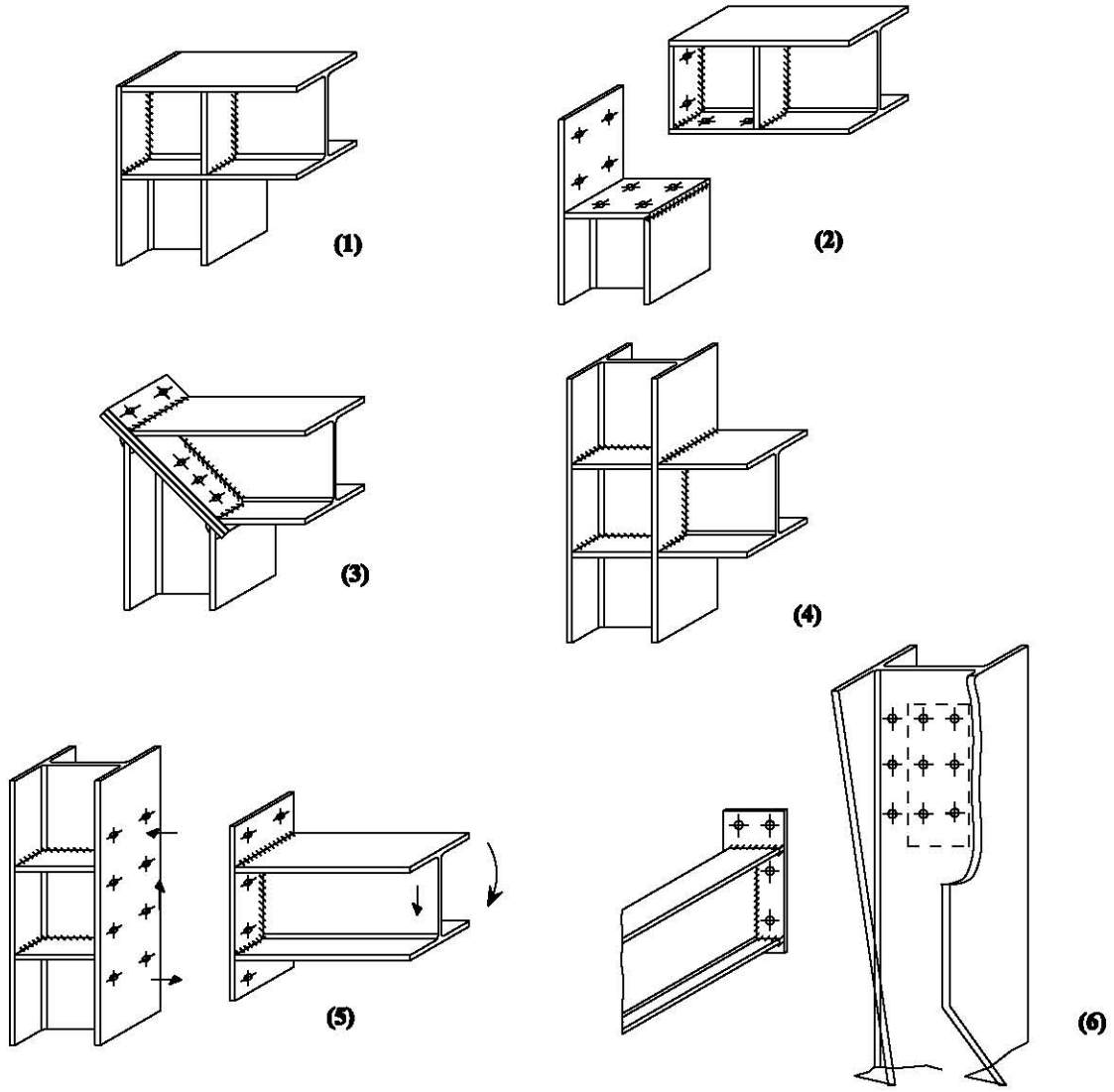


Figura 11 Uniones viga-pilar rígidas

10.4: Unión atornillada con casquillos de asiento. El casquillo horizontal aumenta la capacidad.

10.5: En un tubo de paredes gruesas, las chapas pueden soldarse directamente a la pared sin manguito en el tubo para tener una chapa continua. Para más detalles referentes a los tubos, véanse los capítulos de la lección 15.

10.6: La rigidez depende en gran manera del espesor de la placa del extremo del pilar y del espesor del ala de la viga. En muchos casos puede prescindirse de las chapas de rigidización.

3.4 Uniones Rígidas Viga-Pilar (figura 11)

11.1: Unión totalmente soldada.

11.2: Unión atornillada.

11.3: Unión con chapa de testa.

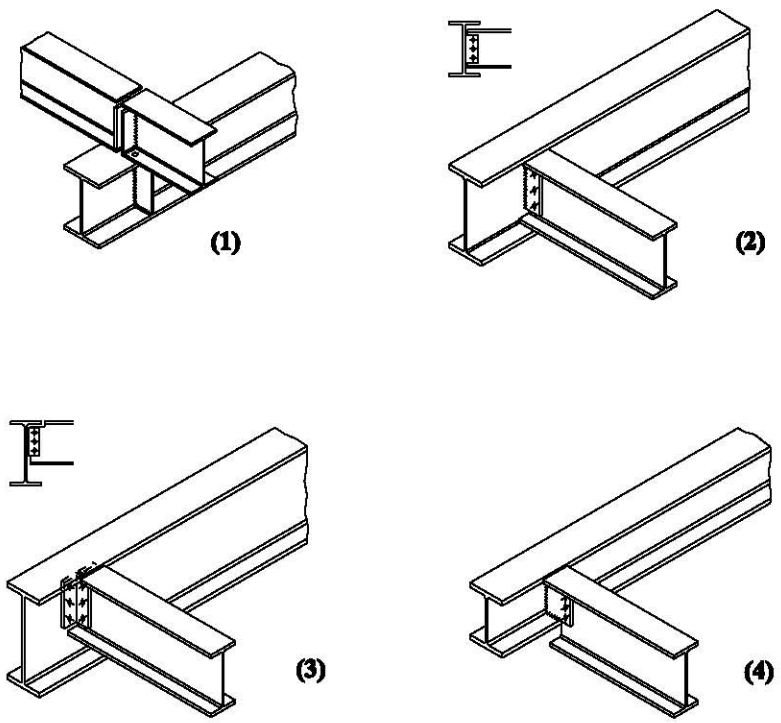


Figura 12 Uniones viga-pilar simples

11.4: Uniones en T soldadas.

11.5: Uniones en T atornilladas.

11.6: Uniones con chapa de testa. Se supone que otra viga está unida al otro lado del alma.

3.5 Uniones Simples Viga-Viga (figura 12)

12.1: Según cuál sea la geometría y las fuerzas aplicadas, puede que los rigidizadores no hagan falta. Esta unión presenta la ventaja de ser de fabricación barata pero el inconveniente de que la altura total de la construcción es superior a la de los otros diseños de la figura 12.

12.2: En esta unión no hace falta efectuar un recorte, como sucede en la unión 12.3. Ello hace que también sea un diseño de fabricación barata.

12.3: Las alas superiores tienen la misma altura. El recorte hace que este diseño sea más caro que el de 12.2.

12.4: La viga a conectar es más alta que la viga principal. Este diseño es de fabricación ciertamente barata. La rótula se colocará donde la chapa se suelda con el alma.

3.6 Unión Rígida Viga-Viga (figura 13)

13.1: Este diseño es comparable al de la figura 12.1. Naturalmente, siempre que sea posible debe prescindirse de los rigidizadores.

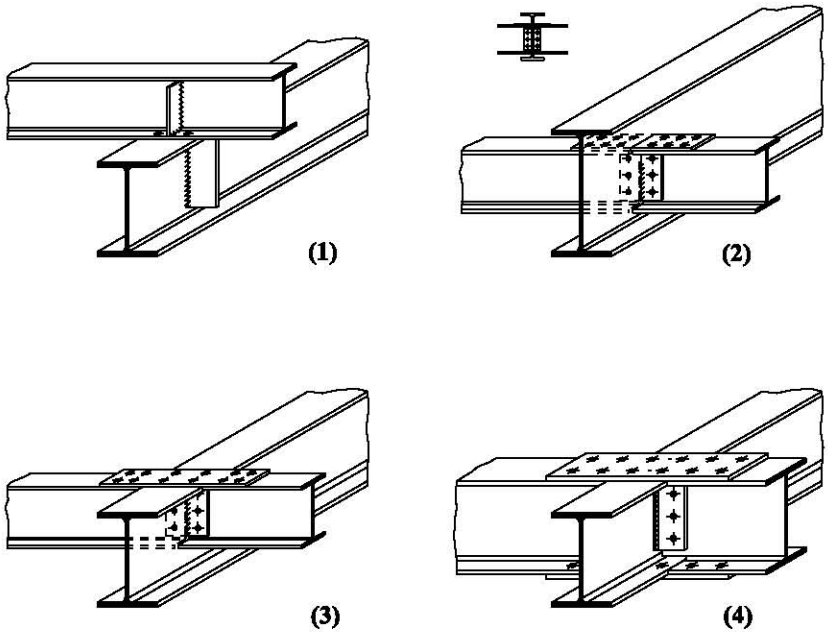


Figura 13 Uniones viga-pilar rígidas

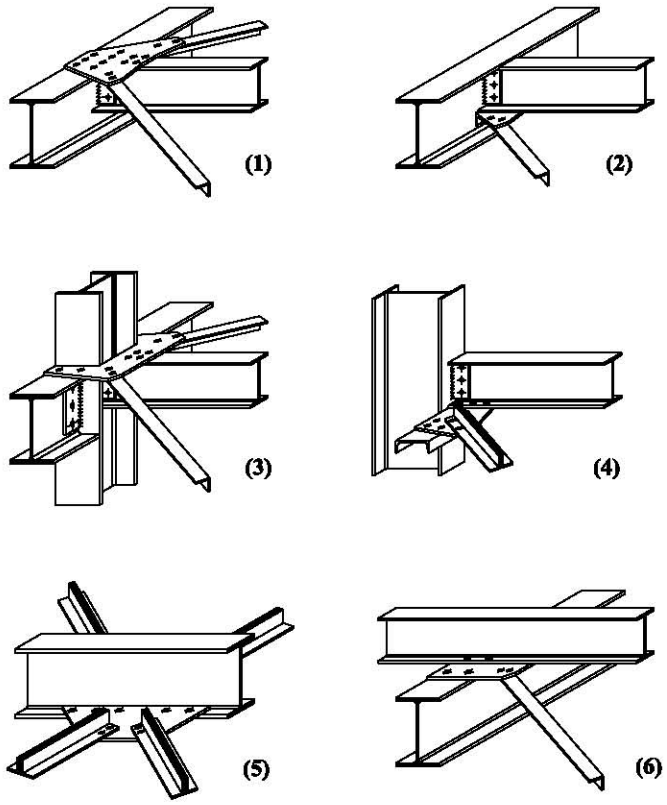


Figura 14 Uniones de arriostramiento horizontal

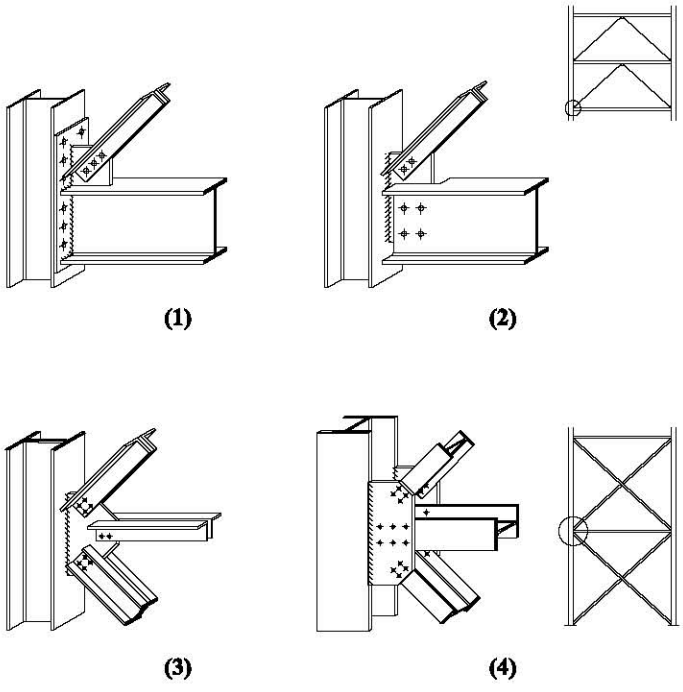


Figura 15 Uniones de arriostramiento vertical

13.2: Los esfuerzos de tracción en el ala superior se transmiten por la platabanda que atraviesa el alma de la jácena principal a través de una escotadura. En el ala inferior, puede que se requieran forros para transmitir la compresión.

13.3: En este diseño se necesita también un recorte de la viga, como en la 12.3.

13.4: Ambas vigas presentan la misma altura.

3.7 Uniones Horizontales de Arriostramiento (figura 14)

14.1, 14.2, 14.3: Las platabandas sobre el ala superior pueden representar un problema cuando se utilizan forjados o cerramientos de chapa.

14.4, 14.5, 14.6: El perfil en U de la figura 14.4 constituye el cordón de las celosías horizontales.

3.8 Uniones Verticales de Arriostramiento (figura 15)

15.1, 15.2, 15.3, 15.4: Diversas posibilidades para las uniones de Arriostramiento.

4. CONDICIONANTES ECONÓMICOS

Como se ha visto, deben cumplirse muchos requisitos a la hora de diseñar uniones. En otros capítulos de la lección 13 se examinan los relacionados con el comportamiento estructural. Trataremos ahora los básicos relacionados con los costes.

Los costes de una estructura de acero pueden dividirse en costes de material y de mano de obra, de la forma siguiente:

• Material		20 - 40%
• Cálculos	}	
• Dibujo	}	
• Fabricación	}	60 - 80%
• Pintura	}	
• Montaje	}	

A partir de esta división de costes se llega a la conclusión de que cualquier ahorro en los costes de mano de obra tiene potencialmente una mayor influencia en los costes globales de la estructura de acero que el ahorro en material.

Un factor importante es la relación entre coste por kg de acero y coste por hombre y hora.

Durante las últimas décadas el precio del acero ha aumentado considerablemente menos que el precio de la mano de obra. Esta tendencia, junto con los desarrollos en la tecnología de fabricación, significa que los proyectos estructurales que eran óptimos hace 10 años puede que actualmente no sean competitivos.

Gran parte de los costes de mano de obra presenta una relación directa con el cálculo y fabricación de las uniones. A menudo es mejor ahorrar mano de obra aunque haya que poner más material. Este hecho puede ilustrarse con ejemplos sencillos. Para estimar los costes, se parte de los siguientes supuestos:

- el precio de 1 cm^3 de soldadura equivalen a 0,7 kg de acero.
- el precio de fabricación de las cartelas es igual al precio de soldadura.
- el precio por taladro equivalen a 2 kg de acero.

La figura 16 presenta una viga laminada en un pórtico arriostrado. La base es un diseño con uniones sencillas para transmitir únicamente el esfuerzo cortante. Cuando se sustituyen las "rótulas" por uniones rígidas como en [B] y [C], puede seleccionarse para la viga laminada un IPE 140 en vez de un IPE 180. Sin embargo, y debido a los mayores costes de las uniones, las alternativas [B] y [C] son más caras, especialmente la [B]. La diferencia con [C], que utiliza chapas de refuerzo del ala de los pilares, no es tan grande. Cuando se efectúa lo mismo para una viga con una luz mayor, por ejemplo 10 m, se ve que la alternativa C es la más barata.

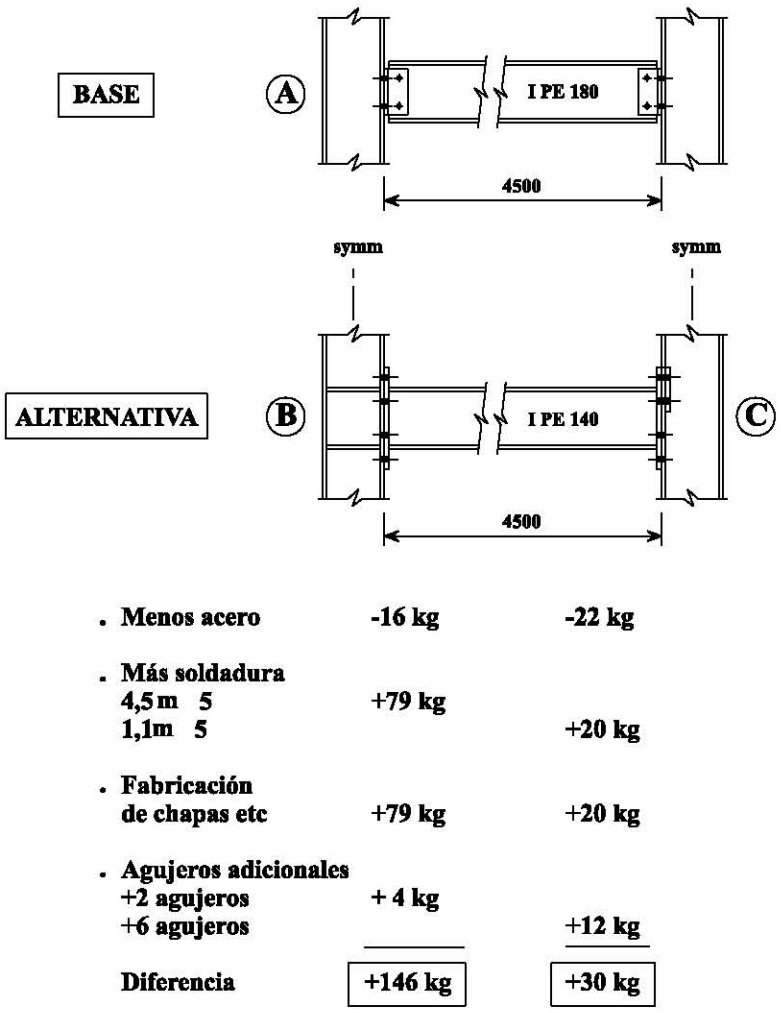
El balance entre la capacidad de la unión y de la viga se presenta con más detalle en la lección 13.7 sobre diseño semirígido.

Otro ejemplo serían las placas de asiento presentadas en la figura 9. Puede demostrarse fácilmente que la placa de asiento gruesa sin rigidizadores es la solución más barata en casi todos los casos.

Para el ejemplo con las uniones viga-pilar, debe mencionarse que la alternativa A no presenta soldaduras. Esto puede significar que la circulación del material en el taller es más sencilla, porque no hay que efectuar ninguna parada en el área de soldadura.

Otros aspectos que contribuyen a la economía de un proyecto son:

- Limitar tanto como se pueda el número de diámetros, longitudes y grados de los tornillos. Utilizar, por ejemplo, tornillos estándar M20 de grado 8.8 (resistencia a la rotura 800 N/mm^2 y resistencia de prueba 640 N/mm^2) (véase también la lección 13.3)



. Menos acero	-16 kg	-22 kg
. Más soldadura		
4,5 m 5	+79 kg	
1,1m 5		+20 kg
. Fabricación de chapas etc	+79 kg	+20 kg
. Agujeros adicionales		
+2 agujeros	+ 4 kg	
+6 agujeros		+12 kg
Diferencia	+146 kg	+30 kg

Figura 16 Diseño alternativo de una viga en pórtico arriostrado

- Asegurar un buen acceso para que sea fácil efectuar las soldaduras
- Reducir al mínimo las situaciones que requieran ajustes precisos
- Conseguir la normalización de los detalles
- Proveer fácil acceso para el atornillado en la obra
- Proveer medios para soportar rápidamente el peso propio de la pieza, y poder así liberar la grúa rápidamente
- Conseguir un fácil ajuste por alineación
- Tomar en consideración el mantenimiento, cuando sea necesario

Para mayor información sobre estos aspectos, consúltense las lecciones del grupo 3 sobre trabajos de taller y las lecciones del grupo 5 sobre corrosión.

5. RESUMEN FINAL

- Se requieren uniones cuando tiene lugar un cambio de componente, cambios en la dirección los pórticos y para asegurar tamaños manejables de elementos.
- Las uniones deben satisfacer las condiciones relativas al comportamiento estructural. Deben ser lo suficientemente fuertes para transmitir las cargas de cálculo y, al mismo tiempo, tener el grado previsto de rigidez.
- El proyecto de las uniones tiene una gran influencia en los costes de las estructuras reales.
- En las uniones se utilizan dos métodos de unión: soldaduras y tornillos.
- Normalmente se utiliza la soldadura en taller y los tornillos en obra.
- Cuando se detallan las uniones deben tenerse en cuenta los detalles prácticos de la fabricación en taller y la secuencia y método de montaje.

6. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

1. Boston, R.M. and Pask, J.W. `Structural Fasteners and their Applications', BCSA 1978. Incorpora dibujos de todo tipo de tornillos y fotografías de métodos de fijación, además de ejemplos de diseño de uniones.

2. Interfaces: Connections between Steel and other Materials, Ove Arup and Partners. Editado por R. G. Ogden, 1994.

3. Hogan, T.J. and Firkins, A., `Standardized structural connections', Australian Institute of Steel Construction, 1981, 3rd Ed, 1985. Presenta ejemplos de diseño y tablas de capacidad para los principales tipos de unión.

4. Blodgett, O.W., `Design of welded structures', James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, Ohio, USA, 1972. Manual de referencia informativo y bien ilustrado que cubre todos los aspectos del diseño y construcción con soldaduras.

5. Ballio, G. and Mazzolani, F.M., `Theory and design of steel structures', Chapman and Hall, London, 1983. Texto exhaustivo sobre la teoría y el diseño de estructuras de acero. Trata las uniones de forma extensa. Presenta particular interés un tratado detallado de las cargas combinadas en soldaduras en ángulo.

6. Draft for Development DD ENV 1993-1-1: 1992 Eurocódigo 3: Design of Steel Structures, Part 1, General Rules and Rules for Buildings. El capítulo 6 presenta las reglas para el diseño de los elementos individuales de las uniones, como por ejemplo tornillos, soldaduras, distancias al borde del taladro, etc. El apéndice J trata en mayor detalle el diseño de uniones viga-pilar atornilladas y soldadas.

7. Essentials of Eurocode 3, Design Manual for Structures in Buildings, ECCS Publication 65, 1991.

8. Bijlaard, F.S.K. et al, Structural Properties of Semi-Rigid Joints in Steel Frames, IABSE Publications, 1989. Explica cómo se produce la flexibilidad en las uniones viga-pilar y presenta métodos para asegurar la rigidez y las propiedades de resistencia.

9. Joints in simple construction, Volume 1: Design methods, SCI/BCSA Publication 205, 2nd Ed, 1993. Proporciona modelos de diseño y algunos antecedentes para los tipos más frecuentes de: vigas a pilars, vigas a vigas, empalmes de pilares y bases de pilares.

10. Joints in simple construction, Volume 2: Practical Applications, SCI/BCSA Pub 206, 1st Ed, 1992. Profundiza en los aspectos más prácticos del cálculo de uniones: proporciona tablas para facilitar el cálculo de uniones en una "búsqueda rápida".

11. Owens, G. W. and Cheal, B. D., Structural Steelwork Connections, 1st Ed, 1989. Cubre de forma extensa muchos aspectos del comportamiento y diseño de las uniones.

ESDEP TOMO 13
DISEÑO DE UNIONES

Lección 13.1.2: Introducción al diseño de uniones

OBJETIVOS/CONTENIDO:

Introducir el cálculo de proyecto, con especial énfasis en la mecánica de la transmisión de carga en los varios tipos de unión.

CONOCIMIENTOS PREVIOS:

Una comprensión básica de la mecánica aplicada y las teorías de la elasticidad y la plasticidad.

Lección 3.3:	Propiedades Mecánicas de los Aceros
Lección 3.4:	Calidades y Tipos de Acero
Lección 13.1.1:	Uniones en Edificación

LECCIONES AFINES:

Lecciones 13.2:	Uniones Soldadas
Lecciones 13.3:	Uniones Atornilladas
Lecciones 13.4:	Cálculo de Uniones
Lección 13.5:	Uniones Simples para Edificación
Lección 13.6:	Uniones de Rígidas para Pórticos Continuos
Lección 13.7:	Uniones de Rigidez Plástica Parcial para Pórticos Semicontinuos
Lección 13.8:	Uniones en Edificios
Lecciones 15:	Estructuras Tubulares

RESUMEN:

Se describen los principales componentes de las uniones soldadas y atornilladas. Se presenta el concepto de transmisión de cargas del elemento soportado al de soporte y se identifican los distintos componentes de la carga. Se establecen, en términos generales, los pasos necesarios para trazar el recorrido de la carga, determinando las condiciones de resistencia y comprobando la capacidad de los componentes, todo ello como introducción a las lecciones 13.2, 13.3 y 13.4, donde se tratan estos temas con más detalle.

1. INTRODUCCIÓN

En la lección 13.1.1 se han explicado las razones por las que hay que efectuar uniones en todas las construcciones de acero. También se presentaron las principales condiciones estructurales y económicas. Esta lección 13.1.2 describe más detalladamente las condiciones estructurales (resistencia, rigidez y ductilidad). Se introduce la clasificación de las uniones según el Eurocódigo 3[1]. Esta clasificación se basa en la rigidez y la resistencia de las uniones viga a pilar.

La libertad del proyectista a la hora de escoger el tipo de unión, y a la hora de elegir los detalles para cada tipo, conduce a una gran variedad de uniones. Ver, por ejemplo, las figuras de la lección 13.1.1. En el apartado 4 se presenta el cálculo de las propiedades estructurales de las uniones y se identifican varias trayectorias de carga.

2. REQUISITOS PARA EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Las propiedades relevantes del acero son su resistencia, su rigidez y su ductilidad o capacidad de deformación. Estas propiedades pueden demostrarse en un ensayo de tracción (véase la figura 1). Una estructura de acero bien diseñada debería tener las mismas buenas propiedades.

Los requisitos básicos para las uniones de los elementos estructurales están relacionados con la resistencia, la rigidez y la capacidad de deformación.

La figura 2 define la resistencia, rigidez y capacidad de deformación de una unión viga a pilar diseñada para transferir un momento de la viga al pilar.

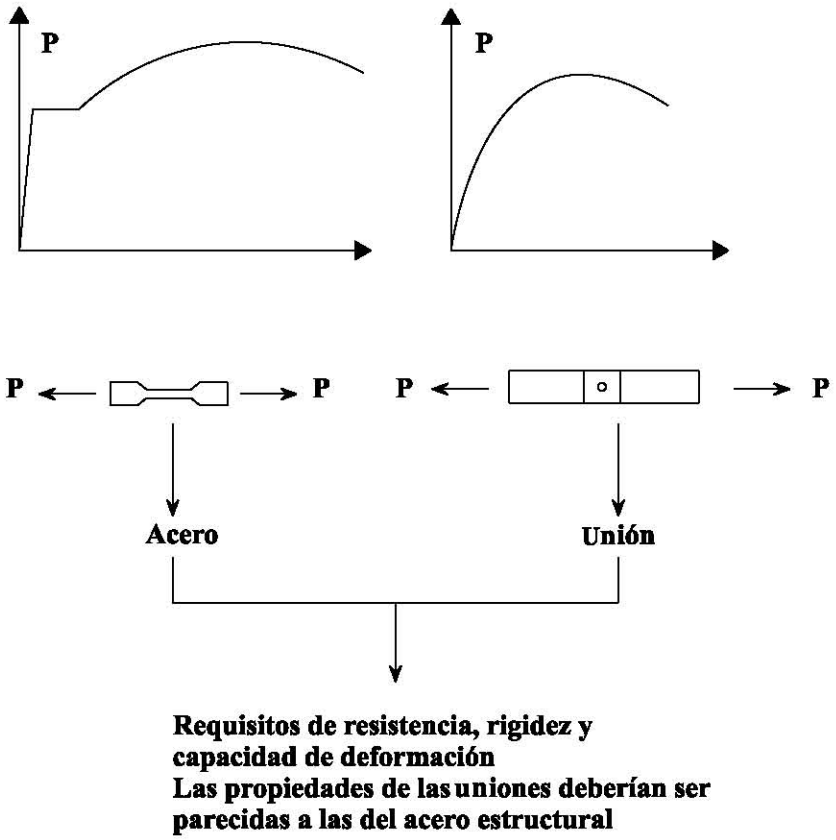


Figura 1 Resistencia, rigidez y capacidad de deformación del acero y de las uniones

La capacidad de rotación es una medida de la deformación que puede obtenerse antes de que el agotamiento en cualquier lugar de la unión origine una caída en la resistencia al momento.

La resistencia, rigidez y capacidad de deformación de las uniones se discuten con más detalle más adelante:

Resistencia

Debe efectuarse un cálculo para determinar los esfuerzos de la unión. Este incluye la definición de las cargas y la modelización de la estructura (véase la figura 3). La rigidez de las uniones es un elemento importante en la modelización de la estructura. Puede partirse del supuesto de que las uniones son rígidas, articuladas o con una rigidez intermedia entre estas dos. La capacidad de deformación de los elementos (vigas y pilares) y de las uniones juega un importante papel en la distribución última de las fuerzas en la estructura.

Todas los elementos de la estructura deben diseñarse para resistir las fuerzas calculadas y tener una capacidad de deformación coherente con las hipótesis efectuadas en el análisis global.

Rigidez

La rigidez de la unión afecta el nivel de carga para el que debe calcularse. Una unión con baja rigidez rotacional no atrae grandes momentos flectores y por lo tanto puede considerarse, en la modelización de la estructura como una unión articulada.

Naturalmente, la rigidez de las uniones afecta las flechas de las vigas. Particularmente cuando se trata de pórticos no

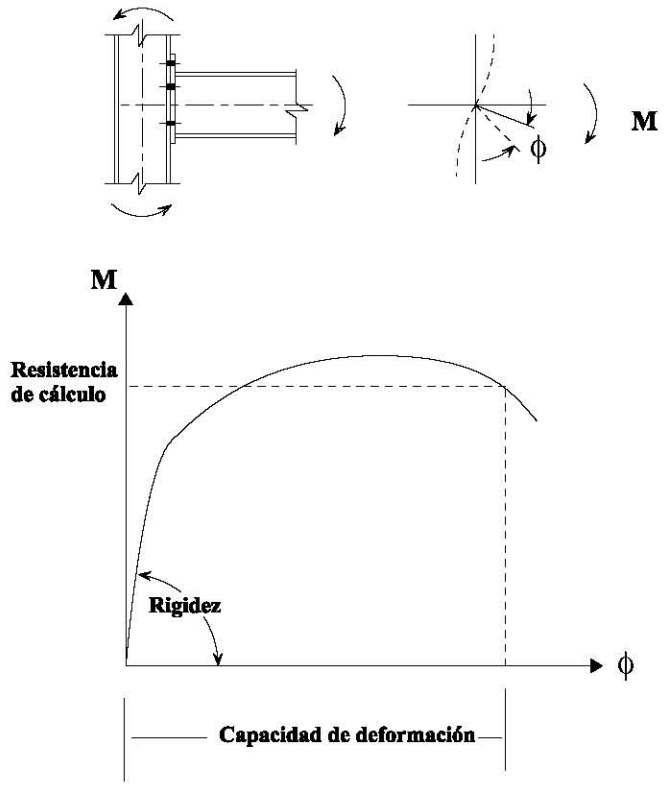


Figura 2 Diagrama de momento-rotación de una unión viga-pilar (curva M-ϕ)

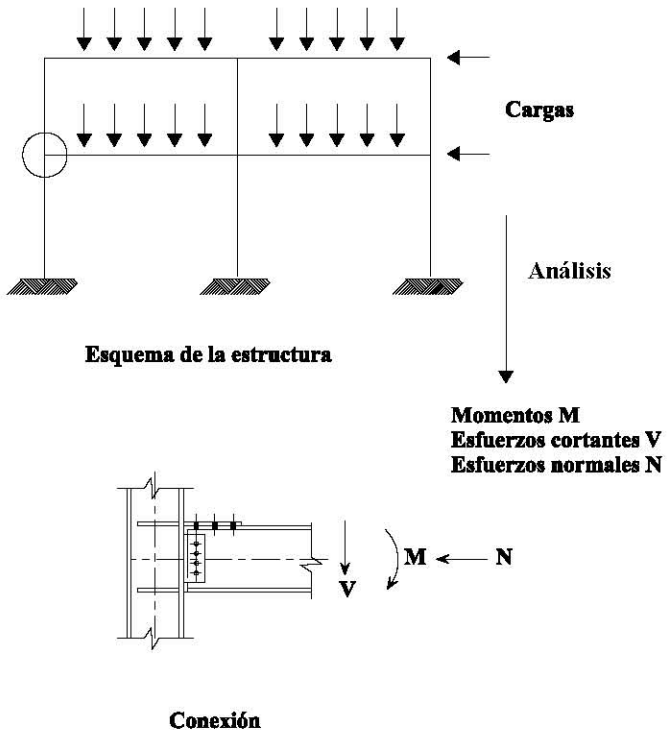


Figura 3 Análisis de las fuerzas que actúan sobre la unión

arriostrados, la rigidez de las uniones puede tener un gran efecto en los desplazamientos globales de la estructura y también en su estabilidad.

Si las uniones se suponen rígidas en el modelo para el cálculo de la estructura, entonces la forma de estas uniones deberá ser tal que sus deformaciones tengan una influencia despreciable en la distribución de los esfuerzos y en las deformaciones de la estructura.

Por otra parte, si se suponen uniones articuladas, deberían tener suficiente flexibilidad para adaptar las rotaciones sin causar momentos flectores significativos que puedan conducir a un agotamiento prematuro de (las piezas de) la unión o de los elementos conectados.

En el apartado 3 se discute con mayor detalle la modelización de la rigidez de las uniones. En muchos casos es aceptable diseñar uniones únicamente tomando en consideración su resistencia.

Capacidad de Deformación

Los requisitos en cuanto a resistencia y rigidez son claros. Resultan del cálculo.

El requisito para la capacidad de deformación es más cualitativo. En la práctica, a veces resulta difícil verificar este requisito.

Las uniones dúctiles que presentan una elevada capacidad de deformación contribuyen a la seguridad global de la estructura en el caso de que alguna unión esté sobrecargada. Esta ductilidad puede ser una condición de proyecto en algunos casos, por ejemplo cuando se utiliza el cálculo plástico con rótulas plásticas en las uniones.

3. INFLUENCIA EN EL PROYECTO DEL TIPO DE UNIÓN

Las uniones deberían proyectarse según el comportamiento requerido. La rigidez y la resistencia permiten muchos enfoques del proyecto. En la figura 4 pueden verse tres tipos para una unión viga a pilar, con las características de su momento de rotación. Estas características pueden describirse de la forma siguiente:

I Tanto la rigidez como la resistencia al momento son pequeños y es razonable despreciarlos, llegando al concepto de unión articulada. Únicamente se transmite el cortante, siendo su

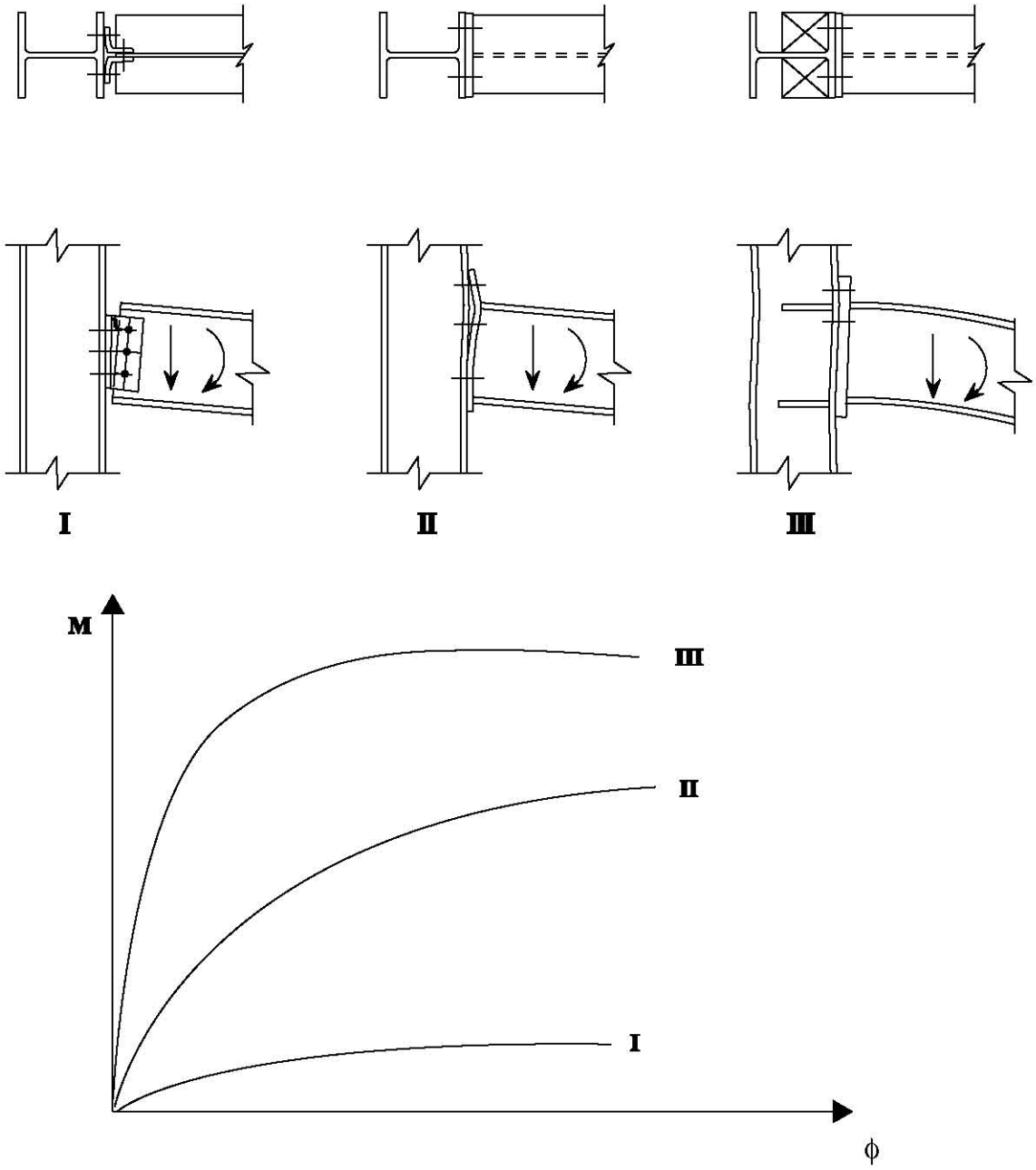


Figura 4 Diagramas de momento-rotación (curvas M-ϕ)

valor igual a la reacción en el apoyo de la viga, necesaria para resistir la solicitación en la misma.

II Comportamiento intermedio entre las características I y III, en el que las uniones poseen una resistencia al momento menor que la de la viga, y una rigidez que permite una rotación relativa (estas uniones son generalmente semi-rígidas y de resistencia parcial). Sin embargo, pueden tenerse uniones que tengan resistencia completa y sean semirígidas y uniones totalmente rígidas con resistencia parcial).

III La rigidez rotacional es muy elevada y la resistencia al momento de la unión es, por lo menos, la de la viga. Entonces, se mantiene la continuidad sin rotación de la viga respecto al pilar; tanto la reacción de apoyo de la viga como su momento de extremo se transmiten al pilar.

Las tres posibilidades pueden aplicarse en pórticos de varias alturas. El tipo III puede aplicarse en pórticos arriostrados y no arriostrados; el Tipo I sólo es adecuado para pórticos arriostrados; el Tipo II puede utilizarse en ambos tipos de pórticos, pero en el caso de los pórticos arriostrados hay que tener en cuenta la influencia de la flexibilidad de la unión en el comportamiento del pórtico. La figura 5 muestra la modelización de la rigidez rotacional para el análisis del pórtico.

El Eurocódigo 3[1] proporciona reglas de cálculo para la rigidez y la resistencia.

En general, las curvas M-ϕ, tal como se miden en los ensayos, no son lineales. Otro hecho es que las uniones poco flexibles presentan a veces una baja resistencia al momento, y viceversa. La figura 6 muestra algunos ejemplos. La curva a E es característica de algunos tipos de uniones atornilladas en agujeros sobredimensionados. Para momentos pequeños, se produce el deslizamiento que causa una rotación.

En la práctica, hay que modelizar las curvas M-ϕ. En el cálculo pueden utilizarse modelizaciones no lineales o lineales, como las bilineales o las trilineales que muestra la figura 7.

El Eurocódigo 3[1] proporciona una clasificación en base a la resistencia y la rigidez.

En base a la resistencia, pueden clasificarse en:

- nominalmente articuladas $M_{Rd} \leq 0{,}25\ M_{pl.Rd}$
- resistencia plástica parcial $0{,}25\ M_{pl.Rd} < M_{Rd} < M_{pl.Rd}$
- resistencia plástica completa $M_{Rd} \geq$

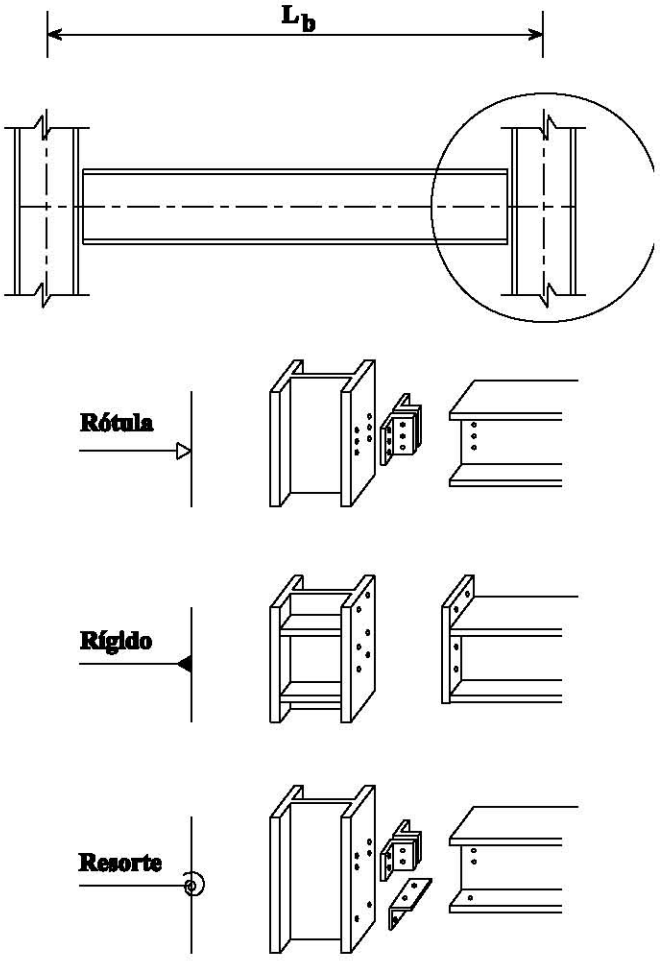


Figura 5 Esquematización de la rigidez rotacional

$M_{pl.Rd}$

- resistencia plástica completa si la capacidad de rotación

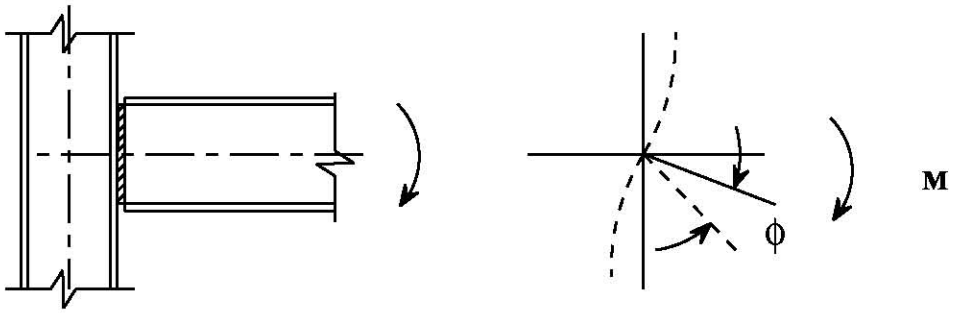
no se comprueba $M_{Rd} \geq 1{,}2\ M_{pl.Rd}$

donde

M_{Rd} es la resistencia de cálculo de la unión.

$M_{pl.Rd}$ es la resistencia de cálculo de la viga (momento plástico total).

Esta clasificación basada en la resistencia es aplicable si se calcula la estructura utilizando la teoría de la plasticidad. En una unión con resistencia plástica completa, la articulación plástica se forma teóricamente en la viga. Con todo, en la práctica es posible que el límite de fluencia del material de la viga pueda ser (considerablemente) superior que su valor mínimo especificado. O sea que es posible que se formen articulaciones plásticas en la unión a pesar del $M_{Rd} > M_{pl.Rd}$ calculado. En estos casos también es necesario que la unión tenga una capacidad de rotación suficiente para desarrollar el mecanismo plástico. La capacidad de rotación debe verificarse en todos los casos. Se define un límite superior, por encima del cuál puede suponerse que la articulación plástica está siempre en la viga ($1{,}2\ M_{pl.Rd}$).



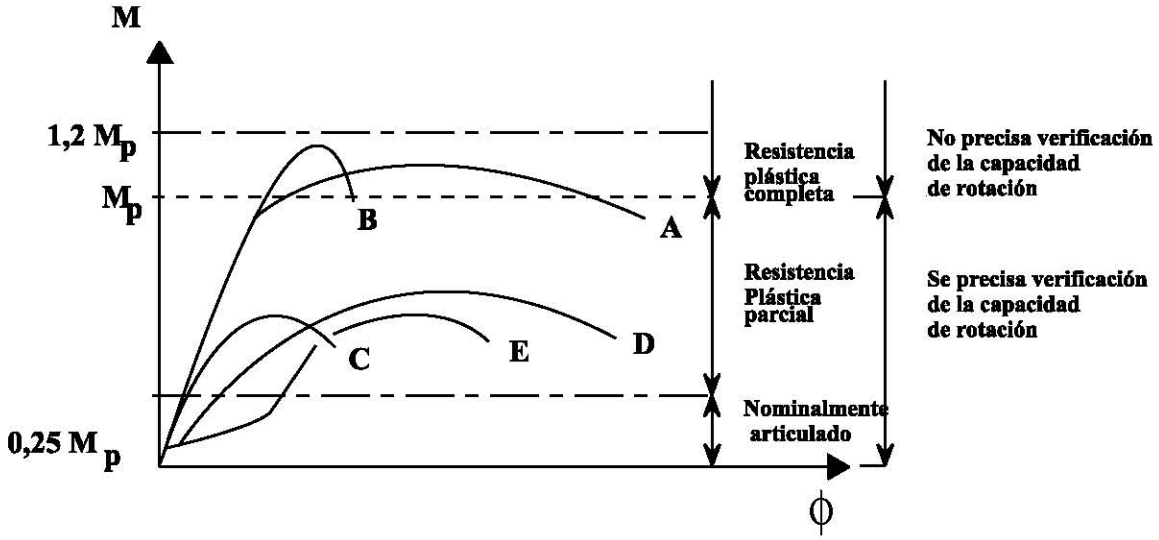


Figura 6 Diversos tipos de curvas M-ϕ

Para la rigidez, la clasificación es:

- nominalmente articulados $S_j \leq 0{,}5\ EI_b/L_b$
- semirrígidos $0{,}5\ EI_b/L_b < S_j < 8\ EI_b/L_b$ (pórticos arriostrados) o $25\ EI_b/L_b$ (pórticos no arriostrados)
- rígidos $S_j \geq 8\ EI_b/L_b$ (pórticos arriostrados) o $25\ EI_b/L_b$ (pórticos no arriostrados)

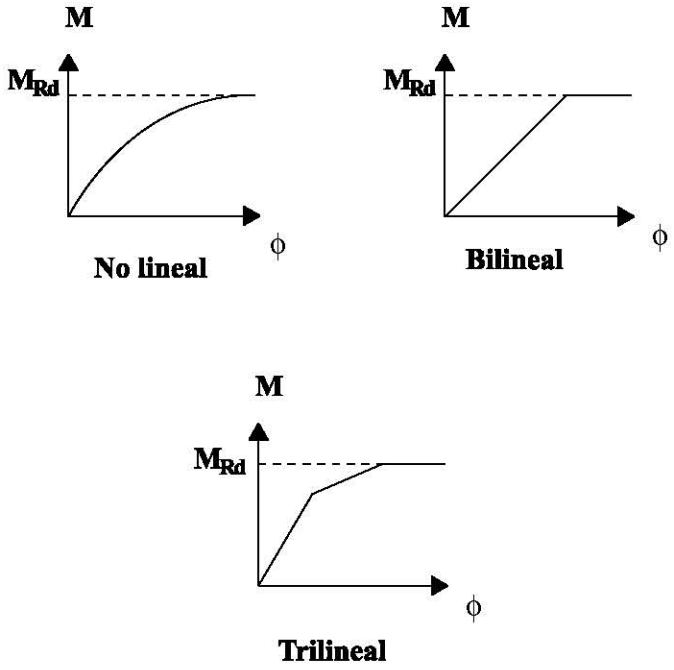


Figura 7 Posibilidades de idealización de curvas M-φ

donde

S_j es la rigidez (secante) de la unión.

EI_b es la rigidez a la flexión de la viga.

L_b es la luz de la viga (véase la figura 5).

El cálculo de uniones articuladas sólo implica tomar en consideración la resistencia al corte, y se trata en la lección 13.5.

En las uniones rígidas deben tenerse en cuenta la resistencia al cortante y al momento. Las uniones rígidas y/o de resistencia plástica completa se tratan en la lección 13.6.

La lección 13.7 explica el cálculo en el caso de comportamiento semirrígido y/o resistencia plástica parcial.

4. TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS

En el apartado 2 se indica que las uniones deberían diseñarse para momentos y/o esfuerzos cortantes y/o esfuerzos normales, siendo la unión de la figura 3 un ejemplo de ello. El siguiente paso del análisis es determinar la distribución de esfuerzos en la unión, tal como puede verse en la figura 8. No hace falta, y a menudo no es posible, determinar la distribución interna real de fuerzas. Basta con suponer una distribución realista, siempre que:

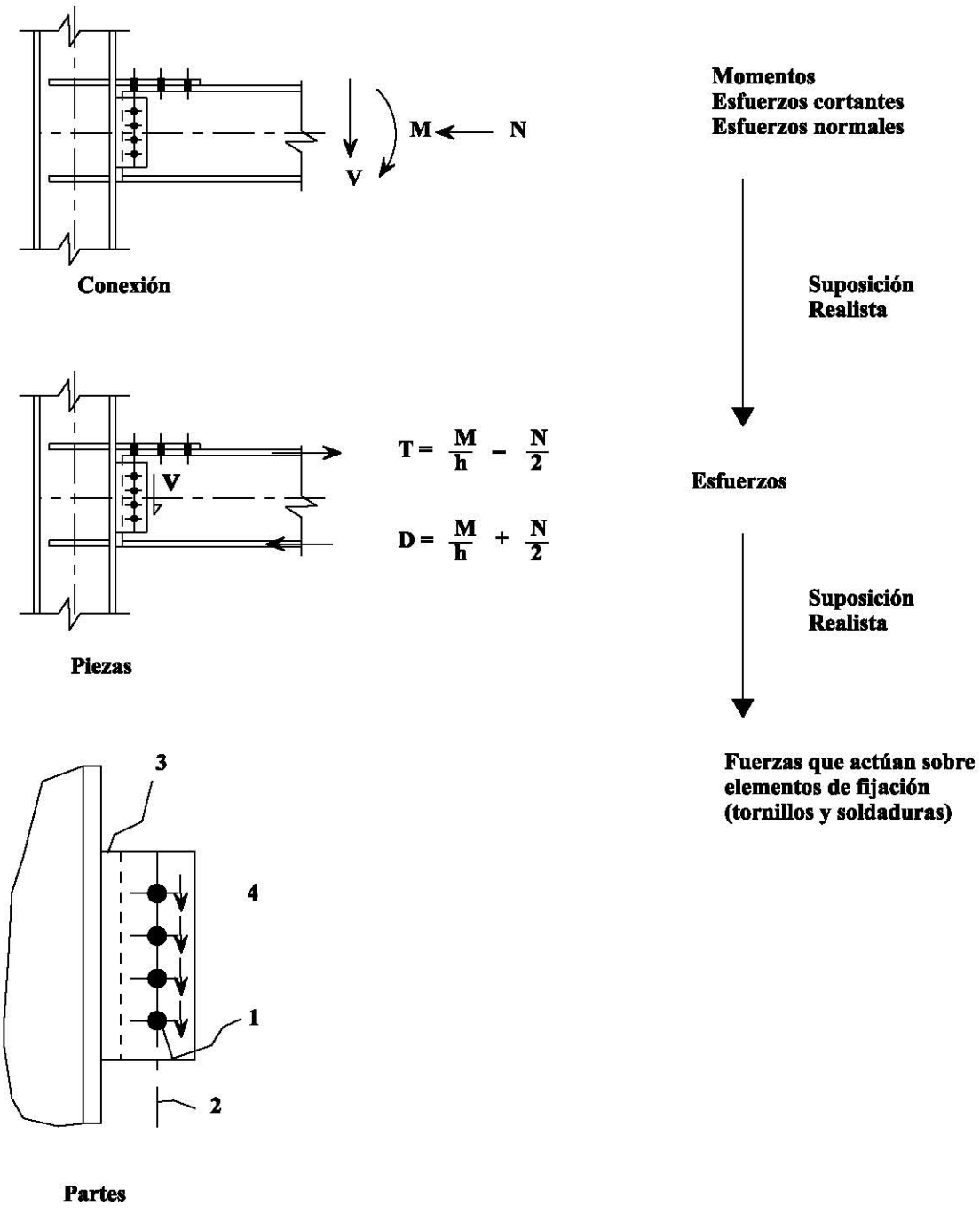


Figura 8 Análisis de las fuerzas que actúan sobre piezas y elementos de fijación