

# ESTRUCTURAS DE ACERO

## CODIGO ESTRUCTURAL

Anejos correspondientes del Real Decreto 470/2021, de 29 de junio,  
por el que se aprueba el Código Estructural

- Procedimiento de reparación ..... **Anejo 11**
- Tolerancias en elementos de acero ..... **Anejo 16**
- Frecuencias de comprobación en estructuras de acero ..... **Anejo 17**
- Proyecto de estructuras de acero.  
Reglas generales y reglas para edificación ..... **Anejo 22**
- Proyecto de estructuras de acero. Reglas generales.  
Estructuras sometidas al fuego ..... **Anejo 23**
- Proyecto de estructuras de acero. Reglas generales.  
R. adicionales para inoxidable ..... **Anejo 24**
- Proyecto de estructuras de acero. Placas planas ..... **Anejo 25**
- Proyecto de estructuras de acero. Uniones ..... **Anejo 26**
- Proyecto de estructuras de acero. Fatiga ..... **Anejo 27**
- Proyecto de estructuras de acero. Tenacidad de fractura ..... **Anejo 28**
- Proyecto de estructuras de acero. Puentes de acero. Generalidades ..... **Anejo 29**

Todos los derechos han sido reservados. No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, por ningún medio, ya sea informático, electrónico, mecánico, fotocopia, grabación o cualquier otro, así como su préstamo, alquiler o cualquier otra forma de cesión de uso, sin previa autorización por escrito de los titulares de los derechos de propiedad.

**Edita:** DAPP Publicaciones Jurídicas, S.L.  
Avda. Sancho el Fuerte, 33-bajo  
31007 Pamplona

**Internet:** [www.dappeditorial.es](http://www.dappeditorial.es)

**E-mail:** [dapp@dappeditorial.es](mailto:dapp@dappeditorial.es)

**I.S.B.N.:** 978-84-09-36744-3

# ÍNDICE GENERAL

<b>Presentación .....</b>	<b>31</b>
<b>Normativa .....</b>	<b>33</b>
Real Decreto 470/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba el Código Estructural	
<b>Anejo 11 - Procedimiento de preparación por enderezado de muestras de acero procedentes de rollo, para su caracterización mecánica.....</b>	<b>39</b>
<b>Introducción. ....</b>	<b>40</b>
<b>Toma de muestras.....</b>	<b>40</b>
<b>Equipo para la preparación de las muestras por enderezado.....</b>	<b>40</b>
<b>Procedimiento de preparación de las muestras por enderezado. ....</b>	<b>41</b>
<b>Anejo 16 - Tolerancias en elementos de acero .....</b>	<b>43</b>
<b>Tolerancias .....</b>	<b>44</b>
Tolerancias normales. Generalidades	
Tolerancias normales. Fabricación	
Tolerancias normales. Montaje	
Apoyos de contacto total	
Tolerancias normales para puentes	
Tolerancias especiales	
<b>Anejo 17 - Frecuencias de comprobación de las unidades de inspección en la ejecución de estructuras de acero .....</b>	<b>55</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>56</b>
<b>Frecuencias de comprobación de las unidades de inspección .....</b>	<b>56</b>
Frecuencias de comprobación en función del proceso de ejecución	
Frecuencias de comprobación en función del tipo de soldadura	

## Anejo 22 - Proyecto de estructuras de acero. Reglas generales y reglas para edificación ..... 61

<b>1. GENERALIDADES.</b> .....	<b>64</b>
1.1 ALCANCE.	
1.1.1 Alcance de los Anejos 22 a 29.	
1.1.2 Alcance del Anejo 22.	
1.2 NORMATIVA DE REFERENCIA.	
1.3 HIPÓTESIS.	
1.5 TÉRMINOS Y DEFINICIONES.	
1.5.1 Pórtico.	
1.5.2 Subestructura.	
1.5.3 Tipos de pórticos.	
1.5.4 Análisis global.	
1.5.5 Longitud del sistema.	
1.5.6 Longitud de pandeo.	
1.5.7 Arrastre por cortante.	
1.5.8 Cálculo de la capacidad.	
1.5.9 Perfiles de canto constante.	
1.6 NOTACIÓN.	
1.7 CONVENIO PARA LOS EJES.	
<b>2. BASES DE CÁLCULO.</b> .....	<b>77</b>
2.1 REQUISITOS.	
2.1.1 Requisitos básicos.	
2.1.2 Gestión de la fiabilidad.	
2.1.3 Vida útil, durabilidad y resistencia.	
2.1.3.1 Generalidades.	
2.1.3.2 Vida útil en edificación.	
2.1.3.3 Durabilidad de los edificios.	
2.2 PRINCIPIOS DE CÁLCULO EN ESTADO LÍMITE.	
2.3 VARIABLES BÁSICAS.	
2.3.1 Acciones y condiciones ambientales.	
2.3.2 Propiedades de los materiales y de los productos.	
2.4 COMPROBACIÓN POR EL MÉTODO DE LOS COEFICIENTES PARCIALES.	
2.4.1 Valores de cálculo de las propiedades de los materiales.	
2.4.2 Valores de cálculo de los parámetros geométricos.	
2.4.3 Resistencias de cálculo.	
2.4.4 Comprobación del equilibrio estático.	
2.5 CÁLCULO ASISTIDO POR ENSAYOS.	
<b>3. MATERIALES.</b> .....	<b>80</b>
3.1 GENERALIDADES.	
3.2 ACERO ESTRUCTURAL.	
3.2.1 Propiedades del material.	
3.2.2 Requisitos de ductilidad.	
3.2.3 Tenacidad de fractura.	

3.2.4	<i>Propiedades en el sentido del espesor.</i>	
3.2.5	<i>Tolerancias.</i>	
3.2.6	<i>Valores de cálculo de los coeficientes de los materiales.</i>	
3.3	DISPOSITIVOS DE UNIÓN.	
3.3.1	<i>Fijaciones.</i>	
3.3.2	<i>Material de aporte en soldaduras.</i>	
3.4	OTROS PRODUCTOS PREFABRICADOS PARA EDIFICACIÓN.	
<b>4.</b>	<b>DURABILIDAD.</b> .....	<b>84</b>
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS ESTRUCTURAL.</b> .....	<b>84</b>
5.1	MODELIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA PARA EL ANÁLISIS.	
5.1.1	<i>Modelización estructural e hipótesis básicas.</i>	
5.1.2	<i>Modelización de uniones.</i>	
5.1.3	<i>Interacción suelo-estructura.</i>	
5.2	ANÁLISIS GLOBAL.	
5.2.1	<i>Efectos de la geometría deformada de la estructura.</i>	
5.2.2	<i>Estabilidad estructural de los pórticos.</i>	
5.3	IMPERFECCIONES.	
5.3.1	<i>Bases.</i>	
5.3.2	<i>Imperfecciones para el análisis global de pórticos.</i>	
5.3.3	<i>Imperfecciones para el análisis de los sistemas de arriostamiento.</i>	
5.3.4	<i>Imperfecciones de los elementos.</i>	
5.4	MÉTODOS DE ANÁLISIS CONSIDERANDO LA NO LINEALIDAD DE LOS MATERIALES.	
5.4.1	<i>Generalidades.</i>	
5.4.2	<i>Análisis global elástico.</i>	
5.4.3	<i>Análisis global plástico.</i>	
5.5	CLASIFICACIÓN DE LAS SECCIONES.	
5.5.1	<i>Bases.</i>	
5.5.2	<i>Clasificación.</i>	
5.6	REQUISITOS RELATIVOS A SECCIONES PARA EL ANÁLISIS GLOBAL PLÁSTICO.	
<b>6.</b>	<b>ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS.</b> .....	<b>101</b>
6.1	GENERALIDADES.	
6.2	RESISTENCIA DE LAS SECCIONES.	
6.2.1	<i>Generalidades.</i>	
6.2.2	<i>Propiedades de la sección.</i>	
6.2.2.1	<i>Sección bruta.</i>	
6.2.2.2	<i>Sección neta.</i>	
6.2.2.3	<i>Efectos de arrastre por cortante.</i>	
6.2.2.4	<i>Propiedades eficaces de secciones con almas Clase 3 y alas Clases 1 o 2.</i>	
6.2.2.5	<i>Propiedades eficaces de la sección de Clase 4.</i>	
6.2.3	<i>Tracción.</i>	
6.2.4	<i>Compresión.</i>	
6.2.5	<i>Momento flector.</i>	
6.2.6	<i>Cortante.</i>	
6.2.7	<i>Torsión.</i>	
6.2.8	<i>Flexión y cortante.</i>	

6.2.9	<i>Flexión y axil.</i>	
6.2.9.1	Secciones Clases 1 y 2.	
6.2.9.2	Secciones Clase 3.	
6.2.9.3	Secciones Clase 4.	
6.2.10	<i>Flexión, cortante y axil.</i>	
6.3	RESISTENCIA A PANDEO DE LOS ELEMENTOS.	
6.3.1	<i>Elementos de sección constante a compresión.</i>	
6.3.1.1	Resistencia a pandeo.	
6.3.1.2	Curvas de pandeo.	
6.3.1.3	Esbeltez para el pandeo por flexión.	
6.3.1.4	Esbeltez para el pandeo por torsión y el pandeo por torsión y flexión.	
6.3.2	<i>Elementos de canto constante a flexión.</i>	
6.3.2.1	Resistencia a pandeo.	
6.3.2.2	Curvas de pandeo lateral por torsión. Caso general.	
6.3.2.3	Curvas de pandeo lateral para secciones laminadas o secciones soldadas equivalentes.	
6.3.2.4	Métodos simplificados de comprobación de vigas con arriostramientos laterales en edificios.	
6.3.3	<i>Elementos de sección constante sometidos a flexión y compresión.</i>	
6.3.4	<i>Método general para el pandeo lateral y flexión de elementos estructurales.</i>	
6.3.5	<i>Pandeo lateral de los elementos con rótulas plásticas en edificación.</i>	
6.3.5.1	Generalidades.	
6.3.5.2	Arriostramiento en rótulas plásticas rotadas.	
6.3.5.3	Verificación de la longitud estable del segmento.	
6.4	ELEMENTOS COMPUESTOS COMPRIMIDOS.	
6.4.1	<i>Generalidades.</i>	
6.4.2	<i>Elementos triangulados comprimidos.</i>	
6.4.2.1	Resistencia de los componentes de los perfiles triangulados comprimidos.	
6.4.2.2	Detalles constructivos.	
6.4.3	<i>Elementos empresillados comprimidos.</i>	
6.4.3.1	Resistencia de los elementos empresillados comprimidos.	
6.4.3.2	Detalles constructivos.	
6.4.4	<i>Elementos compuestos próximos.</i>	
7.	ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO. ....	133
7.1	GENERALIDADES.	
7.2	ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO EN EDIFICACIÓN.	
7.2.1	<i>Flechas verticales.</i>	
7.2.2	<i>Flechas horizontales.</i>	
7.2.3	<i>Efectos dinámicos.</i>	
<b>APÉNDICE A MÉTODO 1: COEFICIENTES RECOMENDADOS DE INTERACCIÓN KIJ PARA LA FÓRMULA DE INTERACCIÓN EN 6.3.3(4).</b>		
<b>APÉNDICE B MÉTODO 2: COEFICIENTES RECOMENDADOS DE INTERACCIÓN <math>k_{ij}</math> PARA LA FÓRMULA DE INTERACCIÓN 6.3.3(4).</b>		
<b>APÉNDICE AB DISPOSICIONES ADICIONALES DE CÁLCULO RECOMENDADAS EN EDIFICACIÓN.</b>		
<b>APÉNDICE BB RECOMENDACIONES SOBRE PANDEO EN ESTRUCTURAS DE EDIFICACIÓN.</b>		
<b>APÉNDICE C SELECCIÓN DE LA CLASE DE EJECUCIÓN.</b>		

## Anejo 23 - Proyecto de estructuras de acero. Reglas generales. Estructuras sometidas al fuego ..... 157

<b>1. GENERALIDADES.</b> .....	159
1.1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.	
1.1.2 <i>Objeto y campo de aplicación de este anejo.</i>	
1.2 NORMATIVA DE REFERENCIA.	
1.3 CONSIDERACIONES.	
1.5 TÉRMINOS Y DEFINICIONES.	
1.5.1 <i>Términos especiales relacionados con el proyecto en general.</i>	
1.5.1.1 Entramado arriostrado.	
1.5.1.2 Parte de la estructura.	
1.5.2 <i>Términos relacionados con las acciones térmicas.</i>	
1.5.2.1 Curva normalizada tiempo-temperatura.	
1.5.3 <i>Términos relacionados con materiales y productos.</i>	
1.5.3.1 Acero al carbono.	
1.5.3.2 Material de protección frente al fuego.	
1.5.3.3 Acero inoxidable.	
1.5.4 <i>Términos relacionados con el análisis de transferencia de calor.</i>	
1.5.4.1 Factor de configuración.	
1.5.4.2 Coeficiente de transferencia de calor por convección.	
1.5.4.3 Emisividad.	
1.5.4.4 Flujo neto de calor.	
1.5.4.5 Factor de sección.	
1.5.4.6 Factor de sección de un cajón envolvente.	
1.5.5 <i>Términos relacionados con el análisis del comportamiento mecánico.</i>	
1.5.5.1 Temperatura crítica del elemento de acero estructural.	
1.5.5.2 Límite elástico eficaz.	
1.6 SÍMBOLOS.	
<b>2 BASES DE CÁLCULO.</b> .....	165
2.1 REQUISITOS.	
2.1.1 <i>Requisitos básicos.</i>	
2.1.2 <i>Exposición a fuegos nominales.</i>	
2.1.3 <i>Exposición al fuego paramétrico.</i>	
2.2 ACCIONES.	
2.3 VALORES DE CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.	
2.4 MÉTODOS DE VERIFICACIÓN.	
2.4.1 <i>Generalidades.</i>	
2.4.2 <i>Cálculo del elemento estructural.</i>	
2.4.3 <i>Cálculo de una parte de la estructura.</i>	
2.4.4 <i>Cálculo de la estructura global.</i>	
<b>3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.</b> .....	169
3.1 GENERALIDADES.	
3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ACEROS AL CARBONO.	
3.2.1 <i>Propiedades de resistencia y deformación.</i>	
3.2.2 <i>Densidad.</i>	
3.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES.	
3.4 PROPIEDADES TÉRMICAS.	
3.4.1 <i>Aceros al carbono.</i>	
3.4.1.1 Dilatación térmica.	
3.4.1.2 Calor específico.	
3.4.1.3 Conductividad térmica.	
3.4.2 <i>Aceros inoxidables.</i>	
3.4.3 <i>Materiales de protección frente al fuego.</i>	

<b>4</b>	<b>CÁLCULO ESTRUCTURAL FRENTE AL FUEGO.</b>	<b>175</b>
4.1	GENERALIDADES.	
4.2	MODELOS DE CÁLCULO SIMPLIFICADOS.	
4.2.1	<i>Generalidades.</i>	
4.2.2	<i>Clasificación de las secciones transversales.</i>	
4.2.3	<i>Resistencia.</i>	
4.2.3.1	Elementos sometidos a tracción.	
4.2.3.2	Elementos sometidos a compresión con secciones transversales de Clases 1, 2 o 3.	
4.2.3.3	Vigas con secciones transversales de clase 1 o de clase 2.	
4.2.3.4	Vigas con secciones transversales de clase 3.	
4.2.3.5	Elementos con secciones transversales de clase 1, 2 o 3, sometidos a flexocompresión.	
4.2.3.6	Elementos con secciones transversales de clase 4.	
4.2.4	<i>Temperatura crítica.</i>	
4.2.5	<i>Evolución de la temperatura del acero.</i>	
4.2.5.1	Estructuras interiores de acero sin protección.	
4.2.5.2	Estructuras interiores de acero aisladas mediante material de protección frente al fuego.	
4.2.5.3	Estructuras interiores de acero en un volumen protegido mediante pantallas térmicas.	
4.2.5.4	Estructuras exteriores de acero.	
4.3	MODELOS DE FUEGO AVANZADOS.	
4.3.1	<i>Generalidades.</i>	
4.3.2	<i>Respuesta térmica.</i>	
4.3.3	<i>Respuesta mecánica.</i>	
4.3.4	<i>Validación de los modelos de fuego avanzados.</i>	
APÉNDICE A.	<b>ENDURECIMIENTO POR DEFORMACIÓN DEL ACERO AL CARBONO A TEMPERATURAS ELEVADAS.</b>	
APÉNDICE B.	<b>TRANSFERENCIA DE CALOR A ESTRUCTURAS DE ACERO EXTERNAS.</b>	
APÉNDICE C.	<b>RECOMENDACIONES PARA EL ACERO INOXIDABLE.</b>	
APÉNDICE D.	<b>RECOMENDACIONES SOBRE UNIONES.</b>	
APÉNDICE E.	<b>RECOMENDACIONES PARA LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE CLASE 4.</b>	

## Anejo 24 - Proyecto de estructuras de acero. Reglas generales. R. adicionales para inoxidables ..... 227

<b>1 GENERALIDADES.</b> .....	229
1.1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.	
1.2 NORMATIVA DE REFERENCIA.	
1.3 CONSIDERACIONES.	
1.5 TÉRMINOS Y DEFINICIONES.	
1.6 SÍMBOLOS.	
<b>2 MATERIALES.</b> .....	229
2.1 ACEROS INOXIDABLES ESTRUCTURALES.	
2.1.1 <i>Generalidades.</i>	
2.1.2 <i>Propiedades del material para acero inoxidable.</i>	
2.1.3 <i>Valores de cálculo de los coeficientes del material.</i>	
2.1.4 <i>Tenacidad de fractura.</i>	
2.1.5 <i>Propiedades en la dirección del espesor.</i>	
2.1.6 <i>Tolerancias.</i>	
2.2 TORNILLOS.	
2.2.1 <i>Generalidades.</i>	
2.2.2 <i>Tornillos pretensados.</i>	
2.2.3 <i>Otros tipos de elementos de fijación mecánicos.</i>	
2.3 CONSUMIBLES DE SOLDADURA.	
<b>3 DURABILIDAD.</b> .....	233
<b>4 ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO.</b> .....	233
4.1 GENERALIDADES.	
4.2 CÁLCULO DE FLECHAS.	
<b>5 ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS.</b> .....	235
5.1 GENERALIDADES.	
5.2 CLASIFICACIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES.	
5.2.1 <i>Máximas relaciones anchura-espesor.</i>	
5.2.2 <i>Clasificación de elementos comprimidos.</i>	
5.2.3 <i>Anchuras reducidas en secciones clase 4.</i>	
5.2.4 <i>Efectos del arrastre por cortante.</i>	
5.3 RESISTENCIA DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES.	
5.3.1 <i>Resistencia a tracción en secciones con agujeros para tornillos.</i>	
5.4 RESISTENCIA A PANDEO DE ELEMENTOS.	
5.4.1 <i>Generalidades.</i>	
5.4.2 <i>Elementos uniformes en compresión.</i>	
5.4.2.1 <i>Curvas de pandeo.</i>	
5.4.3 <i>Elementos uniformes sometidos a flexión.</i>	
5.4.3.1 <i>Curvas de pandeo lateral.</i>	
5.5 ELEMENTOS UNIFORMES SOMETIDOS A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN.	
5.6 RESISTENCIA A CORTANTE.	
5.7 RIGIDIZADORES TRANSVERSALES DE ALMA.	
<b>6 DIMENSIONAMIENTO DE UNIONES.</b> .....	245
6.1 GENERALIDADES.	
6.2 UNIONES ATORNILLADAS.	
6.3 DIMENSIONAMIENTO DE SOLDADURAS.	
<b>7 CÁLCULO ASISTIDO POR ENSAYOS.</b> .....	246
<b>8 FATIGA.</b> .....	246

**9 RESISTENCIA FRENTE AL FUEGO. ....246****APÉNDICE A. RECOMENDACIONES SOBRE DURABILIDAD.**

- A.1 INTRODUCCIÓN.
- A.2 TIPOS DE CORROSIÓN.
  - A.2.1 *Corrosión por picaduras.*
  - A.2.2 *Corrosión en hendiduras.*
  - A.2.3 *Corrosión bimetalica.*
  - A.2.4 *Fisuración por corrosión bajo tensión.*
  - A.2.5 *Corrosión generalizada.*
  - A.2.6 *Ataque intergranular y degradación por soldadura .*
- A.3 NIVELES DE RIESGO .
- A.4 SELECCIÓN DE MATERIALES.
  - A.4.1 *Generalidades.*
  - A.4.2 *Tornillos.*
- A.5 DISEÑO PARA EL CONTROL DE LA CORROSIÓN.
- A.6 UNIONES.
  - A.6.1 *Generalidades.*
  - A.6.2 *Uniones atornilladas.*
  - A.6.3 *Uniones soldadas.*

**APÉNDICE B. RECOMENDACIONES PARA EL ACERO INOXIDABLE EN LA CONDICIÓN DE ENDURECIDO MECÁNICO POR TRABAJADO**

- B.1 GENERALIDADES.
- B.2 ENDURECIMIENTO POR TRABAJADO POR LAMINADO EN FRÍO.
- B.3 ENDURECIMIENTO POR TRABAJADO POR FABRICACIÓN.

**APÉNDICE C. RECOMENDACIONES PARA LA MODELIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL.**

- C.1 GENERALIDADES.
- C.2 PROPIEDADES DEL MATERIAL.

## Anejo 25 - Proyecto de estructuras de acero. Placas planas ..... 259

<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>262</b>
1.1 ALCANCE.	
1.2 NORMATIVA DE REFERENCIA.	
1.3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES.	
1.3.1 <i>Tensión crítica elástica.</i>	
1.3.2 <i>Tensión de membrana.</i>	
1.3.3 <i>Sección bruta.</i>	
1.3.4 <i>Sección transversal eficaz y ancho eficaz.</i>	
1.3.5 <i>Estructura de chapas.</i>	
1.3.6 <i>Rigidizador.</i>	
1.3.7 <i>Chapa rigidizada.</i>	
1.3.8 <i>Subpanel.</i>	
1.3.9 <i>Viga híbrida.</i>	
1.3.10 <i>Convenio de signos.</i>	
1.4 NOTACIONES.	
<b>2 BASES DE CÁLCULO Y MODELIZACIÓN.....</b>	<b>264</b>
2.1 GENERALIDADES.	
2.2 MODELOS DE ANCHO EFICAZ PARA EL ANÁLISIS GLOBAL.	
2.3 EFECTOS DE ABOLLADURA EN CHAPAS EN ELEMENTOS UNIFORMES.	
2.4 MÉTODO DE LA TENSIÓN REDUCIDA.	
2.5 ELEMENTOS NO UNIFORMES.	
2.6 ELEMENTOS CON ALMAS CORRUGADAS.	
<b>3 EFECTOS DEL ARRASTRE POR CORTANTE EN EL CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....</b>	<b>266</b>
3.1 GENERALIDADES.	
3.2 ANCHO EFICAZ <sup>2</sup> DE ARRASTRE POR CORTANTE BAJO CONDICIONES ELÁSTICAS.	
3.2.1 <i>Ancho eficaz<sup>2</sup>.</i>	
3.2.2 <i>Distribución de tensiones debido al arrastre por cortante.</i>	
3.2.3 <i>Efectos de cargas contenidas en su propio plano.</i>	
3.3 ARRASTRE POR CORTANTE EN ESTADO LÍMITE ÚLTIMO.	
<b>4 EFECTOS DE LA ABOLLADURA DE CHAPA DEBIDA A TENSIONES NORMALES EN ESTADO LÍMITE ÚLTIMO.....</b>	<b>270</b>
4.1 GENERALIDADES.	
4.2 RESISTENCIA A TENSIONES NORMALES.	
4.3 SECCIÓN TRANSVERSAL EFICAZ.	
4.4 ELEMENTOS DE CHAPA SIN RIGIDIZADORES LONGITUDINALES.	
4.5 ELEMENTOS DE CHAPA RIGIDIZADOS CON RIGIDIZADORES LONGITUDINALES.	
4.5.1 <i>Generalidades.</i>	
4.5.2 <i>Comportamiento tipo chapa.</i>	
4.5.3 <i>Comportamiento del pandeo tipo columna.</i>	
4.5.4 <i>Interacción entre abolladura de chapa y pandeo tipo columna.</i>	
4.6 COMPROBACIÓN.	
<b>5 RESISTENCIA A CORTANTE.....</b>	<b>280</b>
5.1 GENERALIDADES.	

5.2	RESISTENCIA DE CÁLCULO.	
5.3	CONTRIBUCIÓN DEL ALMA.	
5.4	CONTRIBUCIÓN DE LAS ALAS.	
5.5	COMPROBACIÓN.	
<b>6</b>	<b>RESISTENCIA A CARGAS CONCENTRADAS TRANSVERSALES.</b>	<b>284</b>
6.1	GENERALIDADES.	
6.2	RESISTENCIA DE CÁLCULO.	
6.3	LONGITUD DE APOYO RÍGIDO.	
6.4	COEFICIENTE DE REDUCCIÓN $\chi$ DE LA LONGITUD EFECTIVA PARA LA RESISTENCIA.	
6.5	LONGITUD EFECTIVA DE CARGA.	
6.6	COMPROBACIÓN.	
<b>7</b>	<b>INTERACCIÓN.</b>	<b>287</b>
7.1	INTERACCIÓN ENTRE CORTANTE, MOMENTO FLECTOR Y AXIL.	
7.2	INTERACCIÓN ENTRE CARGA CONCENTRADA TRANSVERSAL, MOMENTO FLECTOR Y AXIL.	
<b>8</b>	<b>ABOLLADURA DEL ALMA INDUCIDA POR EL ALA COMPRIMIDA.</b>	<b>288</b>
<b>9</b>	<b>RIGIDIZADORES.</b>	<b>289</b>
9.1	GENERALIDADES.	
9.2	TENSIONES NORMALES.	
9.2.1	<i>Requisitos mínimos para los rigidizadores transversales.</i>	
9.2.2	<i>Requisitos mínimos para los rigidizadores longitudinales.</i>	
9.2.3	<i>Chapas soldadas.</i>	
9.2.4	<i>Cortes en los rigidizadores.</i>	
9.3	CORTANTE.	
9.3.1	<i>Extremo rígido.</i>	
9.3.2	<i>Rigidizadores actuando como extremos no rígidos.</i>	
9.3.3	<i>Rigidizadores transversales intermedios.</i>	
9.3.4	<i>Rigidizadores longitudinales.</i>	
9.3.5	<i>Soldaduras.</i>	
9.4	CARGAS TRANSVERSALES CONCENTRADAS.	
<b>10</b>	<b>MÉTODO DE LAS TENSIONES REDUCIDAS.</b>	<b>295</b>
<b>APÉNDICE A– RECOMENDACIONES PARA EL CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE REDUCCIÓN PARA CHAPAS RIGIDIZADAS.</b>		
A.1	CHAPA ORTÓTropa EQUIVALENTE.	
A.2	ABOLLADURA CRÍTICA EN CHAPAS CON UNO O DOS RIGIDIZADORES EN LA ZONA COMPRIMIDA.	
A.2.1	<i>Procedimiento general.</i>	
A.2.2	<i>Modelo simplificado de columna ficticia coaccionada por la chapa.</i>	
<b>APÉNDICE B – RECOMENDACIONES PARA LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES NO UNIFORMES</b>		
B.1	GENERALIDADES.	
B.2	INTERACCIÓN ENTRE ABOLLADURA DE CHAPA Y PANDEO LATERAL DE TORSIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.	

---

## **APÉNDICE C– RECOMENDACIONES PARA EL CÁLCULO POR MÉTODOS DE LOS ELEMENTOS FINITOS (EF).**

- C.1 GENERALIDADES.
- C.2 USO.
- C.3 MODELIZACIÓN.
- C.4 ELECCIÓN DEL PROGRAMA DE CÁLCULO Y LA DOCUMENTACIÓN.
- C.5 USO DE LAS IMPERFECCIONES.
- C.6 PROPIEDADES DEL MATERIAL.
- C.7 CARGAS.
- C.8 CRITERIO DE ESTADO LÍMITE.
- C.9 COEFICIENTES PARCIALES.

## **APÉNDICE D – RECOMENDACIONES PARA LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES CON ALMAS CORRUGADAS.**

- D.1 GENERALIDADES.
- D.2 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO.
  - D.2.1 *Resistencia a flexión.*
  - D.2.2 *Resistencia a cortante.*
  - D.2.3 *Requisitos para los extremos con rigidizadores.*

## **APÉNDICE E–MÉTODOS ALTERNATIVOS RECOMENDADOS PARA DETERMINAR LAS SECCIONES EFICACES.**

- E.1 ÁREAS EFICACES PARA NIVELES DE TENSIÓN POR DEBAJO DEL LÍMITE ELÁSTICO.
- E.2 ÁREAS EFICACES PARA RIGIDEZ.

## Anejo 26 - Proyecto de estructuras de acero. Uniones ..... 315

### 1 INTRODUCCIÓN.....319

- 1.1 ALCANCE.
- 1.2 NORMAS DE REFERENCIA.
- 1.4 TÉRMINOS Y DEFINICIONES.
  - 1.4.1 *Componente básico (de una unión).*
  - 1.4.2 *Conexión.*
  - 1.4.3 *Elemento conectado.*
  - 1.4.4 *Unión.*
  - 1.4.5 *Configuración de la unión.*
  - 1.4.6 *Capacidad de giro.*
  - 1.4.7 *Rigidez al giro.*
  - 1.4.8 *Propiedades estructurales (de una unión).*
  - 1.4.9 *Unión plana.*
- 1.5 NOTACIÓN.

### 2. BASES DE CÁLCULO..... 326

- 2.1 SUPUESTOS.
- 2.2 REQUISITOS GENERALES.
- 2.3 CARGAS Y MOMENTOS APLICADOS.
- 2.4 RESISTENCIA DE LAS UNIONES.
- 2.5 HIPÓTESIS DE CÁLCULO.
- 2.6 UNIONES CARGADAS A CORTANTE SOMETIDAS A IMPACTO, VIBRACIÓN Y/O CARGA REVERSIBLE.
- 2.7 EXCENTRICIDAD EN LAS INTERSECCIONES.

### 3 CONEXIONES CON TORNILLOS O BULONES..... 329

- 3.1 TORNILLOS, TUERCAS Y ARANDELAS.
  - 3.1.1 *Generalidades.*
  - 3.1.2 *Tornillos pretensados..*
- 3.2 ROBLONES.
- 3.3 PERNOS DE ANCLAJE.
- 3.4 CATEGORÍAS DE UNIONES CON TORNILLOS.
  - 3.4.1 *Uniones a cortante.*
  - 3.4.2 *Uniones en tracción.*
- 3.5 DISPOSICIÓN DE LOS TALADROS PARA LOS TORNILLOS.
- 3.6 RESISTENCIA DE CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS INDIVIDUALES DE UNIÓN.
  - 3.6.1 *Tornillos.*
    - 3.6.2 Tornillos inyectados.
      - 3.6.2.1 *Generalidades.*
      - 3.6.2.2 *Resistencia de cálculo.*
- 3.7 GRUPOS DE ELEMENTOS DE UNIÓN.
- 3.8 UNIONES LARGAS.
- 3.9 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO CON LAS UNIONES 8.8 Ó 10.9.
  - 3.9.1 *Resistencia de cálculo al deslizamiento.*
  - 3.9.2 *Tracción y cortante combinados.*
  - 3.9.3 *Uniones híbridas.*

3.10	DEDUCCIONES POR LOS TALADROS DE LOS ELEMENTOS DE UNIÓN.	
3.10.1	<i>Generalidades.</i>	
3.10.2	<i>Cálculo de la resistencia a desgarro.</i>	
3.10.3	<i>Angulares conectados por un ala y otros elementos en tracción unidos de forma asimétrica.</i>	
3.10.4	<i>Angulares de soporte.</i>	
3.11	FUERZAS DE PALANCA.	
3.12	DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS ENTRE ELEMENTOS DE UNIÓN EN ESTADO LÍMITE ÚLTIMO.	
3.13	UNIONES CON BULONES.	
3.13.1	<i>Generalidades.</i>	
3.13.2	<i>Cálculo de los bulones.</i>	
<b>4</b>	<b>UNIONES SOLDADAS.....</b>	<b>345</b>
4.1	GENERALIDADES.	
4.2	MATERIALES DE APORTACIÓN.	
4.3	GEOMETRÍA Y DIMENSIONES.	
4.3.1	<i>Tipo de soldadura.</i>	
4.3.2	<i>Soldaduras en ángulo.</i>	
4.3.3	<i>Soldaduras de ojal (o en ranura).</i>	
4.3.4	<i>Soldaduras a tope.</i>	
4.3.5	<i>Soldaduras de tapón (o botón).</i>	
4.3.6	<i>Soldaduras en chaflán.</i>	
4.4	SOLDADURAS CON RELLENOS.	
4.5	RESISTENCIA DE CÁLCULO DE UNA SOLDADURA EN ÁNGULO.	
4.5.1	<i>Longitud de las soldaduras.</i>	
4.5.2	<i>Espesor eficaz de garganta de la soldadura.</i>	
4.5.3	<i>Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo.</i>	
4.5.3.1	<i>Generalidades.</i>	
4.5.3.2	<i>Método direccional.</i>	
4.5.3.3	<i>Método simplificado para la resistencia de cálculo de una soldadura en ángulo.</i>	
4.6	RESISTENCIA DE CÁLCULO DE SOLDADURAS DE OJAL (O EN RANURA).	
4.7	RESISTENCIA DE CÁLCULO DE LAS SOLDADURAS A TOPE.	
4.7.1	<i>Soldaduras a tope con penetración completa.</i>	
4.7.2	<i>Soldaduras a tope con penetración parcial.</i>	
4.7.3	<i>Soldaduras a tope en T.</i>	
4.8	RESISTENCIA DE CÁLCULO DE LAS SOLDADURAS DE TAPÓN (O BOTÓN).	
4.9	DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS.	
4.10	UNIONES DE ALAS NO RIGIDIZADAS.	
4.11	UNIONES LARGAS.	
4.12	SOLDADURAS A TOPE CON PENETRACIÓN PARCIAL A UN ÚNICO LADO O EN ÁNGULO CARGADAS EXCÉNTRICAMENTE.	
4.13	ÁNGULARES CONECTADOS POR UN LADO.	
4.14	SOLDADURA EN ZONAS CONFORMADAS EN FRÍO.	
<b>5</b>	<b>ANÁLISIS, CLASIFICACIÓN Y MODELIZACIÓN.....</b>	<b>356</b>
5.1	ANÁLISIS GLOBAL.	
5.1.1	<i>Generalidades.</i>	
5.1.2	<i>Análisis elástico global.</i>	
5.1.3	<i>Análisis global rígido-plástico.</i>	
5.1.4	<i>Análisis global elasto-plástico.</i>	
5.1.5	<i>Análisis global de las vigas en celosía.</i>	

## 5.2 CLASIFICACIÓN DE UNIONES.

### 5.2.1 Generalidades.

### 5.2.2 Clasificación según la rigidez.

- 5.2.2.1 Generalidades.
- 5.2.2.2 Uniones nominalmente articuladas.
- 5.2.2.3 Uniones rígidas.
- 5.2.2.4 Uniones semi-rígidas.
- 5.2.2.5 Límites de clasificación.

### 5.2.3 Clasificación en función de la resistencia.

- 5.2.3.1 Generalidades.
- 5.2.3.2 Uniones nominalmente articuladas.
- 5.2.3.3 Uniones rígidas con capacidad para transmitir la resistencia última de los elementos unidos.
- 5.2.3.4 Uniones de resistencia parcial.

## 5.3 MODELIZACIÓN DE LA UNIÓN ENTRE VIGA-PILAR.

# 6 UNIONES ESTRUCTURALES ENTRE SECCIONES EN H O EN I ..... 366

## 6.1 GENERALIDADES.

### 6.1.1 Bases.

### 6.1.2 Propiedades estructurales.

- 6.1.2.1 Curva característica momento de cálculo-giro.
- 6.1.2.2 Momento resistente de cálculo.
- 6.1.2.3 Rigidez al giro.
- 6.1.2.4 Capacidad de giro.

### 6.1.3 Componentes básicos de una unión.

## 6.2 RESISTENCIA DE CÁLCULO.

### 6.2.1 Esfuerzos.

### 6.2.2 Cortantes.

### 6.2.3 Momentos flectores.

### 6.2.4 Sección en T equivalente a tracción.

- 6.2.4.1 Generalidades.
- 6.2.4.2 Filas de tornillos individuales, grupos de tornillos y grupos de filas de tornillos.
- 6.2.4.3 Refuerzos.

### 6.2.5 Sección en T equivalente comprimido.

### 6.2.6 Resistencia de cálculo de los componentes básicos.

- 6.2.6.1 Panel del alma de un pilar a cortante.
- 6.2.6.2 Alma de un pilar en compresión transversal.
- 6.2.6.3 Alma de un pilar a tracción transversal.
- 6.2.6.4 Alas de un pilar sometidas a flexión transversal.
  - 6.2.6.4.1 Ala sin rigidizar de un pilar, unión atornillada.
  - 6.2.6.4.2 Ala rigidizada de un pilar, unión con chapas frontales atornilladas o con angulares de empalme en las alas.
  - 6.2.6.4.3 Ala sin rigidizar de un pilar, unión soldada.
- 6.2.6.5 Chapas frontales sometidas a flexión.
- 6.2.6.6 Angulares de empalme de alas sometida a flexión.
- 6.2.6.7 Ala y alma de una viga comprimidas.
- 6.2.6.8 Alma de una viga traccionada.
- 6.2.6.9 Hormigón sometido a compresión incluyendo el mortero.
- 6.2.6.10 Placa base a flexión sometida a compresión.
- 6.2.6.11 Placa base en flexión sometida a tracción.
- 6.2.6.12 Perno de anclaje traccionado.

### 6.2.7 Momento resistente de las uniones viga-pilar y empalmes.

- 6.2.7.1 Generalidades.

6.2.7.2	Uniones viga-pilar atornilladas con conexiones de chapas frontal atornilladas.	
<b>6.2.8</b>	<b>Resistencia de cálculo de bases de pilares con placas base.</b>	
6.2.8.1	Generalidades.	
6.2.8.2	Bases de pilares sometidas únicamente a axiles.	
6.2.8.3	Bases de pilares sometidas a axiles y a momentos flectores.	
<b>6.3</b>	<b>RIGIDEZ AL GIRO.</b>	
6.3.1	Modelo básico.	
6.3.2	Coefficientes de rigidez para componentes básicos de la unión.	
6.3.3	Conexiones con chapas frontales con dos o más filas de tornillos en tracción.	
6.3.3.1	Método general.	
6.3.3.2	Método simplificado para chapas frontales de mayor tamaño que el perfil y con dos filas de tornillos a tracción.	
6.3.4	Base de pilares.	
<b>6.4</b>	<b>CAPACIDAD DE GIRO.</b>	
6.4.1	Generalidades.	
6.4.2	Uniones atornilladas.	
6.4.3	Uniones soldadas.	
<b>7</b>	<b>UNIONES EN PERFILES TUBULARES.....</b>	<b>406</b>
7.1	GENERALIDADES.	
7.1.1	Alcance.	
7.1.2	Campo de aplicación.	
7.2	CÁLCULO.	
7.2.1	Generalidades.	
7.2.2	Modos de fallo para uniones de perfiles tubulares.	
7.3	SOLDADURAS.	
7.3.1	Resistencia de cálculo.	
7.4	UNIONES SOLDADAS ENTRE ELEMENTOS DE PTC.	
7.4.1	Generalidades.	
7.4.2	Uniones planas.	
7.4.3	Uniones espaciales.	
7.5	UNIONES SOLDADAS ENTRE ELEMENTOS DE ARRIOSTRAMIENTO DE PTC O PTR Y CORDONES DE PTR.	
7.5.1	Generalidades.	
7.5.2	Uniones planas.	
7.5.2.1	Uniones sin reforzar.	
7.5.2.2	Uniones reforzadas.	
7.5.3	Uniones espaciales.	
7.6	UNIONES SOLDADAS ENTRE ELEMENTOS DE ARRIOSTRAMIENTO CON PTC O PTR Y CORDONES CON PERFILES EN I O H.	
7.7	UNIONES SOLDADAS ENTRE ELEMENTOS DE ARRIOSTRAMIENTO DE PTC O PTR Y CORDONES DE PERFILES DE SECCIÓN EN U.	

## Anejo 27 - Proyecto de estructuras de acero. Fatiga ..... 441

<b>1</b>	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>443</b>
1.1	ALCANCE.	
1.2	NORMATIVA DE REFERENCIA.	
1.3	TÉRMINOS Y DEFINICIONES.	
1.3.1	<i>Generalidades.</i>	
1.3.1.1	Fatiga.	
1.3.1.2	Tensión nominal.	
1.3.1.3	Tensión nominal modificada.	
1.3.1.4	Tensión geométrica (tensión de punto caliente).	
1.3.1.5	Tensión residual.	
1.3.2	<i>Parámetros de las cargas de fatiga.</i>	
1.3.2.1	Proceso de carga.	
1.3.2.2	Historia de tensiones.	
1.3.2.3	Método de la gota de agua.	
1.3.2.4	Método de vaciado del depósito.	
1.3.2.5	Rango de tensiones.	
1.3.2.6	Espectro de respuesta de un rango de tensiones.	
1.3.2.7	Espectro de cálculo.	
1.3.2.8	Vida útil.	
1.3.2.9	Vida de fatiga.	
1.3.2.10	Sumatorio de Miner.	
1.3.2.11	Rango de tensiones de amplitud constante equivalente.	
1.3.2.12	Carga de fatiga.	
1.3.2.13	Carga de fatiga de amplitud constante equivalente.	
1.3.3	<i>Resistencia a la fatiga.</i>	
1.3.3.1	Curva de resistencia a fatiga.	
1.3.3.2	Categoría de detalle.	
1.3.3.3	Fatiga límite sometida a amplitud constante.	
1.3.3.4	Umbral de daño.	
1.3.3.5	Número de ciclos.	
1.3.3.6	Resistencia de referencia a fatiga.	
1.4	NOTACIONES.	
<b>2</b>	<b>REQUISITOS BÁSICOS Y METODOLOGÍA.....</b>	<b>447</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODOS DE ANÁLISIS.....</b>	<b>447</b>
<b>4</b>	<b>TENSIONES DEBIDAS A ACCIONES DE FATIGA.....</b>	<b>448</b>
<b>5</b>	<b>CÁLCULO DE TENSIONES.....</b>	<b>449</b>
<b>6</b>	<b>CÁLCULO DE LOS RANGOS DE TENSIONES.....</b>	<b>450</b>
6.1	GENERALIDADES.	
6.2	VALOR DE CÁLCULO DEL RANGO DE TENSIONES NOMINALES.	
6.3	VALOR DE CÁLCULO DEL RANGO MODIFICADO DE TENSIONES NOMINALES.	
6.4	VALOR DE CÁLCULO DEL RANGO DE TENSIÓN PARA UNIONES SOLDADAS DE LAS SECCIONES HUECAS.	
6.5	VALOR DE CÁLCULO DE LOS RANGOS DE TENSIONES GEOMÉTRICAS (PUNTO CALIENTE).	

---

**7 RESISTENCIA A FATIGA. .... 452**

7.1 GENERALIDADES.

7.2 MODIFICACIONES DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA.

7.2.1 *Detalles en compresión sin soldaduras o con soldaduras sometidas a tratamiento de relajación de tensiones.*

7.2.2 *Efecto del tamaño.*

**8 COMPROBACIÓN A FATIGA. .... 455**

**APÉNDICE A RECOMENDACIONES PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LAS CARGAS DE FATIGA Y MÉTODOS DE COMPROBACIÓN.**

A.1 DETERMINACIÓN DE LOS PROCESOS DE CARGAS.

A.2 HISTORIAL DE TENSIONES PARA LOS DETALLES.

A.3 RECuento DE CICLOS.

A.4 ESPECTRO DEL RANGO DE TENSIONES.

A.5 CICLOS PARA LA ROTURA.

A.6 FORMATOS DE COMPROBACIÓN.

A.7 CÁLCULO DE LAS CARRERAS DE TENSIONES.

**APÉNDICE B RECOMENDACIONES PARA LA RESISTENCIA A FATIGA EMPLEANDO EL MÉTODO DE LAS TENSIONES GEOMÉTRICAS (PUNTO CALIENTE).**

## Anejo 28 - Proyecto de estructuras de acero. Tenacidad de fractura ..... 479

<b>1. GENERALIDADES.</b> .....	<b>480</b>
1.1. ALCANCE.	
1.2. NORMATIVA DE REFERENCIA.	
1.3. TÉRMINOS Y DEFINICIONES.	
1.3.1. <i>Resiliencia KV.</i>	
1.3.2. <i>Zona de transición.</i>	
1.3.3. <i>Zona dúctil.</i>	
1.3.4. <i>T<sub>27J</sub>.</i>	
1.3.5. <i>Estricción Z.</i>	
1.3.6. <i>Tenacidad de fractura K<sub>IC</sub>.</i>	
1.3.7. <i>Grado de conformado en frío.</i>	
1.4. NOTACIÓN.	
<b>2. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES POR TENACIDAD DE FRACTURA.....</b>	<b>482</b>
2.1. GENERALIDADES.	
2.2. PROCEDIMIENTO.	
2.3. ESPESORES MÁXIMOS ADMISIBLES.	
2.3.1. <i>Generalidades.</i>	
2.3.2. <i>Determinación del máximo espesor admisible de los elementos.</i>	
2.4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE LA MECÁNICA DE LA FRACTURA.	
<b>3. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES POR LAS PROPIEDADES DEL ESPESOR. ....</b>	<b>487</b>
3.1. GENERALIDADES.	
3.2. PROCEDIMIENTO.	

---

## Anejo 29 - Proyecto de estructuras de acero. Puentes de acero.

### Generalidades ..... 491

#### 1 GENERALIDADES. .... 497

- 1.1 ALCANCE.
  - 1.1.1 *Objeto del Anejo 29.*
  - 1.1.2 *Alcance del Anejo 29.*
- 1.2 NORMATIVA DE REFERENCIA.
- 1.3 HIPÓTESIS.
- 1.5 TÉRMINOS Y DEFINICIONES.
  - 1.5.1 *Puentes.*
  - 1.5.2 *Estribo.*
  - 1.5.3 *Estribo integral.*
  - 1.5.4 *Pila.*
  - 1.5.5 *Apoyo.*
  - 1.5.6 *Tirante.*
  - 1.5.7 *Pretensado.*
  - 1.5.8 *Gálibo.*
  - 1.5.9 *Respiración (de chapas).*
  - 1.5.10 *Elementos estructurales secundarios.*
- 1.6 NOTACIÓN.
- 1.7 CONVENIOS PARA LOS EJES.

#### 2 BASES DE CÁLCULO. .... 499

- 2.1 REQUISITOS.
  - 2.1.1 *Requisitos básicos.*
  - 2.1.2 *Gestión de la fiabilidad.*
  - 2.1.3 *Vida útil de proyecto, durabilidad y resistencia.*
    - 2.1.3.1 *Generalidades.*
    - 2.1.3.2 *Vida útil de proyecto.*
    - 2.1.3.3 *Durabilidad.*
    - 2.1.3.4 *Robustez e integridad estructural.*
- 2.2 PRINCIPIOS DE CÁLCULO EN ESTADO LÍMITE.
- 2.3 VARIABLES BÁSICAS.
  - 2.3.1 *Acciones y condiciones ambientales.*
  - 2.3.2 *Propiedades de los materiales y de los productos.*
- 2.4 COMPROBACIÓN POR EL MÉTODO DE LOS COEFICIENTES PARCIALES.
- 2.5 CÁLCULO ASISTIDO POR ENSAYOS.

#### 3 MATERIALES. .... 501

- 3.1 GENERALIDADES.
- 3.2 ACERO ESTRUCTURAL.
  - 3.2.1 *Propiedades del material.*
  - 3.2.2 *Requisitos de ductilidad.*
  - 3.2.3 *Tenacidad de fractura.*
  - 3.2.4 *Resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto.*
  - 3.2.5 *Tolerancias.*
  - 3.2.6 *Valores de cálculo de los coeficientes de los materiales.*

3.3	DISPOSITIVOS DE UNIÓN.	
3.3.1	<i>Fijaciones.</i>	
3.3.1.1	Tornillos, tuercas y arandelas.	
3.3.1.2	Tornillos pretensados.	
3.3.1.3	Roblones y remaches.	
3.3.1.4	Pernos de anclaje.	
3.3.2	<i>Material de aporte en soldaduras.</i>	
3.4	CABLES Y OTROS ELEMENTOS TRACCIONADOS.	
3.5	APOYOS.	
3.6	OTROS ELEMENTOS DEL PUENTE.	
<b>4</b>	<b>DURABILIDAD.</b>	<b>504</b>
<b>5</b>	<b>ANÁLISIS ESTRUCTURAL.</b>	<b>505</b>
5.1	MODELIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA PARA EL ANÁLISIS.	
5.1.1	<i>Modelización estructural e hipótesis básicas.</i>	
5.1.2	<i>Modelización de uniones.</i>	
5.1.3	<i>Interacción suelo-estructura.</i>	
5.2	ANÁLISIS GLOBAL.	
5.2.1	<i>Efectos de la geometría deformada de la estructura.</i>	
5.2.2	<i>Estabilidad estructural de los pórticos.</i>	
5.3	IMPERFECCIONES.	
5.3.1	<i>Bases.</i>	
5.3.2	<i>Imperfecciones para el análisis global de pórticos.</i>	
5.3.3	<i>Imperfecciones para el análisis de los sistemas de arriostramiento.</i>	
5.3.4	<i>Imperfecciones de los elementos.</i>	
5.4	MÉTODOS DE ANÁLISIS CONSIDERANDO LA NO LINEALIDAD DE LOS MATERIALES.	
5.4.1	<i>Generalidades.</i>	
5.4.2	<i>Análisis global elástico.</i>	
5.5	CLASIFICACIÓN DE LAS SECCIONES.	
5.5.1	<i>Bases.</i>	
5.5.2	<i>Clasificación.</i>	
<b>6</b>	<b>ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS.</b>	<b>507</b>
6.1	GENERALIDADES.	
6.2	RESISTENCIA DE LAS SECCIONES.	
6.2.1	<i>Generalidades.</i>	
6.2.2	<i>Propiedades de la sección.</i>	
6.2.2.1	Sección bruta.	
6.2.2.2	Sección neta.	
6.2.2.3	Efectos de arrastre por cortante.	
6.2.2.4	Propiedades eficaces de secciones con almas Clase 3 y alas Clase 1 o 2.	
6.2.2.5	Efectos de la abolladura en secciones de Clase 4.	
6.2.2.6	Propiedades eficaces de secciones de Clase 4.	
6.2.3	<i>Tracción.</i>	
6.2.4	<i>Compresión.</i>	
6.2.5	<i>Flexión.</i>	
6.2.6	<i>Cortante.</i>	
6.2.7	<i>Torsión.</i>	
6.2.7.1	Generalidades.	

6.2.7.2	Torsión en la que se pueden despreciar los efectos de distorsión.	
6.2.8	<i>Flexión, axil, cortante y cargas transversales.</i>	
6.2.9	<i>Flexión y cortante.</i>	
6.2.10	<i>Flexión y axil.</i>	
6.2.10.1	Secciones Clase 1 y 2.	
6.2.10.2	Secciones Clase 3.	
6.2.10.3	Secciones Clase 4.	
6.2.11	<i>Flexión, cortante y axil.</i>	
6.3	RESISTENCIA A PANDEO DE LOS ELEMENTOS.	
6.3.1	<i>Elementos de sección constante a compresión.</i>	
6.3.1.1	Resistencia a pandeo.	
6.3.1.2	Curvas de pandeo.	
6.3.1.3	Esbeltez para el pandeo por flexión.	
6.3.1.4	Esbeltez para el pandeo por torsión y el pandeo por torsión y flexión.	
6.3.1.5	Utilización de propiedades de sección de Clase 3 con límites de tensión.	
6.3.2	<i>Elementos de sección constante a flexión.</i>	
6.3.2.1	Resistencia a pandeo.	
6.3.2.2	Curvas de pandeo lateral por torsión. Caso general.	
6.3.2.3	Curvas de pandeo lateral para secciones laminadas o secciones soldadas equivalentes.	
6.3.3	<i>Elementos de sección constante sometidos a flexión y compresión.</i>	
6.3.4	<i>Método general para el pandeo lateral y flexión de elementos estructurales.</i>	
6.3.4.1	Método general.	
6.3.4.2	Método simplificado.	
6.4	ELEMENTOS COMPUESTOS COMPRIMIDOS.	
6.5	ABOLLADURA DE CHAPAS.	
<b>7</b>	<b>ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO.</b> .....	<b>516</b>
7.1	GENERALIDADES.	
7.2	MODELOS DE CÁLCULO.	
7.3	LIMITACIONES DE TENSIONES.	
7.4	LIMITACIÓN DE LA RESPIRACIÓN DE LAS ALMAS.	
7.5	LÍMITES RELATIVOS A LOS GÁLIBOS DE CIRCULACIÓN.	
7.6	LÍMITES RELATIVOS AL ASPECTO VISUAL.	
7.7	CRITERIOS DE FUNCIONAMIENTO PARA PUENTES DE FERROCARRIL.	
7.8	CRITERIOS DE FUNCIONAMIENTO PARA PUENTES DE CARRETERA.	
7.8.1	<i>Generalidades.</i>	
7.8.2	<i>Límite de flechas para evitar un excesivo impacto del tráfico.</i>	
7.8.3	<i>Efectos de resonancia.</i>	
7.9	CRITERIOS DE FUNCIONAMIENTO PARA PASARELAS PEATONALES.	
7.10	CRITERIOS DE FUNCIONAMIENTO PARA LOS EFECTOS DEL VIENTO.	
7.11	ACCESIBILIDAD DE LOS DETALLES CONSTRUCTIVOS DE LAS UNIONES Y LAS SUPERFICIES.	
7.12	DRENAJE.	
<b>8</b>	<b>ELEMENTOS DE SUJECIÓN, SOLDADURAS, CONEXIONES Y UNIONES.</b> .....	<b>521</b>
8.1	UNIONES MEDIANTE TORNILLOS Y BULONES.	
8.1.1	<i>Categorías de uniones con tornillos.</i>	
8.1.1.1	Uniones a cortante.	
8.1.1.2	Uniones en tracción.	
8.1.2	<i>Disposición de los taladros para los tornillos.</i>	

- 8.1.3 *Resistencia de cálculo de los elementos individuales de unión.*
  - 8.1.3.1 Tornillos.
  - 8.1.3.2 Pernos por inyección.
    - 8.1.3.2.1 Generalidades.
    - 8.1.3.2.2 Resistencia de cálculo.
- 8.1.4 *Grupos de elementos de unión.*
- 8.1.5 *Uniones largas.*
- 8.1.6 *Uniones resistentes al deslizamiento con las uniones 8.8 y 10.9.*
  - 8.1.6.1 Resistencia de cálculo al deslizamiento.
  - 8.1.6.2 Tracción y cortante combinados.
  - 8.1.6.3 Uniones híbridas.
- 8.1.7 *Deducciones por los taladros de los elementos de unión.*
  - 8.1.7.1 Generalidades.
  - 8.1.7.2 Cálculo de la resistencia al desgarro.
  - 8.1.7.3 Angulares conectados por un ala y otros elementos en tracción unidos de forma asimétrica.
  - 8.1.7.4 Angulares de soporte.
- 8.1.8 *Fuerzas de palanca.*
- 8.1.9 *Distribución de esfuerzos entre elementos de unión en estado límite último.*
- 8.1.10 *Uniones con bulones.*
  - 8.1.10.1 Generalidades.
  - 8.1.10.2 Cálculo de los bulones.
- 8.2 UNIONES SOLDADAS.
  - 8.2.1 *Geometría y dimensiones.*
    - 8.2.1.1 Tipo de soldadura.
    - 8.2.1.2 Soldaduras en ángulo.
      - 8.2.1.2.1 Generalidades.
      - 8.2.1.2.2 Soldaduras en ángulo discontinuas.
    - 8.2.1.3 Soldaduras de ojal (o en ranura).
    - 8.2.1.4 Soldaduras a tope.
    - 8.2.1.5 Soldaduras de tapón (o botón).
    - 8.2.1.6 Soldaduras en chaflán.
  - 8.2.2 *Soldaduras con rellenos.*
  - 8.2.3 *Resistencia de cálculo de una soldadura en ángulo.*
  - 8.2.4 *Resistencia de cálculo de soldaduras en ojal (o en ranura).*
  - 8.2.5 *Resistencia de cálculo de las soldaduras a tope.*
    - 8.2.5.1 Soldaduras a tope con penetración completa.
    - 8.2.5.2 Soldaduras a tope con penetración parcial.
    - 8.2.5.3 Soldaduras a tope en T.
  - 8.2.6 *Resistencia de cálculo de las soldaduras de tapón (o botón).*
  - 8.2.7 *Distribución de esfuerzos.*
  - 8.2.8 *Uniones con alas no rigidizadas.*
  - 8.2.9 *Uniones largas.*
  - 8.2.10 *Soldaduras a tope con penetración parcial a un único lado cargadas excéntricamente.*
  - 8.2.11 *Angulares conectados por un lado.*
  - 8.2.12 *Soldadura en zonas conformadas en frío.*
  - 8.2.13 *Análisis de uniones estructurales formadas por secciones en doble T.*
  - 8.2.14 *Uniones de perfiles tubulares.*

<b>9</b>	<b>COMPROBACIÓN A FATIGA</b> .....	<b>525</b>
9.1	GENERALIDADES.	
9.1.1	<i>Requisitos para la comprobación a fatiga.</i>	
9.1.2	<i>Cálculo en fatiga de puentes de carretera.</i>	
9.1.3	<i>Cálculo en fatiga de puentes de ferrocarril.</i>	
9.2	CARGA DE FATIGA.	
9.2.1	<i>Generalidades.</i>	
9.2.2	<i>Modelo simplificado de carga de fatiga para puentes de carretera.</i>	
9.2.3	<i>Modelo simplificado de carga de fatiga para puentes de ferrocarril.</i>	
9.3	COEFICIENTES PARCIALES PARA COMPROBACIONES A FATIGA.	
9.4	RANGO DE TENSIONES DE FATIGA.	
9.4.1	<i>Generalidades.</i>	
9.4.2	<i>Análisis en fatiga.</i>	
9.4.2.1	Rigidizadores longitudinales.	
9.4.2.2	Vigas transversales.	
9.5	PROCEDIMIENTOS DE COMPROBACIÓN A FATIGA.	
9.5.1	<i>Comprobación a fatiga.</i>	
9.5.2	<i>Coefficientes de daño equivalente <math>\lambda</math> para puentes de carretera.</i>	
9.5.3	<i>Coefficientes de daño equivalente <math>\lambda</math> para puentes de ferrocarril.</i>	
9.5.4	<i>Combinación del daño debido a rangos de tensiones locales y globales.</i>	
9.6	RESISTENCIA A FATIGA.	
9.7	TRATAMIENTO POSTERIOR A LA SOLDADURA.	
<b>10</b>	<b>CÁLCULO ASISTIDO POR ENSAYOS</b> .....	<b>538</b>
10.1	GENERALIDADES.	
10.2	TIPOS DE ENSAYOS.	
10.3	COMPROBACIÓN DE LOS EFECTOS AERODINÁMICOS EN PUENTES MEDIANTE ENSAYOS.	
<b>APÉNDICE A RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA LOS APOYOS.</b>		
<b>APÉNDICE B RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA LAS JUNTAS DE DILATACIÓN EN PUENTES DE CARRETERA.</b>		
<b>APÉNDICE C RECOMENDACIONES PARA LOS DETALLES CONSTRUCTIVOS DE TABLEROS DE PUENTES DE ACERO.</b>		
C.1	PUENTES DE AUTOPISTA.	
C.1.1	<i>Generalidades.</i>	
C.1.2	<i>Chapa de tablero.</i>	
C.1.3	<i>Rigidizadores.</i>	
C.1.4	<i>Vigas transversales.</i>	
C.2	PUENTES DE FERROCARRIL.	
C.2.1	<i>Generalidades.</i>	
C.2.2	<i>Espesor y dimensiones de la chapa.</i>	
C.2.3	<i>Unión del rigidizador a la viga transversal.</i>	
C.2.4	<i>Inspección y tolerancias en la preparación de la soldadura.</i>	
C.3	TOLERANCIAS PARA LOS PRODUCTOS SEMI-ACABADOS Y LA FABRICACIÓN.	
C.3.1	<i>Tolerancias para los productos semi-acabados.</i>	
C.3.2	<i>Tolerancias para la fabricación.</i>	
C.3.3	<i>Requisitos particulares para las uniones soldadas.</i>	

**APÉNDICE D LONGITUDES DE PANDEO RECOMENDADAS DE ELEMENTOS EN PUENTES Y CONSIDERACIONES SOBRE LAS IMPERFECCIONES GEOMÉTRICAS.**

D.1 GENERALIDADES.

D.2 CELOSÍAS.

*D.2.1 Elementos verticales y diagonales con extremos fijos.*

*D.2.2 Elementos verticales que forman parte de un pórtico.*

*D.2.3 Pandeo de las diagonales fuera de su plano.*

*D.2.4 Cordones comprimidos de puentes con sección abierta.*

D.3 PUENTES ARCO.

*D.3.1 Generalidades.*

*D.3.2 Coeficientes de pandeo de arcos en su plano.*

*D.3.3 Coeficientes de pandeo de arcos autoportantes fuera de su plano.*

*D.3.4 Pandeo fuera de su plano de arcos con contravientos y pórticos extremos.*

*D.3.5 Imperfecciones.*

**APÉNDICE E RECOMENDACIONES PARA LA COMBINACIÓN DE LOS EFECTOS LOCALES DE CARGAS DE RUEDAS Y PRESIÓN DE NEUMÁTICOS Y DE LOS EFECTOS GLOBALES DE TRÁFICO EN PUENTES DE CARRETERA.**

E.1 REGLA DE COMBINACIÓN PARA LOS EFECTOS DE CARGA GLOBAL Y LOCAL.

E.2 COEFICIENTE DE COMBINACIÓN.