

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA ESTRUCTURA METÁLICA. EL ACERO ESTRUCTURAL. CARGAS.

1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	VENTAJAS DE LA ESTRUCTURA DE ACERO	1
1.3	LA ESTRUCTURA DE ACERO	2
1.3.1	<i>La estructura y sus partes</i>	3
1.4	EL ACERO ESTRUCTURAL	3
1.5	CARGAS ACTUANTES SOBRE UNA ESTRUCTURA. LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL	6
1.6	ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE EL DISEÑO ESTRUCTURAL	13

CAPÍTULO 2. AGOTAMIENTO DEL ACERO ESTRUCTURAL: FATIGA

2.1	INTRODUCCIÓN	15
2.2	EL MÉTODO TENSIÓN-VIDA PARA EL ESTUDIO DE LA FATIGA	16
2.3	FACTORES QUE MODIFICAN EL LÍMITE DE FATIGA	17
2.4	RESISTENCIA A LA FATIGA	18
2.5	CLASIFICACIÓN DE DETALLES	19
2.5.1	<i>Detalles clasificados</i>	19
2.5.2	<i>Detalles no clasificados</i>	23
2.6	MODIFICACIONES DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA	23
2.6.1	<i>Curvas modificadas de la resistencia a la fatiga</i>	24
2.7	COMPROBACIÓN DE ELEMENTOS SOMETIDOS A CARGAS DE FATIGA	25
2.8	COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD	26
2.9	ESPECTRO. COMPROBACIÓN A FATIGA	27
2.9.1	<i>Comprobación a fatiga basada en la carrera de tensión nominal.</i>	
29.1.1.1	Cargas de magnitud constante	28
29.1.1.2	Cargas de magnitud variable	28
29.1.2.1	Método del daño acumulado de Palmgren-Miner	29
29.1.3	Carreras de tensiones tangenciales	29
29.1.4	Combinación de tensiones normales y tangenciales	30
2.9.2	<i>Comprobación a fatiga basada en la carrera de tensión geométrica</i>	30
2.10	RECOMENDACIONES PARA SITUACIONES DE FATIGA EJEMPLO	31 32

CAPÍTULO 3. AGOTAMIENTO DEL ACERO ESTRUCTURAL: ROTURA FRÁGIL.

3.1.	INTRODUCCIÓN	35
3.2.	FACTORES QUE FAVORECEN LA ROTURA FRÁGIL	39
3.3.	PROYECTO FRENTE A LA ROTURA FRÁGIL	40
3.4.	PREVENCIÓN DE LA ROTURA FRÁGIL	40

CAPÍTULO 4. AGOTAMIENTO DEL ACERO ESTRUCTURAL: ROTURA DÚCTIL.

4.1	INTRODUCCIÓN	43
4.2	CRITERIOS DE COMPARACIÓN	43
4.3	NOCIONES DE AGOTAMIENTO PLÁSTICO A NIVEL SECCIÓN	48
4.3.1	<i>Reducción del momento plástico de una sección debido al esfuerzo axial</i>	48
4.3.2.	<i>Reducción del momento plástico de una sección debido al esfuerzo cortante</i>	50
4.3.3.	<i>Reducción del momento plástico de una sección debido a esfuerzo cortante y a axial</i>	53

CAPÍTULO 5. TRACCIÓN

5.1	INTRODUCCIÓN	55
5.2	TIPOLOGÍA DE ELEMENTOS TRACCIONADOS	55
5.3	ÁREA NETA	57
5.4	UNIONES EXCÉNTRICAS	58
5.5	ARRASTRE POR CORTANTE	
5.5.1	<i>Distribución no uniforme de tensiones</i>	59
5.5.2	<i>Angulares conectados por un solo ala</i>	60
5.6	CÁLCULO DE PIEZAS SOLICITADAS A TRACCIÓN EJEMPLO	65 66

CAPÍTULO 6. COMPRESIÓN

6.1	INTRODUCCIÓN	69
6.2	EL PROBLEMA DE EULER	69
6.3	LONGITUD DE PANDEO	71
6.4	CURVA DE EULER	72
6.5	INFLUENCIA DE LAS TENSIONES RESIDUALES DE LAMINACIÓN	73
6.6	PANDEO CON IMPERFECCIONES	76
6.6.1	<i>Caso de carga excéntrica</i>	77

6.6.2	<i>Caso de elemento con directriz no recta</i>	79
6.7	ESTUDIO DEL PANDEO DE UN ELEMENTO COMPRIMIDO SOLICITADO POR UNA CARGA TRANSVERSAL	81
6.8	PANDEO ANELÁSTICO	84
6.8.1	<i>Teoría del Módulo tangente</i>	85
6.9	EL PANDEO EN LAS NORMATIVAS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS (EC3, EAE y CTE)	85
	EJEMPLO	90
6.10	ELEMENTOS COMPUESTOS	91
6.10.1	<i>Introducción a las piezas compuestas</i>	92
6.10.2	<i>Influencia del cortante en la carga crítica de pandeo</i>	92
6.10.3	<i>Esbeltez complementaria para piezas empresilladas</i>	94
6.10.4	<i>Ejes de inercia de una pieza compuesta</i>	95
6.10.5	<i>Comprobación a pandeo de piezas compuestas</i>	95
	EJEMPLO. PILAR EMPRESILLADO	101
6.11	LONGITUD DE PANDEO DE PILARES PERTENECIENTES A ESTRUCTURAS PORTICADAS	105
6.11.1	<i>Análisis cualitativo</i>	105
6.11.2	<i>Planteamiento teórico</i>	106
6.11.3	<i>Longitudes de pandeo de pilares de estructuras o pórticos de edificios en las normativas</i>	109
6.11.4	<i>Análisis comparativo de las longitudes de pandeo</i>	110
6.11.5	<i>Longitudes unificadas de pandeo de pilares de estructuras porticadas</i>	111
6.12	LAS IMPERFECCIONES EN EL CÁLCULO EN SEGUNDO ORDEN	112

CAPÍTULO 7. TORSIÓN UNIFORME EN PIEZAS DE DIRECTRIZ RECTA

7.1	INTRODUCCIÓN	115
7.2	TEORÍA ELEMENTAL DE TORSIÓN EN PRISMAS DE SECCIÓN CIRCULAR	116
7.3	TEORÍA DE LA TORSIÓN DE SAINT-VENANT	118
7.4	ANALOGÍA DE LA MEMBRANA	124
7.5	MÓDULO DE TORSIÓN DE SAINT-VENANT PARA SECCIONES MACIZAS	127
7.6	APLICACIÓN DE LA ANALOGÍA DE LA MEMBRANA A BARRAS DE SECCIÓN CIRCULAR DE RADIO R	129
7.7.	TORSIÓN EN PERFILES DELGADOS	130
7.7.1	<i>Perfiles delgados abiertos</i>	130
7.7.1.1	Módulo plástico de torsión de una chapa	133

7.7.1.2	Perfiles abiertos formados por varios rectángulos	134
7.7.2	<i>Perfiles delgados cerrados</i>	135
	EJEMPLO	137

CAPÍTULO 8. TORSIÓN NO UNIFORME: TORSIONES ALABEADA Y MIXTA.

8.1	INTRODUCCIÓN	141
8.2	PERFILES ABIERTOS DE DÉBIL ESPESOR	142
8.3	COORDENADAS SECTORIALES	146
8.4	MOMENTOS SECTORIALES	148
8.5	CENTRO DE ESFUERZOS CORTANTES	148
8.6.	TORSIÓN NO UNIFORME	150
8.7.	ECUACIÓN GENERAL DE LA TORSIÓN A PARTIR DE LA TEORÍA DE VLASOV	159
8.8.	VIGAS EN DOBLE T	160
8.9	CONDICIONES DE CONTORNO EN LA TEORÍA DE TORSIÓN	162
8.10	LA TORSIÓN NO UNIFORME EN LA EAE	163
	EJEMPLO 1. Posicionamiento del centro de esfuerzos cortantes	164
	EJEMPLO 2. VOLADIZO SOMETIDO A TORSOR EN EL EXTREMO	166
	EJEMPLO 3. VIGA SOMETIDA A LEY DE TORSORES NO CONSTANTE	170

CAPÍTULO 9. OTROS MODOS DE PANDEO: PANDEO POR TORSIÓN Y PANDEO POR FLEXIÓN Y TORSIÓN.

9.1	INTRODUCCIÓN	175
9.2	PANDEO POR TORSIÓN	176
9.3	PANDEO POR FLEXIÓN Y TORSIÓN	181
9.4	RESUMEN Y CONCLUSIONES	183
9.5	EL PANDEO POR TORSIÓN Y POR FLEXIÓN Y TORSIÓN EN LAS NORMAS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	185
	EJEMPLO 1. PANDEO POR TORSIÓN	186
	EJEMPLO 2. PANDEO POR FLEXIÓN Y TORSIÓN	188
	EJEMPLO 3: PILAR EN CELOSÍA	190

CAPÍTULO 10. PANDEO DE PLACAS. ABOLLADURA PRECRÍTICA

10.1	INTRODUCCIÓN	193
10.2	PANDEO DE PLACAS	194
10.3	PANDEO DE UNA PLACA SIMPLEMENTE APOYADA SOLICITADA POR UNA COMPRESIÓN UNIFORME EN UNA DIRECCIÓN	198
10.4	PANDEO DE UNA PLACA SIMPLEMENTE APOYADA SOLICITADA A FLEXOCOMPRESIÓN	203
10.5	PLACAS RECTANGULARES SOLICITADAS POR ESFUERZOS CORTANTES UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDOS EN LOS LADOS	205
10.6	TENSIONES COMBINADAS	207
10.7	PANDEO INELÁSTICO	207

CAPÍTULO 11. PANDEO DE PLACAS. RESERVA POSTCRÍTICA.

11.1	INTRODUCCIÓN	209
11.2	TENSIONES NORMALES	210
	EJEMPLO 1. Clasificación	218
	EJEMPLO 2. Clasificación	219
	EJEMPLO 3. Clasificación	221
11.3	TENSIONES TANGENCIALES	223
11.3.1	<i>Método del campo rotado de tensiones o de Höglund</i>	224
11.4	INTERACCIÓN MOMENTO FLECTOR-CORTANTE EN FASE POSTCRÍTICA	231
11.5	CÁLCULO DE LOS RIGIDIZADORES TRANSVERSALES INTERMEDIOS	232
11.6	INTERACCIÓN CORTANTE, AXIL Y FLECTOR	233
	EJEMPLO 4. ABOLLADURA	235

CAPÍTULO 12. PANDEO LATERAL

12.1	INTRODUCCIÓN	237
12.2	PLANTEAMIENTO TEÓRICO DEL PANDEO LATERAL	
12.2.1	<i>Momento crítico elástico de pandeo lateral</i>	238
12.2.2	<i>Esbeltez de pandeo lateral</i>	243
12.2.3.1	<i>Caso General</i>	244
12.2.3.2	<i>Secciones laminadas en I o soldadas equivalentes</i>	245
12.2.3.3	<i>Momento crítico crítico elástico de pandeo lateral corregido</i>	246
12.3	SISTEMAS DE ARRIOSTRAMIENTO	247
12.3.1	<i>Arriostramientos para vigas</i>	255
	EJEMPLO 1. PANDEO LATERAL DE PERFIL LAMINADO	256
	EJEMPLO 2. PANDEO LATERAL DE VIGA ARMADA MONOSIMÉTRICA. ANEJO F DEL EUROCÓDIGO 3	258

EJEMPLO 3. ARRIOSTRAMIENTO	261
----------------------------	-----

CAPÍTULO 13. VIGA-COLUMNA

13.1	INTRODUCCIÓN..	265
13.2	CASO DE FLEXIÓN UNIFORME Y SECCIONES DOBLEMENTE SIMÉTRICAS	
13.3	FACTOR DE MOMENTO UNIFORME EQUIVALENTE	267
13.3.1	<i>Factor de momento uniforme equivalente</i>	269
13.4	FÓRMULA DE INTERACCIÓN	270
13.5	FORMULACIÓN PROPUESTA POR EL EUROCÓDIGO 3	272
13.5.1	<i>Método general</i>	273
	EJEMPLO	274

CAPÍTULO 14. OTRAS INESTABILIDADES

14.1	RESISTENCIA DEL ALMA FRENTE A CARGAS CONCENTRADAS.	
14.1.1	<i>Introducción</i>	277
14.1.2	<i>Tratamiento de las cargas transversales al plano del alma en el Eurocódigo 3 y la EAE</i>	281
14.2	RIGIDIZADORES TRANSVERSALES	284
14.3	PANDEO DEL ALA COMPRIMIDA EN EL PLANO DEL ALMA	284
	EJEMPLO	286

CAPÍTULO 15. UNIONES SOLDADAS

15.1	INTRODUCCIÓN	291
15.2	<i>DESGARRO LAMINAR</i>	292
15.3	<i>DISTRIBUCIÓN DE LOS ESFUERZOS</i>	292
15.4	<i>RESISTENCIA DE LAS SOLDADURAS</i>	
15.4.1	<i>Soldadura a tope</i>	293
15.4.2	<i>Soldadura de ángulo</i>	293
15.4.2.1	Uniones largas	294
15.4.2.2	Resistencia del cordón	295
15.4.2.3	El espesor de garganta en función del espesor de las piezas a unir	295
	Ejemplo 1. Cordón oblicuo solicitado a tracción	297
	Ejemplo 2	298
	Ejemplo 3	299
	Ejemplo 4	300

CAPÍTULO 16. UNIONES ATORNILLADAS

16.1	INTRODUCCIÓN	303
------	--------------	-----

16.2	<i>TIPOS DE TORNILLOS</i>	304
16.3	AGUJEROS Y DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS	304
16.4	DESGARRO	305
16.5	RESISTENCIA DE CÁLCULO DE UN TORNILLO A CORTANTE	305
16.6	RESISTENCIA DE CÁLCULO DE UN TORNILLO A APLASTAMIENTO	306
16.7	RESISTENCIA DE CÁLCULO DE UN TORNILLO A TRACCIÓN	307
16.8	TORNILLO SOMETIDOS SIMULTANEAMENTE A TRACCIÓN Y A CORTADURA	307
16.9	<i>RESISTENCIA A DESLIZAMIENTO DE CÁLCULO DE UN TORNILLO PRETENSADO DE ALTA RESISTENCIA</i>	308
16.10	<i>CATEGORÍAS DE UNIONES ATORNILLADAS</i>	309
16.11	<i>REPARTO DE ESFUERZOS ENTRE TORNILLOS</i>	310
16.11.1	<i>Distribución de esfuerzos entre tornillos. Artículo 6.5.4.</i>	311
16.12	UNIONES LARGAS	312
16.13	UNIONES PLANAS	
16.13.1	<i>Centradas</i>	312
16.13.2	<i>Excéntricas</i>	313
16.14	UNIONES A FLEXIÓN CON TORNILLOS NO PRETENSADOS	314
	EJEMPLO 1	315
	EJEMPLO 2	316
	EJEMPLO 3	320
	EJEMPLO 4	323

CAPÍTULO 17. UNIONES VIGA-COLUMNA. UNIONES SEMIRRÍGIDAS. MÉTODO DE LOS COMPONENTES

17.1	INTRODUCCIÓN	327
17.2	CLASIFICACIÓN DE LAS UNIONES	327
17.2.1	Capacidad de rotación de la unión	330
17.2.2	Limitaciones del uso de las uniones semirrígidas y particularidades de las mismas	331
17.3	CURVA $M-\Phi$ DE UNA UNIÓN	332
17.4	TIPOS DE COMPONENTES Y SU ENSAMBLAJE	335
17.5	EQUIVALENCIA ENTRE UNIÓN Y COMPONENTES	336
17.6	UNIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS	337
17.6.1	<i>Unión simétrica</i>	337
17.6.2	<i>Unión asimétrica</i>	338
17.7	UNIONES SOLDADAS	340
17.7.1	<i>Alma de la columna en cortadura (C1)</i>	342
17.7.2	<i>Alma de la columna en tracción (C2)</i>	345
17.7.3	<i>Alma de la columna en compresión (C3)</i>	348
17.7.4	<i>Zona de la viga (ala y alma) en compresión (C4)</i>	349

17.7.5	<i>Ala de la columna en flexión (C5)</i>	349
	EJEMPLO 1	349
17.8	CASQUILLO EN T (T-STUB)	354
17.9	UNIONES ATORNILLADAS	359
17.9.1	<i>Cálculo del momento resistente de la unión</i>	360
17.9.1.1	Alma de la columna en cortadura (C1)	360
17.9.1.2	Alma de la columna en compresión (C2)	360
17.9.1.3	Ala de la columna en flexión (C3)	361
17.9.1.4	Placa frontal en flexión (C4)	364
17.9.1.5	Tornillos a tracción (C5)	365
17.9.1.6	Alma de la columna a tracción (C6)	365
17.9.1.7	Zona de la viga a compresión (C7)	366
17.9.1.8	Alma de la viga a tracción (C8)	366
17.9.1.9	Procedimiento para evaluar el momento resistente de la unión	366
17.9.2	<i>Cálculo de la rigidez inicial frente a la rotación de la unión</i>	366
17.9.2.1	Procedimiento para evaluar la rigidez inicial de la unión	366
17.9.2.2	Alma de la columna en cortadura (C1)	367
17.9.2.3	Alma de la columna en compresión (C2)	367
17.9.2.4	Ala de la columna en flexión (C3)	367
17.9.2.5	Placa frontal compresión (C4)	367
17.9.2.6	Fila de tornillos a tracción (C5)	368
17.9.2.7	Alma de la columna en tracción (C6)	368
	EJEMPLO 2	368

CAPÍTULO 18. APARATOS DE APOYO. PLACAS DE BASE.

18.1.	INTRODUCCIÓN	383
18.2.	DIMENSIONAMIENTO DE LAS PLACAS DE APOYO	390
18.2.1	<i>Placa rígida a compresión centrada</i>	391
18.2.2	<i>Placa rígida a compresión excéntrica</i>	392
18.2.3	<i>Placa rígida anclada al macizo de cimentación. Ley triangular</i>	395
18.2.4	<i>Placa anclada al macizo de cimentación. Ley uniforme</i>	396
18.2.5	EJEMPLO	396

CAPÍTULO 19. CONSTRUCCIÓN MIXTA HORMIGÓN-ACERO I: INTRODUCCIÓN A LA ESTRUCTURA MIXTA. VIGAS MIXTAS.

19.1	INTRODUCCIÓN	401
19.1.1	<i>Influencia del proceso constructivo</i>	404
19.2	MATERIALES	
19.2.1	<i>Hormigón</i>	404
19.2.2	<i>Armaduras</i>	405
19.2.3	<i>Acero estructural</i>	405
19.2.4	<i>Acero de chapas nervadas</i>	405
19.2.5	<i>Coefficientes de seguridad de las propiedades del material</i>	405

19.3	ANÁLISIS GLOBAL DE ESTRUCTURAS MIXTAS.	
19.3.1	<i>Análisis elástico</i>	406
19.3.2	<i>Análisis lineal elástico con redistribución limitada</i>	407
19.3.3	<i>Análisis rígido-plástico</i>	408
19.3.3.1	Estudio del colapso de un vano intermedio de una viga continua	408
19.3.3.2	19.3.3.2. Estudio del colapso del vano extremo de una viga continua	410
	EJEMPLO	411
19.4	VIGAS MIXTAS	413
19.4.1	<i>Ancho eficaz para la comprobación de las secciones transversales</i>	413
19.4.2	<i>Clasificación de la sección transversal</i>	415
19.4.3	<i>Momento plástico resistente de una sección mixta</i>	418
19.4.4	<i>Resistencia frente al esfuerzo cortante de la sección mixta e interacción cortante-momento flector (V-M)</i>	421
19.4.5	<i>La conexión (§ 6.6.1 del EC4)</i>	422
19.4.5.1	<i>Resistencia de cálculo de los conectadores</i>	423
19.4.5.2	<i>Cálculo de la conexión</i>	426
19.4.5.3	<i>Separación de los conectadores (§ 6.6.5.5 EC4)</i>	430
19.4.5.4	<i>Rasante y armadura transversal (§ 6.6.6 EC4)</i>	431
19.4.6	<i>Pandeo lateral</i>	435
19.4.7	ELS en vigas mixtas de edificación	437
	EJEMPLO	439

CAPÍTULO 20. CONSTRUCCIÓN MIXTA HORMIGÓN-ACERO II: LOSAS DE EDIFICACIÓN CON CHAPA NERVADA.

20.1	INTRODUCCIÓN	447
20.2	ELU DE ROTURA POR FLEXIÓN DE LA LOSA MIXTA	448
20.3	ELU DE AGOTAMIENTO POR RASANTE	450
20.4	ELU DE AGOTAMIENTO POR CORTANTE	452
20.5	ELU DE AGOTAMIENTO POR PUNZONAMIENTO	452
20.6	ELS EN LOSAS MIXTAS DE EDIFICACIÓN	452
	EJEMPLO	455

CAPÍTULO 21. PILARES MIXTOS

21.1	INTRODUCCIÓN	463
21.2	PANDEO LOCAL DE LOS ELEMENTOS DE ACERO	464
21.3	RASANTE FUERA DE LAS ZONAS DE INTRODUCCIÓN DE CARGAS	465
21.4	INTRODUCCIÓN DE LAS CARGAS	467
21.5	MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO	
21.5.1	<i>Campo de aplicación</i>	468

21.5.2	<i>Resistencia de la sección mixta frente a cargas axiales</i>	468
21.5.3	<i>Interacción axil-flector</i>	469
21.5.4	<i>Esbeltez relativa de pilares mixtos</i>	472
21.5.5	<i>Resistencia de elementos mixtos comprimidos</i>	473
21.5.6	<i>Resistencia de elementos mixtos comprimidos y flectados</i>	475
21.6	RECUBRIMIENTO Y ARMADURA	476
	EJEMPLO	477

CAPÍTULO 22. UNIONES MIXTAS

22.1	INTRODUCCIÓN	483
22.2	COMPONENTES BÁSICOS DE LA UNIÓN MIXTA	484
22.2.1	Armadura longitudinal traccionada	485
22.2.2	Chapa de contacto a compresión	486
22.2.3	Alma del pilar a compresión transversal	487
22.2.4	Alma del pilar a cortante	487
22.2.5	Alma del pilar a compresión transversal	487
22.3	RIGIDEZ ROTACIONAL DE LA UNIÓN	488
22.4	CASO DE UNIÓN CON CHAPA FRONTAL EN ZONA DE MOMENTO NEGATIVO	489