

# INDICE GENERAL

## TOMO I. VOLUMEN PRIMERO

### CAP. I. INTRODUCCION

	Página
I.A. GENERALIDADES .....	1
I.B. CARACTERISTICAS MECANICAS DE LOS ACEROS LAMINADOS. ....	1
I.B.1. Ensayo de tracción .....	1
I.B.2. Ensayo de plegado .....	4
I.B.3. Ensayo de resiliencia .....	4
I.B.4. Ensayo de fatiga .....	5
I.C. CLASES DE ACERO SEGUN LA NORMA MV-102 -1964 .....	6
I.D. PRODUCTOS LAMINADOS .....	7
I.E. CRITERIOS ACTUALES PARA LA DETERMINACION DE LAS CARGAS Y PROPORCIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS ...	10
I.E.1. Clases de acciones o cargas .....	10
I.E.2. Determinación de los valores de las cargas .....	10
I.E.3. Criterios de seguridad .....	12
I.E.4. Condiciones de agotamiento .....	14
I.E.5. Coeficientes de ponderación .....	16
I.E.6. Condiciones de deformabilidad .....	16
I.F. RECOMENDACIONES PROVISIONALES PARA LA ELECCION DE LA CALIDAD DE ACERO PARA ESTRUCTURAS SOLDADAS ...	17
Temperatura mínima soportada .....	17
Espesor del producto .....	18
Deformación en frío del producto .....	18
Clase de los esfuerzos .....	18
Estados de tensiones .....	18
Condiciones de forma y de ejecución .....	18

### CAP. II. MEDIOS DE UNION

II.A. INTRODUCCION .....	23
II.B. REMACHES Y TORNILLOS .....	23
II.B.1. Características .....	23
II.B.1.1. Remaches .....	23
II.B.1.2. Tornillos .....	25

	Página
II.B.2. Cálculo .....	29
II.B.2.1. Comprobación de remaches y tornillos .....	29
II.B.2.2. Comprobación del material y de las uniones .....	33
II.B.3. Disposiciones constructivas referentes a los tornillos y remaches según la instrucción EM-62 .....	36
II.B.4. Ejemplos .....	38
II.B.4.1. Unión resistente a tracción .....	38
II.B.4.2. Unión resistente a flexión y esfuerzo cortante combinados .....	39
<b>II.C. UNIONES POR SOLDADURA .....</b>	<b>42</b>
II.C.1. Definición y generalidades .....	42
II.C.1.1. Definición .....	42
II.C.1.2. Procedimientos de soldadura .....	42
II.C.1.3. Material de aportación .....	44
II.C.1.4. Tipos de cordones de soldadura .....	45
II.C.1.5. Clasificación de los cordones según su posición .....	46
II.C.1.6. Deformaciones y tensiones internas .....	47
II.C.1.7. Defectos de las soldaduras .....	49
II.C.2. Cálculo de las uniones soldadas .....	50
II.C.2.1. Disposiciones generales .....	50
II.C.2.2. Cálculo .....	53
II.C.2.3. Algunos ejemplos de cálculo de soldaduras .....	69
<b>II.D. UNIONES MEDIANTE TORNILLOS DE ALTA RESISTENCIA ...</b>	<b>72</b>
II.D.1. Generalidades y modo de resistir de las uniones con tornillos de alta resistencia .....	72
II.D.2. Características de los tornillos de alta resistencia y ejecución de las uniones .....	73
II.D.3. Cálculo de las uniones .....	77
II.D.3.1. Cálculo de los TAR .....	77
II.D.3.2. Comprobación de secciones .....	80
II.D.3.3. Disposiciones constructivas referentes a los tornillos (A. R.) .....	82
 <b>CAP. III. PILARES</b> 	
<b>III.A. PANDEO DE LAS PIEZAS SIMPLES SOLICITADAS A COMPRESION AXIAL .....</b>	<b>83</b>
III.A.1. Generalidades .....	83
III.A.2. Fórmulas de Euler y Engesser .....	84
<b>III.B. CALCULO PRACTICO DE LAS PIEZAS SIMPLES SOMETIDAS A COMPRESION AXIAL .....</b>	<b>90</b>
III.B.1. Ideas generales .....	90
III.B.2. Método "omega" .....	92
III.B.3. Ejemplo de cálculo .....	95

	Página
III.C. PIEZAS SOLICITADAS A FLEXION COMPUESTA. ESTUDIO TEORICO .....	97
III.C.1. Ideas generales .....	97
III.D. CALCULO PRACTICO DE LAS BARRAS DE SECCION CONSTANTE SOLICITADAS A FLEXION COMPUESTA .....	99
III.D.1. Compresión excéntrica contenida en el plano de simetría de la sección .....	99
III.D.2. Piezas de simetría doble a flexión esviada compuesta .....	101
III.D.3. Ejemplo .....	102
III.E. OTRAS CLASES DE PANDEO .....	103
III.E.1. Generalidades .....	103
III.E.2. Pandeo por flexión y torsión .....	103
III.E.2.1. Piezas sometidas a compresión centrada .....	103
III.E.2.2. Piezas solicitadas a compresión excéntrica .....	107
III.E.2.3. Ejemplo numérico de cálculo de barras a compresión de poco espesor, con carga en el plano de simetría .....	108
III.E.3. Pandeo local de elementos planos .....	109
III.F. LONGITUDES IDEALES DE PANDEO Y MOMENTOS DE INERCIA VIRTUALES .....	111
III.F.1. Vinculaciones de los extremos de las barras .....	111
III.F.1.1. Generalidades .....	111
III.F.1.2. Pórticos de un piso .....	112
III.F.1.3. Pilares de edificios .....	116
III.F.2. Piezas de sección constante con carga axial variable a lo largo de su longitud .....	120
III.F.3. Piezas comprimidas, de sección variable, bajo carga constante .....	120
III.G. PROPORCIONAMIENTO DE LAS PIEZAS COMPUESTAS COMPRIMIDAS .....	123
III.G.1. Teoría general .....	123
III.G.2. Cálculo y disposiciones de presillas y celosías .....	129
III.G.2.1. Teoría general .....	129
III.G.2.2. Recomendaciones de la Norma MV-103 .....	131
III.G.3. Ejemplo .....	133
III.H. DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS Y CALCULO DE LOS PILARES UTILIZADOS EN EDIFICACION .....	135
III.H.1. Tipos de perfiles empleados .....	135
III.H.2. Empalmes de pilares .....	137
III.H.3. Cálculo .....	139

	Página
III.I. DETERMINACION DE LAS FUERZAS DE SECCION Y PROPORCIONAMIENTO DE LOS PILARES DE LAS NAVES INDUSTRIALES CON CERCHA ... ..	145
III.I.1. Ideas generales ... ..	145
III.I.2. Métodos generales de cálculo de los pilares de sección constante, de una nave a dos aguas sin puente-grúa ... ..	148
III.I.3. Cálculo de los esfuerzos producidos en los pilares de una nave simétrica a dos aguas por la acción de puentes grúas ... ..	152
III.I.4. Determinación de los esfuerzos producidos en los pilares de sección variable de una nave simétrica a dos aguas, por la acción del viento ... ..	156
III.I.5. Varias naves gemelas ... ..	157
III.I.6. Dos naves adosadas ... ..	162
III.I.7. Varias naves adosadas ... ..	164
III.I.8. Tablas ... ..	166
III.I.9. Efectos producidos por variaciones de temperatura ... ..	171
III.I.10. Proporcionamiento de los pilares de las naves ... ..	173
III.J. ORGANIZACION CONSTRUCTIVA DE LOS PILARES DE LAS NAVES ... ..	174

#### CAP. IV. VIGAS DE ALMA LLENA

IV.A. GENERALIDADES ... ..	177
IV.B. VIGAS DE PERFILES LAMINADOS ... ..	178
IV.B.1. Cálculo ... ..	178
IV.B.1.1. Tensiones debidas a la flexión ... ..	178
IV.B.1.2. Tablas ... ..	180
IV.B.1.3. Cálculo de las deformaciones ... ..	190
IV.B.2. Pandeo lateral o vuelco de vigas ... ..	193
IV.B.2.1. Generalidades ... ..	193
IV.B.2.2. Fórmulas de la Instrucción EM-62 y Norma MV-103 ... ..	194
IV.B.2.3. Ejemplo ... ..	201
IV.B.3. Pandeo del alma de vigas ... ..	202
IV.B.4. Uniones y empalmes ... ..	202
IV.B.4.1. Empalmes de vigas ... ..	202
IV.B.4.2. Uniones viga columna ... ..	205
IV.B.4.3. Embrochamientos de vigas ... ..	207
IV.B.4.4. Uniones semirrígidas ... ..	212
IV.B.4.5. Estudio de la necesidad de rigidizadores en las uniones viga-pilar ... ..	215
IV.B.4.6. Cálculo de uniones simplemente apoyadas de viga-viga y viga-columna ... ..	216
IV.C. VIGAS ARMADAS ... ..	221
IV.C.1. Cálculo ... ..	221

	Página
IV.C.1.1. Ideas fundamentales ... ..	221
IV.C.1.2. Estudio de la abolladura del alma ... ..	224
IV.C.1.2.1. Teoría general ... ..	224
IV.C.1.2.2. Estudio de la abolladura del alma según la Instrucción EM-62 ... ..	229
IV.C.1.2.3. Rigidizadores horizontales ... ..	234
IV.C.1.2.4. Cálculo de los rigidizadores... ..	235
IV.C.1.2.5. Comprobación según la Norma MV-103 ... ..	241
IV.C.1.3. Pandeo del cordón comprimido ... ..	245
IV.C.1.4. Cálculo de los cordones de soldadura que unen el alma y cabezas ... ..	246
IV.C.2. Detalles constructivos ... ..	247
IV.C.3. Algunos ejemplos ... ..	250
IV.C.4. Ejemplos de cálculo de vigas armadas ... ..	252
IV.C.4.1. Ejemplo según la Instrucción EM-62 ... ..	252
IV.C.4.2. Ejemplo según la Norma MV-103 ... ..	256
IV.D. VIGAS CARRIL ... ..	257
IV.D.1. Disposiciones generales ... ..	257
IV.D.2. Cálculo ... ..	259
IV.D.2. Disposiciones constructivas ... ..	266
IV.D.2.1. Carriles de rodadura ... ..	266
IV.D.2.2. Vigas carril ... ..	266
IV.D.3. Ejemplos de cálculo ... ..	269
<b>CAP. V. ESTRUCTURAS RETICULARES PLANAS</b>	
V.A. GENERALIDADES ... ..	275
V.A.1. Ideas generales ... ..	275
V.A.2. Isostatismo e hiperestatismo de los sistemas reticulares ... ..	276
V.A.3. Tipos de triangulación ... ..	277
V.A.4. Aplicaciones ... ..	279
V.B. CALCULO DE LAS VIGAS DE CELOSIA ... ..	281
V.B.1. Hipótesis fundamentales ... ..	281
V.B.2. Sistemas isostáticos ... ..	282
V.B.2.1. Determinación de las reacciones ... ..	282
V.B.2.2. Determinación de los esfuerzos directos en las barras ... ..	283
V.B.2.2.1. Procedimiento numérico... ..	283
V.B.2.2.2. Procedimiento gráfico o de Cremona... ..	287
V.B.3. Sistemas hiperestáticos ... ..	289
V.B.4. Cálculo de las deformaciones ... ..	295
V.B.4.1. Teoría ... ..	295
V.B.4.2. Ejemplo ... ..	296
V.B.5. Tensiones secundarias ... ..	298

	Página
V.C. DIMENSIONAMIENTO DE LAS BARRAS ... .. .	300
V.C.1. Especificaciones ... .. .	300
V.C.2. Pandeo lateral del cordón comprimido ... .. .	304
V.D. DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS ... .. .	308
V.D.1. Cordones ... .. .	308
V.D.1.1. Cerchas ... .. .	308
V.D.1.2. Vigas de celosía ... .. .	309
V.D.2. Piezas de relleno o celosía del alma de la viga ... .. .	311
V.D.3. Uniones de barras en nudos ... .. .	312
V.D.4. Cartelas y apoyos ... .. .	315
V.E. ALGUNOS EJEMPLOS DE VIGAS EN CELOSIA ... .. .	316
V.E.1. Ejemplo 1 ... .. .	316
V.E.2. Ejemplo 2 ... .. .	317
V.E.3. Ejemplo 3 ... .. .	318
V.E.4. Ejemplo 4 ... .. .	320
V.E.5. Ejemplo 5 ... .. .	321
V.F. APLICACIONES DEL TUBO A LAS VIGAS DE CELOSIA ... .. .	322
V.F.1. Generalidades ... .. .	322
V.F.2. Uniones ... .. .	322
V.F.3. Algunos ejemplos ... .. .	326
<b>CAP. VI. SUSTENTACIONES</b>	
VI.A. APOYOS DE VIGAS ... .. .	329
VI.A.1. Generalidades ... .. .	329
VI.A.2. Apoyos de placas planas ... .. .	332
VI.A.3. Apoyos mediante placas de asiento curvas ... .. .	334
VI.A.4. Aparatos de apoyo ... .. .	336
VI.A.4.1. Generalidades ... .. .	336
VI.A.4.2. Fórmulas ... .. .	337
VI.A.4.3. Ejercicio ... .. .	339
VI.A.5. Apoyos de neopreno ... .. .	341
VI.A.5.1. Características mecánicas ... .. .	341
VI.A.5.2. Comportamiento de los apoyos ... .. .	343
VI.A.5.3. Cálculo ... .. .	345
VI.A.5.3.1. Datos fundamentales para el cálculo. ... .. .	345
VI.A.5.3.2. Limitaciones y comprobación ... .. .	346
VI.A.5.4. Ejemplos ... .. .	349
VI.B. BASES DE PILARES ... .. .	349
VI.B.1. Ideas generales ... .. .	349
VI.B.2. Cálculo ... .. .	354
VI.B.3. Ejemplo ... .. .	363

<b>CAP. VII. OTROS TIPOS DE VIGAS</b>		Página
VII.A.	VIGAS METALICAS DE ALMA ALIGERADA ... ..	365
VII.A.1.	Descripción ... ..	365
VII.A.2.	Cálculo ... ..	367
VII.A.3.	Ejemplo ... ..	371
VII.A.4.	Aplicaciones ... ..	374
VII.B.	VIGAS MIXTAS ... ..	375
VII.B.1.	Descripción, materiales y cargas ... ..	375
VII.B.1.1.	Descripción e idea general de su comporta- miento ... ..	375
VII.B.1.2.	El hormigón ... ..	376
VII.B.1.3.	Cargas ... ..	382
VII.B.2.	Cálculo ... ..	386
VII.B.2.1.	Tensiones en el instante inicial ... ..	387
VII.B.2.2.	Tensiones modificativas ... ..	390
VII.B.2.3.	Estudio y cálculo de las conexiones ... ..	394
VII.B.3.	Recomendaciones prácticas ... ..	401
VII.B.4.	Ejemplo ... ..	407
VII.B.5.	Método de la sección ideal ... ..	415
VII.C.	VIGAS DE SECCION VARIABLE ... ..	417
VII.C.1.	Introducción ... ..	417
VII.C.2.	Cálculo ... ..	418
 <b>CAP. VIII. CUBIERTAS Y ENTRAMADOS DE NAVES INDUSTRIALES</b>		
VIII.A.	ORGANIZACION DE LAS CUBIERTAS ... ..	421
VIII.B.	MATERIALES DE CUBIERTA ... ..	422
VIII.B.1.	Planchas onduladas de fibrocemento ... ..	422
VIII.B.2.	Planchas de acero galvanizado ... ..	423
VIII.B.3.	Planchas de aluminio ... ..	424
VIII.B.4.	Placas traslúcidas ... ..	425
VIII.B.5.	Otros tipos de tejados ... ..	425
VIII.C.	SOBRECARGAS DE CALCULO ... ..	427
VIII.D.	CASOS DE CARGA ... ..	427
VIII.E.	ESTRUCTURACION Y CALCULO DE LOS ELEMENTOS FUN- DAMENTALES ... ..	427

	Página
VIII.E.1. Listones .....	427
VIII.E.2. Cabios .....	429
VIII.E.3. Correas .....	430
VIII.E.3.1. Cálculo .....	430
VIII.E.3.2. Ejemplo de cálculo .....	435
VIII.E.4. Cerchas .....	436
VIII.E.4.1. Estructuración .....	436
VIII.E.4.2. Cálculo .....	438
VIII.E.4.3. Ejemplo .....	444
VIII.F. DETALLES CONSTRUCTIVOS .....	451
VIII.F.1. Cartelas y nudos .....	451
VIII.F.2. Apoyos .....	456
VIII.G. ARRIOSTRAMIENTO DE LAS CUBIERTAS .....	459
VIII.H. ENTRAMADOS .....	461
VIII.H.1. Entramados frontales .....	461
VIII.H.1.1. Estructuración .....	461
VIII.H.1.2. Cálculo .....	462
VIII.H.1.3. Organización constructiva .....	467
VIII.H.1.4. Ejemplo .....	467
VIII.H.2. Entramados laterales .....	469
VIII.H.2.1. Estructuración .....	469
VIII.H.2.2. Cálculo .....	470
VIII.I. CANALONES Y BAJANTES .....	472
VIII.J. NAVES EN DIENTE DE SIERRA .....	473

### CAP. IX. PORTICOS SIMPLES

IX.A. GENERALIDADES .....	477
IX.B. SISTEMAS ESTRUCTURALES .....	478
IX.C. CALCULO .....	480
IX.D. ORGANIZACION CONSTRUCTIVA .....	483
IX.D.1. Secciones utilizadas y empalmes .....	483
IX.D.2. Detalles constructivos del pórtico .....	487
IX.D.2.1. Articulaciones y empotramientos de pilares .....	487
IX.D.2.2. Nudos de esquina .....	488
IX.D.2.3. Clave .....	494
IX.D.2.4. Enlace de las correas con el pórtico .....	495
IX.D.2.5. Arriostramientos, entramados frontales y entramados laterales .....	496



## TOMO I. VOLUMEN SEGUNDO

<b>CAP. X. INTRODUCCION AL CALCULO PLASTICO APLICADO A LAS ESTRUCTURAS METALICAS</b>	Página
X.A. INTRODUCCION ... ..	497
X.A.1. Comparación entre el método elástico y el plástico ... ..	497
X.A.2. Propiedades plásticas del acero ... ..	498
X.A.3. Ejemplo aclaratorio del comportamiento plástico ... ..	499
X.B. LA FLEXION EN EL CAMPO ELASTOPLASTICO ... ..	501
X.B.1. Generalidades ... ..	501
X.B.2. Determinación de las tensiones y deformaciones ... ..	501
X.B.3. Algunos casos particulares ... ..	505
X.B.3.1. Sección rectangular y otras secciones ... ..	505
X.B.3.2. Sección en doble T ... ..	506
X.C. LA ROTULA PLASTICA ... ..	508
X.C.1. Comportamiento elastoplástico de una viga isostática ... ..	508
X.C.2. Estudio de las deformaciones elastoplásticas de una viga de sección rectangular simplemente apoyada solicitada por una carga concentrada aplicada en el centro del vano ... ..	509
X.D. PIEZAS HIPERESTATICAS DE UN SOLO VANO ... ..	512
X.D.1. Ideas generales ... ..	512
X.D.2. Comportamiento de una viga de sección constante empotrada en sus extremos y solicitada por una carga uniformemente re- partida ... ..	514
X.E. ESTUDIO GENERAL DE SISTEMAS HIPERESTATICOS ... ..	516
X.E.1. Formación del mecanismo de ruina por el método del "paso a paso" ... ..	516
X.E.2. Condiciones necesarias para la formación del mecanismo de ruina ... ..	519
X.E.3. Teoremas fundamentales del análisis límite ... ..	520
X.E.4. Campo de validez de la teoría del análisis límite ... ..	521
X.F. METODOS PARA LA DETERMINACION DE LA CARGA LIMITE EN ESTRUCTURAS DE PEQUEÑO GRADO DE HIPERESTATI- CIDAD ... ..	522

	Página
X.F.1. Introducción ... ..	522
X.F.2. Método estático ... ..	522
X.F.2.1. Consideraciones generales ... ..	522
X.F.2.2. Ejemplos de cálculo para vigas de sección constante ... ..	524
X.F.2.3. Viga continua de sección variable ... ..	528
X.F.2.4. Cálculo de pórticos ... ..	532
X.F.3. Método cinemático ... ..	536
X.F.4. Pórticos con elementos inclinados ... ..	541
X.G. METODOS GENERALES PARA LA DETERMINACION DE LA CARGA LIMITE ... ..	543
X.G.1. Generalidades ... ..	545
X.G.2. Método de la combinación de mecanismos ... ..	543
X.G.2.1. Teoría ... ..	543
X.G.2.2. Ejemplos ... ..	547
X.G.3. Método de distribución de momentos plásticos ... ..	548
X.G.3.1. Teoría ... ..	548
X.G.3.2. Ejemplo 1 ... ..	553
X.G.3.3. Ejemplo 2 ... ..	558
X.H. OTRAS CONSIDERACIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS SECCIONES ... ..	561
X.H.1. Deformaciones ... ..	561
X.H.2. Influencia de los esfuerzos axiales ... ..	561
X.H.2.1. Teoría general ... ..	561
X.H.2.2. Sección rectangular (fig. X.H.2) ... ..	563
X.H.2.3. Sección en doble T ... ..	653
X.H.3. Cálculo de los pilares con posibilidad de pandeo ... ..	565
X.H.3.1. Norma NBN-1 ... ..	565
X.H.4. Arriostramiento laterales ... ..	569
X.H.5. Influencia del esfuerzo cortante ... ..	570
X.H.6. Espesores mínimos ... ..	571
X.H.7. Campo de aplicación y criterios de cálculo ... ..	572
X.H.8. Cálculo de uniones ... ..	573
<b>CAP. XI. ESTRUCTURAS LIGERAS DE ACERO</b>	
XI.A. INTRODUCCION ... ..	581
XI.A.1. Generalidades ... ..	581
XI.A.2. Secciones de los perfiles ligeros de chapa plegada ... ..	582
XI.A.3. Material ... ..	584
XI.A.4. Tensiones admisibles y tensiones básicas ... ..	585

	Página
XI.A.5. Método lineal para el cálculo de las características de los perfiles ... ..	586
XI.A.6. Abolladura de los perfiles de chapa fina ... ..	588
XI.A.7. Procedimientos de cálculo de las estructuras de chapa fina ... ..	592
<b>XI.B. COMPROBACION DE SECCIONES</b> ... ..	<b>592</b>
XI.B.1. Introducción ... ..	592
XI.B.1.1. Rigidizadores de los elementos planos comprimidos ... ..	592
XI.B.1.2. Limitaciones referentes a las características geométricas de los perfiles ... ..	593
XI.B.1.3. Características de los elementos comprimidos rigidizados en sus bordes ... ..	596
XI.B.1.4. Comportamiento de los elementos planos no rigidizados ... ..	598
XI.B.2. Piezas comprimidas axilmente ... ..	601
XI.B.2.1. Teoría y fórmulas generales ... ..	601
XI.B.2.2. Tubos comprimidos axilmente ... ..	608
XI.B.2.3. Pilares embutidos en paredes ... ..	609
XI.B.2.4. Ejemplos ... ..	612
XI.B.2.4.1. Sección con todos los elementos planos rigidizados, ... ..	612
XI.B.2.4.2. Sección formada por elementos planos rigidizados y no rigidizados ... ..	613
XI.B.2.4.3. Pilar embutido en una pared ... ..	614
XI.B.3. Vigas ... ..	615
XI.B.3.1. Introducción ... ..	615
XI.B.3.2. Procedimiento general de cálculo ... ..	616
XI.B.3.3. Ejemplos ... ..	633
XI.B.4. Piezas solicitadas a flexión compuesta ... ..	637
<b>XI.C. MEDIOS DE UNION</b> ... ..	<b>639</b>
XI.C.1. Descripción ... ..	639
XI.C.1.1. Soldadura ... ..	639
XI.C.1.2. Tornillos ... ..	640
XI.C.1.3. Remaches ... ..	642
XI.C.1.4. Dispositivos especiales ... ..	643
XI.C.2. Cálculo ... ..	644
XI.C.2.1. Puntos de soldadura ... ..	644
XI.C.2.2. Tornillos y remaches ... ..	644
XI.C.3. Detalles constructivos de uniones ... ..	647

	Página
XI.D. APLICACIONES ... ..	649
XI.D.1. Viguetas de forjado ... ..	649
XI.D.2. Planchas de chapa plegada para forjados ... ..	650
XI.D.3. Planchas de chapa plegada para cubiertas ... ..	651
XI.D.4. Paneles de chapa fina ... ..	652

## CAP. XII. INFLUENCIA DE LA TORSION EN LAS ESTRUCTURAS METALICAS

XII.A. TORSION PURA O UNIFORME ... ..	657
XII.A.1. Generalidades ... ..	657
XII.A.2. Ley de repartición de las tensiones tangenciales en las secciones macizas ... ..	659
XII.A.3. Estudio de las secciones abiertas de pared delgada ...	661
XII.A.4. Secciones en cajón ... ..	664
XII.A.4.1. Generalidades ... ..	664
XII.A.4.2. Fórmulas de Bredt ... ..	665
XII.A.4.3. Otras consideraciones de interés ... ..	667
XII.A.4.4. Estudio comparativo entre el comportamiento de secciones de pared delgada, abiertas y cerradas ... ..	668
XII.A.4.5. Secciones en cajón mixtas ... ..	669
XII.A.5. Secciones en cajón multicelulares ... ..	672
XII.A.5.1. Teoría ... ..	672
XII.A.5.2. Ejemplo de sección rectangular de celdas también rectangulares dispuestas simétricamente ... ..	674
XII.A.6. Momento de torsión y deformación de vigas en torsión pura ... ..	678
XII.A.6.1. Torsión pura o uniforme ... ..	678
XII.A.6.2. Ecuación diferencial ... ..	679
XII.A.6.3. Notaciones ... ..	680
XII.A.6.4. Barras simples isostáticas ... ..	680
XII.A.6.5. Barras simples hiperestáticas ... ..	680
XII.A.6.6. Viga continua ... ..	683
XII.A.6.6.1. Teoría ... ..	683
XII.A.6.6.2. Método de las deformaciones... ..	685
XII.A.6.6.3. Ejemplo ... ..	686

	Página
XII.A.7. Vigas sobre apoyos oblicuos ... ..	688
XII.A.7.1. Teoría general y método iterativo ... ..	688
XII.A.7.2. Método analítico ... ..	690
XII.A.7.3. Ejemplos ... ..	693
XII.A.7.3.1. Ejemplo 1 ... ..	693
XII.A.7.3.2. Ejemplo 2 ... ..	697
XII.A.7.4. Consideraciones generales relativas a la constante $C$ ... ..	699
XII.A.7.5. Orden de magnitud de las tensiones tangenciales debidas a la oblicuidad de los apoyos ... ..	699
XII.A.8. Otros ejemplos ... ..	700
XII.A.8.1. Ejemplo 1 ... ..	700
XII.A.8.2. Ejemplo 2 ... ..	701
XII.A.8.3. Ejemplo 3 ... ..	702
XII.B. TORSION NO UNIFORME ... ..	703
XII.B.1. Generalidades ... ..	703
XII.B.2. Cálculo ... ..	704
XII.B.2.1. Hipótesis ... ..	704
XII.B.2.2. Criterio de signos ... ..	706
XII.B.2.3. Fórmulas para la determinación de las tensiones normales y tangenciales ... ..	707
XII.B.2.4. Analogía entre la flexión y la torsión no uniforme ... ..	710
XII.B.2.4.1. Fundamentos ... ..	710
XII.B.2.4.2. Ejemplos ... ..	711
XII.B.2.5. Centro de esfuerzos cortantes ... ..	712
XII.B.2.6. Ejemplos ... ..	713
XII.B.2.6.1. Sección transversal de puente... ..	713
XII.B.2.6.2. Perfiles en doble te ... ..	716
XII.B.3. Superficie de influencia ... ..	719
XII.B.4. Condiciones de apoyo ... ..	722
XII.B.5. Determinación de las tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante en secciones de una sola célula ... ..	723
XII.B.6. Cálculo de las fuerzas de sección en las piezas hiperestáticas ... ..	724
XII.B.6.1. Teoría ... ..	724
XII.B.6.2. Vigas continuas sobre apoyos oblicuos ... ..	725
XII.B.6.3. Ejemplos ... ..	729

	Página
XII.C. TORSION MIXTA ... ..	732
XII.C.1. Ecuación diferencial ... ..	732
XII.C.2. Cálculo de piezas de un solo vano ... ..	733
XII.C.2.1. Teoría ... ..	733
XII.C.2.2. Condiciones límites ... ..	735
XII.C.2.3. Cálculo de las tensiones ... ..	735
XII.C.2.4. Algunos casos particulares ... ..	737
XII.C.2.4.1. Viga empotrada en un extremo y solicitada por un momento tor- sor $M_a$ en el otro extremo que queda libre ... ..	737
XII.C.2.4.2. Viga simplemente apoyada a la torsión en sus extremos, solici- tada por un bimomento de va- lor $X$ , en el extremo $z=l$ ... ..	737
XII.C.2.4.3. Rotación alrededor del eje $z$ de cada uno de los apoyos de la viga ... ..	738
XII.C.2.4.4. Momento de torsión uniforme- mente repartido solicitando a una viga con apoyos a la tor- sión ... ..	738
XII.C.2.4.5. Momento exterior concentrado so- bre viga con apoyos simples a la torsión ... ..	740
XII.C.2.4.6. Momento exterior concentrado sobre viga con apoyos empo- trados ... ..	742
XII.C.2.4.7. Momento exterior uniformemen- te repartido sobre viga con apo- yos empotrados ... ..	743
XII.C.2.4.8. Barra con un extremo empotrado y el otro apoyado simplemente contra la torsión ... ..	744
XII.C.2.5. Consideraciones prácticas ... ..	745
XII.C.2.6. Método aproximado para el dimensionamiento de secciones ... ..	746
XII.C.2.6.1. Exposición general ... ..	746
XII.C.2.6.2. Ejemplo 1 ... ..	746
XII.C.2.6.3. Ejemplo 2 ... ..	747

	Página
XII.C.3. Cálculo de vigas continuas ... ..	748
XII.C.3.1. Teoría ... ..	748
XII.C.3.2. Ejemplos ... ..	750
XII.C.3.2.1. Viga continua de tres vanos simétrica, solicitada por un momento torsor uniformemente repartido en el vano central ... ..	750
XII.C.3.2.2. Viga continua de tres vanos, simétrica, solicitada por un momento torsor concentrado aplicado en el eje del tramo central ... ..	751
XII.D. CONSIDERACIONES DE INTERES ... ..	752
XII.D.1. Influencia de la deformación y del estado particular de carga para el estudio de la pieza ... ..	752
XII.D.2. Influencia del valor de $\chi$ en la clase de torsión ... ..	753
XII.D.3. Orientación sobre la clase de torsión que corresponde a las diferentes secciones estructurales ... ..	754
XII.D.4. Comentarios referentes al procedimiento tradicional de cálculo de los perfiles abiertos de pared delgada ... ..	755

**CAP. XIII. EMPARRILLADOS Y ESTRUCTURAS  
ESPACIALES**

XIII.A. INTRODUCCION ... ..	759
XIII.A.1. Generalidades y consideraciones de orden económico. ... ..	759
XIII.A.2. Optimización de las estructuras espaciales ... ..	760
XIII.B. EMPARRILLADOS PLANOS ... ..	763
XIII.B.1. Descripción e ideas fundamentales ... ..	763
XIII.B.2. Métodos de cálculo ... ..	766
XIII.B.2.1. Método de asimilación ... ..	766
XIII.B.2.2. Métodos matriciales ... ..	767
XIII.B.3. Detalles constructivos ... ..	768
XIII.B.3.1. Emparrillados de vigas de celosía adosadas de sección triangular ... ..	768
XIII.B.3.2. Nudos ... ..	771
XIII.B.4. Ejemplos ... ..	775

	Página
XIII.C. LAMINAS ... ..	778
XIII.C.1. Introducción ... ..	778
XIII.C.1.1. Definición ... ..	778
XIII.C.1.2. Hipótesis de cálculo ... ..	778
XIII.C.1.3. Características y clases de láminas ... ..	779
XIII.C.2. Métodos de cálculo ... ..	782
XIII.C.3. Detalles constructivos ... ..	783
XIII.C.3.1. Estructura metálica en lámina cilíndrica o poligonal ... ..	783
XIII.C.3.2. Nudos ... ..	785
XIII.C.4. Ejemplos ... ..	786
XIII.D. CUPULAS ... ..	789
XIII.D.1. Definiciones y generalidades ... ..	789
XIII.D.2. Métodos de cálculo ... ..	792
XIII.D.2.1. Cúpula en celosía ... ..	793
XIII.D.2.1.1. Teoría del estado de membrana ... ..	793
XIII.D.2.1.2. Teoría de la flexión de cúpulas ... ..	794
XIII.D.2.2. Cúpulas nervadas ... ..	795
XIII.D.2.3. Cúpulas plegadas ... ..	795
XIII.D.3. Detalles constructivos ... ..	795
XIII.D.3.1. Cúpulas en celosía ... ..	795
XIII.D.3.2. Cúpulas nervadas ... ..	796
XIII.D.4. Montaje ... ..	796
<b>CAP. XIV. INTRODUCCION DE TENSIONES</b>	
XIV.A. SISTEMAS ESPECIALES DE PRESOLICITACION ... ..	799
XIV.A.1. Métodos derivados de la fabricación de las piezas ... ..	799
XIV.A.2. Métodos aplicados durante o tras el montaje de la estructura ... ..	802
XIV.B. ESTRUCTURA METALICA PRETENSADA ... ..	805
XIV.B.1. Introducción ... ..	805
XIV.B.1.1. Generalidades ... ..	805
XIV.B.1.2. Materiales ... ..	806



	Página
XIV.B.1.2.1. Viga metálica... ..	806
XIV.B.1.2.2. Armaduras de pretensado ...	806
XIV.B.1.2.2.1. Características mecánicas. ...	806
XIV.B.1.2.2.2. Relajamiento y fluencia.. ...	808
XIV.B.1.2.3. Anclajes... ..	809
XIV.B.1.2.3.1. Anclajes de rosca ... ..	809
XIV.B.1.2.3.2. Anclajes de cuña ... ..	811
XIV.B.2. Cálculo ... ..	813
XIV.B.2.1. Fundamentos ... ..	813
XIV.B.2.1.1. Relaciones fundamentales... ..	813
XIV.B.2.1.2. Evaluación de las pérdidas de tensión ... ..	817
XIV.B.2.2. Cálculo de las vigas de alma llena ... ..	822
XIV.B.2.2.1. Consideraciones fundamentales. ...	822
XIV.B.2.2.2. Dimensionamiento y comprobación de la sección metálica ...	823
XIV.B.2.2.3. Comportamiento estático de las vigas de alma llena pretensada. ...	825
XIV.B.2.2.4. Deformaciones... ..	829
XIV.B.2.3. Cálculo de las vigas de celosía ... ..	830
XIV.B.2.3.1. Consideraciones generales... ..	830
XIV.B.2.3.2. Comprobación de secciones ... ..	831
XIV.B.2.3.3. Deformaciones... ..	833
XIV.B.2.4. Problemas de Inestabilidad ... ..	834
XIV.B.2.4.1. Generalidades ... ..	834
XIV.B.2.4.2. Pandeo por flexión ... ..	835
XIV.B.2.4.3. Pandeo por flexión y torsión... ..	836
XIV.B.2.4.4. Vuelco o pandeo lateral de vigas ... ..	839
XIV.B.2.4.5. Abolladura ... ..	840
XIV.B.2.5. Ejemplos ... ..	841
XIV.B.2.5.1. Pérdidas de tensión ... ..	841
XIV.B.2.5.2. Comprobación de viga armada pretensada ... ..	841
XIV.B.2.5.3. Viga de celosía ... ..	846
XIV.B.3. Disposiciones fundamentales de proyecto ... ..	849
XIV.B.3.1. Generalidades ... ..	849
XIV.B.3.2. Disposiciones del miembro tensor ... ..	849
XIV.B.3.2.1. Vigas de alma llena ... ..	849
XIV.B.3.2.2. Vigas de celosía ... ..	852
XIV.B.3.3. Detalles constructivos ... ..	852
XIV.B.3.3.1. Vigas de alma llena ... ..	852
XIV.B.3.3.2. Vigas de celosía ... ..	854

	Página
<b>CAP. XV. PUENTES METALICOS</b>	
XV.A. PUENTES DE TABLERO METALICO ORTOTROPO ... ..	857
XV.A.1. Introducción ... ..	857
XV.A.1.1. Evolución ... ..	857
XV.A.1.2. El sistema ortótropo ... ..	858
XV.A.1.3. Montaje ... ..	863
XV.A.1.4. Economía en comparación con los sistemas tra- dicionales ... ..	863
XV.A.1.5. Clases de puentes en los que se emplea el ta- blero ortótropo ... ..	864
XV.A.1.5.1. Puentes de vigas principales rec- tilíneas ... ..	864
XV.A.1.5.2. Puentes colgantes ... ..	864
XV.A.1.5.3. Puentes de arco ... ..	864
XV.A.1.5.4. Puentes colgantes de cables rec- tilíneos ... ..	866
XV.A.1.6. Ejemplos ... ..	866
XV.A.2. Cálculo del tablero ... ..	877
XV.A.2.1. Generalidades ... ..	877
XV.A.2.2. Cálculo de la chapa de piso ... ..	878
XV.A.2.3. Introducción al método de Pelikan Eslinger...	879
XV.A.2.4. Desarrollo práctico del método de Pelikan Es- linger para tableros con largueros de sección abierta ... ..	883
XV.A.2.4.1. Determinación de las secciones eficaces de largueros y viguetas .	883
XV.A.2.4.2. Análisis de los largueros conside- rados como vigas continuas so- bre apoyos elásticos ... ..	888
XV.A.2.4.3. Momentos adicionales en los lar- gueros ... ..	891
XV.A.2.4.4. Cálculo de las viguetas ... ..	895
XV.A.2.4.5. Viguetas empotradas elásticamen- te en sus extremos ... ..	897
XV.A.2.5. Desarrollo práctico del método de Pelikan Es- linger, para tableros con largueros de sección en cajón ... ..	898
XV.A.2.5.1. Primera fase ... ..	898
XV.A.2.5.2. Segunda fase ... ..	906
XV.A.3. Cálculo de las vigas principales ... ..	907
XV.A.3.1. Introducción ... ..	907
XV.A.3.2. Superposición de tensiones ... ..	908

---

	Página
XV.A.4. Criterios de proyecto .....	909
XV.A.4.1. Introducción .....	909
XV.A.4.2. Cargas .....	909
XV.A.4.3. Tensiones admisibles .....	911
XV.A.4.4. Otras consideraciones .....	912
XV.B. SISTEMAS DE VIGAS PARALELAS Y TABLERO DE HORMI- GON .....	 913
XV.B.1. Introducción .....	913
XV.B.2. Cálculo .....	919
XV.B.2.1. Vigas principales de pequeña rigidez a la tor- sión .....	 919
XV.B.2.2. Vigas cajón .....	925
XV.B.2.2.1. Tablero formado por una viga cajón .....	 925
XV.B.2.2.2. Tablero formado por dos o más vigas cajón .....	 928