

Anexos





# Publicaciones generadas por esta Tesis Doctoral

## A.1. Relacionadas directamente con la Tesis

### A.1.1. Artículos en revistas internacionales

- Cabrero, J.M. y Bayo, E. (2005a). «Development of practical design methods for steel structures with semi-rigid connections». *Engineering Structures*, **27(8)**, pp. 1125–1137.
- Cabrero, J.M. y Bayo, E. (2006a). «Three-dimensional semi-rigid major and minor axis steel joints. Part I. Experimental results». *Journal of Constructional Steel Research*. *Enviado para su aceptación*
- Cabrero, J.M. y Bayo, E. (2006b). «Three-dimensional semi-rigid major and minor axis steel joints. Part II. Theoretical model and validation». *Journal of Constructional Steel Research*. *Enviado para su aceptación*

### A.1.2. Ponencias en congresos

- Cabrero, J.M. y Bayo, E. (2004). «Uniones Semi-Rígidas en Estructuras de Acero: una Visión desde el Diseño». En: S. Hernández (Ed.), *CEA 2004. Congreso de la Estructura de Acero*, Artécium, A Coruña (España).

## A.2. Relacionadas indirectamente con la Tesis

### A.2.1. Artículos en revistas internacionales

- Bayo, E.; Cabrero, J.M. y Gil, B. (2006a). «An effective component-based method to model semi-rigid connections for the global analysis of steel and composite structures». *Engineering Structures*, **28(1)**, pp. 97–108.

### A.2.2. Ponencias en congresos

- Gil, B.; Cabrero, J.M.; Goñi, R. y Bayo, E. (2003). «An Assessment of the Rotation Capacity Required by Structural Hollow Sections for Plastic Analysis». En: M.A. Jaurrieta; A. Alonso y J.A. Chica (Eds.), *Tubular Structures X*, pp. 277–292. A.A. Balkema Publishers, Lisse (Holanda).
- Cabrero, J.M. y Bayo, E. (2005b). «Modelado de uniones semi-rígidas en el análisis global de estructuras metálicas». En: *Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería*, p. 181. Granada, España.
- Bayo, E.; Gracia, J.; Cabrero, J.M. y Gil, B. (2006b). «Advanced global-member stability analysis of semi-rigid frames». En: *International colloquium on stability and ductility of structures*, Lisboa (Portugal).

## Índice de figuras

1.	El Panteón . . . . .	xxvi
2.	Ejemplos de la colaboración entre técnicos . . . . .	xxviii
1.1.	Tipos de uniones semirrígidas (Chen, Goto y Richard Liew, 1996a) . . . . .	5
1.2.	Comportamiento momento-rotación de uniones semirrígidas genéricas (Chen y otros, 1996a) . . . . .	7
1.3.	Comportamiento momento-rotación de los diversos tipos de uniones, según Kishi, Hasan, Chen y Goto (1997) . . . . .	8
1.4.	Pórtico de calibración (propuesto por Dubina, Greccea y Zaharia (1996)) empleado para la comparativa morfológica realizada . . . . .	11
1.5.	Pórtico con unión semirrígida de resistencia total . . . . .	12
1.6.	Pórtico con unión semirrígida de resistencia parcial . . . . .	13
1.7.	Pórtico con unión desplazada . . . . .	14
1.8.	Características de las uniones tipo para la estimación del costo . . . . .	17
1.9.	Unión con placa en las alas (LRFD, 2003b) . . . . .	21
1.10.	Uniones flexibles a viento (LRFD, 2003b) . . . . .	22
1.11.	Distinción entre conexión y unión (CEN, 2005b) . . . . .	22
1.12.	Comportamiento estructural de la viga con carga uniforme en función del parámetro $\alpha_{EC}$ definido en (1.2) (Xu, 2000) . . . . .	23
1.13.	Comportamiento estructural de la viga con carga uniforme en función del parámetro $r$ definido en (1.3) (Xu, 2000) . . . . .	24
1.14.	Relación entre la rigidez definida según $\alpha_{EC}$ ( $RL/EI$ ) y el factor de fijación $r$ (Xu, 2000) . . . . .	24
2.1.	Clasificación del Eurocódigo en función de la rigidez (CEN, 2005b) . . . . .	32
2.2.	Influencia de la flexibilidad de la unión en la sensibilidad del pórtico a efectos de segundo orden (Faella, Piluso y Rizzano, 2000) . . . . .	33

2.3.	Criterio de clasificación de la resistencia (Tschemmerneg y Huber, 1998)	34
2.4.	Clasificación de uniones en versiones anteriores del Eurocódigo (CEN, 1996, tomado de Faella y otros (2000))	35
2.5.	Sistema aislado de clasificación de Bjorhovde, Colson y Brozetti (1990).	38
2.6.	Comparación entre el límite obtenido y los límites del EC (Gomes y otros, 1998)	40
2.7.	Clasificación para pórticos no arriostrados según el criterio de deflexión (Gomes y otros, 1998)	41
2.8.	Sistema de clasificación no lineal en unidades americanas (Hasan, Kishi y Chen, 1998)	42
2.9.	Comparación del sistema de clasificación no lineal con el del Eurocódigo (Hasan y otros, 1998)	42
2.10.	Clasificación propuesta para el Estado Límite Último (Nethercot, Li y Ahmed, 1998)	44
2.11.	Clasificación propuesta para el Estado Límite de Servicio (Nethercot y otros, 1998)	45
2.12.	Efecto de la rigidez de la unión en el desplazamiento lateral del pórtico (Christopher y Bjorhovde, 1998)	45
2.13.	Tabla de diseño para pórticos semirrígidos de cinco plantas (Ashraf, Nethercot y Ahmed, 2004)	46
2.14.	Influencia del número de vanos en el comportamiento lateral del pórtico (Ashraf y otros, 2004)	47
2.15.	Influencia de la longitud de los vanos en el comportamiento lateral del pórtico (Ashraf y otros, 2004)	47
2.16.	Pórtico analizado por Pavlov (2005)	48
2.17.	Relación entre el desplazamiento horizontal del pórtico analizado y el factor de carga (Pavlov, 2005)	48
2.18.	Relación entre las flechas máximas de los vanos y el factor de carga (Pavlov, 2005)	48
2.19.	Modelo simplificado para el análisis del pórtico traslacional (Faella, Piluso y Rizzano, 1994)	49
2.20.	Influencia de la flexibilidad de la unión en el periodo de vibración del pórtico traslacional (Faella y otros, 1994)	50
2.21.	Influencia de la rigidez rotacional de la unión en la carga vertical crítica de pórticos arriostrados (Faella y otros, 2000)	51
2.22.	Cargas críticas del pórtico en función del factor de fijación de las uniones (Xu, 2000a)	52
2.23.	Relación entre los factores de longitud de pandeo y el de rigidez lateral (Xu, 2000b)	53
2.24.	Factor de longitud de pandeo para un pórtico traslacional (Raftoyiannis, 2005)	53
2.25.	Factor de longitud de pandeo para un pórtico intraslacional (Raftoyiannis, 2005)	54

3.1.	Parámetros geométricos para la aplicación del modelo de Frye y Morris (1975) (tomado de Kishi (2000)) . . . . .	62
3.2.	Parámetros de una conexión con angulares (Chen, Goto y Richard Liew, 1996) . . . . .	64
3.3.	Parámetros de la unión con angular superior e inferior de asiento y doble angular de alma (Chen y otros, 1996) . . . . .	65
3.4.	Componentes recogidos en el Eurocódigo (CEN, 2005) . . . . .	70
3.5.	Componentes de una unión de chapa de testa extendida (tomado de Faella, Piluso y Rizzano (2000)) . . . . .	70
3.6.	Modelo mecánico de componentes para una unión de chapa de testa extendida (tomado de Faella y otros (2000)) . . . . .	71
3.7.	Proceso de ensamblaje para el cálculo de la rigidez de la unión (Jaspart, 2000) . . . . .	72
3.8.	Tipos de comportamiento de cada componente según la ductilidad (Kuhlmann y Kühnemund, 2000) . . . . .	75
3.9.	Diferentes representaciones matemáticas posibles para la representación de la curva momento-rotación de la unión (Faella y otros, 2000) . . . . .	76
3.10.	Modelo trilineal propuesto por Moncarz y Gestle (1981) . . . . .	77
3.11.	Modelado de la unión semirrígida mediante un muelle rotacional de características equivalentes (Faella y otros, 2000) . . . . .	80
3.12.	Descripción del elemento viga equivalente para el modelado de la unión semirrígida (Dubina, Grececa y Zaharia, 1996) . . . . .	80
3.13.	Modelo de muelle propuesto por da S. Vellasco, de Andrade, da Silva, de Lima y Brito Jr. (2006) . . . . .	81
3.14.	Modelado de la unión semirrígida mediante muelles independientes para las uniones y el alma del pilar (Faella y otros, 2000) . . . . .	82
3.15.	Esfuerzos internos en la unión (Faella y otros, 2000) . . . . .	82
3.16.	Valores del factor $\beta$ límite (CEN, 2005) . . . . .	83
3.17.	Proceso de iteración para la obtención de la $\beta$ real y comparación con la $\beta$ limitada por el Eurocódigo (Bayo, Cabrero y Gil, 2006) . . . . .	85
3.18.	Aproximación trilineal del Eurocódigo, según Faella y otros (2000) . . . . .	86
3.19.	Modelo bilineal de la unión propuesto por el Eurocódigo (CEN, 2005, apartado 6.3.1) . . . . .	87
3.20.	Rigidez secante propuesta por la ASCE (ASCE y Concrete, 1998) para el modelo bilineal de la unión semirrígida . . . . .	88
4.1.	Modelo de viento para el método de Disque (1975) . . . . .	98
4.2.	Método <i>wind-moment</i> . Simplificación del pórtico para cargas verticales (Salter, Couchman y Anderson, 1999) . . . . .	99
4.3.	Método <i>wind-moment</i> . Simplificación del pórtico ante cargas de viento (Salter y otros, 1999) . . . . .	99
4.4.	Flujo para determinar la adecuación del diseño para la aplicación del método <i>wind-moment</i> (Salter y otros, 1999) . . . . .	101
4.5.	Ábaco de diseño de uniones viga-pilar de chapa de testa extendida (Faella y otros, 2000) . . . . .	103

4.6.	Ábaco para la estimación del desplazamiento lateral del pórtico (Kozłowski, 2005) . . . . .	106
4.7.	Proceso histórico de las diversas generaciones calculadas hasta la obtención del pórtico optimizado (Kameshki y Saka, 2001) . . . . .	108
4.8.	Método habitual de diseño . . . . .	108
4.9.	Distribución de momentos para una viga con carga uniformemente distribuida en el caso de unión articulada y rígida . . . . .	110
4.10.	Distribución de momentos óptima para una viga con uniones semirrígidas y carga uniformemente distribuida . . . . .	110
4.11.	Agotamiento plástico de una sección estándar de acero . . . . .	111
4.12.	Diagrama <i>beam-line</i> en el que se muestra la obtención de la rigidez rotacional óptima para una viga con carga uniformemente distribuida . . . . .	111
4.13.	Método propuesto para el diseño elástico . . . . .	115
4.14.	Proceso para el diseño elástico de la unión . . . . .	117
4.15.	Método propuesto para el diseño plástico . . . . .	119
4.16.	Flujo de diseño de la unión en el caso de análisis plástico . . . . .	120
4.17.	Configuración del pórtico A . . . . .	122
4.18.	Diseño tipo de unión de chapa de testa extendida sin rigidizar . . . . .	123
4.19.	Pórtico A. Gráfica de comparación de costos . . . . .	124
4.20.	Configuración del pórtico B . . . . .	125
4.21.	Pórtico B. Gráfica de comparación de costos . . . . .	127
5.1.	Los diferentes tipos de uniones de chapa de testa extendida . . . . .	135
5.2.	Componentes para el cálculo de uniones de chapa de testa extendida (Faella, Piluso y Rizzano, 2000) . . . . .	136
5.3.	Modelo mecánico de componentes para el análisis de uniones de chapa de testa extendida (Faella y otros, 2000) . . . . .	137
5.4.	Modelo <i>T-stub</i> . . . . .	137
5.5.	Orientación de los <i>T-stub</i> modelados para una unión de chapa de testa extendida (Yee y Melchers, 1986) . . . . .	138
5.6.	Modos de rotura de <i>T-stubs</i> atornillados (Faella y otros, 2000) . . . . .	138
5.7.	Mecanismos de líneas de rotura con una fila de tornillos (Faella y otros, 2000) . . . . .	141
5.8.	Modelo de rigidez del <i>T-stub</i> de Yee y Melchers (1986) . . . . .	142
5.9.	Modelo de rigidez del <i>T-stub</i> de Faella y otros (2000) . . . . .	142
5.10.	Área a cortante definida por el Eurocódigo para perfiles laminados (Faella y otros, 2000) . . . . .	144
5.11.	Modelo trilineal para el alma del panel a cortante de Krawinkler, Bertero y Popov (1971) . . . . .	146
5.12.	Los dos <i>T-stub</i> adoptados para el modelado de la chapa de testa extendida a flexión (CEN, 2005b) . . . . .	151
5.13.	Simplificación para el ensamblaje de la resistencia de una unión con chapa de testa extendida (CEN, 2005b) . . . . .	153



5.14.	Brazo de palanca de una unión de chapa de testa extendida para la aplicación del método simplificado (CEN, 2005b) . . . . .	155
5.15.	Tornillos a tracción y tornillos a cortante en una unión de chapa de testa extendida . . . . .	156
6.1.	Relación entre rigidez y resistencia para uniones internas de chapa de testa extendida sin rigidizar (Faella y otros, 2000) . . . . .	161
6.2.	Influencia del perfil del pilar en el comportamiento de la unión de chapa de testa extendida (Faella y otros, 2000) . . . . .	161
6.3.	Influencia de la clase de tornillo en el comportamiento de la unión de chapa de testa extendida (Faella y otros, 2000) . . . . .	162
6.4.	Relación de los espesores de la chapa de testa y el ala del pilar con la flexibilidad rotacional de la unión (Faella y otros, 2000) . . . . .	162
6.5.	Unión tipo de chapa de testa extendida empleada para el análisis paramétrico	163
6.6.	Relación entre rigidez y resistencia de la unión según el espesor de la chapa de testa, $t_{ep}$ . . . . .	166
6.7.	Rigidez y resistencia de la unión en función del espesor de la chapa de testa, $t_{ep}$ . Series en función de la distancia vertical entre filas de tornillos, $p$ . . . . .	167
6.8.	Relación entre rigidez y resistencia de la unión según el diámetro de los tornillos . . . . .	168
6.9.	Resistencia de la unión en función del diámetro del tornillo. Series en función del espesor de la chapa de testa, $t_{ep}$ . . . . .	168
6.10.	Relación entre rigidez y resistencia de la unión según la distancia vertical entre filas de tornillos, $p$ . . . . .	169
6.11.	Rigidez y resistencia de la unión en función de la distancia vertical entre filas de tornillos, $p$ . Series en función del espesor de la chapa de testa, $t_{ep}$ . . . . .	170
6.12.	Relación entre rigidez y resistencia de la unión según la distancia horizontal entre tornillos de la misma fila, $w$ . . . . .	171
6.13.	Relación entre rigidez y resistencia de la unión según la distancia vertical al extremo superior de la chapa de testa $e_x$ . . . . .	171
6.14.	Relación entre rigidez y resistencia de la unión según la distancia horizontal al extremo de la chapa de testa $e$ . . . . .	172
6.15.	Relación entre rigidez y resistencia de la unión según el parámetro $\beta$ . . . . .	173
6.16.	Rigidez y resistencia de la unión en función del parámetro $\beta$ . Series en función del espesor de la chapa de testa, $t_{ep}$ . . . . .	173
6.17.	Influencia del parámetro $\beta$ en la rigidez más allá del intervalo limitado por el Eurocódigo . . . . .	174
7.1.	Modelo de elementos finitos desarrollado por Bursi y Jaspart (1998) para uniones con chapa de testa extendida . . . . .	180
7.2.	Comportamiento momento-rotación del modelo virtual. Comparativa entre distintos coeficientes de fricción (Bursi y Jaspart, 1998) . . . . .	180
7.3.	Modelo de elementos finitos para uniones con angulares de Citipitioglu, Haj-Ali y White (2002) . . . . .	181
7.4.	Elemento de ocho nudos (ABAQUS, 2004a) . . . . .	183

7.5.	Elementos lámina convencional y continuo (ABAQUS, 2004a) . . . . .	184
7.6.	Puntos de integración de los elementos lámina (ABAQUS, 2004a) . . . . .	186
7.7.	Variación del comportamiento de un modelo virtual de viga biempotrada al variar el número de capas de elementos (Li, 1996, ref. por Bursi y Jaspart (1998)) . . . . .	187
7.8.	Comparativa entre los diferentes tipos de elementos de la biblioteca de <i>Abaqus</i> (Bursi y Jaspart, 1998) . . . . .	187
7.9.	Modelo virtual de viga con carga puntual para el análisis comparativo de los elementos de <i>Abaqus</i> . . . . .	188
7.10.	Modelo virtual de viga con carga continua para el análisis comparativo de los elementos de <i>Abaqus</i> . . . . .	188
7.11.	Análisis comparativo. Mejora de los resultados numéricos mostrados para el comportamiento de la sección al aumentar el número de capas de elementos (elemento C3D8I) . . . . .	191
7.12.	Definición de las propiedades geométricas del tornillos para el modelo de Agerskov (1976, ref. por Gantes y Lemonis (2003)) . . . . .	191
7.13.	Modelo de tornillo propuesto por Bursi y Jaspart (1998) . . . . .	192
7.14.	Modelo de contacto "duro" ( <i>hard contact</i> ) (ABAQUS, 2004c, p. 22..2-2) . . . . .	194
7.15.	Modelo de contacto "suavizado" ( <i>softened contact</i> ) . . . . .	194
7.16.	Modelo numérico de la unión de chapa de testa extendida realizado con <i>Abaqus</i> . . . . .	195
7.17.	Experimento T101.010 (Janss, Jaspart y Maquoi, 1987, ref. por Faella, Piluso y Rizzano (2000)) . . . . .	197
7.18.	Tensiones resultantes en el modelo de elementos finitos de <i>COSMOS/M</i> . . . . .	198
7.19.	Tensiones resultantes en el modelo de elementos finitos de <i>Abaqus</i> . . . . .	198
7.20.	Comportamiento momento-rotación del modelo desarrollado en <i>COSMOS/M</i> . . . . .	199
7.21.	Comportamiento momento-rotación del modelo desarrollado en <i>Abaqus</i> . . . . .	199
8.1.	Ábaco de diseño para uniones internas de chapa de testa extendida (Faella y otros, 2000) . . . . .	205
8.2.	Mecanismos de rotura para la estimación de la resistencia de la chapa de testa y el ala del pilar sin rigidizar (Murray y Sumner, 2004) . . . . .	208
8.3.	Modelo simplificado propuesto para la obtención de la rigidez . . . . .	210
9.1.	Mecanismos resistentes para esfuerzos horizontales (Engel, 2001) . . . . .	220
9.2.	Uniones semirrígidas en el eje menor atornilladas al alma del pilar. . . . .	222
9.3.	Unión de chapa de testa extendida atornillada a un pilar mixto (Costa Neves, 2004) . . . . .	222
9.4.	Configuraciones básicas de los ensayos realizados por Gibbons, Kirby y Nethercot (1991) . . . . .	223
9.5.	Pórtico tridimensional rígido ensayado por Kim, Kang y Lee (2003) . . . . .	224
9.6.	Comparación de las curvas carga-desplazamiento horizontal para el pórtico ensayado, y análisis bidimensional o tridimensional (Kim y otros, 2003) . . . . .	224
9.7.	Chapa adicional soldada a las alas del pilar . . . . .	225
9.8.	Unión tridimensional propuesta . . . . .	225

9.9.	Uniones tridimensionales alternativas . . . . .	226
9.10.	Inversión de momentos en la unión debida a la aparición de esfuerzos horizontales . . . . .	226
10.1.	Configuración tipo del nudo tridimensional ensayado . . . . .	232
10.2.	Geometría y dimensiones de las soldaduras realizadas . . . . .	233
10.3.	Geometría del ensayo realizado . . . . .	234
10.4.	Ensayo de tracción del material de los tornillos . . . . .	236
10.5.	Comportamiento mecánico del material de los tornillos . . . . .	236
10.6.	Ensayo de tracción del material de los perfiles . . . . .	237
10.7.	Comportamiento mecánico del material de los perfiles . . . . .	237
10.8.	Detalle de la carga de los ensayos en el pilar . . . . .	239
10.9.	Materialización del apoyo de la viga como rótula. Medida de la reacción en el apoyo mediante una célula de carga . . . . .	239
10.10.	Configuración e instrumentación de los ensayos . . . . .	240
10.11.	Instrumentación de las uniones mediante bandas extensométricas . . . . .	241
10.12.	Montaje de galga extensométrica en cuarto de puente con tres hilos (tomado de Hoffmann (1989)) . . . . .	242
10.13.	Ensayo tridimensional . . . . .	243
10.14.	Ensayo de la unión del eje menor . . . . .	244
10.15.	Ensayo de la unión del eje mayor . . . . .	245
10.16.	Parámetros para la medida del giro según la lectura del desplazamiento vertical de los sensores de hilo . . . . .	246
10.17.	Medida del giro mediante los transductores lineales colocados en la chapa de testa . . . . .	246
10.18.	Características de la curva momento-rotación de la unión . . . . .	247
10.19.	Ensayo A-n-R. Lectura de los desplazamientos verticales proporcionada por los sensores de hilo situados en la viga y el pilar respecto a la carga total . . . . .	249
10.20.	Ensayo A-n-R. Importancia del giro elástico de la viga para el cálculo del giro de la unión . . . . .	249
10.21.	Comparativa de las curvas momento-rotación de todos los ensayos de rotura realizados . . . . .	250
10.22.	Ensayo tridimensional B-Mn. Curva momento-rotación experimental . . . . .	255
10.23.	Ensayo tridimensional B-Mn. Valores de la reacción en los ejes . . . . .	255
10.24.	Ensayos bidimensionales de la unión del eje menor. Curva momento-rotación experimental . . . . .	256
10.25.	Ensayo B-n-R. Secuencia de plastificación de las galgas . . . . .	258
10.26.	Ensayo A-n-R. Secuencia de plastificación de las galgas . . . . .	259
10.27.	Ensayo B-n-R. Rotura de la unión de chapa fina en el eje menor . . . . .	260
10.28.	Ensayo A-n-R. Rotura de la unión de chapa gruesa en el eje menor . . . . .	261
10.29.	Ensayo B-n-R. Deformación remanente de las chapas de testa en las uniones de chapa fina del eje menor . . . . .	261
10.30.	Comportamiento de la chapa adicional . . . . .	262

10.31. Deformación de la chapa adicional . . . . .	263
10.32. Ensayos bidimensionales de la unión del eje mayor. Curva momento-rotación experimental . . . . .	264
10.33. Ensayo B-M-R. Secuencia de plastificación de las galgas . . . . .	266
10.34. Ensayo A-M-R. Secuencia de plastificación de las galgas . . . . .	267
10.35. Ensayo A-M-R. Estado de los tornillos tras la rotura . . . . .	268
10.36. Ensayo B-M-R. Deformación remanente de las chapas de testa de las uniones de chapa fina del eje mayor . . . . .	268
10.37. Ensayo A-M-R. Deformación remanente de las chapas de testa de las uniones de chapa gruesa del eje mayor . . . . .	269
10.38. Ensayo B-M-R. Rotura de la unión de chapa fina en el eje mayor . . . . .	269
10.39. Ensayo A-M-R. Rotura de la unión de chapa gruesa en el eje mayor . . . . .	270
11.1. Modelo numérico de la unión tridimensional desarrollado en <i>Abaqus</i> . . . . .	274
11.2. Validación del modelo numérico de la unión del eje menor con los resultados experimentales . . . . .	275
11.3. Distribución de tensiones resultante en el modelo numérico de cada ensayo . . . . .	276
11.4. Variación del comportamiento de las uniones según las cargas y configuraciones tridimensionales . . . . .	277
11.5. Variación del comportamiento de los componentes de cada unión según la configuración y cargas tridimensionales . . . . .	279
11.6. Esfuerzos en la unión tridimensional con carga tridimensional . . . . .	281
11.7. Variación de la rigidez de las uniones en función de $r_m$ . . . . .	282
11.8. Rigidez de la unión tridimensional en el eje menor en función de $r_m$ . . . . .	283
11.9. Rigidez de los componentes de la unión tridimensional en el eje menor en función de $r_m$ . . . . .	283
11.10. Modelo simplificado. Deformación de una viga solicitada a flexión con esfuerzos axiales . . . . .	284
11.11. Rigidez de la unión tridimensional en el eje mayor en función de $r_m$ . . . . .	285
11.12. Rigidez de los componentes de la unión tridimensional en el eje mayor en función de $r_m$ . . . . .	285
12.1. Unión "tipo" en el eje menor: atornillada al alma del pilar (Costa Neves, 2004) . . . . .	288
12.2. Componente del alma del pilar a flexión cargado por una zona rígida de dimensiones $b \times c$ y con ancho de banda equivalente $l_{eff}$ (Costa Neves, 2004) . . . . .	289
12.3. Modelo de la tira equivalente (Costa Neves, 2004) . . . . .	290
12.4. Características geométricas de la unión atornillada con rigidizadores en el eje menor (De Lima, De Andrade, Da S.Vellasco y Da Silva, 2002) . . . . .	293
12.5. Elementos <i>viga</i> con dos y cuatro grados de libertad . . . . .	294
12.6. Modelo para la obtención del comportamiento del alma a flexión con extremos articulados . . . . .	295
12.7. Modelo para la obtención del comportamiento del alma a flexión con extremos empotrados . . . . .	296

12.8. Rectángulos rígidos equivalentes para el modelo de rigidez del alma a flexión (Costa Neves, 2004) . . . . .	297
12.9. Dimensiones del tornillo para la definición del diámetro medio $d_m$ (Gomes, 1990) . . . . .	297
12.10. Definición de la longitud característica para el componente del alma a flexión (Costa Neves, 2004) . . . . .	299
12.11. Propuesta de variación del ángulo de dispersión $\theta$ para la obtención del ancho equivalente del componente (Costa Neves, 2004) . . . . .	300
12.12. Anchos efectivos para el alma del pilar a flexión . . . . .	300
12.13. Experimentos de uniones en el eje menor con chapa de testa extendida realizados por Costa Neves (2004). Las cotas y medidas efectivas se corresponden a su modelo (Costa Neves, 2004) . . . . .	301
12.14. Experimento de uniones en el eje menor con angulares realizado por De Lima y otros (2002). . . . .	301
12.15. Modelo mecánico de componentes aplicado para los experimentos de Costa Neves (2004) . . . . .	302
12.16. Modelo mecánico de componentes aplicado para el experimento de De Lima y otros (2002) . . . . .	302
12.17. Definición de la longitud equivalente para el componente de la cara del tubular a flexión (Costa Neves, Simoes da Silva y Vellasco, 2005) . . . . .	305
12.18. Anchos efectivos del componente de la chapa adicional a flexión . . . . .	305
12.19. Modelo mecánico de componentes propuesto para la unión tridimensional del eje menor . . . . .	307
12.20. Unión tridimensional en el eje menor. Rigidez de la unión en función de $r_m$ . . . . .	310
12.21. Modelo de componentes propuesto para la unión tridimensional del eje mayor . . . . .	311
12.22. Modelo equivalente para el componente del ala del pilar a flexión tridimensional ( $cfb_{3D}$ ) . . . . .	312
12.23. Unión tridimensional en el eje mayor. Rigidez de la unión en función de $r_m$ . . . . .	316
12.24. Mecanismos de rotura del alma a flexión (Packer, Morris y Davies, 1984) . . . . .	320
12.25. Mecanismos mixtos flexión-punzonamiento de rotura para el alma a flexión (Davies y Packer, 1982) . . . . .	321
12.26. Mecanismo de rotura local con espirales logarítmicas (Gomes, 1990) . . . . .	321
12.27. Mecanismo mixto flexión-punzonamiento de rotura para el alma a flexión (Gomes, 1990) . . . . .	322
12.28. Mecanismo global con espirales logarítmicas para la rotura del alma a flexión (Gomes, 1990) . . . . .	323
12.29. Gráfica comparativa entre los mecanismos de rotura propuestos por Packer y otros (1984) (Figura 12.24) y por Gomes (1990) (Figura 12.26), según Gomes (1990) . . . . .	324
12.30. Modelo de resistencia propuesto para el alma a flexión . . . . .	324
12.31. Mecanismos plásticos propuestos para la rotura del alma del pilar a flexión . . . . .	324
12.32. Rectángulos rígidos equivalentes para el modelo de resistencia propuesto (Costa Neves, 2004; Gomes, 1990) . . . . .	325



## Índice de cuadros

1.1.	Comparación de los resultados obtenidos para cada tipo de unión analizado	14
1.2.	Parámetros de costo para uniones semirrígidas (Sánchez, 1999)	17
1.3.	Precios del material para el fabricante (a octubre de 2004)	18
1.4.	Estimaciones de costos obtenidas para cada unión	18
1.5.	Estimaciones de costos. Proporción de costos en cada unión	19
1.6.	Categorías de uniones atornilladas según el Eurocódigo (CEN, 2005a)	19
2.1.	Deflexión lateral y frecuencia de vibración de un pórtico de tres plantas con diferentes tipos de unión (Pui Tak Chui y Lai Chan, 1997)	51
3.1.	Constantes de ajuste y de estandarización para la representación polinomial de Frye y Morris (1975) (tomado de Kishi (2000)). Los coeficientes del parámetro $K$ se indican en la Figura 3.1.	61
3.2.	Valores del parámetro de forma $n$ para el modelo de Chen y Kishi (1989) (tomado de Goto y Miyashita (1998))	67
3.3.	Comparación entre los valores reales de $\beta$ y los limitados por el Eurocódigo	84
4.1.	Pórticos de ejemplo de diseño. Cargas aplicadas	122
4.2.	Pórtico A. Rigidez requerida para las uniones y resultados de prediseño	122
4.3.	Pórtico A. Resistencia requerida para las uniones y resultados de prediseño	122
4.4.	Pórtico A. Diseño final de las uniones	123
4.5.	Pórtico A. Perfiles resultantes para cada uno de los tipos de uniones	123
4.6.	Pórtico A. Comparación de costos para cada tipo de unión	123
4.7.	Pórtico B. Rigidez requerida para las uniones y resultados de prediseño	125
4.8.	Pórtico B. Resistencia requerida para las uniones y resultados de prediseño	125
4.9.	Pórtico B. Diseño final de las uniones	126

4.10.	Pórtico B. Perfiles resultantes para cada uno de los tipos de uniones . . . . .	126
4.11.	Pórtico B. Comparación de costos para cada tipo de unión . . . . .	126
6.1.	Proporción de modos de rotura obtenida en el análisis paramétrico . . . . .	165
7.1.	Modelo virtual de viga con carga puntual. Resultados para cada elemento	188
7.2.	Modelo virtual de viga con carga continua. Resultados para cada elemento	189
8.1.	Coefficientes $\xi$ , $\zeta$ y brazo de palanca $r$ para la estimación de la rigidez inicial y la resistencia de una unión de chapa de testa extendida (tomado de CeStruCo, 2005, en referencia a Steenhuis (1999)) . . . . .	207
8.2.	Ajuste para obtención de los parámetros de resistencia. Uniones viga-pilar IPE 270-HEB 160 con 90 y 120 mm de separación entre filas de tornillos, $\rho$	212
8.3.	Ajuste para obtención de los parámetros de resistencia. Uniones viga-pilar IPE 450-HEB 160 con 90 y 120 mm de separación entre filas de tornillos, $\rho$	212
8.4.	Comparativa de métodos de prediseño. Uniones representativas analizadas	214
8.5.	Comparativa de métodos de prediseño. Rigidez . . . . .	214
8.6.	Comparativa de métodos de prediseño. Resistencia . . . . .	215
10.1.	Detalles globales de los especímenes ensayados . . . . .	233
10.2.	Dimensiones reales de las uniones (valores en mm, referidos a los valores y nomenclatura indicados en la Figura 10.3) . . . . .	235
10.3.	Propiedades mecánicas del material de los tornillos . . . . .	236
10.4.	Propiedades mecánicas del material de los perfiles . . . . .	238
10.5.	Listado de los ensayos realizados . . . . .	242
10.6.	Ensayos bidimensionales. Rigidez inicial y post-límite (valores en $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{rad}$ )	251
10.7.	Ensayos tridimensionales. Rigidez inicial (valores en $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{rad}$ ) . . . . .	251
10.8.	Ensayos bidimensionales. Comparación de los valores de rigidez teóricos y experimentales (valores en $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{rad}$ ) . . . . .	251
10.9.	Ensayos bidimensionales. Características resistentes experimentales (valores en $\text{kN} \cdot \text{m}$ ) . . . . .	253
10.10.	Ensayos bidimensionales. Comparación del valor resistente experimental y la resistencia teórica de la chapa de testa (valores en $\text{kN} \cdot \text{m}$ ) . . . . .	253
10.11.	Predicción teórica del modo de rotura para la chapa de testa y el ala a flexión	253
10.12.	Ensayos bidimensionales. Giros experimentales . . . . .	254
10.13.	Ensayos bidimensionales. Evaluación de la ductilidad . . . . .	254
10.14.	Características experimentales de las uniones en el eje menor . . . . .	257
10.15.	Características experimentales de las uniones en el eje mayor . . . . .	264
12.1.	Ensayos de uniones en el eje menor con chapa de testa extendida (Costa Neves, 2004). Aplicación del modelo propuesto . . . . .	302
12.2.	Ensayos de uniones en el eje menor con chapa de testa extendida (Costa Neves, 2004). Resultados obtenidos (valores en $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{rad}$ ) . . . . .	303
12.3.	Ensayo de unión en el eje menor con angulares (De Lima y otros, 2002). Aplicación del modelo propuesto . . . . .	303



12.4.	Ensayo de unión en el eje menor con angulares (De Lima y otros, 2002). Resultados obtenidos (valores en $\text{kN} \cdot \text{m/rad}$ ) . . . . .	303
12.5.	Ensayo B-n ( $3d - n - q2$ ). Modelo de componentes para la unión del eje menor de chapa de testa fina ( $t_{ep} = 10 \text{ mm}$ ), con carga bidimensional ( $r_m = 0$ ) . . . . .	309
12.6.	Ensayo A-n ( $3d - n - q2$ ). Modelo de componentes para la unión del eje menor de chapa de testa gruesa ( $t_{ep} = 16 \text{ mm}$ ), con carga bidimensional ( $r_m = 0$ ) . . . . .	309
12.7.	Unión tridimensional del eje menor con carga bidimensional ( $r_m = 0$ ). Resultados obtenidos (valores en $\text{kN} \cdot \text{m/rad}$ ) . . . . .	310
12.8.	Comparación de los resultados del modelo propuesto con los resultados experimentales (valores en $\text{kN} \cdot \text{m/rad}$ ) . . . . .	310
12.9.	Ensayo B-M ( $3d - M - q2$ ). Modelo de componentes para la unión del eje mayor de chapa de testa fina ( $t_{ep} = 10 \text{ mm}$ ), con carga bidimensional ( $r_m = \infty$ ) . . . . .	315
12.10.	Ensayo A-M ( $3d - M - q2$ ). Modelo de componentes para la unión del eje mayor de chapa de testa gruesa ( $t_{ep} = 16 \text{ mm}$ ), con carga bidimensional ( $r_m = \infty$ ) . . . . .	315
12.11.	Comparación de los resultados del modelo propuesto con los resultados experimentales (valores en $\text{kN} \cdot \text{m/rad}$ ) . . . . .	316
12.12.	Ensayos de uniones en el eje menor con chapa de testa extendida (Costa Neves, 2004). Aplicación del modelo resistente propuesto para las vigas equivalentes $A_t$ y $B_t$ del alma a flexión en la zona de tracción . . . . .	327
12.13.	Ensayos de uniones en el eje menor con chapa de testa extendida (Costa Neves, 2004). Aplicación del modelo resistente propuesto para las vigas equivalentes $A_c$ y $B_c$ del alma a flexión en la zona de compresión . . . . .	328
12.14.	Ensayos de uniones en el eje menor con chapa de testa extendida (Costa Neves, 2004). Resultados obtenidos . . . . .	328



## Referencias

- ABAQUS (2004a). *ABAQUS v6.5 Analysis User's Manual*. volumen IV: Elements.
- ABAQUS (2004b). *ABAQUS v6.5 Analysis User's Manual*. volumen III: Materials. version 6.5 edición.
- ABAQUS (2004c). *ABAQUS v6.5 Analysis User's Manual*. volumen V: Prescribed Conditions, Constraints & Interactions.
- Ackroyd, M.H. (1987). «Simplified frame design of type PR construction». *Engineering Journal, AISC*, **24(4)**, pp. 141–146.
- Agerskov, H. (1976). «High-strength bolted connections subject to prying». *Journal of the Structural Engineering Division, ASCE*, **102(1)**, pp. 161–175.
- AISC (1980). *Manual of Steel Construction*. AISC, Chicago, Illinois (EEUU).
- AISC (1997). «AISC Specification Task Committee 3: Loads, Analysis and Systems. Proposed Changes to the AISC LRFD Specification (Section A 2.2)». *Informe técnico*, AISC.
- AISC (2004). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*. Borrador del 24 de diciembre de 2004 edición.
- Altman, W.G.; Azizinamini, A.; Bradburn, J.H. y Radzimirsky, J.B. (1982). «Moment-Rotation Characteristics of Semi-Rigid Steel Beam-Column Connections». *Informe técnico*, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Carolina del Sur (EEUU).
- Anderson, D. y Tahir, M. M. (1996). «Economic Comparisons Between Simple and Partial Strength Design of Braced Steel Frames». En: R. Bjorhovde; A. Colson y R. Zandonini (Eds.), *Connections in Steel Structures III: Behaviour, Strength and Design*, pp. 527–534. Pergamon, Trento (Italia).
- ASCE, Task Committee on Design Criteria for Composite Structures in Steel y Concrete (1998). «Design Guide for Partially Restrained Composite Connections». *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **124(10)**, pp. 1099–1113.

- Ashraf, M.; Nethercot, D.A. y Ahmed, B. (2004). «Sway of Semi-Rigid Steel Frames. Part 1: Regular Frames». *Engineering Structures*, **26**, pp. 1809–1819.
- Attiogbe, G. y Morris, G.A. (1991). «Moment-Rotation Functions for Steel Connections». *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **117(Junio)**, pp. 1703–1718.
- Azizinamini, A.; Bradburn, J.H. y Radziminski, J.B. (1985). «Static and Cyclic Behaviour of Steel Beam-Column Connections». *Informe técnico*, Structural Research Studies. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Carolina del Sur (EEUU).
- Bahaari, M.R. y Sherbourne, A.N. (2000). «Behavior of Eight-Bolt Large Capacity Endplate Connections». *Computers and Structures*, (**77**), pp. 315–325.
- Baniotopoulos, C. C. (2000). «Numerical Simulation: Principles, Methods and Models». En: M. Ivanyi y C. C. Baniotopoulos (Eds.), *Semi-Rigid Connections in Structural Steelwork*, CISM Courses and Lectures, pp. 289–346. Springer Verlag, Udine (Italia).
- Barakat, A.M. y Chen, W.F. (1990). «Practical analysis of semi-rigid frames». *Engineering Journal, AISC*, **115(1)**, pp. 105–119.
- Bayo, E.; Cabrero, J.M. y Gil, B. (2006a). «An effective component-based method to model semi-rigid connections for the global analysis of steel and composite structures». *Engineering Structures*, **28(1)**, pp. 97–108.
- Bayo, E.; Gracia, J.; Cabrero, J.M. y Gil, B. (2006b). «Advanced global-member stability analysis of semi-rigid frames». En: *International colloquium on stability and ductility of structures*, Lisboa (Portugal).
- Bjorhovde, R.; Colson, A. y Brozetti, J. (1990). «Classification System for Beam-to-Column Connections». *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **116(11)**, pp. 3059–3076.
- Bursi, O.S. y Jaspart, J. P. (1998). «Basic Issues in the Finite Element Simulation of Extended End Plate Connections». *Computers & Structures*, **69**, pp. 361–382.
- Bursi, O.S. y Jaspart, J.P. (1997). «Calibration of a Finite Element Model for Isolated Bolted End-Plate Steel Connections». *Journal of Constructional Steel Research*, **44(3)**, pp. 225–262.
- Cabrero, J.M. y Bayo, E. (2004). «Uniones Semi-Rígidas en Estructuras de Acero: una Visión desde el Diseño». En: S. Hernández (Ed.), *CEA 2004. Congreso de la Estructura de Acero*, Artécnium, A Coruña (España).
- Cabrero, J.M. y Bayo, E. (2005a). «Development of practical design methods for steel structures with semi-rigid connections». *Engineering Structures*, **27(8)**, pp. 1125–1137.
- Cabrero, J.M. y Bayo, E. (2005b). «Modelado de uniones semi-rígidas en el análisis global de estructuras metálicas». En: *Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería*, p. 181. Granada, España.
- Cabrero, J.M. y Bayo, E. (2006a). «Three-dimensional semi-rigid major and minor axis steel joints. Part I. Experimental results». *Journal of Constructional Steel Research*.
- Cabrero, J.M. y Bayo, E. (2006b). «Three-dimensional semi-rigid major and minor axis steel joints. Part II. Theoretical model and validation». *Journal of Constructional Steel Research*.

- Campo Baeza, A. (1995). *La idea construida*. Capítulo Idea, luz y gravedad, bien temperadas. Sobre las bases de la Arquitectura. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1996.
- Castañeda, Joseph (1761). *Compendio de los diez libros de Arquitectura de Vitruvio por Claudio Perrault*. Comisión de Cultura del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos, Galería-librería Yebra, Consejería de Cultura del Consejo Regional, 1981.
- Celigüeta Lizarza, Juan Tomás (2000). *Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural*. Escuela Superior de Ingenieros Industriales - Universidad de Navarra, 1 edición.
- CEN (1996). *Eurocódigo 3: Proyecto de Estructuras de Acero. Parte 1-1: Reglas Generales y Reglas para Edificación (ENV 1993-1-1, Abril 1992; ENV 1993-1-1 AC, Octubre 1992)*. Aenor, Madrid (España).
- CEN (2005a). *Eurocode 3: Design of Steel Structures. Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings (EN 1993-1-1:2005)*. CEN.
- CEN (2005b). *Eurocode 3: Design of Steel Structures. Part 1.8: Design of Joints (EN 1993-1-8:2005)*.
- CeStruCo (2005). «CeStruCo (Continuing Education in Structural Connections). Structural Connections according to Eurocode 3. Frequently Asked Questions». CD-ROM.
- Chasten, C.P.; Lu, L.W. y Driscoll, G.C. (1992). «Prying and shear in end plate connection design». *Journal of Structural Engineering*, **118(5)**, pp. 3122–3136.
- Chen, W.F. (2000). *Practical Analysis for Semi-Rigid Frame Design*. World Scientific, Singapur.
- Chen, W.F.; Goto, Y. y Richard Liew, J.Y. (1996a). *Stability Design of Semi-Rigid Frames*. John Wiley & sons, Inc.
- Chen, W.F.; Goto, Y. y Richard Liew, J.Y. (1996b). *Stability Design of Semi-Rigid frames*. Capítulo Design of Semi-Rigid Frames Using Advanced Analysis, pp. 331–400. John Wiley & Sons, Inc.
- Chen, W.F. y Kishi, N. (1987). «Moment-Rotation Relation of Top- and Seat-Angle Connections». *Informe técnico CE-STR-87-4*, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Purdue (EEUU).
- Chen, W.F. y Kishi, N. (1989). «Semi-Rigid Steel Beam-to-Column Connections: Database and Modelling». *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **115(7)**, pp. 105–119.
- Chen, W.F. y Lui, E.M. (1991). *Stability design of steel frames*. Capítulo Design of Semi-Rigid frames, pp. 343–371. CRC Press.
- Chen, W.F. y Sohal, I. (1995). *Plastic Design and Second-Order Analysis of Steel Frames*. Springer-Verlag.
- Chen, W.F. y Toma, S. (1994). *Advanced Analysis of Steel Frames: Theory, Software and Applications*. New Directions in Civil Engineering. CRC Press, Inc.
- Christopher, J.E. y Bjorhovde, R. (1998). «Response Characteristics of Frames with Semi-Rigid Connections». *Journal of Constructional Steel Research*, **46(1-3)**, pp. 253–254.

- Citipitioglu, A.M.; Haj-Ali, R.M. y White, D.W. (2002). «Refined 3D Finite Element Modeling of Partially-Restrained Connections Including Slip». *Journal of Constructional Steel Research*, **58**, pp. 995–1013.
- Colson, A. (1991). «Theoretical Modeling of Semirigid Connections Behaviour». *Journal of Constructional Steel Research*, **19**, pp. 213–224.
- Corbusier, Le (1924). *El espíritu nuevo en arquitectura ; En defensa de la arquitectura*. Capítulo El espíritu nuevo en arquitectura. Comisión de Cultura del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos, 1983.
- Costa Neves, L.; Simoes da Silva, L. y Vellasco, Pedro C.G. da S. (2005). «A Model for Predicting the Stiffness of Beam to Concrete Filled Column and Minor Axis Joints under Static Monotonic Loading». En: B. Hoffmeister y O. Hechler (Eds.), *Eurosteel 2005: 4th European Conference on Steel and Composite Structures*, volumen C, pp. 4.10–131–4.10–138. Verlag Mainz, Maastricht (Holanda).
- Costa Neves, L.F. da (2004). *Comportamento monotónico e cíclico de ligações de eixo fraco e tubulares em estruturas metálicas e mistas aço-betão*. Tesis doctoral, Departamento de Ingeniería Civil. Facultad de Ciencias y Tecnología. Universidad de Coimbra (Portugal).
- Couchman, G.H. (1997). *Design of Semi-continuous Braced Frames*. Specialist Design Guides. The Steel Construction Institute, Ascot (Reino Unido), reimpresión edición.
- da S. Vellasco, P.C.G.; de Andrade, S.A.L.; da Silva, J.G.S.; de Lima, L.R.O. y Brito Jr., O. (2006). «A parametric analysis of steel and composite portal frames with semi-rigid connections». *Engineering Structures*, **28**, pp. 543–556.
- Davies, G. y Packer, J.A. (1982). «Predicting the strength of branch plate-RHS connections for punching shear». *Canadian Journal of Civil Engineering*, **9(3)**, pp. 458–467.
- de la Sota, Alejandro (1969). *Alejandro de la Sota : escritos, conversaciones, conferencias*. Capítulo Conferencia en Pamplona. Gustavo Gili, Fundación Alejandro de la Sota, 2002.
- de Lima, L.R.O.; de Andrade, S.A.L. y da S.Vellasco, P.C.G. (1999). «Bolted Semi-Rigid Connections in the Column's Minor Axis». En: J. Studnicka; F. Wald y J. Machacek (Eds.), *Proceedings of the Eurosteel'99 Conference*, pp. 473–476. Czech Technical University in Prague, Praga (República Checa).
- De Lima, L.R.O.; De Andrade, S.A.L.; Da S.Vellasco, P.C.G. y Da Silva, L.S. (2002). «Experimental and Mechanical Model for Predicting the Behaviour of Minor Axis Beam-to-Column Semi-Rigid Joints». *International Journal of Mechanical Sciences*, **44**, pp. 1047–1065.
- Deierlein, G.G.; Hsieh, S.H. y Shen, Y.J. (1990). «Computer-Aided Design of Steel Structures with Flexible Connections». pp. 9.1–9.21. AISC, Chicago, Illinois (EEUU).
- Dhillon, B.S. y O'Malley III, J.W. (1999). «Interactive Design of Semirigid Steel Frames». *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **125(5)**, pp. 556–564.
- Disque, R.O. (1975). «Directional moment connections — a proposed design method for unbraced steel frames». *Engineering Journal, AISC*, **12(1)**, pp. 14–18.
- Dubina, D.; Greccea, D. y Zaharia, R. (1996). «Evaluation on Static and Dynamic Structural Coefficient of Steel Frames with Semi-Rigid Joints Via Numerical Simulations». En: A. Bjorhovde; A. Colson y R. Zandonini (Eds.), *Connections in Steel Structures III: Behaviour, strength and design*, pp. 349–360. Pergamon, Trento (Italia).

- Engel, H. (2001). *Sistemas de estructuras*. Gustavo Gili.
- Faella, C.; Piluso, V. y Rizzano, G. (1994). «Connection Influence on the Elastic and Inelastic Behaviour of Steel Frames». En: *International Workshop and Seminar on Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas, STESSA '94*, Timisoara (Rumania).
- Faella, C.; Piluso, V. y Rizzano, G. (1996). «Some proposals to improve EC3-Annex J approach for predicting the moment–rotation curve of extended end plate connections». *Costruzioni Metalliche*, **127(4)**.
- Faella, C.; Piluso, V. y Rizzano, G. (2000). *Structural Steel Semirigid Connections: Theory, Design and Software*. New Directions in Civil Engineering. CRC Publishers, Boca Ratón, Florida (EEUU).
- France, J.E.; Davison, J.B. y Kirby, P.A. (1999a). «Moment-Capacity and Rotational Stiffness of Endplate Connections to Concrete Filled Tubular Columns with Flowdrill Connectors». *Journal of Constructional Steel Research*, **50(1)**, pp. 35–48.
- France, J.E.; Davison, J.B. y Kirby, P.A. (1999b). «Strength and Rotational of Moment Connections to Tubular Columns Using Flowdrill Connectors». *Journal of Constructional Steel Research*, **50(1)**, pp. 1–14.
- Frye, J.M. y Morris, G.A. (1975). «Analysis of Flexibly Connected Steel Frames». *Canadian Journal of Civil Engineering*, **(2)**, pp. 280–291.
- Gantes, C.J. y Lemonis, M.E. (2003). «Influence of Equivalent Bolt Length in Finite Element Modeling of T-Stub Steel Connections». *Computers & Structures*, **81**, pp. 595–604.
- Gere, J.M. y Timoshenko, S.P. (1986). *Mecánica de materiales*. Grupo Editorial Iberoamérica, 2 edición.
- Gerstle, K.H. y Ackroyd, M.H. (1989). «Behavior and Design Of Flexibly Connected Building Frames». En: *Proceedings of the 1989 National Steel Construction Conference*, pp. 1.1–1.28. AISC, Chicago, Illinois (EEUU).
- Geschwindmer, L.F. (1991). «A Simplified Look at Partially Restrained Beams». *Engineering Journal of American Institute of Steel Construction, Inc.*, **28**, pp. 73–78.
- Gibbons, C.; Kirby, P.A. y Nethercot, D.A. (1991). «Experimental Behaviour of 3-D Column Subassemblages with Semi-Rigid Joints». *Journal of Constructional Research*, **19**, pp. 235–246.
- Gil, B.; Cabrero, J.M.; Goñi, R. y Bayo, E. (2003). «An Assessment of the Rotation Capacity Required by Structural Hollow Sections for Plastic Analysis». En: M.A. Jaurrieta; A. Alonso y J.A. Chica (Eds.), *Tubular Structures X*, pp. 277–292. A.A. Balkema Publishers, Lisse (Holanda).
- Girão Coelho, A.; Bijlaard, F.S.K.; Gresnigt, A.M. y Simoes da Silva, L. (2004a). «Experimental Assessment of the Behaviour of Bolted T-Stub Connections Made Up of Welded Plates». *Journal of Constructional Steel Research*, **60**, pp. 269–311.
- Girão Coelho, A.; Simoes da Silva, L. y Bijlaard, F.S.K. (2005). «Ductility Analysis of End Plate Beam-to-Column Joints». En: B. Hoffmeister y O. Hechler (Eds.), *Eurosteel 2005: 4th European Conference on Steel and Composite Structures*, volumen C, pp. 4.10–123–4.10–130. Verlag Mainz, Maastricht (Holanda).

- Girão Coelho, A.M.; Bijlaard, F.S.K. y Simoes da Silva, L. (2004b). «Experimental Assesment of the Ductility of Extended End Plate Connections». *Engineering Structures*, **26**, pp. 1185–1206.
- Goldberg, J.E. y Richard, R.M. (1963). «Analysis of Non-linear Structures». *Journal of the Structural Division, ASCE*, **89**.
- Gomes, F.C.T. (1990). «Etat Limite Ultime de la Résistance de L'âme d'une Colonne dans un Assemblage Semi-Rigide d'axe Flexible». *Informe técnico 203*, MSM - Universidad de Lieja, Lieja (Bélgica).
- Gomes, F.C.T.; Kuhlmann, U.; de Matteis, G. y Mandara, A. (1998). «Recent Developments on Classification of Joints». En: R. Maquoi (Ed.), *COST C1. Control of the Semi-Rigid Behaviour of Civil Engineering Structural Connections. Proceedings of the International Conference*, pp. 187–198. European Communities, Lieja (Bélgica).
- Gomes, F.C.T. y Neves, L.F.C. (1996). «Influence of Semi-Rigid Connections on the Behaviour of Frames. Classification of Connections». En: *Proceedings of the 5th International Colloquium on Structural Stability*, SSRC, Rio de Janeiro (Brasil).
- Goto, Y. y Miyashita, S. (1995). «Validity of Classification Systems of Semirigid Connections». *Engineering Structures*, **17(8)**, pp. 544–553.
- Goto, Y. y Miyashita, S. (1998). «Classification System for Rigid and Semirigid Connections». *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **124(7)**, pp. 750–757.
- Goverdhan, A.V. (1983). *A Collection of Experimental Moment-Rotation Curves and Evaluation of Prediction Equations for Semi-Rigid Connections*. Tesina o Proyecto, Universidad Vanderbilt, Nashville, Tennessee (EEUU).
- Goverdhan, A.V. y Lindsey, S.D. (1996). «PR Connections in Design Practice». En: R. Bjorhovde; A. Colson y R. Zandonini (Eds.), *Connections in Steel Structures III: Behaviour, Strength and Design*, pp. 505–514. Pergamon, Trento (Italia).
- Hasan, R.; Kishi, N. y Chen, W.F. (1998). «A New Nonlinear Connection Clasification System». *Journal of Constructional Steel Research*, **47**, pp. 119–140.
- Hasan, R.; Kishi, N.; Chen, W.F. y Komuro, M. (1995). «Evaluation of Rigidity of Extended End-Plate Connections by Utilizing Updated Data Base». *Informe técnico CE-STR-95-19*, Universidad de Purdue (EEUU).
- Hasan, R.; Kishi, N.; Chen, W.F. y Komuro, M. (1997). «Evaluation of Rigidity of Extended End-Plate Connections». *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **123(12)**, pp. 1595–1602.
- Hayalioglu, M. S. y Degertekin, S. O. (2004a). «Design of Non-Linear Steel Frames for Stress and Displacement Constraints with Semi-Rigid Connections Via Genetic Optimization». *struct multidisc optim*, **27**, pp. 259–271.
- Hayalioglu, M. S. y Degertekin, S. O. (2004b). «Genetic Algorithm Based Optimum Design of Non-Linear Steel Frames with Semi-Rigid Connections». *Steel and Composite Structures*, **4(6)**, pp. 453–469.
- Heiddegger, Martin (1951). *Chillida-Heiddegger-Husserl. El concepto de espacio en la filosofía y la plástica del siglo XX*. Capitulo Bauen-Wohnen-Denken (Construir-Habitar-Pensar). Universidad del País Vasco, 1990.



- Hoffmann, K. (1989). *An introduction to measurements using strain gages*. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt (Alemania).
- Ivanyi, M. (2000). «Direct Design Method of Steel Frames with Semi-Rigid Connections». En: M. Ivanyi y C. C. Baniotopoulos (Eds.), *Semi-Rigid Connections in Structural Steelwork*, CISM Courses and Lectures, pp. 87–98. Springer Verlag, Udine (Italia).
- Janss, J.; Jaspert, J.P. y Maquoi, R. (1987). «Ensayo T101.010».
- Jaspert, J. P. (2000). «Integration of the Joint Actual Behaviour into the Frame Analysis and Design Process». En: M. Ivanyi y C. C. Baniotopoulos (Eds.), *Semi-Rigid Connections in Structural Steelwork*, CISM Courses and Lectures, pp. 103–166. Springer Verlag, Udine (Italia).
- Jaspert, J.P. (1991). *Etude de la Semi-Rigidite des Noeuds Poutre-Colonne et son Influence sur la Resistance et la Stabilité des Ossatures in Acier*. Tesis doctoral, Universidad de Lieja.
- Jaspert, J.P.; Steenhuis, M. y Weinand, K. (1995). «The Stiffness Model of Revised Annex J of Eurocode 3». En: Kounadis (Ed.), *Eurosteel 2005: 4th European Conference on Steel and Composite Structures*, Balkema, Trento (Italia).
- Johansen, K.W. (1962). *Yield-Line Theory*. Cement and Concrete Association, Londres (Reino Unido).
- Kameshki, E.S. y Saka, M.P. (2001). «Optimum Design of Nonlinear Steel Frames with Semi-Rigid Connections Using a Genetic Algorithm». *Computers & Structures*, **79**, pp. 1593–1604.
- Kanchanalai, T. y Suparp, S. (2005). «Experimental Behaviour of Steel Beam-Column Subassemblages with Semi-Rigid Connections». En: B. Hoffmeister y O. Hechler (Eds.), *Eurosteel 2005: 4th European Conference on Steel and Composite Structures*, volumen C, pp. 4.10–205–4.10–212. Verlag Mainz, Maastricht (Holanda).
- Kim, S-E. y Kang, K-W. (2002). «Large-scale testing of space steel frame subjected to non-proportional loads». *International Journal of Solids and Structures*, **39**, pp. 6411–6427.
- Kim, S-E.; Kang, K-W. y Lee, D-H. (2003). «Full-scale testing of space steel frame subjected to proportional loads». *Engineering Structures*, **25**, pp. 69–79.
- Kim, S.E. y Chen, W.F. (1996a). «Practical Advanced Analysis for Unbraced Steel Frame Design». *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **122(11)**, pp. 1259–1265.
- Kim, W.S. y Chen, W.F. (1996b). «Practical Advanced Analysis for Semi-Rigid Frame Design». *Engineering Journal*, **35(4)**, pp. 129–141.
- Kim, Y. y Chen, W.F. (1998). «Practical Analysis for Partially Restrained Frame Design». *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **124(7)**, pp. 736–749.
- Kim, Y. y Chen, W.F. (2000). «LFRD Frame Design with PR Connections». En: W.F. Chen (Ed.), *Practical Analysis for Semi-Rigid Frame Design*, pp. 17–94. World Scientific, Singapur.
- Kishi, N. (2000). «PR Connection Database». En: W.F. Chen (Ed.), *Practical Analysis for Semi-Rigid Frame Design*, World Scientific, Singapur.

- Kishi, N.; Chen, W.F.; Got, Y. y Matsuoka, K.G. (1986). «Data Base of Steel Beam-to-Column Connections». *Informe técnico Struct. Eng. Rep. No. CE-STR-86-26*, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Purdue Univ, West Lafayette, Indiana (EEUU).
- Kishi, N.; Chen, W.F. y Goto, Y. (1997a). «Effective Length Factor of Columns in Semirigid and Unbraced Frames». *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **123(3)**, pp. 313–320.
- Kishi, N.; Chen, W.F.; Matsuoka, K.G. y Nomachi, S.G. (1988). «Moment-Rotation Relation of Top- and Seat-Angle with Double Web-Angle Connections». En: R. Bjorhovde; J. Brozzetti y A. Colson (Eds.), *Proceedings of the State-of-the-Art Workshop on Connections and the Behavior, Strength and Design of Steel Structures*, pp. 121–134. Elsevier, Escuela Superior de Cachan (Francia).
- Kishi, N.; Hasan, R.; Chen, W.F. y Goto, Y. (1997b). «Study of Eurocode 3 Steel Connection Clasification». *Journal of Constructional Steel Research*, **19(9)**, pp. 772–779.
- Korol, R. y Mirza, F. (1982). «Finite Element Analysis of RHS T-Joints». *Journal of the Structural Division, ASCE*, **108(ST9)**, pp. 2081–2098.
- Kosteski, N.; Packer, J.A. y Puthli, R.S. (2003a). «A Finite Element Method Based Yield Load Determination Procedure for Hollow Structural Section Connections». *Journal of Constructional Steel Research*, **59**, pp. 453–471.
- Kosteski, N.; Packer, J.A. y Puthli, R.S. (2003b). «A finite elemento method based yield load determination procedure for hollow structural section connections». *Journal of Constructional Steel Research*, **59(4)**, pp. 427–559.
- Kozlowski, A. (2005). «Guidelines for Predesign of Steel Frames with Semi-Rigid Joints». En: B. Hoffmeister y O. Hechler (Eds.), *Eurosteel 2005: 4th European Conference on Steel and Composite Structures*, volumen C, pp. 4.10–197–4.10–204. Verlag Mainz, Maastricht (Holanda).
- Krawinkler, H.; Bertero, V.V. y Popov, E.P. (1971). «Inelastic Behaviour of Steel Beam-to-Column Subassemblages». *Informe técnico Informe UCB/EERC-71/7*, Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica, Universidad de California, Berkeley (EEUU).
- Krawinkler, H.; Bertero, V.V. y Popov, E.P. (1973). «Further Studies on Seismic Behaviour of Steel Beam-to-Column Subassemblages». *Informe técnico Informe UCB/EERC-73/27*, Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica, Universidad de California, Berkeley (EEUU).
- Krishnamurthy, N. (1978a). «Analytical Investigation of Bolted Stiffened Tee-Stubs». *Informe técnico Report CE-MBMA-1902*, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Vanderbilt (EEUU).
- Krishnamurthy, N. (1978b). «Fresh Look at Bolted End-Plate Behaviour and Design». *Engineering Journal, AISC*, **2(15)**, pp. 39–49.
- Krishnamurthy, N. y Graddy, D. (1976). «Correlation between 2 and 3-dimensional finite element analysis of steel bolted end-plate connections». *Computers & Structures*, **6**, pp. 381–389.
- Kuhlmann, U. y Kühnemund, F. (2000). «Procedures to Verify Rotation Capacity». En: M. Ivanyi y C. C. Baniotopoulos (Eds.), *Semi-Rigid Connections in Structural Steelwork*, CISM Courses and Lectures, pp. 167–225. Springer Verlag, Udine (Italia).

- Kukreti, A.R.; Murray, J.M. y Abolmaali, A. (1987). «End-Plate Connection Moment-Rotation Relationship». *Journal of Constructional Steel Research*, **8**, pp. 137–157.
- Kukreti, A.R.; Murray, T.M. y Ghassemieh, M. (1989). «Finite element modeling of large capacity stiffened steel tee-hanger connections». *Computers & Structures*, **32(2)**, pp. 409–422.
- Lemonis, M.E. y Gantes, C.J. (2005). «An Analytical Elastic-Plastic Model for T-Stub Steel Connections». En: B. Hoffmeister y O. Hechler (Eds.), *Eurosteel 2005: 4th European Conference on Steel and Composite Structures*, volumen C, pp. 4.10–41–4.10–48. Verlag Mainz, Maastricht (Holanda).
- Leon, R.T. y Hoffman, J.J. (1996). «Plastic Design of Semi-Rigid Frames». En: R. Bjorhovde; A. Colson y R. Zandonini (Eds.), *Connections in Steel Structures III: Behaviour, Strength and Design*, pp. 211–222. Pergamon, Trento (Italia).
- Li, K.P. (1996). *Contribution to the numerical simulations of three-dimensional sheet forming by finite element method, chapter 2*. Tesis doctoral, MSM, Universidad de Lieja, Lieja (Bélgica).
- Li, T. Q.; Choo, B.S. y Nethercot, D.A. (1995). «Determination of Rotation Capacity Requirements for Steel and Composite Beams». *Journal of Constructional Steel Research*, **32**, pp. 303–332.
- LRFD (1986). *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings*. American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois (EEUU).
- LRFD (1994). *Manual of Steel Construction - Load and Resistance Factor Design (LRFD)*. volumen I. Structural Members, Specifications, & Codes. American Institute of Steel Construction (AISC), Chicago, Illinois (EEUU), 2 edición.
- LRFD (1998). *Manual of Steel Construction. Load & Resistance Factor Design*. volumen II: Connections, Capítulo Simple Shear and PR Moment Connections, pp. 9.1–9.264. American Institute of Steel Construction, 2 revisión de la 2 edición.
- LRFD (2003a). *Manual of Steel Construction. Load and Resistance Factor Design*. Capítulo Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings. American Institute of Steel Construction, 3 edición.
- LRFD (2003b). *Manual of Steel Construction. Load and Resistance Factor Design*. Capítulo Design of flexible moment connections, pp. 11–1–11–18. American Institute of Steel Construction, 3 edición.
- LRFD (2003c). *Manual of Steel Construction. Load and Resistance Factor Design*. American Institute of Steel Construction, 3 edición.
- Lu, L.H.; Winkel, G.D.; Yu, Y. y Wardenier, J. (1994). «Deformation limit for the ultimate strength of hollow section joints». En: *Proceedings of the Sixth International Symposium on Tubular Structures*, Melbourne (Australia).
- Lui, E.M. (1985). *Effects of Connection Flexibility and Panel Zone Deformation on the Behavior of Plane Steel Frames*. Tesis doctoral, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Purdue (EEUU), West Lafayette, Indiana, Estados Unidos.

- Maggi, Y.I.; Gonçalves, R.M. y Tristao, G.A. (2005). «Experimental and Numerical Behavior of Bolted T-Stubs Applied for Design of Extended End Plate Connections». En: B. Hoffmeister y O. Hechler (Eds.), *Eurosteel 2005: 4th European Conference on Steel and Composite Structures*, volumen C, pp. 4.10–9–4.10–16. Verlag Mainz, Maastricht (Holanda).
- Mahfouz, S.Y. (1999). *Design Optimization of Structural Framework: Design Optimization of Steel Frame Structures According to the British Codes of Practice Using a Genetic Algorithm*. Tesis doctoral, Universidad de Bradford (Reino Unido).
- Moncarz, P.D. y Gestle, K.H. (1981). «Steel Frames with Nonlinear Connections». *Journal of Structural Division, ASCE*, **107**, pp. 1427–1441.
- Moneo, Rafael (1976). *La llegada de una nueva técnica a la arquitectura (conferencia)*. ET-SAB.
- Murray, T.M. y Shoemaker, W. L. (2002). *Flush and Extended Multiple Row: Moment End-Plate Connections*. Steel Design Guide Series. American Institute of Steel Construction, Chicago (EEUU).
- Murray, T.M. y Sumner, E.A. (2004). *Extended End-Plate Moment Connections*. Número 4 en Steel Design Guide. American Institute of Steel Construction, 2 edición.
- Nethercot, D.A. y Chen, W.F. (1988). «Effects of Connections on Columns». *Journal of Constructional Steel Research*, pp. 201–239.
- Nethercot, D.A.; Li, T. Q. y Ahmed, B. (1998). «Unified Classification System for Beam-to-Column Connections». *Journal of Constructional Steel Research*, **45(1)**, pp. 39–65.
- Neves, L.F.C.; Simões da Silva, L. y da S. Vellasco, P.C.G. (2003). «Characterisation of the Behaviour of the Column Web Loaded in Out-of-Plane Bending in the Framework of the Component Method». En: B.H.V. Topping (Ed.), *Ninth International Conference on Civil and Structural Engineering Computing*, Civil-Comp Press.
- Oliveira Bessa, William; Loureiro Ribeiro, Luiz; da Costa Neves, Luis Filipe y Carvalho Teixeira.Gomes, Fernando (2005). «A 3D numerical analysis of minor-axis steel beam-to-column end plate connections». En: B. Hoffmeister y O. Hechler (Eds.), *Eurosteel 2005: 4th European Conference on Steel and Composite Structures*, volumen C, pp. 4.10–221–4.10–228. Verlag Mainz, Maastricht (Holanda).
- Packer, J.; Morris, G. y Davies, G. (1984). «A Limit States Design Method for Welded Tension Connections to I-Section webs». *Journal of Constructional Steel Research*, **12**, p. 3353.
- Pavlov, A. (2005). «Behaviour Analysis of a Steel Frame with Rigid and Semi-Rigid Joints». En: B. Hoffmeister y O. Hechler (Eds.), *Eurosteel 2005: 4th European Conference on Steel and Composite Structures*, volumen C, pp. 4.10–81–4.10–88. Verlag Mainz, Maastricht (Holanda).
- Picard, A.; Giroux, Y-M. y Brun, P. (1976). «Discussion of Analysis of Flexibly Connected Steel Frames». *Canadian Journal of Civil Engineering*, **3(2)**, pp. 350–352.
- Piluso, V.; Faella, C. y Rizzano, G. (2001). «Ultimate Behavior of Bolted T-Stubs. II: Model Validation». *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **127(6)**, pp. 694–704.
- Pui Tak Chui, P. y Lai Chan, S. (1997). «Vibration and Deflection Characteristics of Semi-Rigid Jointed Frames». *Journal of Constructional Steel Research*, **19(12)**, pp. 1001–1010.

- Quaroni, L. (1977). *Proyectar un edificio. Ocho lecciones de arquitectura*. Xarait, 1987.
- Raftoyiannis, I.G. (2005). «The effect of semi-rigid joints and an elastic bracing system on the buckling load of simple rectangular steel frames». *Journal of Constructional Steel Research*, **61**, pp. 1205–1225.
- Ramberg, W. y Osgood, W.R. (1943). «Description of Stress-Strain Curves by three-Parameters». *Informe técnico 902*, National Advisory Committee for Aeronautics.
- Rex, C.O. y Goverdhan, A.V. (2000). «Design And Behavior Of A Real PR Building». En: *Fourth International Workshop on Connections in Steel Structures*, pp. 94–105. Roanoke, Virginia (EEUU).
- Richard, R.M. y Abbott (1975). «Versatile Elastic-Plastic Stress-Strain Formula». *Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE*, **101(EM4)**, pp. 511–515.
- Richard Liew, J.Y.; Chen, W.F. y Chen, H. (2000). «Advanced Inelastic Analysis of Frame Structures». *Journal of Constructional Steel Research*, **55**, pp. 245–265.
- Salter, P.R.; Couchman, G.H. y Anderson, D. (1999). *Wind-Moment Design of Low Rise Frames*. Specialist Design Guides. The Steel Construction Institute, Ascot (Reino Unido).
- Schleich, J.B.; Chantrain, P.; Chabrolin, B.; Galéa, Y.; Bureau, A.; Anza, J. y Espiga, F. (1998). *Promotion of plastic design for steel and composite cross sections: new required conditions in Eurocodes 3 and 4, practical tools for designers*. European commission.
- Sherbourne, A.N. y Bahaari, M.R. (1994). «3-D simulation of end-plate bolted connections». *Journal of Structural Engineering*, **120(11)**, pp. 3122–3136.
- Sherbourne, A.N. y Bahaari, M.R. (1997). «Finite element prediction of end-plate bolted connection behaviour. I: parametric study». *Journal of Structural Engineering*, **123(2)**, pp. 157–164.
- Silva, L.A.P.; Neves, L.F.N. y Gomes, F.C.T. (2003). «Rotational Stiffness of Rectangular Hollow Sections Composite Joints». *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **129(4)**, pp. 487–494.
- Simoës da Silva, L. y Girão Coelho, A. (2001). «An Analytical Evaluation of the Response of Steel Joints under Bending and Axial Force». *Computers & Structures*, **79**, pp. 873–881.
- Simoës da Silva, L.; Santiago, A. y Vila Real, P. (2002). «Post-Limit Stiffness and Ductility of End-Plate Beam-to-Column Steel Joints». *Computers & Structures*, **80**, pp. 515–531.
- Sánchez, G. (1999a). *Diseño óptimo de estructuras metálicas con uniones semirrígidas y comportamiento no lineal*. Tesis doctoral, Departamento de Ingeniería Mecánica y Energética. Universidad de Murcia.
- Sánchez, G. (1999b). *Diseño óptimo de estructuras metálicas con uniones semirrígidas y comportamiento no lineal*. Ph. d., Departamento de Ingeniería Mecánica y Energética. Universidad de Murcia.
- Sophianopoulos, D.S. (2003). «The Effect of Joint Flexibility on the Free Elastic Vibration Characteristics of Steel Plane Frames». *Journal of Constructional Steel Research*, **59**, pp. 995–1008.

- S.R.A.C. (2003). *COSMOS/M 2.8. User's Guide*. Structural Research & Analysis Corp., 1 edición.
- SSEDTA (1999). «Lección 17: Caracterización e Idealización de las Uniones que Soportan Momento». En: SSEDTA (Ed.), *Eurocódigo para Estructuras de Acero. Desarrollo de una Propuesta Transnacional*, .
- Steenhuis, M. (1999). *Momentverbindingen*. volumen SG/TC10a. Stalbouwkundig Genootschap, Rotterdam (Holanda).
- Steenhuis, M.; Gresnigt, N. y Weynand, K. (1994). «Pre-Design of Semi-Rigid Joints in Steel Frames». En: F. Wald (Ed.), *Cost C1: Proceedings of the Second State of the Art Workshop*, Praga (República Checa).
- Steenhuis, M.; Weynand, K. y Gresnigt, A.M. (1998). «Strategies for Economic Design of Unbraced Steel Frames». *Journal of Constructional Steel Research*, **46(1-3)**, pp. 88–89.
- Sumner, E.A.; Mays, T.W. y Murray, T.M. (2000). «End-Plate Moment Connections: Test Results and Finite Element Method Validation». En: *Fourth International Workshop on Connections in Steel Structures*, pp. 82–93. Roanoke, Virginia (Estados Unidos).
- Torroja, Eduardo (1999). *Las estructuras de Eduardo Torroja vistas por Eduardo Torroja*. Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento.
- Troup, S.; Xiao, R.Y. y Moy, S.S.J. (1998). «Numerical Modelling of Bolted Steel Joints». *Journal of Constructional Steel Research*, **46(1-3)**, p. 269.
- Tsai, K.C. y Popov, E.P. (1988). «Steel Beam-Column Joints in Seismic Moment Resisting Frames». *Informe técnico Report UCB/EERC-88/19*, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley (Estados Unidos).
- Tschemmernegg, F. y Huber, G. (1998). «Classification and Assessment of Joints». *Informe técnico Doc. C1/WD2/98-02*, COST C1 WG2 Meeting.
- Tschemmernegg, F. y Humer, C. (1988a). «The Design of Structural Steel Frames under Consideration of the Nonlinear Behaviour of Joints». *Journal of Constructional Steel Research*, **11**.
- Tschemmernegg, F. y Humer, C. (1988b). «A Non-Linear Joint Model for the Design of Structural Steel Frames». *Costruzioni Metalliche*, **1**.
- UNE (1994). *UNE-EN 10034:1994. Perfiles I y H de acero estructural. Tolerancias dimensionales y de forma. (Versión oficial EN 10034:1993)*. AENOR.
- UNE (2002). *UNE-EN 10002-1: Materiales metálicos. Ensayos de tracción. Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente*. AENOR, julio 2002 edición.
- van der Rohe, Mies (1938). *Mies van der Rohe : la palabra sin artificio : reflexiones sobre arquitectura, 1922-1968*. Capítulo Discurso de ingreso como director del Departamento de Arquitectura de Armour Institute of Technology (AIT). El Croquis Editorial, 1995.
- van Keulen, D.C.; Nethercot, D.A.; Snijder, H.H. y Bakker, M.C.M. (2003). «Frame Analysis Incorporating Semi-Rigid Joint Action: Applicability of the Half Initial Secant Stiffness Approach». *Journal of Constructional Steel Research*, **59**, pp. 1083–1100. Eurocode 3.

- Wanzek, T. y Gebbeken, N. (1999). *Cost C1 WG6 Report*. Capítulo Numerical aspects for the simulation of end plate connections.
- Wu, F.S. y Chen, W.F. (1990). «A design model for semi-rigid connections». *Engineering Structures*, **12(2)**, pp. 88–97.
- Wyatt, T.A. (1989). *Design guide on the vibration of floors*. The Steel Construction Institute and CIRIA.
- Xiao, Robert Y. y Perneti, Fabio (2005). «Numerical analysis of steel and composite steel and concrete connections». En: B. Hoffmeister y O. Hechler (Eds.), *Eurosteel 2005: 4th European Conference on Steel and Composite Structures*, volumen C, pp. 4.10–253–4.10–259. Verlag Mainz, Maastricht (Holanda).
- Xu, L. (2000a). «Approximate Analysis for Design of Semi-Rigid Steel Frames». En: W.F. Chen (Ed.), *Practical Analysis for Semi-Rigid Frame Design*, World Scientific, Singapur.
- Xu, L. (2000b). «Critical Buckling Loads of Semi-Rigid Steel Frames». En: *Fourth International Workshop on Connections in Steel Structures*, pp. 117–127. Roanoke, Virginia (EEUU).
- Xu, L. (2000c). «Practical Computer-Based Analysis of Semi-Rigid Steel Frames». En: W.F. Chen (Ed.), *Practical Analysis for Semi-Rigid Frame Design*, World Scientific, Singapur.
- Xu, L. (2001). «On the Minimum-Maximum Bending Moment and the Least-Weight Design of Semi-Rigid Beams». *Journal of the International Society for Structural and Multidisciplinary Optimization*, **21(4)**, pp. 316–321.
- Yee, Y.L. y Melchers, R.E. (1986). «Moment-Rotation Curves for Bolted Connections». *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **112(3)**, pp. 615–635.
- Ziemian, R.D. y McGuire, W. (2000). «Mastan 2, v 1.0».
- Zoetemeijer, P. (1983). «Summary of the Research on Bolted Beam-to-Column Connections (period 1978–1983)». *Informe técnico 6-85-M*, Steven Laboratory, Delft (Holanda).
- Zumthor, Peter (1988). *Pensar la arquitectura*. Capítulo Una intuición de las cosas. Gustavo Gili, 2004.





Se terminó esta Tesis Doctoral el 24 de mayo de 2006, festividad de María Auxiliadora.

Fue redactada con el sistema de tipografía L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X creado por Leslie Lamport y la clase memoir de Peter Wilson.

La fuente empleada en el cuerpo del texto es Computer Modern Bright, diseñada por Walter Schmidt.