

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	2
1.1 Marco general.....	2
1.2 Objetivos.....	6
1.3 Importancia de la investigación.....	7
1.4 Contenido del documento.....	7
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE.....	12
2.1 Introducción.....	12
2.2 Evolución histórica.....	13
2.3 Modelos 1D.....	14
2.3.1 Breve revisión de las teorías de vigas.....	15
2.3.1.1 Teoría de vigas de Euler-Bernouilli (EBT).....	15
2.3.1.2 Teoría de vigas de Timoshenko (TBT).....	17
2.3.1.3 Teoría de vigas de tercer orden (Reddy).....	19
2.3.1.4 Teorías de orden superior.....	21
2.3.2 Aplicaciones a elementos de hormigón.....	22
2.3.2.1 Modelo de Guedes et al. (1994) [25].....	23
2.3.2.2 Modelo de Rahal y Collins (1995) [56].....	24
2.3.2.3 Modelo de Martinelli (1998) [37].....	27
2.3.2.4 Modelo de Ranzo y Petrangeli (1998) [58].....	29
2.3.2.5 Modelo de Marini y Spacone (2006) [36].....	30
2.3.2.6 Modelo de Navarro (1999) [44].....	31
2.3.2.7 Modelo de Petrangeli et al. (1999) [50].....	34
2.3.2.8 Modelo de Vecchio y Collins (1988) [84].....	35
2.3.2.9 Modelo de Bentz (2000) [8].....	37
2.3.2.10 Modelo de Remino (2004) [64].....	38
2.3.2.11 Modelo de Bairán (2005) [5].....	39
2.3.2.12 Modelo de Saritas (2006) [67].....	42
2.3.2.13 Modelo de Navarro et al. (2007) [45].....	42
2.3.2.14 Modelo de Ceresa et al. (2009) [13].....	44
2.3.2.15 Modelo de Kotronis (2000) [29].....	45
2.4 Modelos 2D.....	45
2.4.1 Modelo de Vecchio (1989) [85].....	45
2.4.2 Modelo de Stevens et al. (1991) [77].....	47
2.5 Modelos 3D.....	49
2.5.1 Modelo de Vecchio y Selby (1991) [87].....	49

CAPÍTULO 3. MODELO TEÓRICO DE CORRECCIÓN DE CORTANTE..	54
3.1 Descripción del modelo teórico de corrección de cortante	54
3.1.1 Hipótesis cinemática de corrección de cortante.....	54
3.1.2 Desarrollo de la hipótesis cinemática.....	57
3.1.3 Resolución del sistema de ecuaciones.....	61
3.1.3.1 Resolución del sistema 1	62
3.1.3.2 Resolución del sistema 2	62
3.1.3.3 Parámetros de deformación necesarios	63
3.2 Modelo general de corrección de cortante.....	65
3.2.1 Interpolación lineal	65
3.2.2 Interpolación parabólica	67
3.3 Modelo parábola-recta	69
3.3.1 Formulación analítica de la función parábola-recta	70
3.4 Implementación a nivel elemento	73
3.5 Discretización en elementos finitos	74
3.5.1 Elemento finito parabólico de Timoshenko	74
3.5.2 Vector derivada de deformaciones seccionales	78
3.5.3 Elemento finito cúbico de Timoshenko.....	79
3.6 Extrapolación del modelo a 3D.....	82
CAPÍTULO 4. ECUACIONES CONSTITUTIVAS.....	88
4.1 Comportamiento del acero (1D)	89
4.2 Comportamiento del hormigón armado (2D).....	90
4.2.1 Ecuación constitutiva hormigón 1D.....	91
4.2.1.1 Comportamiento en compresión	91
4.2.1.2 Comportamiento en tracción	94
4.2.2 Ecuación constitutiva del acero embebido en el hormigón.....	96
4.2.3 Comportamiento bidimensional del hormigón armado.....	97
4.3 Validación experimental.....	101
4.4 Adaptación al modelo teórico de corrección de cortante.....	107
4.5 Fenómeno de tension-stiffening.....	110
4.5.1 Armaduras distribuidas	110
4.5.2 Armaduras discretas.....	110
CAPÍTULO 5. IMPLEMENTACIÓN NUMÉRICA DEL MODELO TEÓRICO DE CORRECCIÓN DE CORTANTE	114
5.1 Estructuración del programa.....	114
5.2 Bucle de corrección de cortante	118

CAPÍTULO 6. VALIDACIÓN NUMÉRICA DEL MODELO TEÓRICO DE CORRECCIÓN DE CORTANTE	122
6.1 Comportamiento con material elástico y lineal	122
6.1.1 Viga ménsula rectangular con carga puntual en extremo.....	123
6.1.2 Viga biapoyada rectangular con carga puntual centrada	125
6.1.3 Viga biapoyada doble T con carga puntual centrada.....	129
6.2 Comportamiento con material no lineal.....	132
CAPÍTULO 7. VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL DEL MODELO GENERAL DE CORRECCIÓN DE CORTANTE	140
7.1 Introducción.....	140
7.2 Ensayos de Vecchio y Shim	140
7.2.1 Características de las vigas analizadas	141
7.2.2 Modelización vigas Vecchio y Shim.....	143
7.2.3 Resultados vigas Vecchio y Shim.....	148
7.2.4 Interpretación de resultados vigas Vecchio y Shim	161
– Probeta VS-A1 (Fig. 7.6 y Fig. 7.15).....	161
– Probeta VS-A2 (Fig. 7.7 y Fig. 7.16).....	162
– Probeta VS-A3 (Fig. 7.8 y Fig. 7.17).....	163
– Probeta VS-B1 (Fig. 7.9 y Fig. 7.18).....	164
– Probeta VS-B2 (Fig. 7.10 y Fig. 7.19).....	164
– Probeta VS-B3 (Fig. 7.11 y Fig. 7.20).....	164
– Probeta VS-C1 (Fig. 7.12 y Fig. 7.21).....	165
– Probeta VS-C2 (Fig. 7.13 y Fig. 7.22).....	165
– Probeta VS-C3 (Fig. 7.14 y Fig. 7.23).....	166
– Análisis global de la serie de Vecchio y Shim	166
7.3 Ensayos de Bresler y Scordelis.....	170
7.3.1 Características de las vigas analizadas	170
7.3.2 Modelización vigas Bresler y Scordelis	171
7.3.3 Resultados vigas Bresler y Scordelis.....	172
7.3.4 Interpretación de resultados vigas Bresler y Scordelis.....	185
– Probeta BS-A1 (Fig. 7.30 y Fig. 7.39).....	185
– Probeta BS-A2 (Fig. 7.31 y Fig. 7.40).....	186
– Probeta BS-A3 (Fig. 7.32 y Fig. 7.41).....	187
– Probeta BS-B1 (Fig. 7.33 y Fig. 7.42).....	187
– Probeta BS-B2 (Fig. 7.34 y Fig. 7.43).....	188
– Probeta BS-B3 (Fig. 7.35 y Fig. 7.44).....	188
– Probeta BS-C1 (Fig. 7.36 y Fig. 7.45).....	189

– Probeta BS-C2 (Fig. 7.37 y Fig. 7.46).....	189
– Probeta BS-C3 (Fig. 7.38 y Fig. 7.47).....	190
– Análisis global de la serie de Bresler y Scordelis.....	191
CAPÍTULO 8. MODELO PARÁBOLA-RECTA.....	194
8.1 Introducción.....	194
8.2 Modelización vigas Vecchio y Shim según el modelo parábola-recta.....	195
8.3 Modelización vigas Bresler y Scordelis según el modelo parábola-recta.....	207
8.4 Interpretación de resultados modelo parábola-recta.....	219
8.5 Influencia de la resistencia a tracción del hormigón.....	222
8.6 Influencia del tipo de elemento utilizado.....	226
CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	230
9.1 Resumen.....	230
9.2 Conclusiones.....	232
9.3 Futuras líneas de investigación.....	235
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	237
ANEJO 1 ARTÍCULO	
“A 3D Numerical Model for Reinforced Concrete and Prestressed Concrete Elements Subjected to Combined Axial, Bending, Shear, and Torsion Loading”	
ANEJO 2. ELEMENTO FINITO EULER-BERNOUILLI.....	A2-2
2.1 Teoría de vigas de Euler-Bernouilli (EBT).....	A2-2
2.2 Discretización en elementos finitos.....	A2-5