

INDICE

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN.....	1.1
--------------------------	------------

CAPÍTULO 2

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO.....	2.1
--	------------

2.1. Hormigón reforzado con fibras de acero.....	2.2
2.1.1. Consideraciones generales.....	2.2
2.1.2. Materiales y proporciones.....	2.3
2.1.3. Propiedades mecánicas.....	2.4
2.1.3.1. Resistencia a la tracción.....	2.4
2.1.3.2. Resistencia a compresión.....	2.9
2.1.3.3. Tenacidad.....	2.18
2.1.3.4. Resistencia a cortante y torsión.....	2.18
2.1.3.5. Módulo de elasticidad.....	2.18
2.1.3.6. Adherencia fibra-matriz.....	2.19
2.2. Introducción teórica a la capacidad de deformación de los soportes..	2.19
2.2.1. Longitud de plastificación.....	2.23
2.3. Parámetros principales de los que depende la capacidad de deformación del soporte.....	2.28
2.3.1. Nivel de carga axial.....	2.28
2.3.2. Cuantía de armadura longitudinal.....	2.28
2.3.3. Confinamiento.....	2.29
2.3.4. Esbeltez a cortante.....	2.30
2.3.5. Pandeo de la armadura longitudinal.....	2.30
2.3.6. Salto de recubrimiento.....	2.31
2.3.7. Resistencia del hormigón.....	2.31
2.3.8. Contenido de fibras de acero en la masa de hormigón.....	2.32
2.4. Métodos simplificados.....	2.33
2.4.1. Capacidad de deformación.....	2.33
2.4.1.1. Normativa.....	2.53
2.4.2. Cuantía de armadura transversal requerida.....	2.62
2.4.2.1. Según métodos propuestos encontrados en la literatura.....	2.62
2.4.2.2. Según las normativas.....	2.85

2.4.3. Resistencia a cortante.....	2.89
2.4.4. Pandeo de la armadura longitudinal.....	2.93
2.5. Antecedentes de la investigación experimental.....	2.95
2.5.1. Análisis paramétrico de ensayos experimentales existentes en la literatura....	2.98
2.5.1.1. Resistencia del hormigón (f_c).....	2.99
2.5.1.2. Nivel de axil reducido.....	2.100
2.5.1.3. Esbeltez a cortante (λ_v).....	2.101
2.5.1.4. Cuantía geométrica de armadura transversal (ρ_s).....	2.102
2.5.1.5. Cuantía geométrica de armadura longitudinal (ρ_l).....	2.103
2.5.1.6. Conclusiones del análisis paramétrico de ensayos experimentales.....	2.104

CAPÍTULO 3

IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3.1
3.1. Importancia de la investigación.....	3.2
3.1.1. Objetivo general.....	3.3
3.1.2. Objetivos específicos.....	3.4

CAPÍTULO 4

PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	4.1
4.1. Definición de los parámetros de estudio.....	4.2
4.2. Caracterización de los materiales.....	4.7
4.2.1. Hormigón.....	4.7
4.2.2. Acero.....	4.8
4.3. Diseño del ensayo.....	4.9
4.3.1. Procedimiento de ensayo.....	4.12
4.3.1.1. Preparación de la armadura.....	4.13
4.3.1.2. Preparación del encofrado.....	4.17
4.3.1.3. Hormigonado del soporte y de las probetas de control.....	4.19
4.3.1.3.a Preparación de los materiales.....	4.19
4.3.1.3.b Amasado de los materiales.....	4.20
4.3.1.3.c Vertido, vibración y compactación del hormigón.....	4.20
4.3.1.3.d Desmoldeo.....	4.22
4.3.1.4. Preparación del soporte a ser ensayado.....	4.24
4.3.1.4.a Instrumentación.....	4.24
4.3.1.4.b Rotura de las probetas de control.....	4.26

4.3.1.4.c Configuración del ensayo en el programa de adquisición de datos.	4.32
4.3.1.4.d Inicio del ensayo.....	4.33
4.3.1.4.e Finalización del ensayo.....	4.37

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES.....5.1

5.1. Comportamiento observado de los soportes.....	5.2
5.1.1. Modo de fallo observado.....	5.2
5.1.2. Longitud crítica de daño.....	5.7
5.1.3. Efecto de la rigidez del "STUB".....	5.8
5.1.4. Pandeo de las armaduras.....	5.9
5.1.5. Resumen general observado en las series realizadas en la campaña experimental	5.11
5.2. Resultados directos.....	5.12
5.2.1. Carga vertical.....	5.12
5.2.2. Deformación de la armadura en compresión y en tracción.....	5.12
5.3. Análisis de los resultados experimentales.....	5.13
5.3.1. Modo de respuesta.....	5.13
5.3.1.1. Carga - Desplazamiento.....	5.13
5.3.1.2. Deformación unitaria en compresión y en tracción de la armadura..	5.18
5.3.2. Envoltorio de Carga - Desplazamiento.....	5.20
5.3.3. Definición de los parámetros de ductilidad y energía de disipación.....	5.24
5.3.4. Discusión de resultados.....	5.25
5.3.4.1. Efecto del confinamiento y de la inclusión de fibras de acero en la masa de hormigón.....	5.26
5.3.4.1.a Hormigón Convencional.....	5.26
5.3.4.1.b Hormigón de Alta Resistencia.....	5.29
5.3.4.2. Efecto de la resistencia del hormigón (HC y HAR)	5.32
5.3.4.3. Efecto del nivel de axil y de la esbeltez del soporte.....	5.35
5.3.4.3.a Hormigón Convencional.....	5.35
5.3.4.3.b Hormigón de Alta Resistencia.....	5.39
5.3.5. Conclusión y discusión.....	5.42

CAPÍTULO 6

CALIBRACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO.....6.1

6.1. Descripción del Programa utilizado (OPENSEES).....	6.2
---	-----

6.2. Idealización del modelo constitutivo de los materiales.....	6.6
6.2.1. Hormigón.....	6.7
6.3. Calibración del modelo.....	6.10
6.3.1. Carga máxima y carga última alcanzada de cada ensayo.....	6.11
6.3.2. Desplazamiento elástico efectivo, desplazamiento máximo y desplazamiento último.....	6.13
6.3.3. Rigidez elástica efectiva.....	6.16
6.3.4. Ductilidad en desplazamiento.....	6.18
6.3.5. Resumen de los resultados.....	6.19
6.4. Contraste del modelo.....	6.21
6.4.1. Grado de precisión del modelo obtenido en el contraste.....	6.29
6.5. Conclusiones.....	6.37

CAPÍTULO 7

ESTUDIO PARAMÉTRICO.....	7.1
7.1. Parámetros de estudio.....	7.2
7.2. Programa de ensayos numéricos.....	7.3
7.3. Análisis paramétrico.....	7.8
7.3.1. Soportes sin fibras metálicas.....	7.8
7.3.1.1. Rigidez elástica efectiva relativa.....	7.8
7.3.1.1.a Esbeltez de cortante.....	7.8
7.3.1.1.b Confinamiento efectivo de la armadura transversal.....	7.11
7.3.1.1.c Cuantía de armadura longitudinal.....	7.12
7.3.1.1.d Relación entre el recubrimiento mecánico y el canto de la pieza (r/h).....	7.13
7.3.1.1.e Resistencia del hormigón.....	7.14
7.3.1.2. Deriva elástica efectiva.....	7.15
7.3.1.2.a Esbeltez de cortante.....	7.15
7.3.1.2.b Confinamiento efectivo de la armadura transversal.....	7.16
7.3.1.2.c Cuantía de armadura longitudinal.....	7.18
7.3.1.2.d Relación entre el recubrimiento mecánico y el canto de la pieza (r/h).....	7.19
7.3.1.2.e Resistencia del hormigón.....	7.21
7.3.1.3. Deriva última.....	7.22
7.3.1.3.a Esbeltez de cortante.....	7.22
7.3.1.3.b Confinamiento efectivo de la armadura transversal.....	7.23

7.3.1.3.c	Cuantía de armadura longitudinal.....	7.24
7.3.1.3.d	Relación entre el recubrimiento mecánico y el canto de la pieza (r/h).....	7.25
7.3.1.3.e	Resistencia del hormigón.....	7.26
7.3.1.4.	Ductilidad en desplazamiento.....	7.27
7.3.1.4.a	Esbeltez de cortante.....	7.27
7.3.1.4.b	Confinamiento efectivo de la armadura transversal.....	7.28
7.3.1.4.c	Cuantía de armadura longitudinal.....	7.29
7.3.1.4.d	Relación entre el recubrimiento mecánico y el canto de la pieza (r/h).....	7.30
7.3.1.4.e	Resistencia del hormigón.....	7.31
7.3.2.	Soportes con fibras metálicas.....	7.32
7.3.2.1.	Rigidez elástica efectiva relativa.....	7.32
7.3.2.1.a	Esbeltez de cortante.....	7.32
7.3.2.1.b	Confinamiento efectivo de la armadura transversal.....	7.34
7.3.2.1.c	Relación entre el recubrimiento mecánico y el canto de la pieza (r/h).....	7.35
7.3.2.2.	Deriva elástica efectiva.....	7.36
7.3.2.2.a	Esbeltez de cortante.....	7.36
7.3.2.2.b	Confinamiento efectivo de la armadura transversal.....	7.40
7.3.2.2.c	Relación entre el recubrimiento mecánico y el canto de la pieza (r/h).....	7.42
7.3.2.2.d	Resistencia del hormigón respecto a la esbeltez de cortante.....	7.43
7.3.2.3.	Deriva última.....	7.44
7.3.2.3.a	Esbeltez de cortante.....	7.44
7.3.2.3.b	Confinamiento efectivo de la armadura transversal.....	7.47
7.3.2.3.c	Relación entre el recubrimiento mecánico y el canto de la pieza (r/h).....	7.48
7.3.2.3.d	Resistencia del hormigón respecto a la esbeltez de cortante.....	7.49
7.3.2.4.	Ductilidad en desplazamiento.....	7.50
7.3.2.4.a	Esbeltez de cortante.....	7.50
7.3.2.4.b	Confinamiento efectivo de la armadura transversal.....	7.53
7.3.2.4.c	Relación entre el recubrimiento mecánico y el canto de la pieza (r/h).....	7.54
7.3.2.4.d	Resistencia del hormigón respecto a la esbeltez de cortante.....	7.55
7.4.	Conclusiones.....	7.56

CAPÍTULO 8

PROPUESTA DE MÉTODO SIMPLIFICADO.....8.1

8.1. Evaluación de la Rigidez elástica efectiva (EIE) en soportes de hormigón armado de sección rectangular.....	8.2
8.1.1.1. Metodología.....	8.2
8.1.2. Factor de rigidez elástica efectiva de diseño α_{ed}	8.4
8.1.3. Factor de rigidez elástico efectivo de comprobación α_{ec}	8.7
8.2. Evaluación de la rigidez última (Elu) en soportes de hormigón armado de sección rectangular.....	8.11
8.2.1. Metodología.....	8.11
8.2.2. Factor de rigidez último de diseño α_{ud}	8.13
8.2.3. Factor de rigidez último de comprobación α_{uc}	8.16
8.3. Evaluación de la ductilidad en desplazamientos.....	8.19
8.4. Evaluación del error.....	8.21
8.4.1. Comparación de los modelos propuestos con los resultados obtenidos en la simulación numérica.....	8.21
8.4.2. Comparación de los modelos propuestos con los resultados experimentales.....	8.23
8.4.3. Comparación con otros métodos respecto a los resultados numéricos.....	8.25
8.4.3.1. Evaluación de la rigidez efectiva.....	8.25
8.4.4. Comparación con otros métodos respecto a los resultados experimentales.....	8.29
8.4.4.1. Evaluación de la rigidez efectiva.....	8.30
8.4.4.2. Evaluación de la ductilidad en desplazamiento.....	8.30
8.4.5. Conclusiones.....	8.31

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....9.1

9.1. Conclusiones.....	9.2
9.1.1. Conclusiones obtenidas del estado actual del conocimiento.....	9.2
9.1.2. Conclusiones obtenidas del estudio experimental de soportes de hormigón armado sometido a carga axial constante y carga lateral cíclica.....	9.3
9.1.3. Conclusiones obtenidas del estudio teórico de soportes de hormigón armado sometido a carga axial constante y carga lateral cíclica.....	9.5
9.1.3.1. Calibración del modelo.....	9.5
9.1.3.2. Estudio paramétrico.....	9.6

9.1.4. Conclusiones relativas a la propuesta del modelo para la evaluación de la capacidad de deformación en soportes de hormigón armado.....	9.9
9.2. Futuras líneas de investigación.....	9.10

Referencias Bibliográficas.....	R.1
--	------------

Anejos

Anejo A: Ficha técnica de los ensayos	A.1
Anejo B: Medidas directas de los ensayos experimentales.....	B.1
Anejo C: Modelos teóricos para el hormigón utilizados en el modelo numérico.....	C.1
Anejo D: Calibración del modelo numérico.....	D.1