

ÍNDICE GENERAL

1. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	39
1.1. Introducción.....	39
1.2. Objetivos.....	41
1.3. Contenido.....	42
2. CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE	45
2.1. Introducción.....	45
2.2. Sistemas de apuntalamiento y procesos constructivos de estructuras de edificios	46
2.2.1. Apuntalamiento en un proceso de cimbrado / descimbrado (CD).....	48
2.2.2. Apuntalamiento en un proceso de cimbrado / clareado / descimbrado (CCD).....	49
2.2.3. Apuntalamiento en un proceso de cimbrado / recimbrado / descimbrado (CRD).....	50
2.2.4. Operaciones en los diferentes procesos constructivos.....	51
2.3. Cálculo de procesos constructivos de estructuras de edificios	52
2.3.1. La importancia de conocer la magnitud y la distribución de las cargas existentes durante la construcción de estructuras de edificios	53
2.3.2. Métodos de cálculo para estimar la transmisión de carga entre forjados y puntales durante la construcción de estructuras de edificios de hormigón armado	58
2.3.3. Estudios experimentales	60
2.3.4. Estudios numéricos.....	64
2.3.4.1. <i>Transmisión de cargas sin considerar la temperatura, la retracción o la fluencia</i>	65
2.3.4.2. <i>Efecto de la retracción y la fluencia en la transmisión de cargas</i>	67
2.3.4.3. <i>Efecto de la temperatura en la transmisión de cargas</i>	67
2.4. Antecedentes al limitador de carga en puntales en la literatura	68
2.4.1. Limitación de la carga de los puntales (ALPHI EP2511449A1).....	68
2.4.2. Rápido descimbrado de puntales (Alsina ES2294874A1 y ULMA ES2366967T3).....	69

2.5. Conclusiones relativas al estado del arte.....	70
3. CAPÍTULO 3. ESTUDIO DE LA VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE LOS LIMITADORES DE CARGA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA	73
3.1. Introducción	73
3.2. Estudio de la viabilidad técnica de los limitadores de carga aplicado a un edificio experimental.....	75
3.2.1. Descripción del edificio considerado para el estudio	75
3.2.2. Modelo de elementos finitos.....	76
3.2.3. Análisis paramétrico y resultados	77
3.3. Estudio de la viabilidad técnico-económica de los limitadores de carga aplicado al caso de un edificio real	82
3.3.1. Descripción del edificio real considerado para el estudio	82
3.3.2. Modelo de elementos finitos.....	82
3.3.3. Resultados.....	85
3.3.4. Análisis económico.....	89
3.4. Conclusiones	90
4. CAPÍTULO 4. DISEÑO, FABRICACIÓN, ENSAYO Y SIMULACIÓN DE LIMITADORES DE CARGA	93
4.1. Introducción	93
4.2. Diseño	95
4.2.1. Diseño conceptual.....	95
4.2.2. Diseño de detalle	99
4.2.2.1. Primera aproximación	99
4.2.2.2. Segunda aproximación	105
4.2.2.3. Tercera aproximación	107
4.2.2.4. Solución final. Accesorios, DOE y elección de prototipos	108
4.3. Fabricación.....	116
4.4. Ensayo.....	120
4.4.1. Lote 01. Ensayos monotónicos y caracterización del acero	120

4.4.1.1. Ensayos	120
4.4.1.2. Caracterización del acero.....	128
4.4.1.3. Estudio de sensibilidad del diámetro del albergue del pasador	130
4.4.2. Lote 02. Ensayos sobre el diseño definitivo	131
4.4.2.1. Ensayos de limitadores de carga de forma aislada	133
4.4.2.2. Ensayos de limitadores de carga instalados en puntales.....	137
4.4.2.3. Caracterización del acero.....	138
4.5. Simulación	139
4.5.1. Calibración de los modelos numéricos.....	139
4.5.2. Definición simplificada del comportamiento de los limitadores de carga para modelos macro-escala	140
4.6. Conclusiones.....	141
5. CAPÍTULO 5. USO DE LOS LIMITADORES DE CARGA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UN EDIFICIO EXPERIMENTAL	145
5.1. Introducción.....	145
5.2. Definición del ensayo experimental	145
5.2.1. Objetivos	145
5.2.2. Diseño del ensayo.....	146
5.2.2.1. Aspectos generales. Diseño geométrico.....	146
5.2.2.2. Materiales	146
5.2.2.3. Acciones y coeficientes de seguridad en fase de construcción y en servicio	147
5.2.2.4. Cálculos estructurales en servicio para el dimensionamiento de la losa	147
5.2.2.5. Seguridad y salud.....	147
5.2.3. Modelo de elementos finitos	148
5.2.4. Fabricación y ensayo previo de limitadores de carga.....	150
5.2.5. Monitorización del ensayo	151
5.3. Preparación y descripción del ensayo.....	152
5.3.1. Instalación de la monitorización.....	152
5.3.2. Descripción del ensayo.....	155
5.3.2.1. Preparación de la estructura y del sistema de apuntalamiento	155

5.3.2.2. Realización del ensayo	157
5.3.2.3. Demolición de la losa y envío a vertedero	160
5.4. Resultados	160
5.4.1. Transmisión de cargas entre el forjado y los puntales	161
5.4.2. Cargas en puntales	162
5.4.2.1. Influencia de la temperatura. Compensación.....	162
5.4.2.2. Cargas en puntales.....	164
5.4.2.3. Momentos en puntales.....	165
5.4.3. Flechas en forjados	166
5.4.4. Curvas fuerza-desplazamiento de los puntales	168
5.4.5. Evolución de la temperatura del hormigón en la losa y en las probetas cilíndricas.....	170
5.4.6. Evolución de las propiedades mecánicas del hormigón en el tiempo.	173
5.4.7. Descimbrado.....	175
5.5. Conclusiones	178
6. CAPÍTULO 6. ESTIMACIÓN DE LAS MEJORAS INTRODUCIDAS POR EL USO DE LIMITADORES DE CARGA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS	181
6.1. Introducción	181
6.2. Calibración y comprobación del modelo numérico del ensayo experimental.....	181
6.2.1. Calibración del modelo numérico.....	181
6.2.2. Comprobación del modelo numérico.....	186
6.3. Efecto positivo del limitador de carga en el ensayo.....	188
6.3.1. Cargas medias y cargas máximas	188
6.3.2. Cargas en cada puntal	189
6.3.3. Desplazamiento en las posiciones donde aparece una pértiga instalada en el ensayo	190
6.4. Efecto positivo del limitador de carga durante el descimbrado	192
6.4.1. Comprobación del modelo numérico durante el descimbrado	193

6.4.2. Comparación de la fase de descimbrado con y sin limitadores de carga según las mismas condiciones del ensayo	194
6.4.3. Comparación de la fase de descimbrado con y sin limitadores de carga considerando puntales de igual rigidez.....	196
6.4.3.1. Limitadores de carga utilizados en el ensayo	197
6.4.3.2. Limitadores de carga con la misma carga límite y superior máximo desplazamiento plástico permitido.....	198
6.5. Efecto positivo del limitador de carga frente al colapso progresivo de las estructuras de edificios durante su construcción	199
6.5.1. Breve introducción	199
6.5.2. Resumen del estudio realizado previamente	201
6.5.2.1. Descripción de la estructura del edificio considerado para el estudio....	201
6.5.2.2. Descripción del modelo de elementos finitos	203
6.5.2.3. Escenarios de fallo local y resultados.....	204
6.5.3. Aplicación de los limitadores de carga en los escenarios de fallo con graves consecuencias.....	206
6.5.3.1. Análisis del tercer escenario de fallo sin y con la aplicación de limitadores de carga en puntales	207
6.5.3.2. Análisis del cuarto escenario de fallo sin y con la aplicación de limitadores de carga en puntales	215
6.6. Conclusiones.....	223
7. CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES, APORTACIÓN ORIGINAL Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	227
7.1 Resumen y conclusiones.....	227
7.2. Aportación original.....	232
7.3. Futuras líneas de investigación.....	233
7. CHAPTER 7. CONCLUSIONS, NOVELTY AND FUTURE LINES OF RESEARCH	235
7.1 Summary and conclusions	235
7.2. Novelty	239
7.3. Future lines of research.....	240
REFERENCIAS	243

APÉNDICE 1. ENSAYO EXPERIMENTAL	255
A1.1. Introducción	255
A1.2. Planos	255
A1.3. Preparación del ensayo.....	263
A1.3.1. Preparación de cables y conexiones para galgas, captadores y termopares	263
A1.3.2. Preparación de las pértigas con los captadores de desplazamiento .	263
A1.3.3. Pegado de galgas extensométricas en los puntales	264
A1.3.4. Preparación de los termopares	267
A1.4. Cargas en puntales.....	268
A1.5. Momentos en puntales.....	280
A1.5.1. Cálculo a partir de la deformación de tres puntos.....	280
A1.5.2. Resultados.....	283
A1.6. Flechas en forjados.....	302
A1.7. Curvas fuerza-desplazamiento de puntales	307
A1.8. Secuencias descimbrado y cargas en puntales	312
APÉNDICE 2. SIMULACIÓN NUMÉRICA.....	325
A2.1. Introducción	325
A2.2. Comprobación del modelo numérico	325
A2.2.1. Cargas en puntales	326
A2.2.2. Desplazamiento en pértigas	332
A2.3. Resultados del estudio del efecto positivo del limitador de carga en el ensayo.....	336
A2.3.1. Cargas en puntales	337
A2.3.2. Desplazamiento en pértigas	343
A2.4. Resultados del estudio del efecto positivo del limitador de carga durante el descimbrado	347
A2.4.1. Comprobación del modelo numérico durante el descimbrado.....	348
A2.4.2. Comparación de la fase de descimbrado con y sin limitadores de carga según las mismas condiciones del ensayo	355

A2.4.3. Comparación de la fase de descimbrado con y sin limitadores de carga considerando puntales de igual rigidez.....361

APÉNDICE 3. PUBLICACIONES DEL AUTOR RELACIONADAS CON LA TESIS367

