

ÍNDICE

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Estructura de la tesis	3
CAPITULO 2. ESTADO DEL CONOCIMIENTO	5
2.1 Introducción	5
2.2 Tipos de refuerzos en pilares de hormigón armado	7
2.2.1 Refuerzos con recrecidos de hormigón	8
2.2.2 Refuerzos con láminas de materiales compuestos	10
2.2.3 Refuerzos con chapas de acero adheridas	13
2.2.4 Refuerzos localizados	14
2.3 Pilares reforzados mediante angulares y presillas metálicas. Mecanismos que intervienen en su comportamiento	16
2.3.1 Introducción	16
2.3.2 Comportamiento del hormigón a compresión uniaxial y multiaxial	17
2.3.3 Comportamiento del acero	23
2.3.4 Interacción entre el soporte original y el acero del refuerzo	24
2.4 Diseño y construcción de refuerzos con angulares metálicos	34
2.5 Conclusiones	37
CAPITULO 3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	39
3.1 Descripción metodológica	40
3.2 Características del elemento a ensayar	43
3.2.1 Características del hormigón	43
3.2.2 Características de la armadura	44
3.2.3 Características geométricas del soporte a reforzar	45
3.2.4 Nivel de carga soportado en el momento del refuerzo	45
3.2.5 Características del acero del refuerzo	46
3.3 Justificación de las variables a utilizar	48
3.3.1 Estado de carga del soporte de HA en el momento del refuerzo	48
3.3.2 Tipo de capitel	49
3.3.3 Número y disposición de presillas	52
3.3.4 Tipo de adhesivo entre el hormigón y el acero del refuerzo	54
3.4 Ensayos	55
3.4.1 Tipos de probeta	57
3.4.2 Descripción del pórtico de ensayos	58
3.4.3 Instrumentación	60
3.4.4 Resumen de ensayos	70

CAPITULO 4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EXPERIMENTALES	71
4.1 Carga-Acortamiento	72
4.1.1 <i>Resultado de los ensayos. Curvas carga-acortamiento</i>	73
4.2 Reparto de axil entre el acero del refuerzo y el hormigón	80
4.2.1 <i>Elementos reforzados con 5 presillas por cada cara del soporte</i>	81
4.2.2 <i>Elementos reforzados con 7 presillas por cada cara del soporte</i>	111
4.3 Deformaciones en presillas	133
4.3.1 <i>Probetas con cinco presillas por cada cara del soporte</i>	134
4.3.2 <i>Probetas con siete presillas por cada cara del soporte</i>	137
4.4 Axil-Deslizamiento	140
4.4.1 <i>Pilares reforzados con cinco presillas por cada cara del soporte</i>	141
4.4.2 <i>Pilares reforzados con siete presillas por cada cara del soporte</i>	145
4.5 Primeras Conclusiones.....	148
4.6 Máxima resistencia a compresión. Eficacia, Incremento de axil y Eficiencia del sistema de refuerzo	150
4.6.1 <i>Probetas con cinco presillas por cada cara del soporte</i>	153
4.6.2 <i>Probetas con siete presillas por cada cara del soporte</i>	154
CAPITULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	157
5.1 Introducción	157
5.2 Descripción del modo de comportamiento del pilar reforzado	158
5.2.1 <i>Mecanismos resistentes del soporte reforzado</i>	159
5.2.2 <i>Mecanismos de transferencia de cargas del soporte reforzado</i>	171
5.3 Modos de rotura asociados a las distintas formas de funcionamiento del refuerzo	176
5.3.1 <i>Rotura del soporte reforzado por los extremos del tramo de pilar</i>	176
5.3.2 <i>Rotura del soporte reforzado por el centro del tramo de pilar</i>	179
CAPITULO 6. DISCUSIONES FINALES Y PROPUESTA DE UN MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO DE REFUERZOS.	180
6.1 Introducción	180
6.2 Método simplificado de cálculo de refuerzos	180
6.2.1 <i>Comportamiento como estructura mixta. Método de cálculo propuesto ..</i>	181
6.2.2 <i>Rotura próxima a los extremos en el caso de soportes reforzados sin capitel</i>	182
6.2.3 <i>Rotura próxima a los extremos en el caso de soportes reforzados con capitel</i>	188
6.3 Comparación de resultados teóricos y experimentales	190
6.3.1 <i>Soportes reforzados sin capitel</i>	190
6.3.2 <i>Soportes reforzados con capitel</i>	198

CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	208
7.1 Conclusiones	208
7.2 Futuras líneas de investigación	211
CAPITULO 8. BIBLIOGRAFÍA	213

ANEJOS

ANEJO 1	Características del hormigón de los pilares ensayados
ANEJO 2	Cálculo del soporte y su refuerzo
ANEJO 3	Datos directos de los ensayos
ANEJO 4	Cálculo del axil último teórico
ANEJO 5	Límite de carga en soportes reforzados con cinco presillas y capitel

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Importancia relativa de las diferentes partes de una estructura en sus patologías (GEHO 1992).....	2
Figura 2.	Número de artículos publicados en función del tipo estructural y método de refuerzo.....	5
Figura 3.	Recrecido de un pilar situado en zona sísmica (Regalado 1999).....	8
Figura 4.	Refuerzo con láminas de fibra de carbono (www.sika.com).....	10
Figura 5.	Refuerzo con angulares y presillas metálicas	14
Figura 6.	Esquema y fotografía de un refuerzo localizado con acero (Ramírez y Bárcena, 1993).....	15
Figura 7.	Esquema de refuerzos localizados con acero (Ramírez y Bárcena, 1993).....	16
Figura 8.	Mecanismos de transferencia de cargas entre el hormigón y el acero (Río y Ortiz, 1991)	17
Figura 9.	Curva tensión-deformación idealizada para el comportamiento del hormigón en compresión según Código Modelo	17
Figura 10.	Tensión-Deformación del hormigón bajo compresión Uniaxial y parámetros de deformación (Adaptación de Carpintero and Ingraffea 1984)	18
Figura 11.	Evolución de las fisuras en el hormigón	19
Figura 12.	Idealización del estado de tensiones alrededor de una partícula de árido (Vile 1968)	19
Figura 13.	Tensión deformación para un cilindro en compresión triaxial (Johansson 2002)	20
Figura 14.	Esquema de curva tensión-deformación para el hormigón confinado y no confinado (Johansson 2002)	22
Figura 15.	Diagrama tensión-deformación de un acero	23
Figura 16.	Pilar reforzado con angulares metálicos empresillados. En la sección A-A se comprueba el confinamiento del soporte original a la vez del incremento de sección (Regalado 1999)	24
Figura 17.	Mecanismos de transferencia de cortante, entre acero-mortero-hormigón (Johansson 2002)	27
Figura 18.	Efecto del confinamiento pasivo en un soporte de sección circular (Teng J.G. et al. 2001)	29
Figura 19.	Efecto del confinamiento pasivo introducido por el refuerzo (Mander et al., 1988; Cusson and Paultre, 1995; Johansson 2002)	29
Figura 20.	Equilibrio de fuerzas en el pilar empresillado	33
Figura 21.	Área dónde se pueden aplicar cargas para que la formulación de Cirtek sea válida (Cirtek L., 2001)	36
Figura 22.	Pilares testigo antes y después de la rotura	41
Figura 23.	Pilares reforzados con cinco y siete presillas (cotas en mm.)	42
Figura 24.	Fabricación del hormigón de la primera fase de ensayos	43
Figura 25.	Dimensiones y características del pilar de hormigón armado.....	45
Figura 26.	Sección del perfil L80	46
Figura 27.	Jaula formada por el acero del refuerzo en el ensayo para determinar su módulo de elasticidad	47
Figura 28.	Curva Tensión-Deformación del acero que conforma el refuerzo	48

Figura 29.	Esquema de final del tramo de pilar sin y con capitel	49
Figura 30.	Extremo final del soporte sin y con capitel	50
Figura 31.	Detalle del capitel y su situación en la primera y segunda fase de ensayos ..	51
Figura 32.	Detalle de espécimen sin capitel y con capitel	51
Figura 33.	Distintos modos de colocar las presillas: sobre en angular o a tope	52
Figura 34.	Sección de pilares con 5 y 7 presillas	54
Figura 35.	Secuencia de colocación de los angulares metálicos	55
Figura 36.	Primera fase de Ensayos.	56
Figura 37.	Segunda fase de Ensayos	56
Figura 38.	Fotografías del pórtico de ensayos	58
Figura 39.	Esquema del pórtico de ensayos	59
Figura 40.	Sistema de mantenimiento de carga	60
Figura 41.	Vista de la probeta dispuesta para ser ensayada	60
Figura 42.	Instrumentación utilizada durante los ensayos	61
Figura 43.	Numeración de secciones y presillas en soportes de 5 presillas	62
Figura 44.	Numeración de secciones y presillas en soportes de 5 presillas	66
Figura 45.	Numeración de secciones y presillas en soportes de 7 presillas	66
Figura 46.	Esquema de situación de los LVDT's utilizados para medir el acortamiento del hormigón	72
Figura 47.	Colocación de los captadores en cada una de las secciones del soporte	72
Figura 48.	Situación de los LVDT's en la zona central de las pértigas	73
Figura 49.	Gráficos carga-acortamiento en los soportes reforzados con cinco presillas y sin capitel de los soportes ensayados en la primera fase experimental	74
Figura 50.	Gráficos carga-acortamiento en los soportes reforzados con cinco presillas y con capitel de los soportes ensayados en la primera fase experimental	74
Figura 51.	Gráficos carga-acortamiento en los soportes reforzados con cinco presillas y con capitel de los soportes ensayados en la primera fase experimental	75
Figura 52.	Gráficos carga-acortamiento en todos los soportes reforzados en la primera fase de ensayos	75
Figura 53.	Gráficos carga-acortamiento en los soportes reforzados con cinco presillas y sin capitel de los soportes ensayados en la segunda fase experimental	76
Figura 54.	Gráficos carga-acortamiento en los soportes reforzados con cinco presillas y sin capitel de los soportes ensayados en la segunda fase experimental. Comparación de los soportes reforzados con cinco presillas ensayados sin capitel	76
Figura 55.	Gráficos carga-acortamiento en los soportes reforzados con cinco presillas en la segunda fase experimental	77
Figura 56.	Gráficos carga-acortamiento en los soportes reforzados con siete presillas y sin capitel de los soportes ensayados en la segunda fase experimental	77
Figura 57.	Gráficos carga-acortamiento en los soportes reforzados con siete presillas y con capitel de los soportes ensayados en la segunda fase experimental	78
Figura 58.	Gráficos carga-acortamiento en los soportes reforzados sin capitel en la segunda fase experimental	78
Figura 59.	Gráficos carga-acortamiento en los soportes reforzados con capitel en la segunda fase experimental	79
Figura 60.	Gráficos carga-acortamiento en soportes reforzados con siete presillas en la segunda fase experimental	80

Figura 61.	Sección del soporte reforzado. Cotas en mm.	80
Figura 62.	Secciones en que dividen al soporte las cinco presillas.....	81
Figura 63.	Rotura del espécimen ADx por la sección 1	83
Figura 64.	Rotura del espécimen ADy por una de las cabezas	83
Figura 65.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, en cada una de las secciones. Soportes AD primera fase experimental	84
Figura 66.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte ADx	85
Figura 67.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte ADy	86
Figura 68.	Rotura del espécimen ADx por la sección 1 y 4	87
Figura 69.	Rotura del espécimen ADy por la sección 1 y 4	87
Figura 70.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, en cada una de las secciones. Soportes AD segunda fase experimental	88
Figura 71.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte ADx	89
Figura 72.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte ADy	90
Figura 73.	Rotura del espécimen ACx en las secciones 4 y 1. Detalle del acero del angular estriado debido a las altas tensiones soportadas	91
Figura 74.	Rotura del espécimen ACy en la sección 1	91
Figura 75.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, en cada una de las secciones. Soportes AC	92
Figura 76.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte ACx	93
Figura 77.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte ACy	94
Figura 78.	Especímen BDx antes del ensayo y rotura por la sección 1	95
Figura 79.	Rotura del espécimen BDy por la sección 1	95
Figura 80.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, en cada una de las secciones. Soportes BD	96
Figura 81.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte BDx	97
Figura 82.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte BDy	98
Figura 83.	Rotura del espécimen BCx por la sección 4	99
Figura 84.	Rotura del espécimen BCy por la sección 4	99
Figura 85.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, en cada una de las secciones. Soportes BC	100
Figura 86.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte BCx	101
Figura 87.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte BCy	102
Figura 88.	Rotura del espécimen MEADx por la sección 1 y 4	103
Figura 89.	Rotura del espécimen MEADy por la sección 1 y 4	103
Figura 90.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, en cada una de las secciones. Soportes MEAD	104
Figura 91.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte MEADx	105
Figura 92.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte MEADy	106
Figura 93.	Rotura de las cabezas del soporte MEBDx, antes de llegar al axil último del tramo de pilar reforzado	107
Figura 94.	Rotura del soporte MEBDy por la sección 1	107
Figura 95.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, en cada una de las secciones. Soportes MEBD	108

Figura 96.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte MEBDx	109
Figura 97.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte MEBDy	110
Figura 98.	Secciones en que dividen al soporte las siete presillas	111
Figura 99.	Rotura del espécimen PADx por la sección 6	113
Figura 100.	Rotura del espécimen PADy por las secciones 1 y 6 simultáneamente	113
Figura 101a.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, en cada una de las secciones. Soportes PAD	114
Figura 101b.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, en cada una de las secciones. Soportes PAD	115
Figura 102.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte PADx	116
Figura 103.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte PADy	117
Figura 104.	Rotura del soporte PACx por la secciones 1-2 y 5-6 simultáneamente	118
Figura 105.	Rotura del soporte PACy por las secciones 5-6	118
Figura 106a.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, en cada una de las secciones. Soportes PAC	119
Figura 106b.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, en cada una de las secciones. Soportes PAC	120
Figura 107.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte PACx	121
Figura 108.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte PACy	122
Figura 109.	Rotura de las cabezas del soporte PBDx	123
Figura 110.	Rotura del soporte PBDy por las secciones 3 y 4	123
Figura 111a.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, en cada una de las secciones. Soportes PBD	124
Figura 111b.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, en cada una de las secciones. Soportes PBD	125
Figura 112.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte PBDx	126
Figura 113.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte PBDy	127
Figura 114.	Rotura del soporte PBCx por las cabezas	128
Figura 115.	Rotura del soporte PBCy por la sección 3	128
Figura 116a.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, en cada una de las secciones. Soportes PBC	129
Figura 116b.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, en cada una de las secciones. Soportes PBC	130
Figura 117.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte PBCx	131
Figura 118.	Reparto de axil entre el refuerzo y el hormigón, a lo largo del soporte PBCy	132
Figura 119.	Numeración de las presillas en los soportes con cinco	133
Figura 120.	Numeración de las presillas en los soportes con siete	133

Figura 121.	Alargamiento en presillas de soportes ADx de la primera fase de ensayos .	134
Figura 122.	Alargamiento en presillas de soportes AD de la segunda fase de ensayos. El trazo continuo corresponde al espécimen x y el discontinuo al y	135
Figura 123.	Alargamiento en presillas de soportes AC. El trazo continuo corresponde al espécimen x y el discontinuo al y	135
Figura 124.	Alargamiento en presillas de soportes BDy	136
Figura 125.	Alargamiento en presillas de soportes BC. El trazo continuo corresponde al espécimen x y el discontinuo al y	136
Figura 126.	Alargamiento en presillas de soportes MEAD. El trazo continuo corresponde al espécimen x y el discontinuo al y	137
Figura 127.	Alargamiento en presillas de soportes MEBD. El trazo continuo corresponde al espécimen x y el discontinuo al y	137
Figura 128.	Alargamiento en presillas de soportes PAD. El trazo continuo corresponde al espécimen x y el discontinuo al y	138
Figura 129.	Alargamiento en presillas de soportes PAC. El trazo continuo corresponde al espécimen x y el discontinuo al y	139
Figura 130.	Alargamiento en presillas de soportes PBD. El trazo continuo corresponde al espécimen x y el discontinuo al y	139
Figura 131.	Alargamiento en presillas de soportes PBC. El trazo continuo corresponde al espécimen x y el discontinuo al y	140
Figura 132.	Esquema y fotografía de la situación de los LVDT	140
Figura 133.	Secciones del soporte de cinco y siete presillas	141
Figura 134.	Deslizamiento entre acero y hormigón en las secciones de soportes AD de la primera fase	141
Figura 135.	Deslizamiento entre acero y hormigón en las secciones de soportes AD de la segunda fase	142
Figura 136.	Deslizamiento entre acero y hormigón en las secciones de soportes AC	142
Figura 137.	Deslizamiento entre acero y hormigón en las secciones de soportes BD	143
Figura 138.	Deslizamiento entre acero y hormigón en las secciones de soportes BC	143
Figura 139.	Deslizamiento entre acero y hormigón en las secciones de soportes MEAD	144
Figura 140.	Deslizamiento entre acero y hormigón en las secciones de soportes MEBD	144
Figura 141.	Secciones del soporte	145
Figura 142.	Deslizamiento entre acero y hormigón en las secciones de soportes PAD ...	146
Figura 143.	Deslizamiento entre acero y hormigón en las secciones de soportes PAC ...	146
Figura 144.	Deslizamiento entre acero y hormigón en las secciones de soportes PBD ...	147
Figura 145.	Deslizamiento entre acero y hormigón en las secciones de soportes PBC ...	147
Figura 146.	Geometría de las probetas A y B	157
Figura 147.	Reparto de axil entre hormigón y acero en las secciones próximas a las cabezas del espécimen ADx	160
Figura 148.	Reparto de axil entre hormigón y acero en las secciones próximas a las cabezas del espécimen ACy	160
Figura 149.	Reparto de axil entre hormigón y acero en las secciones próximas a las cabezas del espécimen BDx	160
Figura 150.	Reparto de axil entre hormigón y acero en las secciones próximas a las cabezas del espécimen BCx	160
Figura 151.	Reparto de axil entre hormigón y acero en las secciones próximas a las cabezas del espécimen PADx	161
Figura 152.	Reparto de axil entre hormigón y acero en las secciones próximas a las cabezas del espécimen PACx	161

Figura 153.	Reparto de axil entre hormigón y acero en las secciones próximas a las cabezas del espécimen PBDx	161
Figura 154.	Reparto de axil entre hormigón y acero en las secciones próximas a las cabezas del espécimen PBCy	162
Figura 155.	Estado de plastificación del hormigón en el momento de la rotura	162
Figura 156.	Alargamiento en presillas en los soportes reforzados utilizando 5 presillas por cada cara del soporte. Resultados experimentales	163
Figura 157.	Deformada y estado de plastificación del acero del refuerzo en soportes con cinco presillas según la tensión de Von Mises (MPa). Resultados obtenidos a partir del modelo numérico de Adam et al. (2005)	164
Figura 158.	Alargamiento en presillas en los soportes reforzados utilizando 7 presillas por cada cara del soporte. Resultados experimentales	164
Figura 159.	Deformada y estado de plastificación del acero del refuerzo en soportes con siete presillas sin capitel y con capitel según la tensión de Von Mises (MPa), para axiles totales de 2500 kN. Resultados obtenidos a partir del modelo numérico de Adam et al. (2005)	165
Figura 160.	Secciones en soportes reforzados con 5 presillas	166
Figura 161.	Reparto de axil entre hormigón y acero del refuerzo en soportes reforzados con cinco presillas y sin capitel al 90% de su axil máximo	167
Figura 162.	Reparto de axil entre hormigón y acero del refuerzo en soportes reforzados con cinco presillas y con capitel al 90% de su axil máximo	167
Figura 163.	Tensión en angulares en las distintas secciones en que las presillas dividen al refuerzo. Soportes reforzados con 5 presillas y sin capitel	168
Figura 164.	Tensión en angulares en las distintas secciones en que las presillas dividen al refuerzo. Soportes reforzados con 5 presillas y con capitel	168
Figura 165.	Secciones en soportes reforzados con 7 presillas	169
Figura 166.	Reparto de axil entre hormigón y acero del refuerzo en soportes reforzados con siete presillas y sin capitel al 90% de su axil máximo	169
Figura 167.	Reparto de axil entre hormigón y acero del refuerzo en soportes reforzados con siete presillas y con capitel al 90% de su axil máximo	169
Figura 168.	Tensión en angulares en las distintas secciones en que las presillas dividen al refuerzo. Soportes reforzados con 7 presillas y sin capitel	170
Figura 169.	Tensión en angulares en las distintas secciones en que las presillas dividen al refuerzo. Soportes reforzados con 7 presillas y con capitel	170
Figura 170.	Deslizamiento Hormigón-acero en soportes de cinco presillas sin capitel ...	171
Figura 171.	Deslizamiento Hormigón-acero en soportes de siete presillas sin capitel	171
Figura 172.	Deslizamiento Hormigón-acero en las presillas cercanas a la cabeza en soportes reforzados con cinco y siete presillas por cada cara del soporte y sin capitel	172
Figura 173.	Transferencia de cargas a través del rozamiento Hormigón-Acero en pilares reforzados con 5 y 7 presillas por cada lado del soporte	172
Figura 174.	Reparto de cargas del espécimen ADy de la segunda fase de ensayos, para el 50% y 75% del axil de agotamiento del conjunto	173
Figura 175.	Reparto de cargas del espécimen PADy de la segunda fase de ensayos, para el 50% y 75% del axil de agotamiento del conjunto	173
Figura 176.	Reparto de cargas del espécimen BCy de la segunda fase de ensayos, para el 50% y 75% del axil de agotamiento del conjunto	174

Figura 177.	Reparto de cargas del espécimen PBDx de la segunda fase de ensayos, para el 50% y 75% del axil de agotamiento del conjunto	174
Figura 178.	Deslizamiento Hormigón-acero en soportes de cinco presillas con capitel ..	175
Figura 179.	Deslizamiento Hormigón-acero en soportes de cinco presillas con capitel ..	175
Figura 180.	Deslizamiento Hormigón-acero en las presillas cercanas a la cabeza en soportes reforzados con cinco y siete presillas por cada cara del soporte y con capitel	175
Figura 181.	Equilibrio de fuerzas en una rebanada diferencial del pilar de hormigón reforzado	183
Figura 182.	Transmisión de cargas a lo largo de la presilla	185
Figura 183.	Relación entre q_h , σ_c y M_p	186
Figura 184.	Relación entre N_{exp} y N_{teo} para distintos valores de k y $\mu=0,6$	193
Figura 185.	Relación entre N_{exp} y N_{teo} para distintos valores de k y $\mu=0,3$	193
Figura 186.	Relación entre N_{exp} y N_{teo} para distintos valores de k y $\mu=0,2$	193
Figura 187.	Relación entre N_{exp} y N_{teo} en función del factor de forma	194
Figura 188.	Relación entre N_{exp} y N_{teo} para distintos valores de k y $\mu=0,6$	195
Figura 189.	Relación entre N_{exp} y N_{teo} para distintos valores de k y $\mu=0,6$	195
Figura 190.	Relación entre N_{exp} y N_{teo} en función del factor de forma	196
Figura 191.	Curva Teórica Carga-Acortamiento del soporte BD suponiendo la plastificación del angular	199
Figura 192.	Curva Teórica Carga-Acortamiento del soporte BD suponiendo la plastificación de la presilla	200
Figura 193.	Curva Teórica Carga-Acortamiento del soporte BC suponiendo la plastificación del angular	200
Figura 194.	Curva Teórica Carga-Acortamiento del soporte BC suponiendo la plastificación de la presilla	201
Figura 195.	Curva Teórica Carga-Acortamiento del soporte MBD suponiendo la plastificación del angular	201
Figura 196.	Curva Teórica Carga-Acortamiento del soporte MBD suponiendo la plastificación de la presilla	202
Figura 197.	Curva Teórica Carga-Acortamiento del soporte PBD suponiendo la plastificación del angular	202
Figura 198.	Curva Teórica Carga-Acortamiento del soporte PBD suponiendo la plastificación de la presilla	203
Figura 199.	Curva Teórica Carga-Acortamiento del soporte PBC suponiendo la plastificación del angular	203
Figura 200.	Curva Teórica Carga-Acortamiento del soporte PBC suponiendo la plastificación de la presilla	204
Figura 201.	Curva Teórica Carga-Acortamiento del soporte BD suponiendo la plastificación del angular por el efecto local de abolladura del ala del capitel	205
Figura 202.	Curva Teórica Carga-Acortamiento del soporte BC suponiendo la plastificación del angular por el efecto local de abolladura del ala del capitel	206

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Métodos de refuerzo de pilares de hormigón armado (GEHO 1994)	6
Tabla 2.	Ensayos sobre pilares reforzados con recrecidos de hormigón	9
Tabla 3.	Ensayos sobre pilares reforzados con láminas de materiales compuestos ...	11
Tabla 4.	Ensayos sobre pilares reforzados con chapas metálicas	13
Tabla 5.	Diferentes propuesta del valor de resistencia a compresión del hormigón confinado	21
Tabla 6.	Dosificaciones del hormigón utilizado en los ensayos	44
Tabla 7.	Características geométricas del perfil laminado L80.8	46
Tabla 8.	Probetas de la primera fase de ensayos	57
Tabla 9.	Probetas de la segunda fase de ensayos	58
Tabla 10.	Pilares testigo de la primera fase de ensayos	62
Tabla 11.	Instrumentación de las probetas AD y BD de la primera fase de ensayos ...	63
Tabla 12.	Instrumentación de las probetas AC de la primera fase de ensayos	64
Tabla 13.	Instrumentación de las probetas BC de la primera fase de ensayos.....	65
Tabla 14.	Probetas Testigo de la segunda fase de ensayos	66
Tabla 15.	Instrumentación de las probetas AD de la segunda fase de ensayos	67
Tabla 16.	Instrumentación de las probetas MEAD y MEBD de la segunda fase de ensayos	68
Tabla 17.	Instrumentación de las probetas PAD, PAC, PBD y PBC de la segunda fase de ensayos	69
Tabla 18.	Tabla resumen de todos los especímenes ensayados	70
Tabla 19.	Características de los especímenes con cinco presillas por cada lado del soporte	82
Tabla 20.	Características de los especímenes con siete presillas por cada lado del soporte	112
Tabla 21.	Datos teóricos y experimentales de los soportes de cinco presillas	153
Tabla 22.	Datos teóricos y experimentales de los soportes de siete presillas	154
Tabla 23.	Comparación de distintas formulaciones para obtener el incremento de axil proporcionado por el refuerzo, y los resultados experimentales	155
Tabla 24.	Especímenes de 5 presillas sin capitel	177
Tabla 25.	Soportes de 5 presillas con capitel	178
Tabla 26.	Especímenes de 7 presillas sin capitel	178
Tabla 27.	Soportes de 7 presillas con capitel	179
Tabla 28.	Probetas ensayadas sin capitel	190
Tabla 29.	Comparación de resultados teóricos y experimentales en soportes reforzados sin capitel	197
Tabla 30.	Probetas ensayadas con capitel	198
Tabla 31.	Comparación de resultados teóricos y experimentales en soportes reforzados con capitel	204
Tabla 32.	Comparación de resultados teóricos y experimentales en soportes reforzados con cinco presillas y con capitel, teniendo en cuenta el efecto local de abolladura	206