

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

NOTACIÓN Y ABREVIATURAS

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

- 1.1 Introducción
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Contenido
- 1.4 Mención de “Doctor Internacional”

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

- 2.1 Introducción
- 2.2 Antecedentes
 - 2.2.1 Daños en estructuras producidos por terremotos
 - 2.2.2 Técnicas de refuerzo empleadas en columnas
 - 2.2.3 Estudio sobre nudos vigas columna
- 2.3 Características de los refuerzos con angulares y presillas metálicas
 - 2.3.1 Mecanismos que intervienen en el comportamiento de un SHARAPM
 - 2.3.1.1 Confinamiento
 - 2.3.1.2 Transmisión por tensiones rasantes
 - 2.3.1.3 Transmisión directa
- 2.4 Investigaciones llevadas a cabo sobre SHARAPM
 - 2.4.1 Ramírez y Bárcena (1975), Ramírez et al. (1977) y Ramírez (1996)
 - 2.4.2 Cirtek (2001a; 2001b)
 - 2.4.3 Corinaldesi V y Moriconi G (2006)

- 2.4.4 Adam et al. (2006), Adam (2007), Adam et al. (2007), Adam et al. (2009a; 2009b), Calderón et al. (2009), Giménez (2007) y Giménez et al. (2009a; 2009b)
- 2.4.5 Adam (2007), Adam et al. (2008a; 2008b)
- 2.4.6 Estudio experimental de Montuori y Piluso (2009) realizado en Italia.
- 2.4.7 Li et al. (2009)
- 2.4.8 Nagraprasad P. et al. (2009)
- 2.4.9 Badalamenti et al. (2010) y Campione (2012a; 2012b; 2013)
- 2.4.10 Garzón-Roca et al (2011a, 2011b, 2012), Jørgensen et al. (2013) y Garzón-Roca (2013)
 - 2.4.10.1 Estudio experimental Garzón-Roca et al. (2011b)
 - 2.4.10.2 Estudio experimental Garzón-Roca et al. (2011a)
 - 2.4.10.3 Modelo numérico Garzón-Roca et al. (2012)
 - 2.4.10.4 Propuesta de diseño basada en redes neuronales. Jørgensen et al. (2013)
- 2.4.11 Otras investigaciones en SHARAPM
- 2.5 Conclusiones relativas al estado del arte en SHARAPM

CAPÍTULO 3. PROGRAMA EXPERIMENTAL PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- 3.1 Introducción
- 3.2 Características de las probetas
 - 3.2.1 Número de probetas
 - 3.2.2 Geometría
 - 3.2.3 Materiales
 - 3.2.3.1 Hormigón
 - 3.2.3.2 Armaduras
 - 3.2.4 Armado interior de las probetas
 - 3.2.5 Refuerzo metálico
 - 3.2.5.1 Refuerzo de la columna
 - 3.2.5.2 Refuerzo del nudo
- 3.3 Instrumentación
 - 3.3.1 Instrumentación de la armadura
 - 3.3.2 Instrumentación del refuerzo
 - 3.3.3 Instrumentación del nudo
- 3.4 Acciones sobre probeta
 - 3.4.1.1 Cargas gravitatorias

- 3.4.1.2 Cargas cíclicas
- 3.5 Procedimiento de ensayo
 - 3.5.1 Aplicación de las cargas
 - 3.5.2 Control de ensayo
 - 3.5.3 Esquema de ensayo
 - 3.5.4 Pórtico de ensayos
- 3.6 Conclusiones relativas al programa experimental

CAPÍTULO 4. RESULTADOS GENERALES

- 4.1 Introducción
- 4.2 Resultados de probetas Tipo S
 - 4.2.1 Respuesta histerética Fuerza-Desplazamiento. Probetas Tipo S
 - 4.2.2 Envoltentes Fuerza-Desplazamiento. Probetas Tipo S
 - 4.2.3 Energía y rigidez. Probetas Tipo S
 - 4.2.3.1 Energía. Probetas Tipo S
 - 4.2.3.2 Rigidez. Probetas Tipo S
- 4.3 Resultados de probetas Tipo A. $N = 0$
 - 4.3.1 Respuesta histerética Fuerza-Desplazamiento. Probetas Tipo A. $N = 0$
 - 4.3.2 Envoltentes Fuerza-Desplazamiento. Probetas Tipo A. $N = 0$
 - 4.3.3 Energía y rigidez. Probetas Tipo A. $N = 0$
 - 4.3.3.1 Energía. Probetas Tipo A, $N=0$
 - 4.3.3.2 Rigidez. Probetas Tipo A, $N=0$
- 4.4 Resultados de probetas Tipo A. $N \neq 0$
 - 4.4.1 Respuesta histerética Fuerza-Desplazamiento. Probetas Tipo A. $N \neq 0$
 - 4.4.2 Envoltentes Fuerza-Desplazamiento. Probetas Tipo A. $N \neq 0$
 - 4.4.3 Energía y rigidez. Probetas Tipo A. $N \neq 0$
 - 4.4.3.1 Energía. Probetas Tipo A, $N \neq 0$
 - 4.4.3.2 Rigidez. Probetas Tipo A, $N \neq 0$
- 4.5 Comparativa general entre tipos de probetas
 - 4.5.1 Principales características de los ensayos realizados con o sin cargas gravitatorias
 - 4.5.2 Comparativa de curvas Fuerza-Desplazamiento
- 4.6 Conclusiones relativas a los resultados generales

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- 5.1 Introducción
- 5.2 Análisis de resultados. Probetas Tipo S
 - 5.2.1 Comportamiento de las armaduras interiores. Probetas Tipo S
 - 5.2.2 Comportamiento de las barras exteriores de refuerzo. Probetas Tipo S
 - 5.2.3 Comportamiento de los angulares metálicos del refuerzo. Probetas Tipo S
 - 5.2.4 Comportamiento de las presillas metálicas del refuerzo. Probetas Tipo S
- 5.3 Análisis de resultados. Probetas Tipo S. $N = 0$
 - 5.3.1 Comportamiento de las armaduras interiores. Probetas Tipo A. $N = 0$
 - 5.3.2 Comportamiento de las barras exteriores de refuerzo. Probetas Tipo A, $N=0$
 - 5.3.3 Comportamiento de los angulares metálicos del refuerzo. Probetas Tipo A, $N=0$
 - 5.3.4 Comportamiento de las presillas metálicas del refuerzo. Probetas Tipo A, $N=0$
- 5.4 Análisis de resultados. Probetas Tipo S. $N \neq 0$
 - 5.4.1 Comportamiento de las armaduras interiores. Probetas Tipo A. $Axil \neq 0$
 - 5.4.2 Comportamiento de las barras exteriores de refuerzo. Probetas Tipo A, $N \neq 0$
 - 5.4.3 Comportamiento de los angulares metálicos del refuerzo. Probetas Tipo A, $N \neq 0$
 - 5.4.4 Comportamiento de las presillas metálicas del refuerzo. Probetas Tipo A, $N \neq 0$
- 5.5 Conclusiones relativas al análisis de resultados

CAPÍTULO 6. MODOS DE FALLO Y PAUTAS DE COMPORTAMIENTO DEL NUDO

- 6.1 Introducción
- 6.2 Modos de fallo
 - 6.2.1 Modo de fallo probetas Tipo S
 - 6.2.2 Modo de fallo probetas Tipo A, $N=0$
 - 6.2.3 Modo de fallo probetas Tipo A, $N \neq 0$
 - 6.2.4 Modos de fallo generales
- 6.3 Pautas de comportamiento del nudo
 - 6.3.1 Pautas de comportamiento de las armaduras de los pilares
 - 6.3.2 Pautas de comportamiento de las columnas
 - 6.3.3 Pautas de comportamiento armaduras vigas
 - 6.3.4 Pautas de comportamiento del nudo
- 6.4 Conclusiones relativas a los modos de fallo y a las pautas de comportamiento del nudo

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONI E LAVORO FUTURO

- 7.1 Conclusioni
- 7.2 Contributo originale della Tesi
- 7.3 Lavoro futuro

REFERENCIAS

ANEJOS

Anejo I. Medidas de galgas extensométricas

Anejo II. Deformación de armaduras interiores a través del nudo

ÍNDICE DE FIGURAS

- Fig. 2.1. Edificios de HA afectados por terremotos. a) desplome de planta baja en piso débil, Izmit, Turquía 1999 (Bonett RL, 2003); b) mecanismo de fallo viga fuerte-columna débil, Kocaeli, Turquía 1999. (Saatcioglu M et al., 2001); c) fallo de columna corta provocado por los cerramientos (www.proteccioncivil.org); d) fallo de columna corta, Lorca 2011; e) falta de confinamiento en columna (www.proteccioncivil.org); f) rotura por cortante en columna, Lorca 2011; g) falta de continuidad de armado en columnas (www.proteccioncivil.org); h) fallos en nudo viga-columna (Sezen et al., 2003); i) falta de confinamiento en extremo de viga (Arslan MH, 2006); j) fallo de anclaje armadura de vigas, Lorca 2011.
- Fig. 2.2. Técnicas principales empleadas para el refuerzo de columnas. a) recrecidos de hormigón, b) materiales compuestos FRP, c) encamisado metálico con chapa continua, d) encamisado metálico con angulares y presillas.
- Fig. 2.3. Confinamiento en altura impuesto por el refuerzo en un SHARAPM (Adam, 2007).
- Fig. 2.4. Interfaces acero-mortero-hormigón en que se produce la transmisión por tensiones rasantes (Adam, 2007).
- Fig. 2.5. Transmisión de carga a los angulares del refuerzo a través de las presillas (Giménez, 2007; Calderón, 2009).
- Fig. 2.6. Transmisión directa de tensiones del nudo viga-soporte al refuerzo metálico (Adam, 2007).
- Fig. 2.7. Tipologías de refuerzo de los soportes (cotas en mm) ensayados por Ramírez y Bárcena (1975), Ramírez et al.
- Fig. 2.8. SHARAPM (cotas en mm) ensayados por Cirtek (2001a; 2001b).
- Fig. 2.9. Estudio experimental de Corinaldesi V y Moriconi G (2006). a) acciones cíclicas sobre probetas, b) refuerzo de nudo viga-columna aplicado.
- Fig. 2.10. Roturas tras ensayos (Corinaldesi V y Moriconi G, 2006). a) rotura en nudo de probeta testigo. b) rotura en extremo de viga en probeta reforzada.
- Fig. 2.11. Refuerzo de los soportes ensayados a compresión centrada con 5 presillas: a) probetas ADa, AC, ADb y MEAD; b) probetas BD y BC; c) probeta MEBD (adaptada de Adam, 2007).

- Fig. 2.12. Refuerzo de los soportes ensayados a compresión centrada con 7 presillas: a) probetas PAC y PAD; b) probetas PBC y PBD (adaptada de Adam, 2007) .
- Fig. 2.13. Imágenes de la rotura de una de las probetas ensayadas (Giménez, 2007).
- Fig. 2.14. Modos de fallo observados en el refuerzo metálico en los modelos de elementos finitos (se muestran la tensión de von Mises). a) plastificación del primer tramo de angular; b) plastificación del angular en el tramo central (nótese la disposición de una presilla adicional); c) plastificación de la primera presilla (Adam et al., 2009b).
- Fig. 2.15. Probetas ensayadas por Adam (2007), Adam et al. (2008a; 2008b). a) geometría, b) refuerzo probetas AxL.C, c) refuerzo probetas AxL.T. (Cotas en mm.).
- Fig. 2.16. Modo de rotura de la probeta AxL.C (Adam 2007), Adam et al. (2008a, 2008b).
- Fig. 2.17. Modo de rotura de la probeta AxL.T (Adam 2007), Adam et al. (2008a; 2008b).
- Fig. 2.18. Ensayos desarrollados por Montuori y Piluso (2009). a) vista un ensayo; b) esquema de los elementos empleados en los ensayos.
- Fig. 2.19. Estudio experimental Li J. et al. (2009). a) refuerzo mediante angulares y presillas metálicas, b) probeta de referencia, c) probeta reforzada con angulares y presillas.
- Fig. 2.20. Geometría de las probetas. (Nagaprasad P. et al., 2009). a) detalles de armado, b) probeta reforzada RCO, (c) probeta reforzada RCS1.
- Fig. 2.21. Nivel de daño y respuesta histerética de las probetas. (Nagaprasad P. et al., 2009). a) probeta testigo RCO, b) probeta reforzada RCS1, c) probeta reforzada RCS2.
- Fig. 2.22. Probetas ensayadas. Campione (2013).
- Fig. 2.23. Refuerzo de probetas (Garzón-Roca et al., 2011b). a) refuerzo del soporte. b) refuerzo tipo C. c) refuerzo tipo T.
- Fig. 2.24. Rotura de probetas tipo C. (Garzón-Roca et al., 2011b). a) foto general del ensayo. b) fisura de tracción en cara inferior de la probeta, con despegue del capitel. c) fisuras de descompresión del nudo en zona superior comprimida, con penetración del capitel en el hormigón.
- Fig. 2.25. Rotura de probetas tipo T. (Garzón-Roca et al., 2011b). a) foto general del ensayo. b) zona de rotura c) aplastamiento del hormigón por compresión y abolladura de los angulares.
- Fig. 2.26. Refuerzo de probetas (Garzón-Roca et al., 2011a). a) refuerzo del soporte. b) refuerzo tipo A. c) refuerzo tipo B.

- Fig. 2.27. Rotura de probetas tipo A (Garzón-Roca et al., 2011a). a) foto frontal del nudo. b) fisuras de compresión del nudo en zona superior, con penetración del capitel en el hormigón. c) fisura de tracción por cono de arrancamiento del taco químico.
- Fig. 2.28. Rotura de probetas tipo B (Garzón-Roca et al., 2011a). a) foto frontal del nudo. b) fisuras de compresión del nudo en zona superior, con penetración del capitel en el hormigón c) fisura de tracción con despegue de capitel debido a su deformación. d) deformación de capitel en zona inferior traccionada.
- Fig. 2.29. Diagrama numérico N-M SHARAPM. Garzón-Roca et al. (2012).
- Fig. 3.1. Zona de un entramado de edificación simulada en los ensayos.
- Fig. 3.2. Ley de momentos flectores bajo cargas gravitatorias (izquierda) y cargas horizontales (derecha), mostrando la posición de los puntos de inflexión (momento flector nulo) y la longitud de los tramos de viga y de columna de las probetas. (Cotas en m.).
- Fig. 3.3. Geometría de las probetas (cotas en mm.).
- Fig. 3.4. Cajón metálico situado en los extremos de la probeta (cotas en mm.).
- Fig. 3.5. Fabricación de la probeta de hormigón armado. a) ferralla de la probeta colocada en el encofrado para su hormigonado, b) probeta finalizada con la instrumentación protegida en bolsas.
- Fig. 3.6. Barras corrugadas embebidas en la probeta para asegurar la conexión entre la probeta y el pórtico de ensayos.
- Fig. 3.7. a) Vertido de hormigón en probeta. b) prensa hidráulica para ensayo de compresión. c) rotura a compresión de probeta cilíndrica.
- Fig. 3.8. Ensayo de tracción de la armadura diámetro nominal 16mm. a) curva fuerza-desplazamiento. b) estricción de la barra.
- Fig. 3.9. Armado viga Tipo A.
- Fig. 3.10. Fotografías del armado de la viga Tipo A. a) terminación en extremo, b) solape de armadura discontinua en nudo.
- Fig. 3.11. Armado viga Tipo S.
- Fig. 3.12. Fotografías del armado de la viga Tipo S. a) terminación en extremo, b) continuidad de armaduras en el nudo.
- Fig. 3.13. Armado de soporte.
- Fig. 3.14. Fotografías de la armadura del soporte .
- Fig. 3.15. Acopio de algunas probetas en fase de ejecución.

- Fig. 3.16. Equivalencia soporte completo–semisoporte. a) soporte real. b) simetría utilizada.
- Fig. 3.17. Refuerzo tramos de soporte.
- Fig. 3.18. Capitel empleado para refuerzo de nudo con barra vertical.
- Fig. 3.19. Refuerzo de nudos. a) sin refuerzo, b) solo capitel, c) taco químico, d) barra vertical, e) barra diagonal.
- Fig. 3.20. Galga extensométrica en armado interior. a) preparación de la superficie de la armadura, b) galga colocada en dirección longitudinal, c) protección de la galga.
- Fig. 3.21. Galgas extensométricas en armado de soportes.
- Fig. 3.22. Galgas extensométricas en armado de viga Tipo A.
- Fig. 3.23. Galgas extensométricas en armado de viga Tipo S.
- Fig. 3.24. Galgas extensométricas en refuerzo exterior de soportes.
- Fig. 3.25. Galgas extensométricas en refuerzo metálico.
- Fig. 3.26. Captadores de desplazamiento colocados para medir la distorsión del nudo. a) probeta reforzada con barras verticales, b) probeta reforzada con barras diagonales.
- Fig. 3.27. Acciones gravitatorias aplicadas en probetas. a) sobre soporte, b) sobre vigas.
- Fig. 3.28. Acciones horizontales resultantes en las probetas.
- Fig. 3.29. Modos de ensayo para la aplicación de las cargas. a) en columnas, b) en vigas.
- Fig. 3.30. Protocolos de carga. a, b, c) probetas Tipo A. Drift/desplazamiento/fuerza-tiempo, d, e, f) probetas Tipo S. Drift/desplazamiento/fuerza-tiempo.
- Fig. 3.31. Equipos informáticos controlando los parámetros de entrada y de salida del ensayo.
- Fig. 3.32. Esquema de ensayo (cotas en mm.).
- Fig. 3.33. a) Actuador hidráulico para carga cíclica y transductor de fuerza, b) conexión articulada de extremo de viga con actuador hidráulico, c) conexión articulada de actuador hidráulico en la base, d) actuador hidráulico para carga axil, e) conexión articulada de cabeza de columna, f) deslizadera vertical articulada, g) conexión articulada de pie columna.
- Fig. 3.34. Pórtico de ensayos.
- Fig. 3.35. Probeta dentro del pórtico lista para ser ensayada.
- Fig. 4.1. Probeta S.VB.L0-1. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 3.5%.

- Fig. 4.2. Probeta S.VB.L0-2. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 3.5%.
- Fig. 4.3. Probeta S.DB.L0-1. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 3.5%.
- Fig. 4.4. Probeta S.DB.L0-2. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 3.5%.
- Fig. 4.5. Envolvente $F-\delta$ probeta Tipo S. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift.
- Fig. 4.6. Parámetros fuerza-desplazamiento utilizados.
- Fig. 4.7. Energía disipada acumulada. Probetas Tipo S.
- Fig. 4.8. Energía disipada por cada ciclo. Probetas Tipo S. a) probeta con barra vertical, b) probeta con barra diagonal.
- Fig. 4.9. Rigidez probetas Tipo S. a) rigidez todas las probetas. b) rigidez unitaria probeta con barras verticales y probeta con barras diagonales.
- Fig. 4.10. Probeta A.W.L0-1. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift.
- Fig. 4.11. Probeta A.W.L0-2. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 3.5%.
- Fig. 4.12. Probeta A.C.L0. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 3.5%.
- Fig. 4.13. Probeta A.CA.L0-1. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 3.5%.
- Fig. 4.14. Probeta A.CA.L0-2. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 3.5%.
- Fig. 4.15. Probeta A.VB.L0-1. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 3.5%.
- Fig. 4.16. Probeta A.VB.L0-2. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 3.5%.
- Fig. 4.17. Probeta A.DB.L0-1. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 3.5%.
- Fig. 4.18. Probeta A.DB.L0-2. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 3.5%.
- Fig. 4.19. Envolvente $F-\delta$ probeta Tipo A, N=0. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift.

- Fig. 4.20. Media de envolventes $F-\delta$ probetas Tipo A, $N=0$. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift.
- Fig. 4.21. Energía disipada acumulada. Probetas Tipo A. $N=0$.
- Fig. 4.22. Energía disipada por cada ciclo. Probetas Tipo A, $N=0$. a) probeta A.W.L0, b) probeta A.C.L0, c) A.CA.L0, d) A.VB.L0, e) A.DB.L0.
- Fig. 4.23. Rigidez probetas Tipo A, $N=0$. a) rigidez de las probetas, b) rigidez unitaria de las probetas.
- Fig. 4.24. Cociente de rigideces de probetas Tipo A, $N=0$.
- Fig. 4.25. Probeta A.CA.L1-1. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 2.5%.
- Fig. 4.26. Probeta A.CA.L1-2. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 2.5%.
- Fig. 4.27. Probeta A.C.L1. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 3.0%.
- Fig. 4.28. Probeta A.VB.L1. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 3.0%.
- Fig. 4.29. Probeta A.DB.L1-1. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 2.5%.
- Fig. 4.30. Probeta A.DB.L1-2. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 3.5%.
- Fig. 4.31. Probeta A.VB.L1-R. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift, c y d) fotografías Drift +/- 3.0%.
- Fig. 4.32. Envolvente $F-\delta$ probetas Tipo A, $N \neq 0$. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift.
- Fig. 4.33. Comparativa de envolvente $F-\delta$ probetas Tipo A, $N \neq 0$. a) probetas A.CA.L1, b) probetas $N \approx 750$ KN.
- Fig. 4.34. Media de envolventes $F-\delta$ probetas Tipo A, $N \neq 0$. a) cortante soporte-Drift, b) cortante vigas-Drift.
- Fig. 4.35. Energía disipada acumulada. Probetas Tipo A. $N \neq 0$.
- Fig. 4.36. Energía disipada por cada ciclo. Probetas Tipo A, $N \neq 0$.
- Fig. 4.37. Rigidez probetas Tipo A, $N \neq 0$. a) rigidez de las probetas, b) rigidez unitaria de las probetas.

- Fig. 4.38. Ciclos de histéresis para ensayos sin cargas gravitatorias. Probeta S.VB.L0-1. a) Fuerza cortante en columna versus Drift, b) Fuerza cortante en vigas versus Drift.
- Fig. 4.39. Ciclos de histéresis para ensayos con cargas gravitatorias. Probeta A.DB.L1-2. a) Fuerza cortante en columna versus Drift, b) Fuerza cortante en vigas versus Drift.
- Fig. 4.40. Fuerza cortante en columna versus Drift. a) efecto tipo de conexión columna-nudo, b) probetas con carga axial, c) efecto carga axial, d) efecto de barras diagonales, e) efecto de tipo de viga, f) efecto de reparación post-ensayo.
- Fig. 5.1. Valores medidos por la galga C3.-2 en función del tiempo. Probeta S.VB.L0-1
- Fig. 5.2. Valores medidos por la galga C3.-2 en función del desplazamiento, probeta S.VB.L0-1: a) todos los ciclos, b) uno de los ciclos de para cada Drift 1, 3 y 5 %
- Fig. 5.3. Envolventes de deformaciones medidas en la armadura del pilar de probetas S.VB.L0: a) galga C3.-2 de probeta S.VB.L0-1, b) galgas en posiciones +/-2 de la pareja de probetas S.VB.L0
- Fig. 5.4. Deformaciones promedias medidas en las armaduras del pilar para las probetas Tipo S: a) Probeta S.VB.L0, b) Probeta S.DB.L0
- Fig. 5.5. Deformaciones promedias medidas en las armaduras de la viga para las probetas Tipo S: a) Probeta S.VB.L0, b) Probeta S.DB.L0
- Fig. 5.6. Deformaciones promedias medidas en las armaduras interiores de las probetas Tipo S para un desplazamiento de Drift 1%: a) armaduras de pilares, b) armaduras de vigas
- Fig. 5.7. Valores medidos por las galgas de barras exteriores en función del tiempo: a) probeta S.VB.L0-1, b) probeta S.DB.L0-2
- Fig. 5.8. Valores medidos por las galgas de barras exteriores en función del desplazamiento: a) probeta S.VB.L0-1, b) probeta S.DB.L0-2
- Fig. 5.9. Valores medidos por las galgas de barras exteriores en función del desplazamiento para algunos ciclos: a) probeta S.VB.L0-1, b) probeta S.DB.L0-2
- Fig. 5.10. Envolventes de deformaciones medidas en una barra exterior de cada tipo de probeta Tipo S: a) deformaciones versus Drift, b) deformaciones versus cortante en columna.
- Fig. 5.11. Ratio $\mu\epsilon/V_c$ para las deformaciones promedias medidas en las armaduras exteriores para las probetas Tipo S
- Fig. 5.12. Valores medidos por las galgas en angulares en función del desplazamiento: a) probeta S.VB.L0-1, b) probeta S.DB.L0-2
- Fig. 5.13. Envolventes de deformaciones medidas en angulares para de cada tipo de probeta Tipo S: a) deformaciones versus Drift, b) deformaciones versus cortante en columna.

- Fig. 5.14. Relación de fuerzas axiales entre angulares y barras exteriores. Probetas Tipo S
- Fig. 5.15. Sección mixta hormigón /angulares. Probetas Tipo S. a) momento flector soportado por cada sección, b) porcentajes de participación a flexión de cada sección
- Fig. 5.16. Envolvente de deformaciones medidas en presillas metálicas BT.L: a) S.VB.L0, b) S.DB.L0
- Fig. 5.17. Envolvente de deformaciones medidas en presillas metálicas BT.S.1 y BT.I.1: a) S.VB.L0, b) S.DB.L0
- Fig. 5.18. Envolvente de deformaciones medidas en presillas metálicas BT.S.2 y BT.I.2: a) S.VB.L0, b) S.DB.L0
- Fig. 5.19. Deformaciones promedias medidas en las armaduras del pilar para las probetas Tipo A, N=0, a) probeta A.W.L0, b) probeta A.C.L0, c) probeta A.CA.L0, d) probeta A.VB.L0, e) A.DB.L0
- Fig. 5.20. Deformaciones promedias medidas en las armaduras interiores del pilar para las probetas Tipo A, N=0, a) Drfit 1%, b) Drift 2%
- Fig. 5.21. Ratio $\mu\epsilon/V_c$ para las deformaciones promedias medidas en las armaduras interiores del pilar para las probetas Tipo A, N=0, a) Drfit 1%, b) Drift 2%
- Fig. 5.22. Valores medidos por las galgas BAC.-1 y BA4.-1 en función del tiempo. Probeta A.C.L0
- Fig. 5.23. Valores medidos por las galgas BAC.-1 y BA4.-1 en función del Drift. Probeta A.C.L0
- Fig. 5.24. Valores medidos por las galgas BAC.3 y BA4.-3 en función del Drift. Probeta A.VB.L0-1
- Fig. 5.25. Valores medidos por las galgas BA1.3 de las probetas A.VB.L0-1 y A.C.L0 en función del tiempo.
- Fig. 5.26. Valores medidos por las galgas BA1.3 de las probetas A.VB.L0-1 y A.C.L0 en función del Drift.
- Fig. 5.27. Medidas de las galgas de las armaduras de las vigas de las probetas Tipo A N=0 bajo carga gravitatoria en vigas, para todas las posiciones instrumentadas, desde las posición -3 a la posición +3.
- Fig. 5.28. Medidas de las galgas de las armaduras de las vigas de las probetas Tipo A N=0, para todas las posiciones instrumentadas, desde las posición -3 a la posición +3.
- Fig. 5.29. Comparativa de medidas de las galgas de las armaduras de las vigas de las probetas Tipo A N=0, para todas las posiciones instrumentadas, desde las posición -3 a la posición +3, para los Drift 0.25, 1.00 y 4.00%.

- Fig. 5.30. Coeficiente deformación unitaria/carga sobre viga de las armaduras de las vigas de las probetas Tipo A N=0, para todas las posiciones instrumentadas, desde las posición -3 a la posición +3, para el Drift 1.00%
- Fig. 5.31. Valores medidos por las galgas de las barras exteriores en función del desplazamiento: a) probetas A.VB.L0, b) probetas A.DB.L0
- Fig. 5.32. Envoltentes de los valores medidos por las galgas de las cuatro barras exteriores en función del desplazamiento: a) probeta A.VB.L0-1, b) probeta A.DB.L0-1
- Fig. 5.33. Envoltentes de deformaciones promedias en una barra exterior de cada tipo de probeta Tipo A con barra exterior: a) deformaciones versus Drift, b) deformaciones versus cortante en columna
- Fig. 5.34. Ratio $\mu\epsilon/V_c$ para las deformaciones promedias medidas en las armaduras exteriores para las probetas Tipo A, N=0
- Fig. 5.35. Valores medidos por las galgas en angulares en función del desplazamiento. Probetas Tipo A, N=0
- Fig. 5.36. Envoltente media de medidas de las medidas de las galgas colocadas en angulares en función del desplazamiento.
- Fig. 5.37. Sección mixta hormigón /angulares. Probetas Tipo A, N=0. Columna izquierda) momento flector soportado por cada sección; columna derecha) porcentajes de participación a flexión de cada sección
- Fig. 5.38. Relación de fuerzas entre angulares y barras exteriores. Probetas Tipo A, N=0
- Fig. 5.39. Valores medidos por la galga C2.2 en función del tiempo. Probeta A.C.L1
- Fig. 5.40. Deformaciones promedias medidas en las armaduras del pilar para las probetas Tipo A, N \neq 0, a) probeta A.CA.L-1, b) probeta A.CA.L1-2, c) probeta A.C.L1, d) probeta A.VB.L1, e) A.DB.L1, f) A.VB.L1-R
- Fig. 5.41. Deformaciones promedias medidas en las armaduras interiores del pilar para las probetas Tipo A, N \neq 0, a) Drift 1%, b) Drift 2%
- Fig. 5.42. Valores medidos por las galgas BA4.1 y BAC.1 en función del tiempo. Probeta A.DB.L1-1
- Fig. 5.43. Valores medidos por las galgas BA4.1 y BAC.1 en función del Drift. Probeta A.DB.L1-1
- Fig. 5.44. Valores medidos por las galgas BA1.1 y BA1.3 en función del Drift. Probeta A.DB.L1-1
- Fig. 5.45. Valores medidos por las galgas BA1.1 y BAA.3 en función del Drift. Probeta A.DB.L1-1
- Fig. 5.46. Medidas de las galgas de las armaduras de las vigas de las probetas Tipo A N \neq 0 bajo carga gravitatoria en vigas, para todas las posiciones instrumentadas, desde las posición -3 a la posición +3.

- Fig. 5.47. Medidas de las galgas de las armaduras de las vigas de las probetas Tipo A $N \neq 0$, para todas las posiciones instrumentadas, desde las posición -3 a la posición +3.
- Fig. 5.48. Comparativa de medidas de las galgas de las armaduras de las vigas de las probetas Tipo A $N \neq 0$, para todas las posiciones instrumentadas, desde las posición -3 a la posición +3, para los Drift 0.25, 1.00 y 2.00%.
- Fig. 5.49. Valores medidos por las galgas de las barras exteriores en función del desplazamiento: a) probetas A.VB.L1, b) probetas A.DB.L1
- Fig. 5.50. Envolventes de los valores medidos por las galgas de las cuatro barras exteriores en función del desplazamiento: a) probeta A.VB.L1, b) probeta A.DB.L1
- Fig. 5.51. Envolventes de deformaciones promedias en una barra exterior de cada tipo de probeta Tipo A con carga axial sobre columnas: a) deformaciones versus Drift, b) deformaciones versus cortante en columna
- Fig. 5.52. Ratio $\mu\epsilon/V_c$ para las deformaciones promedias medidas en las armaduras exteriores para las probetas Tipo A, $N \neq 0$
- Fig. 5.53. Valores medidos por las galgas en angulares en función del desplazamiento. Probetas Tipo A, $N \neq 0$
- Fig. 5.54. Envolvente media de medidas de las medidas de las galgas colocadas en angulares en función del desplazamiento. Probetas Tipo A, $N \neq 0$
- Fig. 5.55. Sección mixta hormigón /angulares. Probetas Tipo A, $N \neq 0$. Columna izquierda) momento flector soportado por cada sección; columna derecha) porcentajes de participación a flexión de cada sección
- Fig. 5.56. Relación de fuerzas entre angulares y barras exteriores. Probetas Tipo A, $N \neq 0$
- Fig. 6.1. Modos de fallo probetas Tipo S: a,b) probetas reforzadas con barras verticales (Drift +/- 4%), c,d) probetas reforzadas con barras diagonales (Drift +/- 6%)
- Fig. 6.2. Rotura de barras diagonales. Probetas S.DB.L0: a) Fotografía tomada en el momento de la rotura, b) extremos de barra rotos, c) extremos de barra con deformaciones de plastificación remanentes
- Fig. 6.3. Fotografías del daño en el nudo de probetas S.VB.L0
- Fig. 6.4. Fisura de entronque pilar-nudo. Probeta S.DB.L0: a) fisura durante la flexión del pilar, b) sección donde se produce la fisura, c,d) corrugas de las armaduras de las vigas marcadas sobre sección de columna

- Fig. 6.5. Adherencia armadura de pilar. Probeta S.DB.L0: a) fisura durante la flexión del pilar, b) arrastre de material por deslizamiento de la armadura, c) orificio en el nudo tras la extracción de la armadura del pilar
- Fig. 6.6. Modos de fallo probetas Tipo A.W.L0, Drift +/- 6%
- Fig. 6.7. Entronque pilar-nudo en probetas tipo A.W.L0, A.C.L0 y A.CA.L0. a) fisuración concentrada pilar-nudo, b) despegue capitel, c y d) pérdida contacto armadura-hormigón, e y f) corrugas de armaduras marcadas en el hormigón.
- Fig. 6.8. Pérdida de adherencia armadura pilar
- Fig. 6.9. Fallo del taco químico. Probetas A.CA.L0
- Fig. 6.10. Fotografías de daño en probetas con capiteles, sin y con taco químico. a) A.C.L0, b) A.CA.L0-1, c) A.CA.L0-2
- Fig. 6.11. Modos de fallo probetas Tipo A.VB.L0, Drift +/- 6%
- Fig. 6.12. Capiteles probetas A.VB.L0. a) despegue de capitel por tracción, b) aplastamiento del hormigón por compresión bajo el capitel
- Fig. 6.13. Modos de fallo probetas Tipo A.DB.L0, Drift +/- 9%
- Fig. 6.14. Plastificación de la rosca de una de las barras diagonales de las probetas A.DB.L0. a) arandela presionando sobre el capitel en ciclo de tracción, b) arandela despegando del capitel en ciclo de compresión, c) deformaciones plásticas remanentes en rosca
- Fig. 6.15. Lijado de las corrugas en el hormigón marcadas por las armaduras
- Fig. 6.16. Modos de fallo probetas Tipo A.CA.L1, Drift +/- 3.5%. a,b) probeta A.CA.L1-1, c,d) probeta A.CA.L1-2
- Fig. 6.17. Modos de fallo probeta A.C.L1. a,b) Drift +/- 3%, c,d) Drift +/- 3.5%, e,f) armadura interior de pilar pandeada, g,h) daños por presión entre capitel y viga.
- Fig. 6.18. Modos de fallo probeta A.DB.L1. a,b) probeta A.DB.L1-1 Drift +/- 2.5%, c,d) probeta A.DB.L1-2 Drift +/- 3.5%, g,h) estado final probeta A.DB.L1-2, pandeo de armaduras y núcleo de hormigón disgregado
- Fig. 6.19. Fisuras de flexión en una viga de la probeta A.DB.L1-2
- Fig. 6.20. Modos de fallo probeta A.VB.L1. a,b) Drift +/- 1.5%, c,d) Drift +/- 3%, e) estado final del nudo después del ensayo, f) holgura remanente entre arandelas de una barra exterior vertical y capitel
- Fig. 6.21. Reparación de probeta A.VB.L1-R. a) Vaciado del material dañado del nudo, b) vista de armaduras superiores de viga, c) vista de armaduras inferiores de viga, d y e) soldadura de armaduras solapadas superiores e inferiores

- Fig. 6.22. Modos de fallo probeta A.VB.L1-R. a,b) Drift +/- 2.5%, c,d) Drift +/- 3.5%, e,f) Drift +/- 4.5%, g) pandeo por compresión de armadura inferior ,h) tracción de armadura inferior, i) rotura por tracción de armadura inferior, j) estado de daño final
- Fig. 6.23. Fotografías de los principales modos de fallo. a) fallo por flexión en uniones soportado (espécimen A.W.L0-2). b) fallo por flexión positiva y negativa en vigas (espécimen A.DB.L1-1). c) fallo por cortante en el nudo (espécimen S.VB.L0-1). d) fallo trasladado a las vigas tras la reparación espécimen (espécimen A.VB.L1-R). e) fallo por tracción de barras las exteriores (espécimen S.DB.L0-1). f) fallo por arrancamiento del taco químico (espécimen A.CA.L0-2)
- Fig. 6.24. Deformaciones y tensiones rasantes de armaduras interiores de pilares.a y b) probeta A.CA.L0, c y d) probeta S.VB.L0, e y f) probeta A.DB.L1
- Fig. 6.25. Comprobación seccional de columnas. $N=0$. a y b) probetas A.W.L0; c y d) probeta A.C.L0; e y f) probeta S.VB.L0; g, h e i) probeta S.DB.L0
- Fig. 6.26. Comprobación seccional de columnas. $N \neq 0$. a, b y c) probetas A.C.L1; d, e y f) probeta A.VB.L1; g, h e i) probeta A.DB.L1; j, k y l) probeta A.VB.L1-R
- Fig. 6.27. Deformaciones de armaduras continuas de vigas. a y b) probeta S.VB.L0, c y d) probeta A.C.L0, e y f) probeta A.DB.L1
- Fig. 6.28. Tensiones tangenciales de armaduras continuas de vigas. a y b) probeta S.VB.L0, c y d) probeta A.C.L0, e y f) probeta A.DB.L1
- Fig. 6.29. Deformaciones de armaduras discontinuas de vigas. a y b) probeta A.CA.L0, c y d) probeta A.DB.L1
- Fig. 6.30. Esquema conceptual del comportamiento del nudo. a) armaduras continuas con adherencia, b) armaduras continuas sin adherencia, c) efecto de la carga gravitatoria en las vigas, d) armaduras discontinuas
- Fig. 6.31. Esquema conceptual del comportamiento del nudo. a) con capiteles, b) con barras verticales, c) con barras diagonales, e) con carga axial en columna

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 3.1. Algunas características de ensayos similares.
- Tabla 3.2. Número y propiedades de los especímenes ensayados.
- Tabla 3.3. Resultado de probetas cilíndricas a los 28 días y el día del ensayo de los nudos viga-columna. Carga axial aplicada sobre las columnas
- Tabla 4.1. Valores de principales resultados. Probetas con vigas simétricas Tipo S.
- Tabla 4.2. Valores de principales resultados. Probetas con vigas asimétricas Tipo A, $N = 0$.
- Tabla 4.3. Valores de principales resultados. Probetas con vigas asimétricas Tipo A, $N \neq 0$.
- Tabla 6.1. Valor orientativo de las compresiones de las bielas diagonales de los nudos

NOTACIÓN Y ABREVIATURAS

A_c	Área de la sección transversal del soporte de hormigón armado
A_a	Área de la sección transversal del angular del refuerzo de la columna
A_b	Área de la sección transversal de la barra exterior del refuerzo
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
Drift	Desplome entre plantas consecutivas
E	Módulo de elasticidad del material considerado
E_a	Módulo de elasticidad del angular del refuerzo de la columna
E_b	Módulo de elasticidad de la barra exterior del refuerzo
F	Fuerza
f_c	Resistencia a compresión del hormigón
H	Longitud de la columna de la probeta
L	Longitud de la viga de la probeta
M	Momento flector
N	Carga axial
N_0	Carga axial de agotamiento de la sección de hormigón
N_a	Fuerza axial de los angulares metálicos
N_b	Componente vertical de la fuerza axial de las barras exteriores
T	Temperatura
V_c	Fuerza cortante sobre la columna
V_1	Fuerza cortante sobre la viga aplicada por el actuador hidráulico 1
V_2	Fuerza cortante sobre la viga aplicada por el actuador hidráulico 2
α	Ángulo que forman las barras exteriores con el eje vertical

δ	Desplazamiento
δ_c	Desplazamiento lateral del pilar
ε	Deformación del material considerado
ε_a	Deformación del angular del refuerzo de la columna
ε_b	Deformación de la barra exterior del refuerzo
$\mu\varepsilon$	Deformación del material considerado, expresado en micras
ν	Carga axial normalizada
\varnothing	Diámetro de la armadura
FRP	Polímero reforzado con fibras (fibre-reinforced polymers)
HA	Hormigón armado
ICITECH	Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón
LVDT	Captador de desplazamiento (linear variable differential transformer)
SHARAPM	Soporte de hormigón armado reforzado con angulares y presillas metálicas