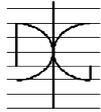


Estudio Experimental del comportamiento en servicio y rotura de las Regiones D generadas en el entorno de los Apoyos a Media Madera

Por:
Jaime Mata Falcón

Julio 2011

Autor / Author: Jaime Mata Falcón		Fecha / Date: 11/07/2011	
Título / Title Estudio Experimental del comportamiento en servicio y rotura de las Regiones D generadas en el entorno de los Apoyos a Media Madera			
Directores del trabajo / Supervisores: Pedro Miguel Sosa – Luis Pallarés Rubio		Código / Code: CST/MIH	Nº páginas / Pages: 343
Departamento / Departament: INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL			
Universidad / University: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA			UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA
Palabras clave / Keywords: Hormigón armado; análisis experimental; apoyos a media madera; bielas y tirantes; comportamiento en servicio; fisuración // Reinforced concrete; experimental analysis; dapped-end beams; strut and tie models; serviceability behavior; cracking			
Código Unesco: 3305/05 – Ciencias tecnológicas / Tecnología de la construcción / Tecnología del hormigón			

RESUMEN

Los Apoyos a Media Madera (AMM) son un tipo de apoyo muy común en la práctica constructiva actual del hormigón armado y pretensado, sobre todo en el ámbito de la prefabricación.

Desde el punto de vista estructural, la existencia tanto de una discontinuidad geométrica, debido al cambio de canto, como de una discontinuidad estática, debida a la aplicación de una carga concentrada, hace que los AMM se clasifiquen como Regiones de Discontinuidad (D). En las regiones D, se genera una distribución de tensiones internas compleja que invalida la hipótesis de Navier-Bernouilli. Para el diseño de este tipo de elementos, el procedimiento de cálculo más extendido es el Método de las Bielas y Tirantes (MBT).

Una de las principales carencias del MBT es que solamente está planteado para estados correspondientes a rotura, quedando sin tratar los requerimientos exigibles a cualquier estructura de hormigón en condiciones de servicio, tales como el control de la abertura de fisura y las deformaciones. Esta carencia resulta de especial relevancia en el estudio de los AMM, ya que en condiciones de servicio se genera una fisura en el vértice para solicitaciones relativamente bajas que puede comprometer la durabilidad del elemento. Como consecuencia, y por tratarse de elementos que suelen presentar patologías, la Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08) desaconseja su uso.

Dado que se trata de un elemento muy común y económico para la materialización de juntas en estructuras de hormigón, es necesario caracterizar su comportamiento en servicio.

En este trabajo de investigación se analiza el estado del conocimiento sobre AMM, detectando que el comportamiento en servicio de los AMM todavía no ha sido suficientemente estudiado. Por ello, se desarrolla una campaña experimental sobre AMM que estudia en detalle el comportamiento en servicio y en rotura de los AMM, tratando de profundizar en el conocimiento general del comportamiento en servicio de las regiones D. Este estudio forma parte del proyecto de investigación BIA2009-11369, titulado "*Estudio Experimental y Numérico de Regiones D Planas y Espaciales en Estructuras de Hormigón. Aplicación a Apoyos a Media Madera y Cálices*" y financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España.

Se realizan un total de 22 ensayos sobre 12 elementos tipo viga de 3,00 m de luz y sección 25x60 cm, que se reduce a 25x30 cm en los apoyos, con distintas cuantías y disposiciones de armado. Se analiza la influencia de distintas variables en el comportamiento de los AMM, como son: el nivel de cuantía de armadura, la existencia de armadura inclinada o la distancia del centro de gravedad del tirante vertical al borde de la pieza. Asimismo se estudia la variación de los mecanismos resistentes en función del nivel de carga actuante.

ABSTRACT

Dapped-end beams are currently a common end in concrete structures, particularly in the field of precast concrete manufacturing.

From the structural point of view, the existence of geometric and static discontinuities, due to the change of depth and to the application of point load respectively, makes that concrete members with dapped ends are classified as Discontinuity regions (D). A complex distribution of internal stresses appears in D regions, what disables Navier-Bernoulli's hypothesis. These regions are usually designed using the Strut-and-Tie Method (STM).

STMs only serve to design components under ultimate loads since is supported in the lower bound limit Theorem. Then, a remarkable weakness appears in order to design D-regions under serviceability loads to control crack width and deflections.

This lack is especially important in the study of dapped-end beams since a crack early appears at the corner under serviceability loads, and consequently the durability is compromised. As a consequence dapped-end beams are extremely sensitive to pathologies. In fact, the Spanish Code (EHE-08) forbids practitioners to design these components as much as possible.

Dapped-end beams is a common and inexpensive way to carry out expansion joints in the field of concrete structures, so an accurate description of the serviceability behavior is needed in order to reach a long-lived design.

In this Master Thesis, an analysis of the state of the art on dapped-end beams is carried out, concluding that there is a lack of knowledge on the behavior of dapped-end beams under serviceability loads. Therefore, an experimental program is carried out for dapped-end beams focusing on the serviceability and ultimate loads. This study belongs to the research project BIA2009-11369 funded by the Science and Innovation Ministry of Spain, and entitled "Experimental and Numerical Research on bidimensional and spatial D Regions of Concrete Structures. Case of Dapped-end Beams and Socket Foundations".

A total of 22 tests on 12 dapped-end beams of 3.00 m long and 25x60 cm cross-section, reduced to 25x30 cm at the ends, were carried out. Different amounts and reinforcing details were tested. It is analyzed the influence of different variables on the behavior of the dapped-end beams, like the amount of reinforcement, the existence of inclined reinforcement or the distance from the centroid of the vertical tie to the edge of the piece. It is also analyzed the different resistant mechanisms depending on the applied load level.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente la financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación de España al Proyecto BIA2009-11369 del que forma parte la presente investigación. En los difíciles tiempos que corren para la inversión pública se agradece el esfuerzo inversor en investigación y la confianza depositada en el grupo de investigación del que formo parte. Espero que el trabajo aquí mostrado empiece a justificar dicha inversión.

Mostrar mi agradecimiento a Pedro Miguel Sosa y Luis Pallarés Rubio, tanto por la confianza depositada en mí, como por su dirección y apoyo, así como por su buena disposición a recibir sugerencias y aportaciones. Sin sus conocimientos este trabajo no habría sido posible.

Muchas son las personas de las que he recibido ayuda, colaboración y aportaciones para la realización de este trabajo. Muestro a todos ellos mi sincero agradecimiento. Me gustaría remarcar el gran trabajo de Lino José Martínez Todolí en el desarrollo del programa experimental. También debo destacar y agradecer la colaboración de Cristina Sola García, Moisés Gutiérrez Vela y José Alós Moya.

El programa experimental se ha desarrollado en el Laboratorio de Hormigón del Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV); agradezco el apoyo institucional de la UPV, así como el de todo el personal técnico y administrativo de ICITECH. Fue un placer trabajar codo con codo, aunque demasiado poco, con Vicente Miguel Sosa; siempre resulta estimulante encontrar gente que no sólo mira en una única dirección y cuya curiosidad es contagiosa.

Ha resultado muy grato compartir experiencias y conocimientos con toda la gente del Máster; Anna, Cristina, Joaquín, Eugenio, Jaime y muchos otros fueron, primero compañeros, y algunos ya amigos. Gracias a todos ellos, a los compañeros del Departamento y también a mis amigos de la carrera: Carlos, Adrián, Manolo, Javi y demás gente que me dejó en el tintero.

Espero que los que más me conocéis sepáis apreciar este agradecimiento que, aparte de quedar bien, es sincero.

He podido disfrutar de los buenos momentos y aprender de los malos momentos especialmente en compañía de mis padres, mi hermano, Pablo, Andrés y Julia. Me gustaría dedicarles a ellos este trabajo.

Jaime Mata Falcón

Julio 2011

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	i
Abstract	ii
Agradecimientos	iii
Tabla de contenido	iv
Lista de figuras	viii
Lista de fotografías	xi
Lista de tablas	xii
Capítulo I Introducción	1
I.1 Generalidades.....	1
I.2 Descripción del estudio	3
I.3 Organización del documento	3
Capítulo II Estado del conocimiento	5
II.1 Introducción teórica a los métodos de diseño de Apoyos a Media Madera	5
II.1.1 El método de Bielas y Tirantes	5
II.1.2 Modelos de cálculo de fricción por cortante y flexión diagonal	10
II.2 Análisis de los ensayos experimentales existentes en la literatura	11
II.2.1 Primeras investigaciones (hasta 1987)	13
II.2.2 Validación del Método de las Bielas y Tirantes (1987-1999)	17
II.2.3 Investigaciones recientes (desde 2000).....	20
II.3 Breve análisis del tratamiento normativo de los AMM.....	23
II.3.1 EHE-08	24
II.3.2 Eurocódigo 2 (EN 1992-1-1:2004)	24
II.3.3 ACI 318-08.....	25
II.3.4 CSA A23.3-04	25
II.3.5 Código Modelo (2010 draft version).....	25
II.3.6 PCI Desing Handbook 7th edition	25
Capítulo III Objetivos y relevancia de la investigación	29

Capítulo IV Programa experimental.....	31
IV.1 Parámetros de estudio y plan de trabajo	31
IV.2 Configuración de ensayo.....	35
IV.3 Instrumentación y equipos.....	39
IV.3.1 Aplicación de la carga	39
IV.3.2 Medición de la carga actuante.....	40
IV.3.3 Medición de desplazamientos	40
IV.3.4 Medición de deformaciones.....	41
IV.3.5 Medición de aberturas de fisura	42
IV.3.5.1 Técnica fotogramétrica.....	43
IV.3.5.1.a Calibración.....	43
IV.3.5.1.b Modelo de cámara	44
IV.3.5.1.c Equipo.....	45
IV.3.5.1.d Procedimiento general	45
IV.3.5.1.e Comparativa de técnicas	46
IV.3.6 Equipo de adquisición de datos.....	47
IV.4 Propiedades de los materiales	47
IV.4.1 Hormigón.....	47
IV.4.2 Acero.....	49
IV.5 Desarrollo del programa experimental.....	49
Capítulo V Resultados experimentales	55
V.1 Descripción de las fichas de ensayos.....	55
V.1.1 Organización	55
V.1.2 Resultados	59
V.1.2.1 Puntos representativos de las gráficas	59
V.1.2.1.a Inicio de fisuración	59
V.1.2.1.b Punto de cambio de rigidez	59
V.1.2.2 Deformaciones	60
V.1.2.3 Flecha	60
V.1.2.4 Abertura de fisura.....	62
V.1.2.5 Tensiones	63
V.1.2.6 Tracciones	64

V.1.2.7 Tipo de rotura	65
V.2 Síntesis de resultados	65
Capítulo VI Discusión de resultados	67
VI.1 Comportamiento en servicio	67
VI.1.1 Determinación de la carga de servicio.....	67
VI.1.2 Análisis de la influencia de las variables estudiadas en la abertura de fisura.....	68
VI.1.2.1 Influencia del nivel de cuantía de armado	68
VI.1.2.2 Influencia de la configuración de armado	70
VI.1.2.3 Influencia del recubrimiento mecánico del tirante vertical	71
VI.2 Comportamiento en rotura	72
VI.2.1 Análisis de la influencia de las variables estudiadas en la carga última	73
VI.2.1.1 Influencia del nivel de cuantía de armado	73
VI.2.1.2 Influencia de la configuración de armado	73
VI.2.1.3 Influencia del recubrimiento mecánico del tirante vertical	75
VI.2.2 Comportamiento post-pico.....	76
VI.3 Análisis de otros fenómenos.....	78
VI.3.1 Evolución de los mecanismos resistentes	78
VI.3.2 Anclaje del tirante horizontal.....	80
VI.3.3 Distribución de deformaciones a lo largo del tirante vertical.....	81
Capítulo VII Síntesis, conclusiones y futuras líneas de investigación.....	83
VII.1 Síntesis.....	83
VII.2 Conclusiones	84
VII.3 Futuras líneas de investigación	85
Bibliografía	87
Anejo A Fichas de ensayos.....	91
A.1 Ensayo 001 (ρ_3 /HA30_A1_B1.1_C0_S1) – Apoyo 1	92
A.2 Ensayo 001 (ρ_3 /HA30_A1_B1.1_C0_S1) – Apoyo 2.....	100
A.3 Ensayo 003 (ρ_3 /HA30_A3_B1.1_C0_S1) – Apoyo 1	108
A.4 Ensayo 003 (ρ_3 /HA30_A3_B1.1_C0_S1) – Apoyo 2.....	116
A.5 Ensayo 006 (ρ_3 /HA30_A1_B4_C0_S1) – Apoyo 1.....	124

A.6 Ensayo 006 (ρ_3 /HA30_A1_B4_C0_S1) – Apoyo 2.....	132
A.7 Ensayo 010 (ρ_3 /HA30_A1_B1.2_C0_S3) – Apoyo 1.....	140
A.8 Ensayo 010 (ρ_3 /HA30_A1_B1.2_C0_S3) – Apoyo 2.....	148
A.9 Ensayo 011 (ρ_3 /HA30_A3_B1.2_C0_S3) – Apoyo 1.....	156
A.10 Ensayo 011 (ρ_3 /HA30_A3_B1.2_C0_S3) – Apoyo 2.....	164
A.11 Ensayo 013 (ρ_3 /HA30_A3_B3_C3_S1) – Apoyo 1.....	172
A.12 Ensayo 013 (ρ_3 /HA30_A3_B3_C3_S1) – Apoyo 2.....	180
A.13 Ensayo 014 (ρ_1 /HA30_A1_B1_C0_S3) – Apoyo 1.....	188
A.14 Ensayo 014 (ρ_1 /HA30_A1_B1_C0_S3) – Apoyo 2.....	196
A.15 Ensayo 015 (ρ_1 /HA30_A3_B1_C0_S3) – Apoyo 1.....	204
A.16 Ensayo 015 (ρ_1 /HA30_A3_B1_C0_S3) – Apoyo 2.....	212
A.17 Ensayo 016 (ρ_1 /HA30_A3_B3_C3_S1) – Apoyo 1.....	220
A.18 Ensayo 016 (ρ_1 /HA30_A3_B3_C3_S1) – Apoyo 2.....	228
A.19 Ensayo 017 (ρ_2 /HA30_A1_B1_C0_S3) – Apoyo 1.....	236
A.20 Ensayo 017 (ρ_2 /HA30_A1_B1_C0_S3) – Apoyo 2.....	244
A.21 Ensayo 018 (ρ_2 /HA30_A3_B1_C0_S3) – Apoyo 1.....	252
A.22 Ensayo 018 (ρ_2 /HA30_A3_B1_C0_S3) – Apoyo 2.....	260
A.23 Ensayo 019 (ρ_2 /HA30_A3_B3_C3_S1) – Apoyo 1.....	268
A.24 Ensayo 019 (ρ_2 /HA30_A3_B3_C3_S1) – Apoyo 2.....	276
Anejo B Protocolo de ensayo	285
Anejo C Ensayos de tracción para las barras de acero corrugado	293
Anejo D Ensayos de control del hormigón.....	297
D.1 Compresión simple.....	297
D.2 Tracción indirecta	298
Anejo E Cálculos de armados.....	301
E.1 Introducción.....	301
E.2 Listados de cálculo – Nivel bajo de cuantía de armado (ρ_3).....	302
E.3 Listados de cálculo – Nivel medio de cuantía de armado (ρ_2).....	329
E.4 Listados de cálculo – Nivel alto de cuantía de armado (ρ_1).....	336

LISTA DE FIGURAS

Figura I.1: Ejemplos de uso de Apoyos a Media Madera (AMM)	2
Figura II.1: Modelo de celosía de Ritter.....	6
Figura II.2: Geometría de la región D de un AMM y sistema de fuerzas puntuales equivalentes.....	6
Figura II.3: Modelos de bielas y tirantes – (a) Ortogonal – (b) Inclinado – (c) Mixto.....	7
Figura II.4: Anclaje de armadura en nudo CCT, extraído de Miguel et al. [7].....	9
Figura II.5: Esquema de fuerzas en el cálculo de fricción por cortante, extraído de Herzinger [12].....	10
Figura II.6: Esquema de fuerzas en el cálculo de flexión diagonal, extraído de Herzinger [12].....	11
Figura II.7: Codificación de geometría de las piezas.....	11
Figura II.8: Ensayos de Reynolds [15] - (a) Dimensiones del apoyo y detalles del armado – (b) Esquema de cálculo en rotura presuponiendo fisura a 45° - (c) Esquema de cálculo en rotura con fisura hacia parte superior del estribo vertical	13
Figura II.9: AMM ensayados por Werner y Dilger [16] - (a) Armado de piezas con armadura pasiva ortogonal – (b) Armado de piezas con armadura pasiva inclinada - (c) Detalle del anclaje de la armadura activa.....	14
Figura II.10: (a) Detalle de geometría y pretensado de los apoyos ensayados por Hamoudi et al.[17] - (b) Detalle de tirante inclinado ensayado por Menon y Furlong [18]	14
Figura II.11: Esquema de los ensayos realizados por Chan, Khan y Chung entre 1979 y 1985 [8], [19], [21]	15
Figura II.12: (a) Armado tipo de AMM empleado en la formulación de Mattock y Chan [9] – (b) Geometría y armado de los apoyos ensayados por Liem [20]	16
Figura II.13: AMM ensayados por Mattock y Theyo [23] - (a) Esquema de ensayo – (b) Geometría y armaduras activas.....	17
Figura II.14: Esquemas de bielas y tirantes propuestos por Cook y Mitchel [25]	17
Figura II.15: Patrones de fisuración propuestos por Clark y Thorogood [26] – (a) Concentrada – (b) Distribuida	18
Figura II.16: Armado y esquema de bielas y tirantes propuesto por So [29] para vigas en T pretensadas con transición gradual del canto	18
Figura II.17: Esquema de bielas y tirantes propuesto por Mader [30] para vigas pretensadas con armado inclinado.....	19
Figura II.18: Detalle del armado de los AMM ensayados por Kumaraguru [13]	19
Figura II.19: Modelo de bielas y tirantes propuesto por Lu, Lin et al. [31], [32]	20
Figura II.20: Geometría y armado de la pieza T6 ensayada por Zhu et al. [33]	21

Figura II.21: Esquemas de armado de AMM ensayados por Taher [34].....	21
Figura II.22: AMM ensayados por Huang y Nanni [36] – (a) Geometría y detalle de armadura pasiva – (b) Esquema de refuerzo con CFRP's	22
Figura II.23: Esquemas de ensayo de AMM de Herzinger [12], [14].....	23
Figura II.24: Esquemas de bielas y tirantes propuestos en la EHE-08 [2] y tomados del EC-2 [40]	24
Figura II.25: Mecanismos de rotura y geometría especificada en PCI Design Handbook [39].....	26
Figura IV.1: Geometría de piezas, esquema de carga (ensayo con apoyo intermedio) y codificación de armaduras principales.....	32
Figura IV.2: Armado de los tirantes principales. Pieza E016	35
Figura IV.3: Armado de la viga. Pieza 016.....	35
Figura IV.4: Configuración de ensayo simétrico.....	38
Figura IV.5: Configuración de ensayo con apoyo intermedio.....	38
Figura IV.6: Gráficas experimentales de evolución de la carga - (a) Ensayo con control de carga por fuerza - (b) Ensayo con control de carga por desplazamiento	40
Figura IV.7: Esquema de disposición de transductores de desplazamiento. Pieza 001	40
Figura IV.8: Esquema de ubicación de galgas extensométricas de acero. Pieza 014 – Apoyo 1	41
Figura IV.9: Esquema de ubicación de galgas de hormigón	42
Figura IV.10: Mosaico de fotografías para calibración de cámara	44
Figura IV.11: Comparativa de técnicas de medición de abertura de fisura	46
Figura V.1: Ejemplo de numeración de fichas de ensayos	55
Figura V.2: Ejemplo de gráfica carga-deformación. Ensayo 015A2.....	57
Figura V.3: Ejemplo de gráfica deformación-abertura de fisura. Ensayo 015A2.....	57
Figura V.4: Ejemplo de esquema de tensiones y tracciones. Ensayo 016A2	58
Figura V.5: Determinación de punto de cambio de rigidez. Armadura horizontal. Ensayo 016A1	60
Figura V.6: Esquema del movimiento de sólido rígido de la viga por descenso de los apoyos	60
Figura V.7: Flecha y datos de captadores.....	61
Figura V.8: Influencia de la distancia al borde de la pieza en la abertura de fisura en ensayo E016A2	62
Figura V.9: Obtención de abertura y deslizamiento de fisura.....	63
Figura V.10: Diagrama bilineal del acero	64
Figura VI.1: Influencia de la cuantía global de armado. Esquema de armado ortogonal equilibrado - (a) Carga total - (b) Carga adimensionalizada	69
Figura VI.2: Influencia de la cuantía global de armado. Esquema de armado ortogonal con armadura horizontal reducida - (a) Carga total - (b) Carga adimensionalizada.....	69

Figura VI.3: Influencia de la cuantía global de armado. Esquema de armado ortogonal e inclinado equilibrados - (a) Carga total - (b) Carga adimensionalizada	70
Figura VI.4: Influencia de la configuración de armado. Nivel alto de cuantía de armado - (a) Carga total - (b) Carga adimensionalizada	70
Figura VI.5: Influencia de la configuración de armado. Nivel medio de cuantía de armado - (a) Carga total - (b) Carga adimensionalizada.....	71
Figura VI.6: Influencia del recubrimiento mecánico del tirante vertical. Esquema de armado ortogonal equilibrado y nivel de cuantía bajo - (a) Carga total - (b) Carga adimensionalizada	71
Figura VI.7: Influencia del recubrimiento mecánico del tirante vertical. Esquema de armado ortogonal con armadura horizontal reducida y nivel bajo de cuantía - (a) Carga total - (b) Carga adimensionalizada.....	72
Figura VI.8: Esquemas de tensiones y tracciones. Ensayo E006A2 - (a) 75% carga máxima – (b) 100% carga máxima	74
Figura VI.9: Solicitación de los distintos planos de la armadura vertical - (a) Pieza con diseño de armado ortogonal equilibrado - (b) Pieza con armado ortogonal con déficit de armadura horizontal.....	76
Figura VI.10: Influencia de la cuantía de armado en el comportamiento post-pico. Piezas con armadura horizontal reducida - (a) Nivel bajo de cuantía de armado - ρ_3 . Alta ductilidad - (b) Nivel alto de cuantía armado – ρ_1 . Ductilidad media.....	77
Figura VI.11: Influencia del tipo de armado en el comportamiento post-pico. Piezas con cuantía global de armado alta – ρ_1 - (a) Armado ortogonal equilibrado. Ductilidad baja - (b) Armado ortogonal e inclinado equilibrados. Ductilidad media.....	77
Figura VI.12: Esquema de tensiones y tracciones. Ensayo 017A1 (25% carga máxima)	78
Figura VI.13: Esquema de tensiones y tracciones. Ensayo 016A2 (65% carga máxima)	79
Figura VI.14: Deformaciones en los tramos superiores de los estribos de cortante de la viga. E006A1	79
Figura VI.15: Deformaciones de la armadura horizontal a lo largo de su longitud - (a) E014A2 - (b) E016A2	80
Figura VI.16: Esquemas de tensiones y tracciones. Ensayo E015A1 - (a) 50% carga máxima – (b) 100% carga máxima	81
Figura C.1: Ejemplo de cálculo del límite elástico	294

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía I.1: Apoyos a Media Madera en paso superior de carretera CV-500 en el Saler, con acumulación de humedad y crecimiento de plantas.....	1
Fotografía II.1: Ensayo de AMM realizado por Mader [30].....	19
Fotografía II.2: Medida de fisuras. Ensayos de Zhu et al. [33].....	21
Fotografía II.3: Vista de ensayos de Huang y Nanni [36].....	22
Fotografía IV.1: Aparato de apoyo deslizante - (a) Placa inferior de PTFE - (b) Placa intermedia de acero inoxidable - (c) Lubricación de superficies - (d) Aparato de apoyo en ensayo	36
Fotografía IV.2: Vista general del ensayo	37
Fotografía IV.3: Distorsión radial.....	44
Fotografía IV.4: Patrones de textura superficial	45
Fotografía IV.5: Equipo de adquisición modular FieldPoint de NI	47
Fotografía IV.6: Proceso de instrumentación de la ferralla	50
Fotografía IV.7: (a) Preparación de encofrados - (b) Hormigonado	51
Fotografía IV.8: Montaje de probeta en pórtico de ensayo	51
Fotografía IV.9: Proceso de pegado de galgas en la superficie de hormigón - (a) Mezclado de adhesivo bicomponente - (b) Colocación de pegamento sobre galga - (c) Pegado.....	51
Fotografía IV.10: (a) Transductores de desplazamiento sobre la probeta - (b) Disposición de punteras en extremos de cables de galgas extensométricas.....	52
Fotografía IV.11: (a) Moteado de la región de medición fotogramétrica - (b) Colocación del equipo fotogramétrico	52
Fotografía IV.12: Detalle del ensayo E018-A2 en rotura.....	53
Fotografía V.1: Selección de puntos de medición a lo largo de la fisura. E016A2	62
Fotografía VI.1: Rotura de pieza. E014A1 (a) Instante previo a rotura - (b) Instante posterior a rotura	72
Fotografía C.1: Ensayo de tracción de acero - (a) Proceso de ensayo - (b) Barras tras la rotura. Serie 2	293
Fotografía D.1: Ensayo de compresión simple del hormigón - (a) Vista general de ensayo - (b) Detalle de probeta tras rotura	297
Fotografía D.2: Ensayo de tracción indirecta del hormigón - (a) Vista general de ensayo - (b) Detalle de probeta tras rotura	299

LISTA DE TABLAS

Tabla II.1: Resumen de ensayos experimentales de Apoyos a Media Madera encontrados en la bibliografía.....	12
Tabla IV.1: Niveles de cuantía de armado empleadas.....	33
Tabla IV.2: Resumen de esquemas de armado ensayados.....	34
Tabla IV.3: Resumen de ensayos y sus principales características.....	39
Tabla IV.4: Influencia de tipo de moteado en el ruido del proceso de seguimiento de patrones.....	45
Tabla IV.5: Características del hormigón.....	48
Tabla IV.6: Resistencias del hormigón. Serie 1.....	48
Tabla IV.7: Resistencias del hormigón. Serie 2.....	48
Tabla IV.8: Características mecánicas del acero. Serie 1.....	49
Tabla IV.9: Características mecánicas del acero. Serie 2.....	49
Tabla V.1: Abertura relativa de fisura en función de la distancia al borde de la pieza.....	63
Tabla V.2: Resumen de resultados.....	66
Tabla VI.1: Cargas de rotura relativas. Influencia de la cuantía global de armado.....	73
Tabla VI.2: Cargas de rotura relativas. Influencia de la configuración de armado.....	74
Tabla VI.3: Cargas de rotura relativas. Influencia del recubrimiento mecánico.....	75
Tabla C.1: Resultados de ensayos de tracción de acero. Serie 1.....	294
Tabla C.2: Resultados de ensayos de tracción de acero. Serie 2.....	295
Tabla D.1: Resultados de ensayos de compresión simple del hormigón. Serie 1.....	298
Tabla D.2: Resultados de ensayos de compresión simple del hormigón. Serie 2.....	298
Tabla D.3: Resultados de ensayos de tracción indirecta del hormigón. Serie 1.....	299
Tabla D.4: Resultados de ensayos de tracción indirecta del hormigón. Serie 2.....	299

Capítulo I

Introducción

I.1 Generalidades

Los Apoyos a Media Madera (AMM) son un tipo de apoyos muy comunes en la práctica constructiva actual del hormigón armado y pretensado, sobre todo en el ámbito de la prefabricación. Aparecen tanto en la construcción de puentes como en estructuras de edificación. En la Figura I.1 se muestran algunos ejemplos del uso de este tipo de apoyos.

Los AMM son elementos comúnmente empleados por su sencilla ejecución para materializar juntas de dilatación. Asimismo, su forma permite mantener constante el canto del forjado o tablero en el que se ejecute, lo que conduce a una mejor integración en la estructura.

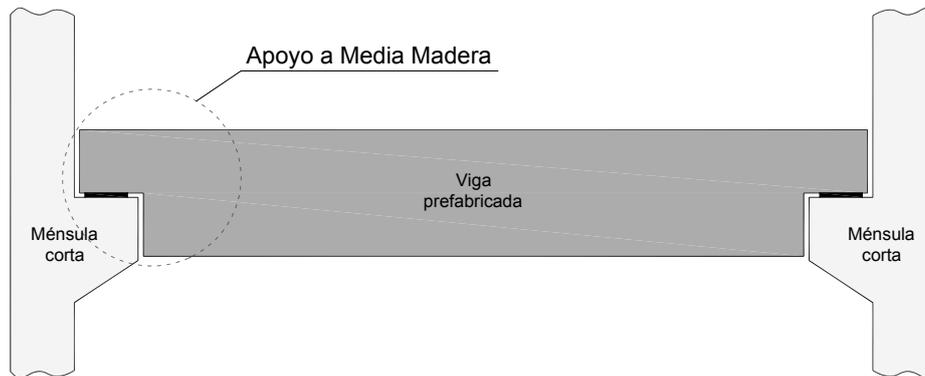


Fotografía I.1: Apoyos a Media Madera en paso superior de carretera CV-500 en el Saler, con acumulación de humedad y crecimiento de plantas

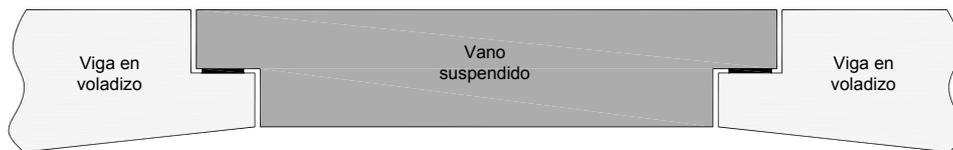
Desde el punto de vista estructural, la existencia tanto de una discontinuidad geométrica, debido al cambio de canto, como de una discontinuidad estática, debida a la aplicación de una carga concentrada, hace que los AMM se clasifiquen como Regiones de Discontinuidad (D). En las regiones D,

la existencia de una discontinuidad geométrica y/o estática genera una distribución de tensiones internas compleja que invalida la hipótesis de planeidad de las secciones después de deformarse. Para el diseño de este tipo de elementos, el procedimiento de cálculo más extendido es el Método de las Bielas y Tirantes (MBT).

- APOYO DE VIGA PREFABRICADA SOBRE PILARES:



- PUENTE CANTILEVER:



- CONEXIÓN DE VIGA O FORJADO SOBRE VIGA EN T INVERTIDA:



Figura I.1: Ejemplos de uso de Apoyos a Media Madera (AMM)

Una de las principales carencias del MBT, según señala el Boletín 45 de la *fib* [1], es que únicamente está planteado para estados de rotura que permiten la aplicación del Teorema del Límite Inferior de la Plasticidad, quedando sin tratar los requerimientos exigibles a cualquier estructura de hormigón en condiciones de servicio, tales como el control de la abertura de fisura o las deformaciones. Por tanto, se hace necesaria la realización de estudios para tratar de establecer una metodología para el análisis en servicio de las regiones D.

Dicha carencia resulta de especial relevancia en el caso de los AMM, ya que en condiciones de servicio se genera una fisura en el vértice para solicitaciones relativamente bajas. Este hecho resulta especialmente importante en este caso, puesto que los AMM suelen ser zonas de concentración de humedad (véase Fotografía I.1), por lo que puede verse comprometida la durabilidad del elemento.

Como consecuencia, y por tratarse de elementos que suelen presentar patologías, la vigente EHE-08 [2] en su artículo 64.2 desaconseja su uso siempre que sea posible.

I.2 Descripción del estudio

Dada la problemática indicada en el apartado anterior para los AMM y debido a la escasez de estudios en detalle de su fisuración en servicio, en el presente trabajo se plantea un estudio que analiza, no sólo en el comportamiento en rotura de los AMM, sino también su comportamiento en servicio y concretamente su fisuración.

Los objetivos generales del estudio son los siguientes:

- Profundizar en el conocimiento del comportamiento en servicio de las regiones D.
- Estudiar con detalle el comportamiento en servicio y en rotura de las regiones D generadas en el entorno de los Apoyos a Media Madera.

Para conseguir estos objetivos generales se desarrolla un programa experimental, que comprende un total de 22 ensayos de AMM. Se ensayan elementos tipo viga de 3,00 m de luz y sección 25x60 cm, que se reduce a 25x30 cm en los apoyos, con distintas cuantías y disposiciones de armado.

Este estudio se enmarca dentro del proyecto de investigación BIA2009-11369 concedido por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España y titulado “Estudio Experimental y Numérico de Regiones D Planas y Espaciales en Estructuras de Hormigón. Aplicación a Apoyos a Media Madera y Cálices”.

El presente trabajo identifica las variables relevantes que influyen en el comportamiento de AMM, revisa la literatura técnica sobre la cuestión, plantea y lleva a cabo un programa experimental sobre las variables identificadas, analiza los resultados derivados de la experimentación y colige conclusiones sobre el comportamiento de los AMM tanto en servicio como en rotura.

I.3 Organización del documento

El presente documento está estructurado en 8 capítulos, el apartado de referencias bibliográficas y 5 anejos.

A continuación, en el Capítulo II se expone el estado actual del conocimiento de los AMM. Primeramente se exponen las metodologías teóricas más empleadas en su diseño, seguidamente se realiza un análisis cronológico de los ensayos experimentales que se han encontrado en la bibliografía especializada sobre este tipo de elementos y finalmente se realiza una revisión para analizar cómo enfocan distintas normativas el diseño de los AMM.

En el Capítulo III se plantean los objetivos específicos que se pretenden materializar con la investigación y se señala la relevancia de la misma.

Una descripción detallada del programa experimental se muestra en el Capítulo IV. Primeramente se indican los distintos parámetros que se pretenden analizar y se define la campaña experimental. Se muestra también el diseño y el protocolo del ensayo, y se describe en detalle la toma

de datos realizada durante el mismo. Asimismo se caracterizan las propiedades de los materiales empleados.

En el Capítulo V se describen los resultados de los ensayos, que vienen detallados en profundidad en las fichas de los ensayos contenidas en el Anejo A. También se presenta una síntesis de los resultados principales de las distintas piezas ensayadas.

El análisis de los resultados se acomete en el Capítulo VI, donde se analiza el comportamiento en servicio y en rotura de los AMM, viendo la influencia de las variables estudiadas. Además, se analizan otros fenómenos como son la evolución de los mecanismos resistentes en función de la carga, el anclaje de la armadura principal horizontal o la distribución de deformaciones a lo largo de la armadura principal vertical.

En el Capítulo VII se sintetiza el trabajo realizado y las conclusiones obtenidas, para terminar apuntando las futuras líneas de investigación que a juicio del autor se abren a partir de la presente investigación.

Capítulo II

Estado del conocimiento

En el presente capítulo se realiza una revisión sintética del estado del conocimiento de los Apoyos a Media Madera, comenzando por describir los métodos teóricos más empleados en su diseño. A continuación se lleva a cabo un análisis cronológico de los ensayos experimentales que se han encontrado en la bibliografía especializada sobre este tipo de elementos, y finalmente se hace una revisión sobre cómo enfocan distintas normativas su diseño.

II.1 Introducción teórica a los métodos de diseño de Apoyos a Media Madera

Dos son los métodos teóricos más empleados en el diseño de AMM, el Método de Bielas y Tirantes (MBT) y el cálculo con modelos de fricción por cortante y flexión diagonal en las distintas superficies de rotura que se puedan generar en el apoyo. A continuación, se describen ambas metodologías.

II.1.1 El método de Bielas y Tirantes

El MBT es una herramienta de diseño muy extendida en regiones en las que la hipótesis de la planeidad de las secciones tras deformarse no es aplicable; dichas regiones se clasifican como Regiones de Discontinuidad (D). Tanto la existencia de una discontinuidad geométrica, como de una discontinuidad estática (cargas concentradas) genera en estos elementos una distribución de tensiones internas compleja que invalida la hipótesis general de Navier-Bernoulli.

Los orígenes del MBT pueden vincularse con los inicios del diseño del hormigón armado, cuando en 1899 Wilhelm Ritter desarrolló un mecanismo de celosía para explicar el papel de la armadura transversal en la resistencia a cortante de una viga (véase Figura II.1), que en 1902 fue refinado por Mörsch. Posteriormente se comprobaría que además del trabajo de las armaduras, el trabajo del hormigón en tracción tiene una contribución apreciable en el mecanismo resistente del cortante.

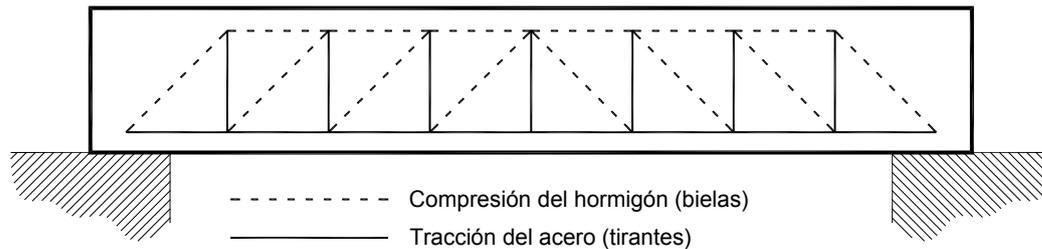


Figura II.1: Modelo de celosía de Ritter

Según Brown [3] en la década de 1970 se retoma el estudio de los modelos de celosía para explicar el comportamiento de vigas sometidas a esfuerzos conjuntos de torsión y cortante. Pero la mayor revolución del MBT sería su aplicación al diseño de regiones D, cuyas bases fueron sentadas por los trabajos de Marti en 1985 [4], [5] y Schlaich et al. en 1987 [6]. Con el tiempo la distinta normativa internacional ha ido adoptando esta metodología para el cálculo resistente de regiones D.

De manera sintética, la forma de proceder para el cálculo de un AMM, siguiendo las indicaciones de Miguel et al. [7] y particularizado a las especificaciones de la EHE-08 [2] sería la siguiente:

1. Definición de la geometría y del sistema de cargas actuante en el AMM

La geometría de la región D del AMM debe extenderse hasta una distancia igual al canto de la viga desde la sección de cambio de canto (véase Figura II.2). Deberá realizarse un cálculo global de la pieza con la finalidad de tener caracterizadas las reacciones en el apoyo y los esfuerzos en la sección de continuidad con el resto de la viga. Para determinar la magnitud y la ubicación de las cargas en la sección de continuidad es necesario realizar un cálculo seccional en la misma a partir de los esfuerzos conocidos. Todas las cargas deben de reducirse a sus resultantes, con la finalidad de obtener un sistema de fuerzas puntuales que pueda ser aplicado a la estructura de bielas y tirantes que se definirá.

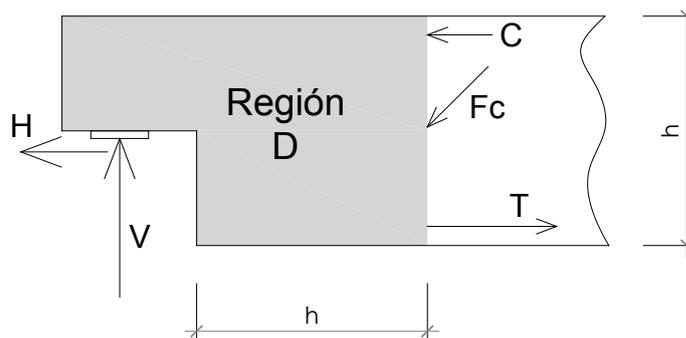


Figura II.2: Geometría de la región D de un AMM y sistema de fuerzas puntuales equivalentes

2. Definición de un modelo de bielas y tirantes para el AMM

Para la definición del modelo de bielas y tirantes a emplear es recomendable acudir al análisis de un modelo elástico y lineal de la región. Es recomendable que el modelo se acerque lo máximo posible a dicho campo tensional, ya que con esto se conseguirá el mínimo volumen de armado y la redistribución plástica que se tendrá que producir en la pieza hasta llegar a la rotura será inferior, no requiriendo por tanto que tenga una elevada ductilidad. No obstante, seguir este criterio daría lugar a

unos armados poco idóneos desde el punto de vista de su facilidad constructiva. Por este motivo, en la selección de los modelos de bielas y tirantes siempre debe haber un equilibrio entre la adaptación al campo tensional y la facilidad constructiva.

Al ser los AMM un tipo de región D muy habitual, en la bibliografía que se describe posteriormente se encuentran propuestos numerosos modelos de bielas y tirantes. En la Figura II.3 se proponen tres modelos.

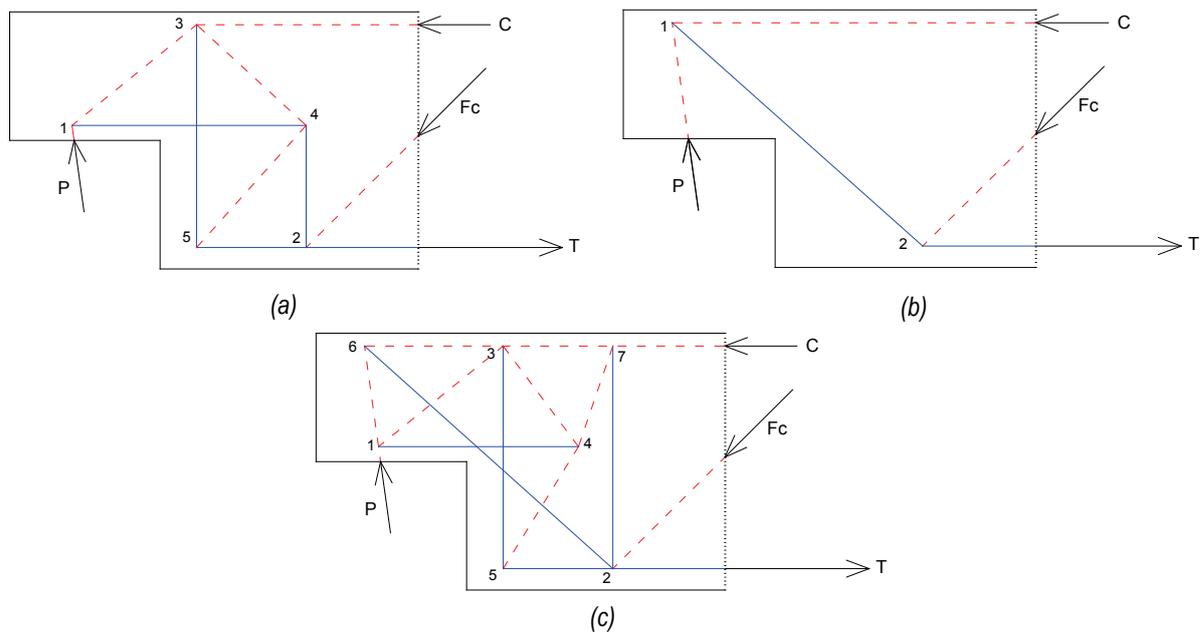


Figura II.3: Modelos de bielas y tirantes – (a) Ortogonal – (b) Inclinado – (c) Mixto

El modelo más fácilmente ejecutable de los propuestos en la Figura II.3 es el (a), puesto que sólo tiene armaduras verticales y horizontales. El esquema más eficiente y que mejor se adapta al campo elástico-lineal es el (b), pero dispone de una armadura inclinada. En caso de disponer la armadura inclinada es aconsejable disponer también armadura vertical, e imprescindible disponer armaduras horizontales, para evitar por una parte que queden amplias zonas sin armar y, por otra parte, evitar una rotura prematura del apoyo. En estos casos el modelo a emplear sería el indicado en la Figura II.3.c. Como puede observarse éste es un modelo hiperestático del que no pueden obtenerse de una manera directa los esfuerzos en las bielas y los tirantes; en este caso, es habitual trabajar con los esquemas ortogonal e inclinado de manera independiente y realizando alguna hipótesis de reparto de la carga entre ambos mecanismos.

3. Cálculo de esfuerzos en bielas y tirantes del modelo

Una vez definidas las cargas y el modelo a emplear, la obtención de los esfuerzos en las bielas y los tirantes se reduce al cálculo de una estructura articulada.

4. Determinación del área de armadura en los tirantes

El área mínima de armadura en cada tirante se obtendrá directamente a partir de la tracción en el tirante:

$$A_s \geq \frac{T_d}{f_{yd}} \quad \text{con} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \leq 400 \text{ MPa} \quad (\text{II.1})$$

donde:

- T_d es la tracción en el tirante
 A_s es el área de armadura necesaria
 f_{yd} es la resistencia de cálculo del acero

La limitación de la tensión de cálculo de las armaduras a 400 MPa aparece como consecuencia de que las regiones D no se estudian específicamente en servicio. Con esta limitación de la tensión de la armadura en rotura se controla indirectamente, que la fisuración de las regiones D sea admisible bajo cargas de servicio. Con el presente estudio se pretende comprobar si esta limitación es suficiente para el caso de los AMM o es necesario modificar dicha condición.

5. Comprobación de bielas

Para la comprobación de las bielas es necesario tener en cuenta su estado de fisuración, para reducir convenientemente en su caso su resistencia. Siguiendo las indicaciones de la EHE-08 [2] se distinguen los siguientes casos:

- i) Bielas en zonas de compresión uniaxial (sería el caso de las bielas horizontales de los modelos planteados en la Figura II.3)

$$N_d \leq N_u = A_c \cdot f_{1cd} = A_c \cdot f_{cd} \quad (\text{II.2})$$

donde:

- N_d es la compresión en la biela
 A_c es el área de la biela
 f_{cd} es la resistencia de cálculo en compresión del hormigón

- ii) Bielas en zonas fisuradas con fisuras paralelas a la biela (sería el caso de la biela 1-3 que parte del apoyo en el modelo ortogonal de la Figura II.3.a)

$$N_d \leq N_u = A_c \cdot f_{1cd} = A_c \cdot 0,7 \cdot f_{cd} \quad (\text{II.3})$$

- iii) Bielas en zonas fisuradas, con fisuras no paralelas a la biela (sería el caso del resto de bielas existentes en los modelos especificados en la Figura II.3)

$$N_d \leq N_u = A_c \cdot f_{1cd} = A_c \cdot 0,6 \cdot f_{cd} \quad (\text{II.4})$$

- iv) Bielas en zonas fisuradas con fisuras no paralelas a la biela y de gran abertura (no se dan en los AMM)

$$N_d \leq N_u = A_c \cdot f_{1cd} = A_c \cdot 0,4 \cdot f_{cd} \quad (\text{II.5})$$

6. Comprobación de zonas nodales

En las zonas nodales que tienen alguna restricción geométrica, el estado tensional generado en ellas puede ser más restrictivo que el que se genera en las bielas que a ella confluyen. En estos casos es necesario realizar una comprobación específica de la zona nodal. En el caso de los AMM el principal nudo es el nudo CCT generado sobre la superficie de apoyo. Al estar determinada la superficie del apoyo y el ángulo de la biela inclinada que arranca del nudo queda perfectamente determinada su geometría. Será necesario realizar la siguiente comprobación tensional en la zona nodal:

$$\sigma_{\max} \leq f_{2cd} = 0,7 \cdot f_{cd} \quad (\text{II.6})$$

donde:

σ_{\max} es la tensión normal máxima generada en el nudo

7. Diseño de anclaje de armaduras

En el AMM será necesario comprobar el anclaje de los distintos tirantes. Cabe destacar el anclaje de la armadura principal horizontal representada por el tirante horizontal 1-4 en la Figura II.3.a. En el nudo singular 1 (CCT) se contabilizará el anclaje de la armadura desde el comienzo del nudo, que de manera estricta sería el punto A indicado en la Figura II.4. De manera simplificada, y del lado de la seguridad, la instrucción EHE-08 [2] permite disponer dicho punto sobre la vertical del apoyo (punto B en Figura II.4). El código ACI-318 permite contabilizar desde antes el comienzo del anclaje, concretamente desde el punto C de la Figura II.4.

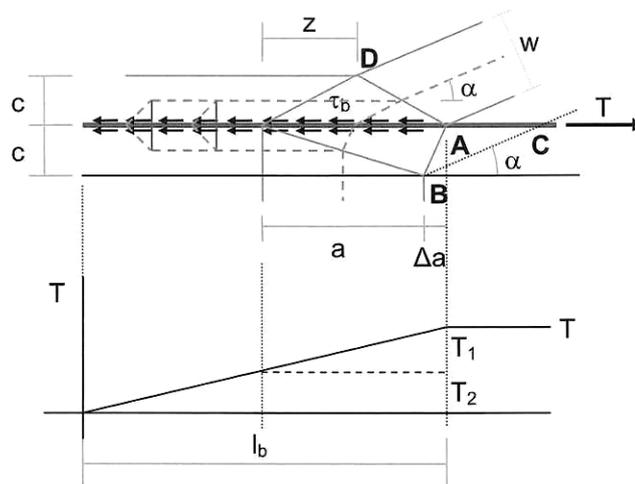


Figura II.4: Anclaje de armadura en nudo CCT, extraído de Miguel et al. [7]

Será necesario que quepa la longitud neta de anclaje de la armadura desde el punto que acaba de indicarse. En caso de que no quepa será necesario acudir a una chapa de anclaje o a estudiar un mecanismo específico de bielas y tirantes que contemple el anclaje por doblado vertical de la barra.

En el nudo 4 (véase Figura II.3), la armadura horizontal transmite su tracción a lo largo de una determinada longitud. Es habitual considerar que el tirante horizontal comienza a ceder parte de su tensión al hormigón al atravesar el tirante vertical (3-5), por lo que desde este punto debería

contabilizarse la longitud neta de anclaje¹. No obstante, algunos estudios [8], [9] recomiendan disponer el anclaje desde el punto en que la armadura es atravesada por la fisura generada desde la esquina del extremo inferior de la viga (véase Figura II.25), que vendría a coincidir con la posición del nudo final del tirante (nudo 4) del modelo ortogonal de la Figura II.3.a.

II.1.2 Modelos de cálculo de fricción por cortante y flexión diagonal

Una metodología que también se ha empleado con bastante éxito para evaluar la resistencia de los AMM es el “modelo de la fricción por cortante” (*shear friction method*). Se trata de una metodología presente en las normativas americana (ACI 318-08 [10]) y canadiense (CSA A23.3-04 [11]). El código ACI lo trata en su sección 11.6 y se refiere a él como un método apropiado para evaluar el cortante transmitido en un plano conocido, como una fisura potencial o existente, la junta entre dos materiales distintos o la junta entre dos hormigones de edades distintas. Se debe partir por tanto de un determinado plano recto en el que se evalúa la resistencia a cortante, a la que contribuyen tanto el efecto pasador de las distintas armaduras intersectadas como el hormigón debido a la fricción generada en la supuesta fisura; se debe satisfacer el equilibrio en las distintas fuerzas actuantes (Figura II.5).

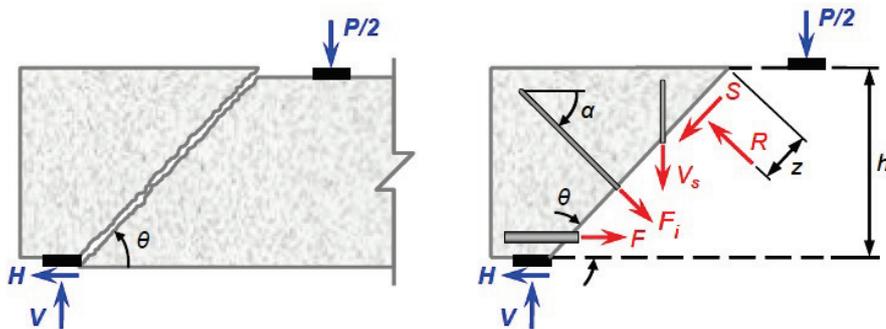


Figura II.5: Esquema de fuerzas en el cálculo de fricción por cortante, extraído de Herzinger [12]

El “modelo de la flexión diagonal” complementa al “modelo de la fricción por cortante”, ya que permite prever posibles roturas por flexión en zonas con elevados esfuerzos de cortante y fisuración diagonal, como es el caso de los AMM. En estos casos la hipótesis de Navier-Bernouilli no es aceptable. En la flexión diagonal se considera que la fisura no atraviesa toda la pieza (como sucedía en el caso de la fricción por cortante), sino que deja una determinada cabeza de compresión en el hormigón. El esquema de fuerzas considerado en este método es el que se muestra en la Figura II.6.

Varios estudios [12-14] han aplicado ambas metodologías de manera conjunta para evaluar la resistencia de los AMM y predecir tanto el modo de fallo como la localización de la fisura crítica. Para ello, a partir de un determinado diseño del AMM se analizan distintos planos de rotura, obteniendo el plano más débil. La formulación a emplear y la metodología se encuentran desarrollados de manera extensa en el estudio de Herzinger de 2008 [12].

¹ De manera rigurosa hay una zona desde que se atraviesa el tirante vertical en que no se comienzan a ceder tracciones. Esto es debido a que las compresiones en abanico no pueden producirse con ángulos muy cercanos al vertical por la incompatibilidad de deformaciones entre la armadura vertical traccionada y las compresiones cercanas a su posición.

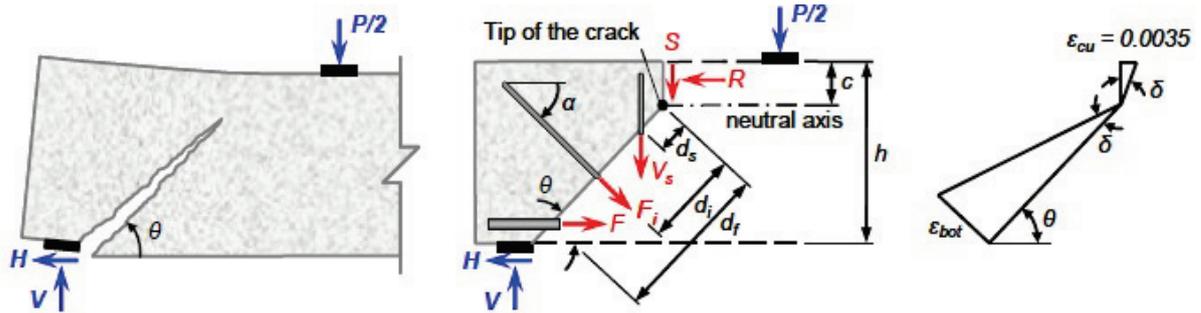


Figura II.6: Esquema de fuerzas en el cálculo de flexión diagonal, extraído de Herzinger [12]

En el siguiente apartado se muestran las conclusiones de investigaciones, en algunas de las cuales se emplea tanto el MBT como el cálculo de fricción por cortante y flexión diagonal. A modo de comparativa entre ambos procedimientos, el estudio de Herzinger [12] se refiere al MBT como un método suficientemente conservador como para realizar el dimensionamiento, mientras que el procedimiento expuesto en este apartado predice la ubicación de la fisura crítica y la resistencia de la pieza con precisión.

II.2 Análisis de los ensayos experimentales existentes en la literatura

Las investigaciones de AMM existentes pueden dividirse en tres grandes etapas. La primera etapa comprende las primeras investigaciones y formulaciones de cálculo para dichos apoyos, y se extiende hasta 1987 en que se sientan las bases del MBT [6]. A continuación tenemos un periodo en que las investigaciones tratan de corroborar la validez del MBT para el diseño de los AMM y, finalmente, en la última década pueden encontrarse investigaciones más recientes que estudian distintos aspectos como el comportamiento en servicio, el refuerzo mediante materiales compuestos y el comportamiento de detalles de armado específicos.

En la siguiente página se muestra la Tabla II.1 con los ensayos encontrados en la literatura que resume las principales características de los distintos ensayos experimentales sobre AMM.

La codificación empleada en dicha tabla para la geometría de las piezas viene detallada en la Figura II.6. Cabe destacar que en el caso de las vigas en T se especifican 3 valores del ancho (b_1 - b_2 - b_3), que definen la sección transversal de las piezas, según las indicaciones de la Figura II.7.

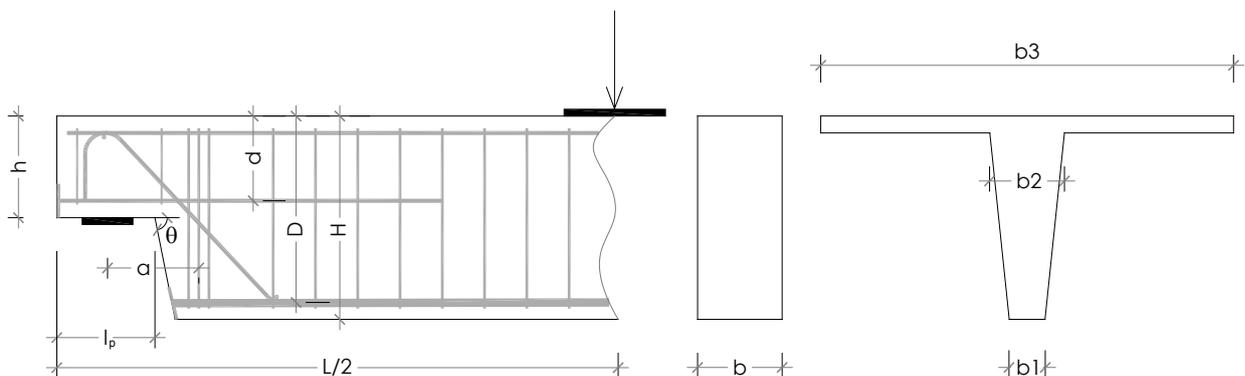


Figura II.7: Codificación de geometría de las piezas

Tabla II.1: Resumen de ensayos experimentales de Apoyos a Media Madera encontrados en la bibliografía

Investigadores	Año	(N)	(H)	(F)	(P)	(T)	(R)	(I)	H (mm)	h (mm)	I_p (mm)	b (mm)	L (mm)	a/d**	h/H	θ (°)
Reynolds [15]	1969	24	Conv.	✗	✗	✗	✗	✗	254	127	127	127	1360	Variable	0,50	90
Werner & Dilger [16]	1973	5	Conv.	✓	✓	✗	✗	✓	330	165	100	170	2340	-	0,50	90
Hamoudi et al. [17]	1975	8	Conv.	✓	✓	✓	✗	✓	810	355-660	115-405	100-230-1200	9400	-	0,44-0,82	90
Menon & Furlong [18]	1977	1	Conv.	✓	✓	✓	✓	✗	863	406	254	305-457	5200	-	0,47	90
Chan [8]	1979	8	Conv.	✓	✗	✗	✗	✓	610	305	203	127	3050	0,60	0,50	90
Khan [19]	1981	10	Conv.	✓	✗	✗	✗	✓	610	305	320-500	127	3050	0,82-1,5	0,50	90
Liem [20]	1983	8	Conv.	✗	✗	✗	✗	✗	610	305	203	127	3050	-	0,50	45-90
Chung [21]	1985	8	Conv.	✓	✗	✗	✗	✓	610	405-483	320-630	127	3050	0,60-1,25	0,67-0,79	90
Ajina [22]	1986	18	HRFA	✓	✗	✗	✗	✗	254	102-127	203	127	1295	Variable	0,4-0,5	90
Mattock & Theyo [23]	1986	12	Conv.	✓	✓	✓	✗	✓	457	228	152	95-146-1219	4500	-	0,50	45-60-90
Cook & Mitchell [24], [25]	1987	4	Conv.	✗	✗	✗	✗	✗	600	250	138	300	3000	-	0,42	52,5-90
Clark & Thorogood [26]	1988	46	Conv.	✓✓	✗	✗	✗	✓	460	210	250	300	2200	-	0,46	90
Barton [27]	1988	4	Conv.	✗	✗	✗	✗	✗	787	432	203	305	3500	Variable	0,55	90
Clark et al. [28]	1989	12	Conv.	✗	✓	✗	✓	✗	186	90	75	-	1000	-	0,48	90
So [29]	1989	4	Conv.	✗	✓	✓	✓	✓	400	200	200	122-155-1200	5000	-	0,50	60-90
Mader [30]	1990	4	Conv.	✗	✓	✗	✗	✗	700	330	230	330-254	6550	Variable	0,47	90
Kumaraguru [13]	1992	12	Conv.	✗	✗	✗	✗	✗	400	200	500	150	4200	Variable	0,50	90
Lin et al. [31]	2003	24	HAR	✗	✗	✗	✗	✗	600	300-460	400	200	3600	0,57-0,89	0,5-0,76	90
Lu et al. [32]	2003	12	HAR	✗	✗	✗	✗	✗	600	300	300	200	3000	0,52-0,89	0,50	90
Zhu et al. [33]	2003	7	Conv.	✓✓	✗	✗	✗	✗	1000	500	480	460	2430	0,64	0,50	90
Taher [34]	2005	52	Conv.	✗	✗	✗	✓	✗	300	150	300	200	2000	1,00	0,50	90
Wang et al. [35]	2005	24	Conv.	✗	✗	✗	✗	✗	300-370	100-190	150	150-214	1500	Variable	0,45-0,5	90
Huang & Nanni [36]	2006	5	Conv.	✓	✓	✓	✓	✓	712	403	105	2-(114-178-690)	7721	-	0,57	90
Herzinger [14], [12]	2008	18	Conv.	✓	✗	✗	✓	✓	500	250	180	225	2360-3360	-	0,50	90
Total		330														

(N): Nº de ensayos realizados

(H): Tipo de hormigón (Conv.=Hormigón Convencional $f_c \leq 50$ MPa ; HAR=Hormigón de Alta Resistencia $f_c > 50$ MPa ; HRFA=Hormigón Reforzado con Fibras de Acero)

(F): Estudio de la fisuración - Se diferencia entre un análisis cuantitativo en detalle del mismo (✓✓), un estudio más cualitativo (✓) o sin analizar (✗).

(P): Piezas de hormigón pretensado

(T): Vigas en T

(R): Análisis de refuerzos especiales

(I): Aplicación de componente horizontal en la carga del apoyo

* Nomenclatura de geometría detallada en la Figura II.7

** En los casos en que no hay un tirante vertical principal no es posible definir este coeficiente

De la Tabla II.1 cabe destacar que gran parte de las investigaciones que estudian la fisuración en servicio de los AMM lo hacen sobre vigas de hormigón pretensado en las que dicho problema es menos crítico que en las vigas de hormigón armado.

A continuación se indican los distintos estudios realizados, sus principales características, así como las conclusiones a las que llegaron.

II.2.1 Primeras investigaciones (hasta 1987)

Hasta la publicación en 1969 del estudio experimental de Reynolds [15], sólo se habían realizados ensayos de fotoelasticidad sobre AMM y algunos ensayos sobre nudos biselados (*scarf joints*) para estructuras prefabricadas, que tienen cierta analogía con los AMM [37]. En el estudio de Reynolds se ensayaron un total de 24 AMM de idéntica geometría, sometidos exclusivamente a carga vertical, tratando de determinar la influencia en la resistencia última de distintos detalles de armado. Se comprueba que el armado inclinado aporta una mayor resistencia que los armados vertical y horizontal y que para que los estribos verticales cercanos a la sección de cambio de canto aporten resistencia al apoyo, deben de estar convenientemente anclados en su parte inferior; esto último requiere que el armado inferior de la viga se prolongue hasta el final de la viga, tal y como se observa en la Figura II.8.a. Reynolds propuso un método de cálculo para determinar la resistencia de los AMM, basándose en el equilibrio de fuerzas y momentos a lo largo de las dos fisuras de rotura observadas en los ensayos, partiendo ambas de de la esquina. La fisura de rotura más usual tiene una inclinación de unos 45° y atraviesa las armaduras vertical (Figura II.8.b), horizontal e inclinada, pero también es posible que la fisura sea más vertical y acabe en la cabeza de los estribos verticales (Figura II.8.c).

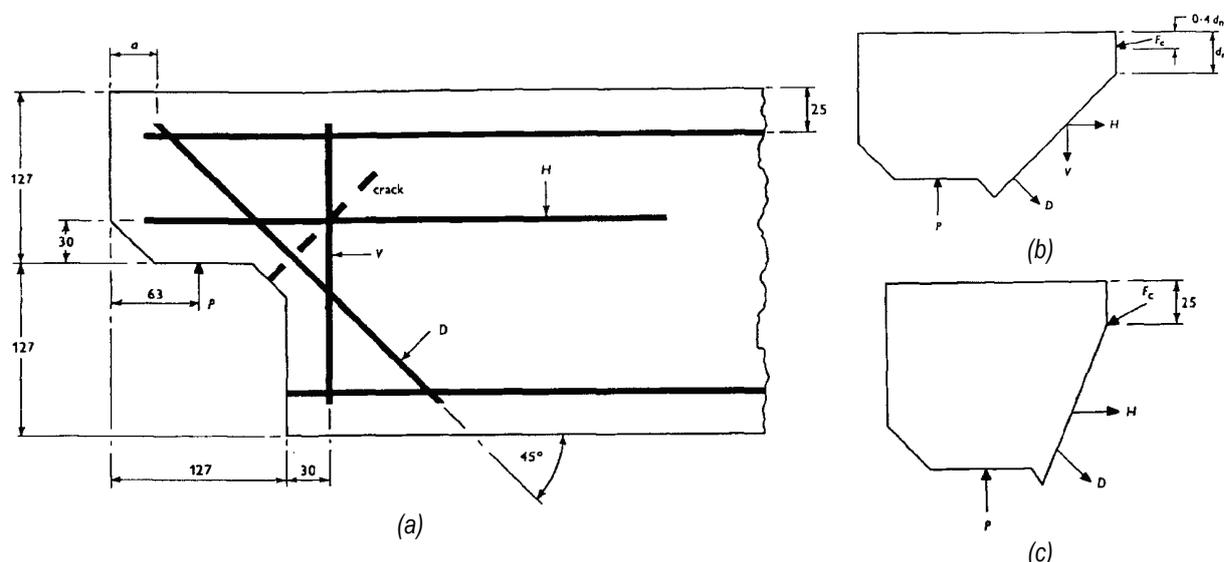


Figura II.8: Ensayos de Reynolds [15] - (a) Dimensiones del apoyo y detalles del armado - (b) Esquema de cálculo en rotura presuponiendo fisura a 45° - (c) Esquema de cálculo en rotura con fisura hacia parte superior del estribo vertical

En 1973 Werner y Dilger [16] ensayan 5 vigas pretensadas con armadura postesa mediante barras Dywidag y estudian la influencia de 3 esquemas distintos de armado (sin armadura pasiva, con armadura pasiva vertical y con armadura pasiva inclinada) y de la existencia de componente horizontal en la carga del apoyo. Concluyen que los armados vertical e inclinado son igual de eficientes y que la

resistencia del apoyo para piezas pretensadas puede obtenerse sumando la contribución por cortante del hormigón antes de fisurar, con las componentes verticales del pretensado y de las armaduras pasivas. También se remarca la dificultad del anclaje de la armadura activa, que debería realizarse con placas de anclaje en el caso de apoyos reducidos (Figura II.9.c). Además de la campaña experimental se expone una modelización mediante elementos finitos que permite obtener de manera bastante precisa la carga de fisuración.

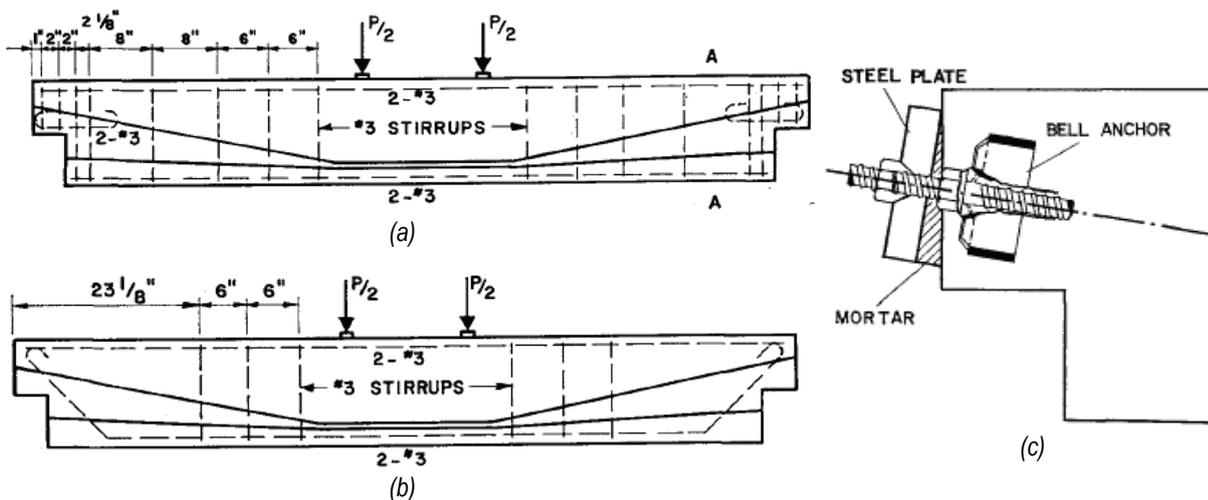


Figura II.9: AMM ensayados por Werner y Dilger [16] - (a) Armado de piezas con armadura pasiva ortogonal - (b) Armado de piezas con armadura pasiva inclinada - (c) Detalle del anclaje de la armadura activa

Hamoudi, Phang y Bierweiler publican en 1975 [17] los resultados de los ensayos sobre 8 vigas en T con distintas geometrías. Se ensayan piezas pretensadas con armadura postesa compuesta por barras inclinadas de alto límite elástico (ver Figura II.10.a) y piezas con armadura pasiva convencional. Se remarca que las piezas pretensadas evitan que se produzca la fisuración de las piezas en servicio, con el inconveniente de que al fisurar se produce el colapso de manera súbita, comportamiento completamente diferente al observado en las piezas con armadura pasiva. Respecto a la influencia de la geometría se concluye que la resistencia de los apoyos se ve incrementada con el cociente h/H (véase Figura II.7).

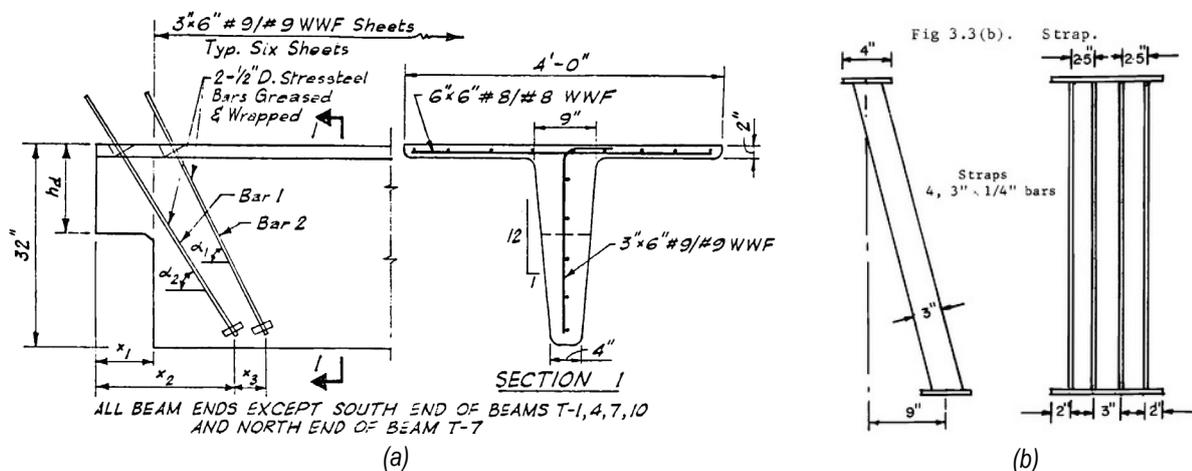


Figura II.10: (a) Detalle de geometría y pretensado de los apoyos ensayados por Hamoudi et al. [17] - (b) Detalle de tirante inclinado ensayado por Menon y Furlong [18]

En 1977 Menon y Furlong [18] ensayaron una viga pretensada con refuerzos especiales metálicos distintos en cada uno de los apoyos, concluyendo que el comportamiento en servicio es claramente mejor en el detalle que incorpora un tirante inclinado con placas de anclaje en los extremos (Figura II.10.b), frente al detalle que dispone placas metálicas paralelas al eje de la viga a las que se sueldan las barras. Se propone un procedimiento de cálculo basado en dos planos de rotura análogos a los propuestos por Reynolds [37].

Entre 1979 y 1985 se publican 3 trabajos muy similares llevados a cabo en la Universidad de Washington bajo la dirección de Alan H. Mattock [8], [19], [21], en los que se ensayan un total de 26 apoyos. En todos los casos la geometría global de las piezas ensayadas es similar, salvo en los casos en los que se estudia la influencia de la geometría en el comportamiento de los apoyos. Cabe destacar que no se plantea ninguna pieza con armadura inclinada. Cada uno de los dos apoyos de cada viga se ensaya independientemente; uno se somete exclusivamente a carga vertical, mientras que el otro también incorpora componente horizontal de la carga controlada por actuadores horizontales (Figura II.11).

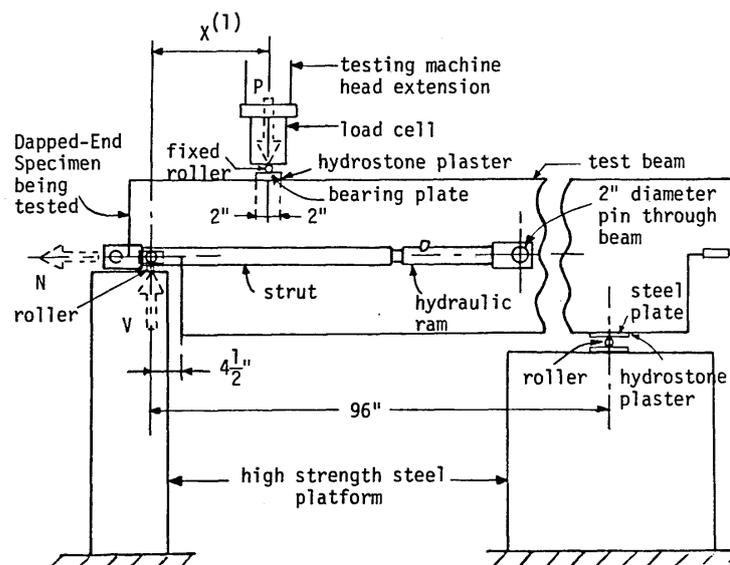


Figura II.11: Esquema de los ensayos realizados por Chan, Khan y Chung entre 1979 y 1985 [8], [19], [21]

Tras los ensayos de Chan en 1979 [8], se aconseja despreciar la contribución del hormigón a la resistencia de los AMM de hormigón armado y se recalca la importancia de situar los estribos del tirante vertical lo más cercanos posibles al borde de la viga, así como de cuidar los detalles de anclaje. A partir de estos resultados Mattock y Chan plantean en 1979 unas recomendaciones para el cálculo de AMM [9], considerando que pueden calcularse evaluando la flexión, el cortante y el axil, de manera análoga a como se realizaba en aquella época en el caso de las ménsulas cortas. Estas recomendaciones son las que sirven de base a las que recogería el PCI Design Handbook en su 3ª edición de 1985 [38] y que serían las más extendidas hasta la aparición del MBT. La metodología del PCI ha permanecido sin variaciones sustanciales hasta la edición actual del mismo de 2010 [39], que se analiza en detalle en el apartado II.3.6; en lo sucesivo nos referiremos a este procedimiento como el método del PCI. Los ensayos de Khan de 1981 [19] comprueban la validez de la formulación anterior para rangos de a/d

(véase Figura II.7) superiores a la unidad, concluyendo que en los casos en los que el apoyo es largo se requieren estribos verticales y horizontales en la zona de menor canto. Chung en 1985 [21] ensaya piezas con relaciones entre el canto del apoyo y el canto de la viga (h/H) superiores a 0,5.

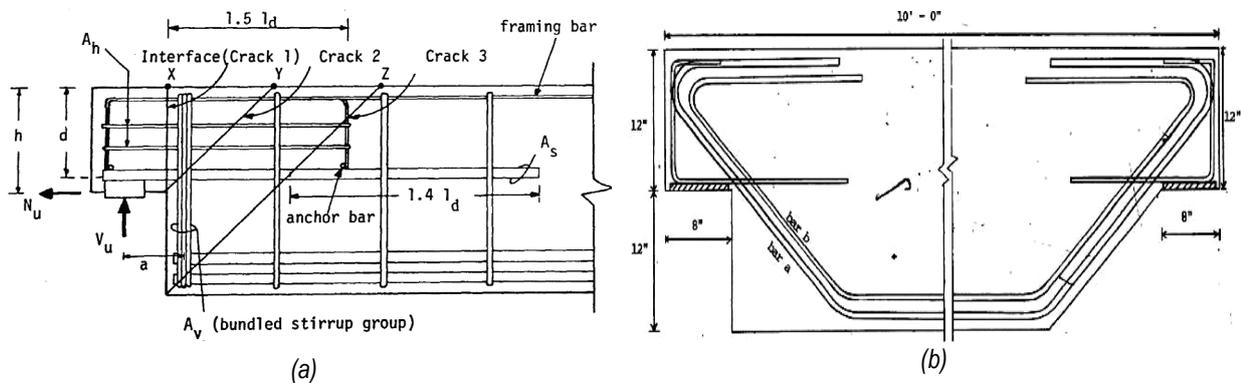


Figura II.12: (a) Armado tipo de AMM empleado en la formulación de Mattock y Chan [9] – (b) Geometría y armado de los apoyos ensayados por Liem [20]

Liem realiza, en 1983 [20], ensayos sobre un total de 8 apoyos con una geometría global similar a la usada por Chan, Khan y Chung [8], [19], [21], pero empleando armaduras inclinadas y haciendo una transición continua del canto (véase Figura II.12.b). El estudio destaca la eficacia de la armadura inclinada y no obtiene diferencias en la resistencia debido a la transición continua del canto.

En 1986 Ajina [22] realiza el único estudio que se ha encontrado documentado sobre el comportamiento de AMM con hormigón reforzado con fibras de acero (HRFA). Estudia la fisuración y la carga de rotura de 18 apoyos con distintos esquemas de armado y con contenidos de fibras del 0%, 0,8% y 1,2% en volumen. Se concluye que sólo el porcentaje del 1,2% de fibras contribuye a mejorar apreciablemente la resistencia de la unión y permite disminuir la armadura convencional de la unión, así como que para AMM sin fibras sólo son adecuados ratios entre el canto del apoyo y el canto de la viga (h/H) superiores o iguales a 0,5. Por lo que respecta a la fisuración, el mayor contenido en fibras ensayado conlleva una reducción de la abertura de fisura en servicio en el entorno del 20%-30% respecto a las piezas sin fibras; no obstante, las aberturas de fisura en servicio, incluso para el mayor contenido de fibras no son inferiores a 0,5 mm.

Mattock y Theryo publican en 1986 [23] un estudio sobre AMM en vigas pretensadas en T. Siguiendo la línea de las investigaciones previas dirigidas por Mattock [8], [19], [21] se ensayan un total de 12 apoyos sometidos a una carga vertical y a una carga horizontal (véase Figura II.13.a) para simular el efecto de las fuerzas de retracción, fluencia y dilatación. Se analizan 5 esquemas de armado distintos con distintas pendientes del paramento que define el cambio de canto. Se indica que tanto el armado vertical como el inclinado son eficientes para resistir la carga vertical, pero se observa que la fisuración está mejor controlada en las piezas con armadura inclinada. En el caso en que al menos el 50% del pretensado se prolongue en la sección de apoyo el comportamiento frente a la fisuración en servicio es bastante bueno.

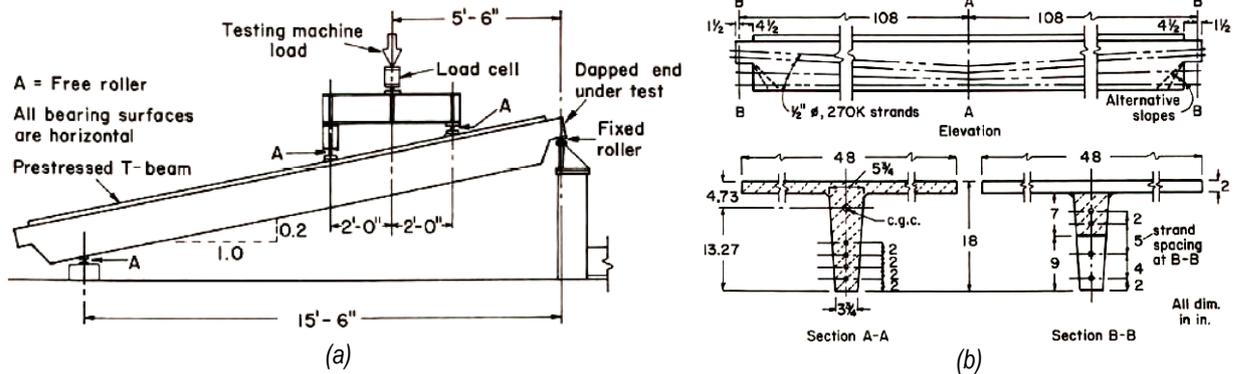


Figura II.13: AMM ensayados por Mattock y Theryo [23] - (a) Esquema de ensayo - (b) Geometría y armaduras activas

II.2.2 Validación del Método de las Bielas y Tirantes (1987-1999)

Entre 1987 y 1988 Cook y Mitchel [24], [25] publican resultados del ensayo de 4 AMM. La investigación no se centra exclusivamente en AMM, sino que engloba otras regiones de discontinuidad, comprobando la validez del MBT y proponiendo esquemas de bielas y tirantes para dichas regiones; asimismo se valida el uso para este tipo de regiones de un programa de cálculo no lineal mediante elementos finitos con fisuración distribuida y consideración de “tension-stiffening” desarrollado por los autores. Se indica que en la cabeza de los estribos que componen el tirante vertical de los AMM se produce el desprendimiento del recubrimiento, recomendando en la comprobación de dicha zona nodal despreciar los recubrimientos.

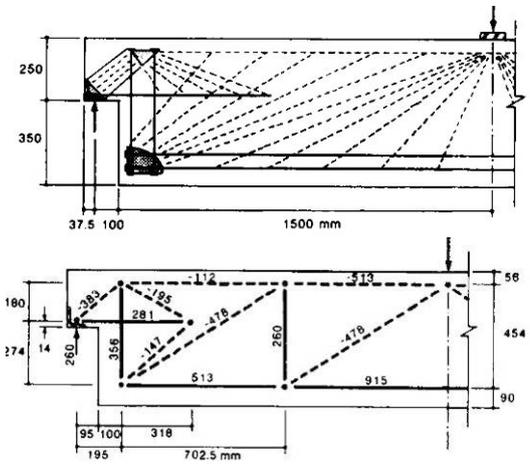


Figura II.14: Esquemas de bielas y tirantes propuestos por Cook y Mitchel [25]

Por su parte, Barton publica en 1988 [27] los resultados de un programa experimental de 4 AMM rectangulares, centrado en comprobar la validez del MBT para este tipo de apoyos. La resistencia de las piezas es en todos los casos superior a la predicha por el MBT, la cual es similar a la de las formulaciones específicas de diseño de AMM empleadas hasta la época. Las piezas diseñadas basándose en el MBT tuvieron una rotura con elevada ductilidad.

Pese a publicarse en la época en que el MBT despertaba un gran interés, las investigaciones sobre AMM de Clark, entre 1988 y 1989 [26], [28], no emplean dicha metodología. En la investigación de 1988 de Clark y Thorogood [26] se ensayan un total de 46 apoyos con la esquina biselada, en los que se varía la cuantía de armadura, la configuración de armado (armado ortogonal, inclinado y mixto) y el ratio entre la carga horizontal y la carga vertical. Con el estudio se pretende caracterizar el comportamiento en servicio de los AMM y se propone una metodología de cálculo para determinar la abertura de fisura en servicio distinguiendo dos posibilidades, que todo el alargamiento se concentre en fisuras que parten de las dos esquinas generadas por el bisel (véase Figura II.15.a) o que se genere una fisuración distribuida (véase Figura II.15.b). Por lo que respecta a la investigación de Clark et al. publicada en 1989

[28] no emplea el MBT, sino un procedimiento de diseño basado en la teoría de la plasticidad. El estudio está enfocado a comprobar un nuevo detalle constructivo para AMM en vigas en U para puentes.

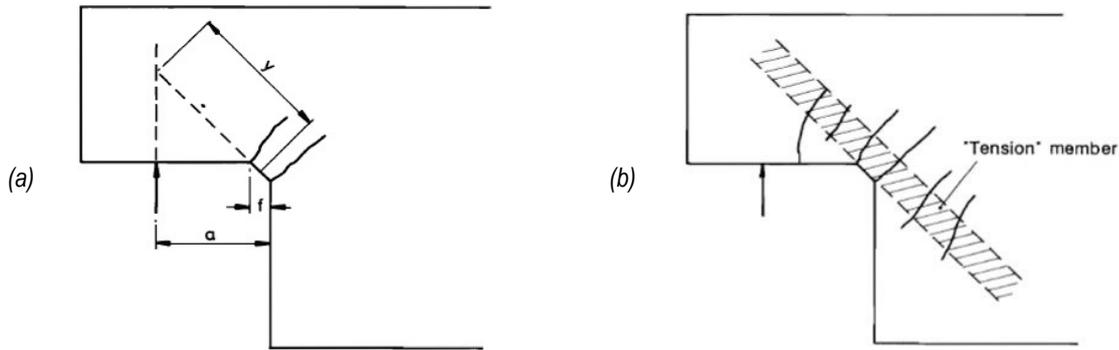


Figura 11.15: Patrones de fisuración propuestos por Clark y Thorogood [26] – (a) Concentrada – (b) Distribuida

Los ensayos de So en 1989 [29] desarrollan el estudio de vigas en T pretensadas con armadura pretesa, diseñadas a partir del MBT. Se aplica carga vertical y horizontal independientemente a cada uno de los apoyos de 2 vigas, lo que da lugar a un total de 4 ensayos. Se verifica que el MBT es capaz también de estimar correctamente la rotura de este tipo de vigas. Se concluye que un AMM inclinado es más eficiente, al producirse una concentración de tensiones inferior en la esquina del apoyo.

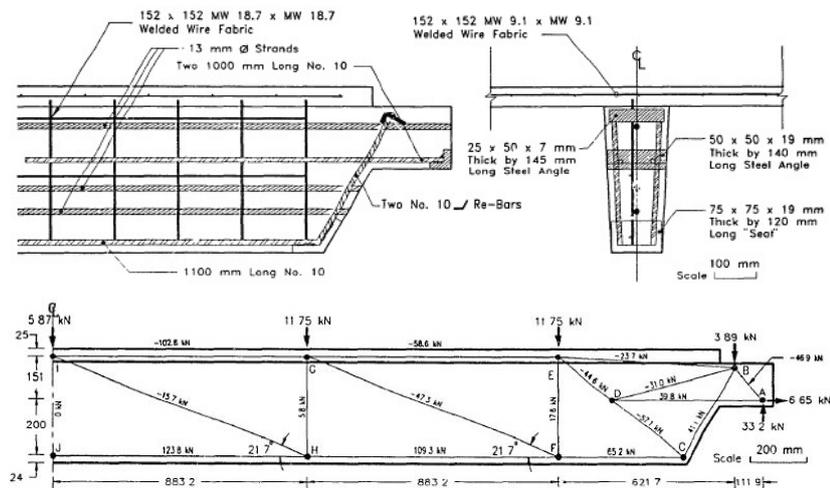
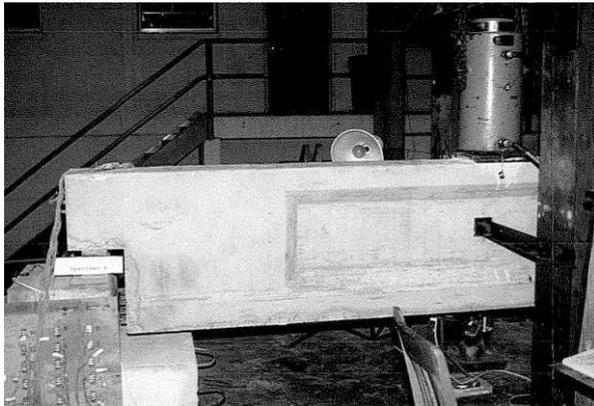


Figura 11.16: Armado y esquema de bielas y tirantes propuesto por So [29] para vigas en T pretensadas con transición gradual del canto

La investigación de Mader de 1990 [30] analiza el comportamiento de 4 apoyos de vigas en doble T pretensadas, diseñadas por el MBT, por el método del PCI y por las recomendaciones de Menon y Furlong [18]. Se observa que todos los métodos, salvo el del PCI, dieron lugar a diseños de apoyos que soportaron entre el 15% y el 20% por encima de la carga de diseño. También se analiza cómo las fuerzas de pretensado pueden ser incorporadas a los esquemas de bielas y tirantes (Figura 11.17).



Fotografía II.1: Ensayo de AMM realizado por Mader [30]

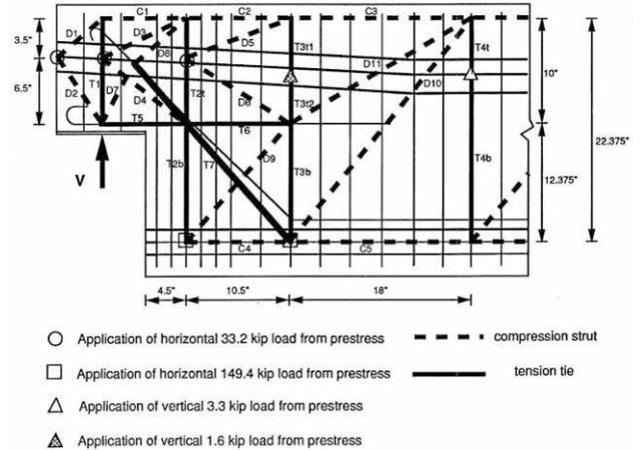


Figura II.17: Esquema de bielas y tirantes propuesto por Mader [30] para vigas pretensadas con armado inclinado

Kumaraguru publicó en 1992 [13] los resultados de una serie de 12 ensayos de AMM realizados en la Universidad de Calgary bajo la dirección de Loov. Se analizaron vigas con distintos ratios del vano de cortante en relación al canto del apoyo (a/d , véase Figura II.7), tratando de determinar la precisión de distintos métodos de diseño de AMM, concretamente el MBT, el procedimiento de diseño del PCI y el “modelo de fricción por cortante” (*shear friction method*). De acuerdo a la formulación del MBT contenida en la norma canadiense CSA A23.3-84 [11], la resistencia del apoyo, en caso de que la carga estuviese muy cercana a la sección de cambio de canto, se ve reducida conforme la biela que parte del apoyo se hace más vertical, debido a que se limita la tensión de la misma al formar un ángulo muy bajo con el tirante vertical; este fenómeno contradice los resultados experimentales. Las tres metodologías analizadas dan buenos resultados, salvo el caso de la formulación del PCI que da resistencias del lado de la inseguridad en caso de que la rotura se produzca por flexión.

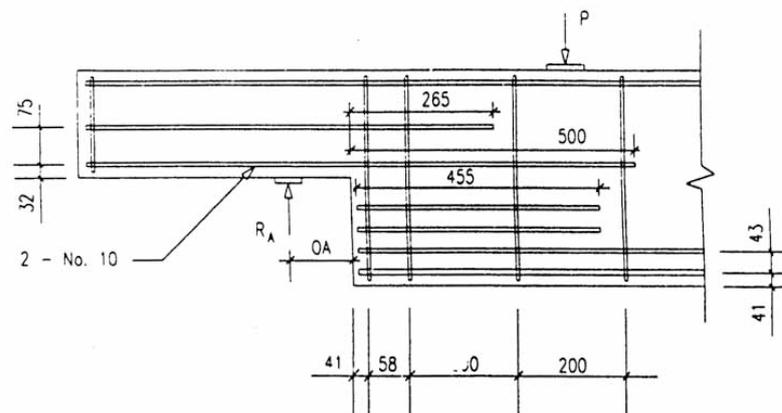


Figura II.18: Detalle del armado de los AMM ensayados por Kumaraguru [13]

Los estudios detallados en este apartado coinciden en contrastar la validez del método de bielas y tirantes para el diseño de los AMM. Otras metodologías más empíricas también se aproximan de manera adecuada al comportamiento de estas regiones, pero el MBT tiene la ventaja de ser una herramienta general que permite el diseño de regiones de discontinuidad en las que no existan dichas

metodologías o sí existan pero la geometría se salga del rango en el que las metodologías se encuentren contrastadas.

II.2.3 Investigaciones recientes (desde 2000)

En 2003 se publican los estudios de Lu et al. y de Lin et al. [31], [32] llevados a cabo en la

Universidad Nacional de Ciencia y Tecnología de Taiwan. En total se ensayan un total de 36 apoyos con la peculiaridad de emplear hormigones de elevada resistencia (hasta 70 MPa). En el estudio se analiza la influencia en la resistencia de los apoyos de la resistencia del hormigón, de la cuantía de armadura y del ratio del vano de cortante en relación al canto del apoyo (a/d , véase Figura II.7); en todos los casos el armado propuesto es exclusivamente ortogonal. Se registran aumentos de la resistencia del orden del 20-30% en las piezas con hormigones de 70 MPa respecto a las piezas con hormigones de 30 MPa. Se corrobora, tal y como indican estudios previos, que la resistencia de los apoyos aumenta

conforme disminuye el ratio a/d . Los autores proponen un procedimiento de cálculo basado en un modelo local de bielas y tirantes para la zona cercana al apoyo, con la superposición de dos mecanismos resistentes (véase Figura II.19); en dicho modelo no interviene el armado principal vertical, que se calcula independientemente para que resista como mínimo la carga vertical del apoyo. Se realiza una comparativa de dicho procedimiento con el del PCI, concluyendo que esta última queda muy del lado de la seguridad, especialmente en el caso de piezas de hormigón de alta resistencia.

Especial interés tiene el estudio presentado en 2003 por Zhu et al. [33], puesto que es un estudio que ensaya un total de 7 vigas de sección rectangular sometidas a carga simétrica, con la peculiaridad de que analiza en detalle la fisuración que se produce en la esquina de los AMM. Las vigas ensayadas son muy rígidas, al tener un canto de 1,00 metros y una distancia entre apoyos de 2,00 metros (véase Figura II.20). Se ensayan vigas con y sin armado inclinado. El control continuo de las aberturas de fisura se realiza mediante un sistema de transductores de desplazamiento potenciométricos dispuestos en las inmediaciones de la esquina del apoyo (véase Fotografía II.2). Se propone un procedimiento (CASTM) para el cálculo de la abertura de fisura en la esquina, formulado de manera bastante similar a como se realiza en vigas, como el producto de un alargamiento de las armaduras en dirección perpendicular a la fisura por una longitud. En este caso dicha longitud no tiene una interpretación física tan directa como en el caso de las vigas (separación media entre fisuras); se propone una correlación de dicha longitud en función del alargamiento de las armaduras, obtenido a

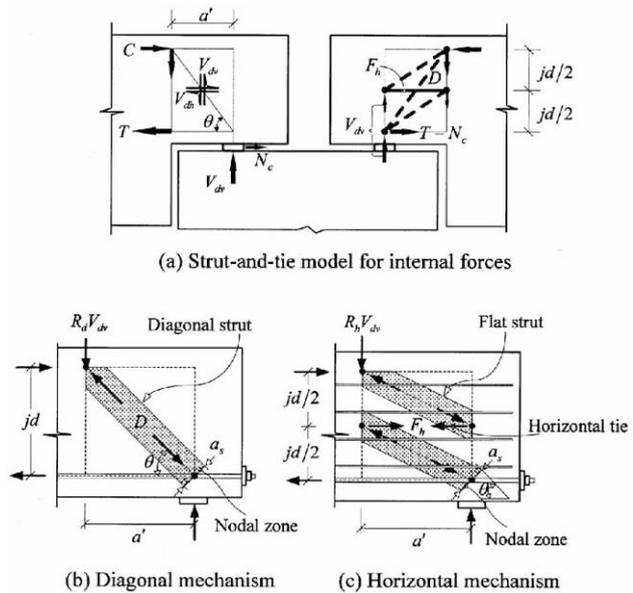
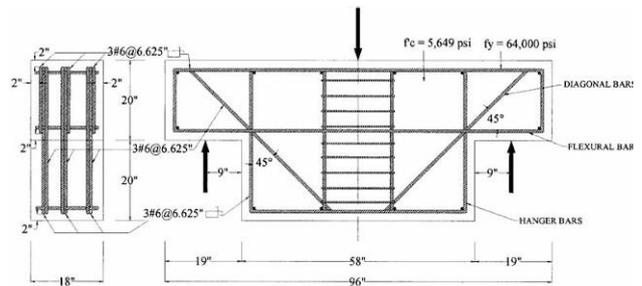
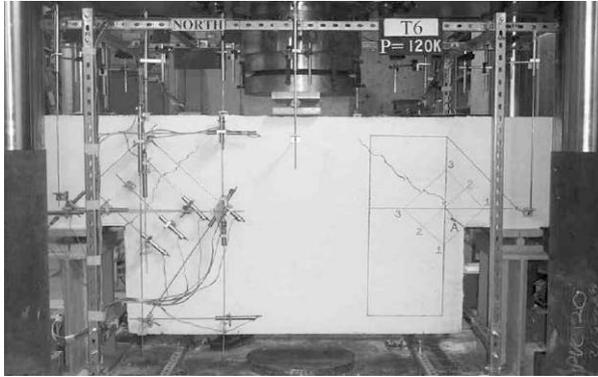


Figura II.19: Modelo de bielas y tirantes propuesto por Lu, Lin et al. [31], [32]

partir de los resultados experimentales. Cabe destacar que el procedimiento sólo considera en el cálculo las armaduras ortogonales, pero proporciona una formulación simple para obtener la distribución de cargas entre el mecanismo resistente compuesto por el armado ortogonal y el compuesto por la armadura inclinada. El procedimiento funciona relativamente bien para las cargas de servicio.



Fotografía II.2: Medida de fisuras. Ensayos de Zhu et al. [33] Figura II.20: Geometría y armado de la pieza T6 ensayada por Zhu et al. [33]

Taher publica en 2005 [34] los resultados de una investigación que estudia la eficacia de 12 tipos distintos de refuerzos a base de elementos metálicos o de fibra de carbono, dispuestos en las inmediaciones de los apoyos. Se ensayan un total de 52 tipos distintos de AMM, en los que se analiza la influencia de los distintos refuerzos en 4 esquemas de armado distintos, de los cuales 3 presentan fallos en el armado (véase Figura II.21). Se concluye que el fallo de armado más crítico es que no se desarrolle completamente la longitud de anclaje del tirante principal horizontal; por lo que respecta a los métodos de refuerzo se considera que el refuerzo con materiales a base de fibra de carbono son los más adecuados para aumentar la resistencia y la ductilidad para reparaciones de estructuras existentes.

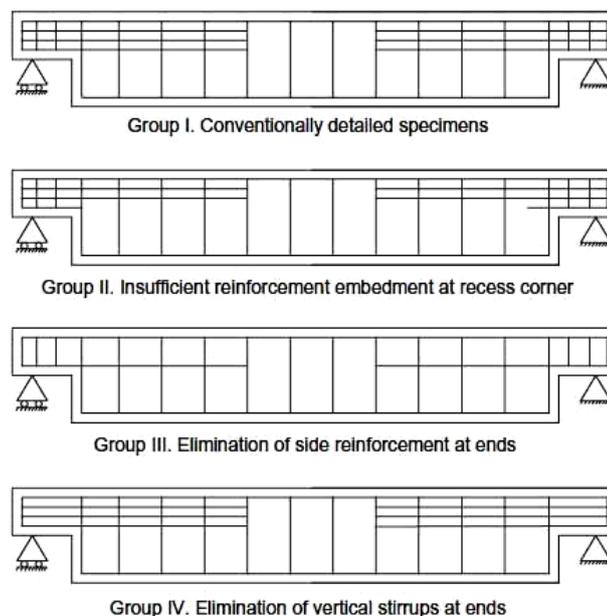


Figura II.21: Esquemas de armado de AMM ensayados por Taher [34]

Los ensayos de Wang et al. de 2005 [35] comprenden un total de 24 AMM, en los que se analiza la influencia que tienen en el comportamiento de este tipo de apoyos la geometría y el tipo de

armado (inclinado o no). Se indica que el ratio entre el canto del apoyo y el canto de la viga (h/H , véase Figura II.7) tiene una influencia muy relevante en la resistencia de los AMM y se sugiere que los apoyos tengan al menos un canto igual al 45% del canto total de la viga. Aconseja que el armado del tirante vertical se disponga lo más cercano posible a la sección de cambio de canto. También se propone una formulación semi-empírica para el cálculo de la resistencia de los AMM, obtenida a partir de los resultados de los ensayos experimentales.

En 2006 Huang y Nanni [36] publican los resultados de los ensayos de 5 AMM de vigas pretensadas con cordones de armadura pretesa. La tipología estructural ensayada es una especie de forjado en π , con dos vigas de ancho variable unidas por una capa de compresión de 51 mm de espesor (véase Figura II.22.a). El estudio trata de comprobar el funcionamiento de un determinado esquema de armadura pasiva en el apoyo y del refuerzo mediante láminas de fibra de carbono (CFRP's). En los casos en los que se emplean una o dos láminas de CFRP en las inmediaciones del apoyo no se dispone armadura pasiva alguna, es decir, los refuerzos tienen la finalidad de sustituir la totalidad de la armadura pasiva; se diseña un sistema específico de anclaje de las láminas de FRP que asegura que el fallo se produzca por la rotura de las fibras y no por la pérdida de adherencia de la lámina. Se concluye que el refuerzo de AMM con CFRP's resulta bastante adecuado, al aportar un aumento considerable de su resistencia sin conllevar una reducción considerable de la ductilidad. Por tratarse de piezas con un elevado pretensado, la fisuración en la esquina del AMM comienza aproximadamente al 50% de la carga de rotura y las fisuras incluso en rotura tienen aberturas muy controladas, del orden de 0,40 mm.



Fotografía II.3: Vista de ensayos de Huang y Nanni [36]

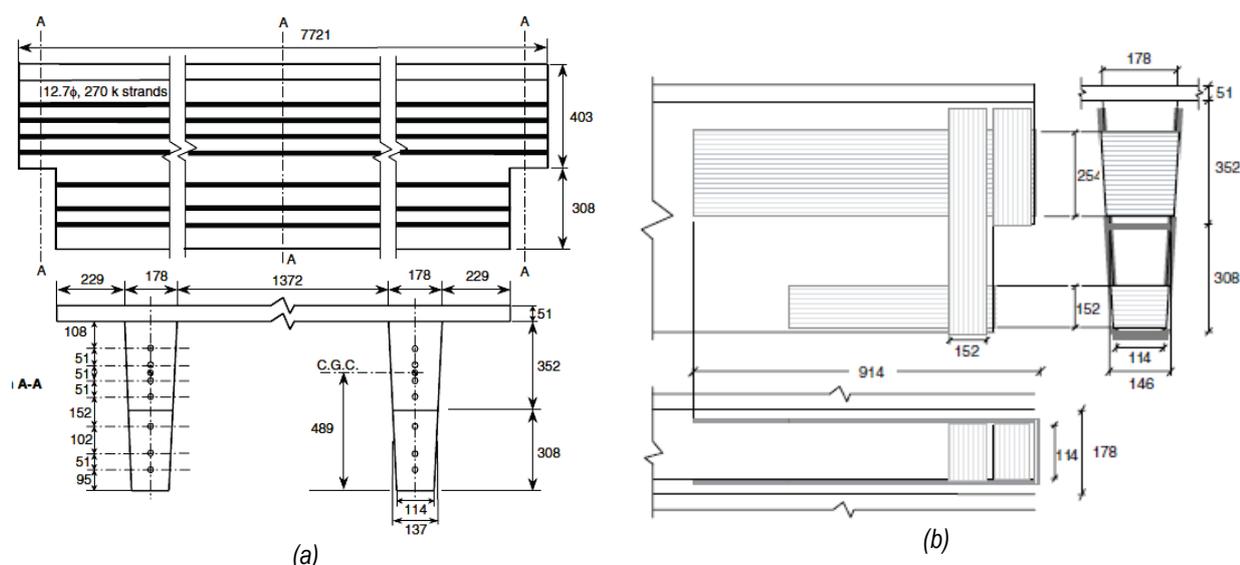


Figura II.22: AMM ensayados por Huang y Nanni [36] – (a) Geometría y detalle de armadura pasiva – (b) Esquema de refuerzo con CFRP's

La aportación experimental más reciente que se ha encontrado en el campo de los AMM corresponde a Herzinger en el año 2008 [12], [14]. El estudio se centra en el comportamiento de AMM armados con barras con cabeza (*headed studs*); mediante este diseño se pretende reducir las longitudes de anclajes que a veces obligan a soldar barras a placas metálicas exteriores. Como ya se realizaba en ensayos anteriores, la carga se introduce con cierta inclinación para simular las fuerzas horizontales en los AMM debidas a fenómenos de retracción, fluencia o dilatación (véase Figura II.23). El diseño de las piezas se realiza mediante el MBT, mientras que también se analiza el fallo mediante el “modelo de fricción de cortante” y “flexión diagonal”, analizando distintos planos inclinados y tomando el más desfavorable. Se concluye que el MBT es un método suficientemente conservador como para realizar el dimensionamiento, mientras que el análisis conjunto mediante la fricción de cortante y por flexión diagonal predice con precisión la resistencia de la pieza, el modo de fallo y la localización de la fisura crítica. Por lo que respecta al comportamiento de las barras con cabeza, permiten solventar bien los anclajes, sin tener que recurrir a soldar barras a chapas o angulares dispuestos en la superficie del hormigón.

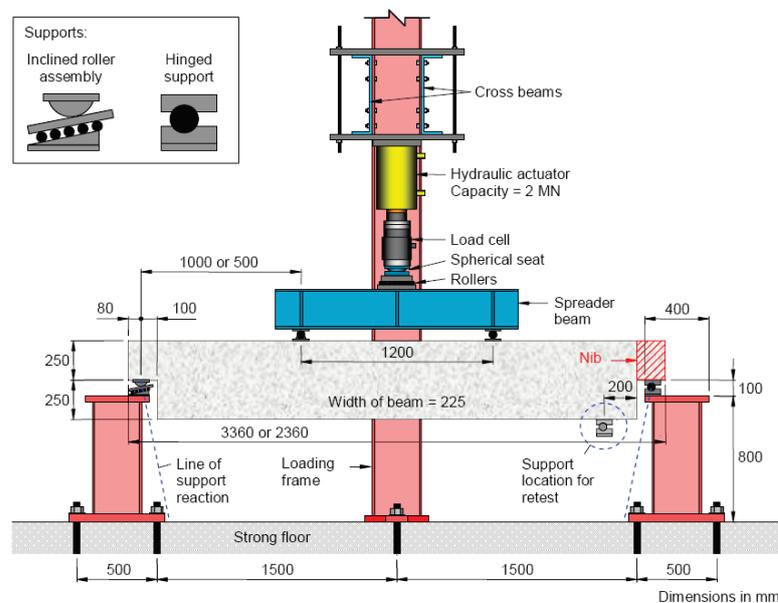


Figura II.23: Esquemas de ensayo de AMM de Herzinger [12], [14]

En el análisis bibliográfico realizado, sólo se han encontrado dos estudios que hacen un análisis cuantitativo de la fisuración de los AMM (Clark y Thorogood [26] y Zhu et al. [33]), pudiendo concluirse por tanto que el comportamiento en servicio de los AMM todavía no ha sido suficientemente estudiado.

II.3 Breve análisis del tratamiento normativo de los AMM

En este apartado se hace una revisión sobre la manera de enfocar el diseño de los AMM por las normativas y códigos o manuales de referencia más relevantes a nivel internacional. Como se verá a continuación, en la mayoría de los casos no hay ninguna metodología específica para su diseño, sino que las normativas remiten al procedimiento general del MBT.

II.3.1 EHE-08

Comenzando por la normativa española, la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) [2] en su capítulo XII sobre elementos estructurales trata de manera conjunta tanto los AMM como las ménsulas cortas en el artículo 64°. En el apartado específico de AMM se refiere en estos términos a dichos apoyos: “*las soluciones de apoyo de este tipo son, en general, puntos conflictivos en donde se concentran problemas de fisuración y degradación del hormigón, por lo que se evitará su empleo siempre que sea posible*”. Pese a no prohibir de manera explícita su uso, lo desaconseja por sus problemas en servicio.

Indica que deberá tenerse en cuenta la operación de sustitución de los aparatos de apoyo como un estado de carga más. Por lo que respecta a su cálculo, especifica que deberá abordarse por el MBT por tratarse de una región de tipo D, ya que existe tanto una discontinuidad geométrica asociada a un cambio brusco de sección, como la presencia de la carga concentrada del apoyo. En los comentarios del articulado se proponen dos esquemas de bielas y tirantes para AMM (véase Figura II.24), tomados directamente del EC-2 [40]. Cabe destacar que en dichos esquemas la carga del apoyo tiene cierta componente horizontal pero no se establece ningún criterio para determinar el valor de dicha componente horizontal en función de la carga vertical. La componente horizontal, debida a los posibles efectos de la retracción, fluencia y dilatación de las piezas podría ir tanto hacia el interior como hacia el exterior de la pieza; en los esquemas propuestos está representada en la dirección más desfavorable para el elemento.

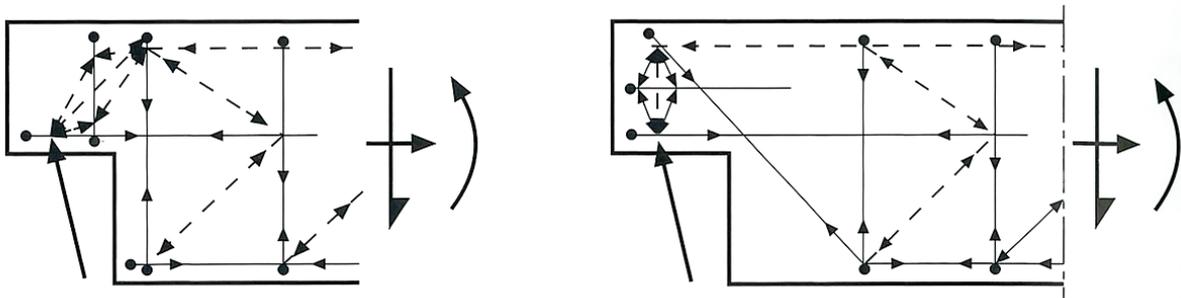


Figura II.24: Esquemas de bielas y tirantes propuestos en la EHE-08 [2] y tomados del EC-2 [40]

Como síntesis, según la EHE-08 [2] los AMM deberán calcularse por el MBT, no indicando ninguna prescripción específica. Dicho método se encuentra definido en el apartado 24.1.2 de la normativa y desarrollado en el artículo 40°, que aborda la capacidad resistente de bielas, tirantes y nudos.

II.3.2 Eurocódigo 2 (EN 1992-1-1:2004)

El Eurocódigo 2 [40] aborda el proyecto de estructuras de hormigón y en su parte 1-1, que recoge reglas generales y reglas para edificación, contiene el apartado 10.9.4.6 que trata de manera específica las juntas a media madera. En dicho apartado se indica que los AMM se podrán proyectar mediante modelos de bielas y tirantes. Se proponen dos modelos de bielas y tirantes (véase Figura II.24), con disposiciones de armadura ortogonal e inclinada, que indica se podrán combinar.

El cálculo con modelos de bielas y tirantes, viene detallado en el apartado 6.5 del EN 1992-1-1:2004 [40].

II.3.3 ACI 318-08

El código ACI 318-08 [10] no hace ninguna referencia específica hacia los AMM. Simplemente en los comentarios su apartado 1.1 se hace referencia al MBT, que se encuentra desarrollado en su Apéndice A, como procedimiento de diseño para las regiones cercanas a discontinuidades geométricas o cambios bruscos en las cargas.

II.3.4 CSA A23.3-04

La normativa canadiense CSA A23.3-04 [11] que aborda el diseño de estructuras de hormigón tampoco contiene ninguna indicación específica sobre AMM. Para diseñar estos elementos según esta normativa sería de aplicación el MBT que se desarrolla en su apartado 11.4.

Dada la analogía existente entre las ménsulas cortas y los AMM, del apartado 11.6 que contiene indicaciones para ménsulas cortas puede extraerse un criterio para definir la carga horizontal mínima que será necesario aplicar en los AMM. En dicho apartado se indica que la fuerza externa horizontal de tracción que aparecerá en el apoyo del elemento no deberá ser inferior al 20% de la carga vertical salvo que se contemplen disposiciones específicas para evitar dichas cargas horizontales.

II.3.5 Código Modelo (2010 draft version)

Al igual que sucede con las normativas anteriores, el Código Modelo en su versión de 2010 (borrador) [41] tampoco contiene ninguna indicación específica sobre AMM. Sería por tanto de aplicación para el diseño de estos elementos las indicaciones del apartado 7.3.6 sobre el diseño de elementos de discontinuidad con el método de los campos de tensiones y modelos de bielas y tirantes.

II.3.6 PCI Desing Handbook 7th edition

El Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI) publica un manual de diseño [39] de aplicación a elementos de hormigón prefabricado, que contiene gran cantidad de ejemplos y disposiciones constructivas para detalles específicos. Dicho manual contiene un procedimiento específico para el diseño del armado de los AMM que viene detallado en su apartado 5.6.3.1. Cabe destacar que se trata de un método de diseño bastante contrastado y al que se hace referencia en gran parte de los estudios indicados previamente en el apartado II.2. Según Barton [27] la metodología combina aspectos de la teoría de fricción por cortante y del MBT. Como se indicaba en el apartado II.2.1, la metodología se basa en el estudio de Mattock y Chan de 1979 [9], y está presente en el PCI Design Handbook desde su 3ª edición de 1985 [38] y ha permanecido sin variaciones sustanciales hasta la edición actual del mismo que se detalla a continuación.

El procedimiento de diseño está basado en 5 mecanismos de rotura distintos definidos por las fisuras numeradas de la Figura II.25.

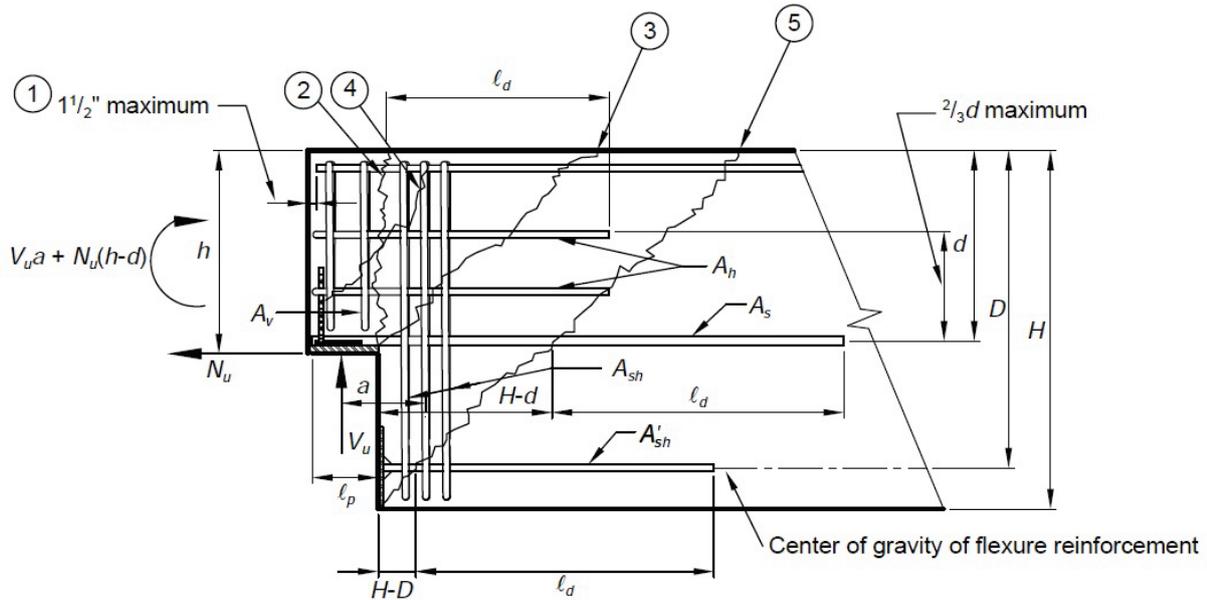


Figura II.25: Mecanismos de rotura y geometría especificada en PCI Design Handbook [39]

Para cada uno de los mecanismos de rotura anteriores se establece una determinada comprobación. Pasan a desarrollarse:

1. Rotura por flexión y tracción en la zona apoyo. Requiere disponer armadura horizontal (A_s) para resistir dichos esfuerzos. El cálculo es similar al que se realiza en ménsulas cortas:

$$A_s = \frac{1}{\phi \cdot f_y} \left[V_u \left(\frac{a}{d} \right) + N_u \left(\frac{h}{d} \right) \right] \quad (II.7)$$

donde:

ϕ toma el valor de 0,75

f_y es la resistencia de cálculo del acero

a, d, h parámetros geométricos (véase Figura II.25)

V_u carga vertical en el apoyo

N_u carga horizontal en el apoyo (tomar $0.2 \cdot V_u$ salvo cálculo específico)

2. Cortante directo desde la esquina. Es resistido por las armaduras horizontales sobre el apoyo (A_s y A_h):

$$A_s = \frac{2 \cdot V_u}{3 \cdot \phi \cdot f_y \cdot \mu_e} + A_n \quad (II.8)$$

$$A_n = \frac{N_u}{\phi \cdot f_y} \quad (II.9)$$

$$A_h = 0,5 \cdot (A_s - A_n) \quad (II.10)$$

donde:

ϕ toma el valor de 0,75

$$\mu_e = \frac{\phi \cdot 1000 \cdot \lambda \cdot b \cdot h \cdot \mu}{V_u} \text{ limitado por los valores de la tabla 5.3.1 del PCI [39]}$$

3. Tracción diagonal desde la esquina. Para coser esta fisura es necesario disponer la armadura principal vertical (A_{sh}):

$$A_{sh} = \frac{V_u}{\phi \cdot f} \tag{II.11}$$

4. Tracción diagonal sobre el apoyo. Para comprobar que este modo de fallo no es el determinante se verificará que la contribución del hormigón y de las armaduras secundarias sobre el apoyo (A_v y A_h) son superiores al esfuerzo:

$$\phi \left(A_v \cdot f_y + A_h \cdot f_y + 2 \cdot b \cdot d \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \right) \geq \phi \cdot V_u \tag{II.12}$$

Al menos el 50% de la armadura necesaria para resistir este mecanismo debe ser dispuesta como armadura secundaria vertical sobre el apoyo (A_v):

$$A_v \geq \frac{1}{2 \cdot f_y} \left(\frac{V_u}{\phi} - 2 \cdot b \cdot d \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \right) \tag{II.13}$$

5. Tracción diagonal desde la esquina del extremo inferior de la viga. Este mecanismo de rotura se verificará sin más que comprobar que la armadura principal horizontal (A_s) tiene una longitud suficiente como para desarrollar su longitud de anclaje a partir de esta fisura (fisura nº 5, véase Figura II.25)

Cabe destacar que este procedimiento no contempla la posibilidad de disponer armadura inclinada.

Capítulo III

Objetivos y relevancia de la investigación

En este capítulo se indican los objetivos específicos de la investigación, así como la justificación de la importancia de la misma, dado el estado actual del conocimiento en el campo de los AMM.

Tras el análisis realizado en el capítulo anterior de la bibliografía técnica de los AMM, queda claro que el comportamiento en servicio, y concretamente la fisuración de los AMM ejecutados en hormigón armado, es un tema sin analizar con suficiente profundidad.

En el apartado 1.2 se señalaban los objetivos generales de la investigación, que eran tanto profundizar en el conocimiento del comportamiento en servicio de las regiones D, como estudiar el comportamiento en servicio y en rotura en el entorno de los AMM. Los objetivos específicos que se persiguen con el presente trabajo son los siguientes:

- Establecer la influencia que tienen distintas cuantías y configuraciones de armado en el comportamiento en rotura de los AMM.
- Analizar la posible variación de los mecanismos resistentes en función del nivel de carga actuante.
- Caracterizar con detalle la fisuración que se produce en los AMM.
- Analizar la influencia de la cuantía y la configuración de armado en la fisuración de los AMM.

Dado el vacío encontrado en el análisis detallado de la fisuración de los AMM y la problemática de durabilidad que estos apoyos presentan y que está llevando a algunas normativas a desaconsejar su uso, el presente estudio resulta de especial relevancia, al llevarse a cabo una campaña experimental en la que se analiza pormenorizadamente la fisuración en estos apoyos.

Capítulo IV

Programa experimental

En el presente capítulo se indican primeramente los distintos parámetros que pretenden analizarse en el estudio y se define la campaña experimental. A continuación se detalla la configuración de ensayo adoptada y se describen tanto los equipos para aplicar la carga como la instrumentación que se dispone para realizar la toma de datos. Seguidamente se detallan los materiales empleados para los ensayos y por último, se describen de manera sintética los distintos pasos seguidos en el proceso de ensayo.

IV.1 Parámetros de estudio y plan de trabajo

En este apartado se definen los parámetros y variables contemplados en el diseño de la campaña experimental correspondiente a los 22 ensayos ejecutados en este trabajo.

Los parámetros que influyen en el comportamiento de las regiones D se derivan básicamente de la geometría de los elementos, así como de la interacción entre el acero y el hormigón, y de su capacidad para formar las bielas y los tirantes encargados de la transferencia de las fuerzas entre los límites de las regiones D.

Teniendo presente que existe una lógica limitación del número total de ensayos que es posible realizar, y tras analizar la influencia e importancia de los distintos parámetros, en base a la revisión bibliográfica descrita en el apartado II.2 y unas modelizaciones numéricas previas, se han considerado los siguientes parámetros para definir los AMM:

- Por lo que respecta a la geometría de los elementos, decide tomarse como una variable invariante en la experimentación, puesto que la influencia de la geometría en el comportamiento de los AMM ya ha sido ampliamente estudiada. Se fija una geometría lo más cercana posible a la práctica constructiva real de este tipo de elementos, acudiendo a secciones suficientemente grandes como para considerarse piezas reales, evitando efectos de escala muy difíciles de considerar en el hormigón armado. Se ensayan elementos tipo

Tabla IV.1: Niveles de cuantía de armado empleadas

Niveles de cuantía de armado	$\frac{\rho_i}{\rho_{\max}}$	$\rho_{\text{inf}} (\%)$
Cuantía alta – ρ_1	100%	18,45
Cuantía intermedia – ρ_2	71%	13,09
Cuantía baja – ρ_3	49%	8,38

- Esquemas de bielas y tirantes. Se plantean 2 alternativas: armado ortogonal (se correspondería con el esquema de bielas y tirantes detallado en la Figura II.3.a) y armado ortogonal e inclinado equilibrados (esquema detallado en la Figura II.3.c). En el segundo caso la distribución de armado dispuesta conduce a un reparto teórico de la carga en que el esquema ortogonal recibe el 60% de la carga y el inclinado el 50%.
- Descompensación de los tirantes principales. Para el esquema de armado ortogonal se plantea, respecto al armado equilibrado del tirante principal horizontal y vertical (-A- y -B- según la nomenclatura de la Figura IV.1), una reducción del tirante principal horizontal -A- en un 40% y del tirante principal vertical -B- en un 60%.
- Anclajes de armaduras. Para no introducir una variable más en la experimentación que pudiera distorsionar la interpretación de los resultados, deciden disponerse placas metálicas para el anclaje de la armadura inferior de la viga y la armadura principal horizontal -A-. De esta manera se asegura el perfecto anclaje de estas armaduras.
- Por lo que respecta al tipo de hormigón, se plantean todos los ensayos con un hormigón convencional, de resistencia característica de 30 MPa. La resistencia del hormigón en estas piezas no es un aspecto relevante puesto que la rotura prevista se produce con plastificación previa de las armaduras.

Cabe destacar que la campaña experimental se planifica de manera independiente en series de 6 vigas (12 ensayos de AMM), de manera que los resultados obtenidos en cada serie sirvan de base a la planificación de la siguiente serie. Las variables que acaban de indicarse se corresponden con las dos primeras series de vigas (12 vigas), que son las que se presentan en el trabajo, pero la campaña experimental completa que se acometerá tendrá un rango de variables superior. Se dispone la misma configuración de armado en los 2 apoyos de cada viga para tener replicación de resultados.

Las 12 distintas configuraciones ensayadas se relacionan en la Tabla IV.2. En dicha tabla, el porcentaje indicado en la última columna de cada uno de los tirantes, representados con $\left(\frac{A_j}{A_{\max}} \right)_{\rho_i}$,

$\left(\frac{B_j}{B_{\max}} \right)_{\rho_i}$ y $\left(\frac{C_j}{C_{\max}} \right)_{\rho_i}$, indica la cuantía relativa del tirante respecto a la cuantía máxima de dicho tirante para una determinada cuantía global de armado de la pieza.

Tabla IV.2: Resumen de esquemas de armado ensayados

Codificación ensayo	Num.	$\frac{\rho_i}{\rho_{max}}$	Tirante horizontal -A-			Tirante vertical -B-				Tirante inclinado -C-		
			Armado	Cuantía (cm ²)	$\left(\frac{A_j}{A_{max}}\right)_{\rho_i}$	Armado	Cuantía (cm ²)	$\left(\frac{B_j}{B_{max}}\right)_{\rho_i}$	Nº planos -S-	Armado	Cuantía (cm ²)	$\left(\frac{C_j}{C_{max}}\right)_{\rho_i}$
p3/HA30_A1_B1.1_C0_S1	001	49%	5φ10	3,93	100%	2φ10+2φ8	2,58	100%	1	-	0,00	0%
p3/HA30_A3_B1.1_C0_S1	003	49%	3φ10	2,36	60%	2φ10+2φ8	2,58	100%	1	-	0,00	0%
p3/HA30_A1_B4_C0_S1	006	49%	5φ10	3,93	100%	2φ8	1,01	39%	1	-	0,00	0%
p3/HA30_A1_B1.2_C0_S3	010	49%	5φ10	3,93	100%	4φ8+2φ6	2,58	100%	3	-	0,00	0%
p3/HA30_A3_B1.2_C0_S3	011	49%	3φ10	2,36	60%	4φ8+2φ6	2,58	100%	3	-	0,00	0%
p3/HA30_A3_B3_C3_S1	013	49%	3φ10	2,36	60%	3φ8	1,51	59%	1	2φ10	1,57	50%
p1/HA30_A1_B1_C0_S3	014	100%	4φ16	8,04	100%	4φ10+2φ12	5,40	100%	3	-	0,00	0%
p1/HA30_A3_B1_C0_S3	015	100%	4φ12	4,52	56%	4φ10+2φ12	5,40	100%	3	-	0,00	0%
p1/HA30_A3_B3_C3_S1	016	100%	4φ12	4,52	56%	4φ10	3,14	58%	1	2φ12+1φ10	3,05	51%
p2/HA30_A1_B1_C0_S3	017	71%	5φ12	5,65	100%	4φ10+2φ6	3,71	100%	3	-	0,00	0%
p2/HA30_A3_B1_C0_S3	018	71%	3φ12	3,39	60%	4φ10+2φ6	3,71	100%	3	-	0,00	0%
p2/HA30_A3_B3_C3_S1	019	71%	3φ12	3,39	60%	2φ12	2,26	61%	1	2φ12	2,26	47%

Para diseñar los distintos armados se parte, en cada uno de los niveles de cuantía de armado, del diseño de un armado ortogonal equilibrado, en el que la armadura de los tirantes horizontal -A- y vertical -B- (véase nomenclatura en la Figura IV.1) es tal que la rotura prevista del AMM se produce por el agotamiento simultáneo de ambos tirantes. Esto da lugar a las piezas 001, 014 y 017.

Las piezas 003, 006, 015 y 018 se plantean directamente a partir de los diseños equilibrados, al distraer de los mismos los porcentajes indicados anteriormente de los tirantes horizontal y vertical, para ver el efecto de la descompensación de las armaduras principales. Las piezas 010 y 011 son variaciones de la 001 y la 003 respectivamente descomponiendo el plano del tirante vertical -B- en 3 planos, para ver la influencia que tiene el aumento del recubrimiento mecánico del mismo.

En los casos en que se estudia la disposición de un tirante inclinado, primeramente se analiza la armadura inclinada que sería necesaria para soportar la misma carga que la prevista con el diseño ortogonal equilibrado. A partir de los repartos de cargas indicados anteriormente se obtienen las armaduras ortogonales (60% de las del diseño equilibrado) y la armadura inclinada (50% de la del diseño exclusivamente con armadura inclinada). Esto da lugar a las piezas 013-016-019.

Para identificar cada ensayo se emplea una codificación del tipo de la representada en la expresión (IV.1).

$$p2_HA30_A3_B1_C0_S3 \quad (IV.1)$$

Cada una de las variables representadas en la codificación van separadas por un guión bajo. El carácter "p" indica el nivel de cuantía de armado de la pieza y le sigue un número de 1 a 3, que expresa mayor o menor cuantía (según lo indicado en Tabla IV.1). A continuación se expresa el tipo de hormigón (HA30), que en todas las piezas presentadas es idéntica. Le sigue la cuantía relativa del tirante horizontal "A", simbolizada con un número que puede ser 0 en caso de que no haya armadura, 1 en caso de que la armadura del tirante sea máxima o un número ascendente que representa un porcentaje de armadura cada vez inferior respecto al máximo. La misma codificación que se emplea para el tirante horizontal se emplea a continuación para los tirantes vertical "B" e inclinado "C". Por último se tiene el carácter "S", que indica el número de planos de armadura que componen el tirante vertical; puede adoptar el valor de S1, en cuyo caso el recubrimiento mecánico de dicho tirante será de 4 cm, o S3, con tres planos de armadura, quedando un recubrimiento mecánico de 8 cm.

Hasta ahora se ha tratado únicamente el diseño de los armados de los tirantes principales del AMM. La rotura de las piezas debe producirse con total seguridad por la región D compuesta por los apoyos, por lo que el diseño de la armadura de la viga debe realizarse para que resista, con un determinado coeficiente de seguridad, la carga máxima resistida por los apoyos. Los cálculos específicos de estos armados vienen detallados en el Anejo E. La armadura de cortante de la viga se prolonga en el interior de la región D, pero se interrumpe a una distancia de 25 cm del tirante vertical -B-, tratando de que la totalidad de la carga vertical en el apoyo pase por el tirante principal.

Los planos de detalles de armado de cada una de las piezas se han incorporado en el apartado B de cada una de las fichas de ensayo de las piezas, que se adjuntan en el Anejo A. A modo de ejemplo se muestran en la Figura IV.2 y la Figura IV.3 los armados de la pieza 016.

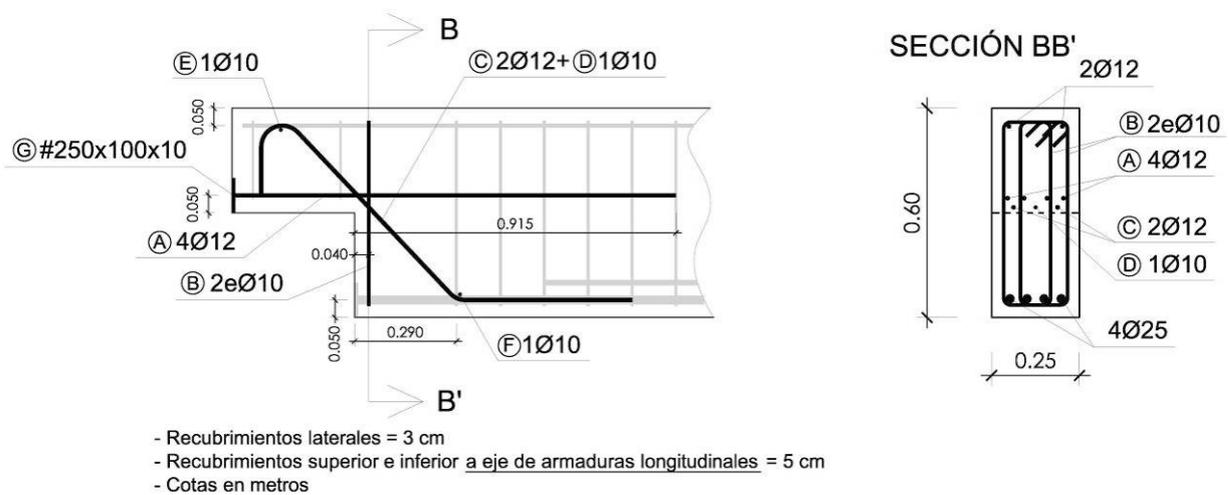


Figura IV.2: Armado de los tirantes principales. Pieza E016

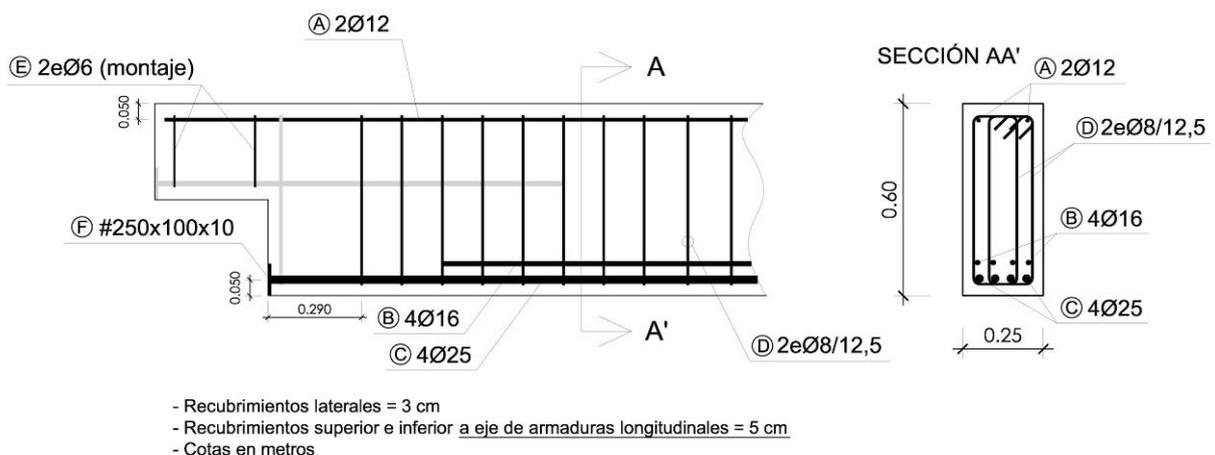


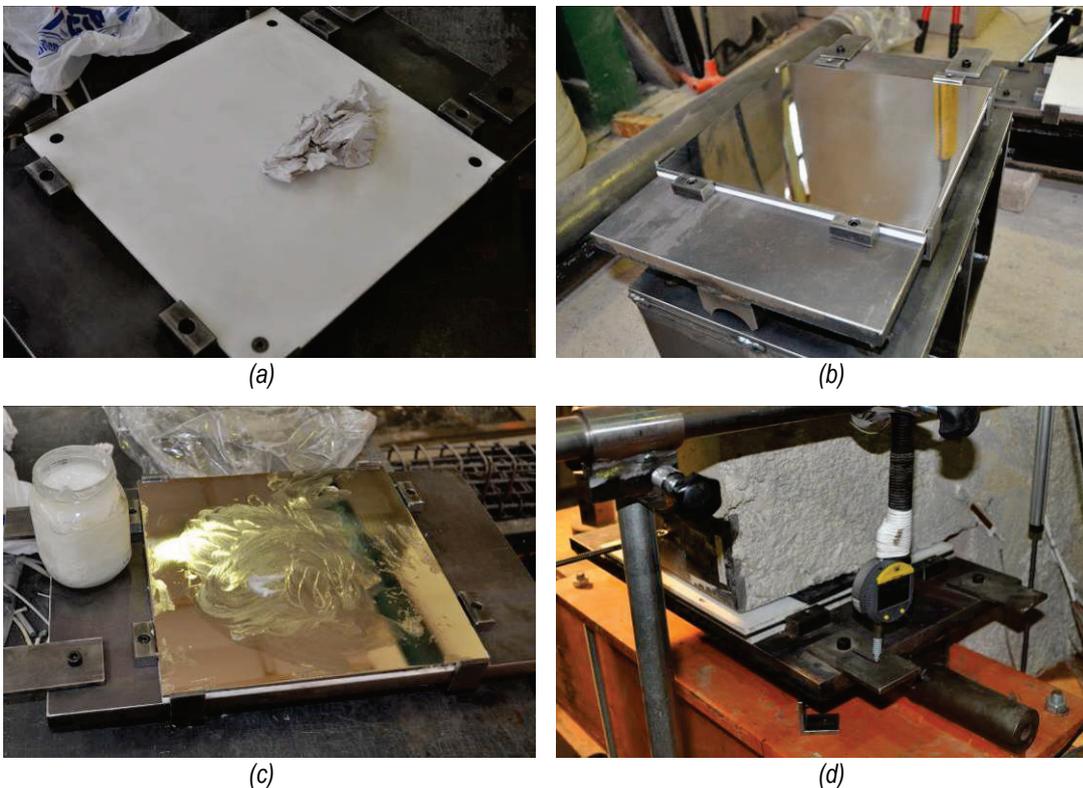
Figura IV.3: Armado de la viga. Pieza 016

IV.2 Configuración de ensayo

En este apartado se realiza una descripción del ensayo realizado, prestando especial atención al esquema de transmisión de cargas y a los aparatos de apoyo, que simulan el apoyo real de los AMM.

El diseño del ensayo parte del requisito de que debe controlarse con precisión, tanto la carga transmitida al apoyo ensayado, como su inclinación. La carga que recibe cada uno de los apoyos puede controlarse disponiendo un transductor de fuerza (véase apartado IV.3.2) bajo el punto de aplicación de la carga; el reparto de la carga total entre los dos apoyos de la viga se obtiene a partir del equilibrio de momentos al ser conocida la distancia de cada uno de los apoyos al actuador. Para controlar la inclinación de la carga se dispone un aparato de apoyo deslizante, que permite asegurar la normalidad de la carga respecto a la superficie del mismo.

Se diseña un aparato de apoyo basculante compuesto por dos placas de teflón (PTFE) de 5 mm de espesor separadas por una placa de acero inoxidable pulida, también de 5 mm de espesor; las distintas placas están convenientemente lubricadas entre sí. Se han elegido estos materiales por ser el coeficiente de fricción entre ellos muy reducido, asegurando así que no se generará una componente apreciable de carga horizontal en los apoyos.



Fotografía IV.1: Aparato de apoyo deslizante - (a) Placa inferior de PTFE - (b) Placa intermedia de acero inoxidable - (c) Lubricación de superficies - (d) Aparato de apoyo en ensayo

Sobre las capas que componen el apoyo deslizante se dispone un neopreno de 300x150x20 mm para asegurar un reparto uniforme de la carga en la superficie de apoyo deseada.

Se emplea un pórtico rígido que sirve de reacción al actuador hidráulico que aplica la carga sobre la probeta; ambos equipos están diseñados para soportar una carga máxima de 2500 kN. El pórtico se dispone transversalmente a las probetas (véase Fotografía IV.2), dejando libre la zona de los apoyos y poder así aplicar técnicas de medición fotogramétricas.



Fotografía IV.2: Vista general del ensayo

Las primeras piezas se ensayan con una configuración de cargas simétrica (véase Figura IV.4), en la que la carga aplicada se transmite por partes iguales a los 2 AMM de la pieza. En caso de que la rotura se produzca primero por uno de los apoyos, la pieza vuelve a cargarse disponiendo esta vez un apoyo intermedio en el lado en que se haya producido la rotura (véase Figura IV.5); a estos ensayos se les denomina en este documento “ensayos de recarga”. De los ensayos de recarga no es posible obtener información del comportamiento en servicio de la pieza, por estar ésta previamente fisurada.

Al comprobarse el correcto funcionamiento de los ensayos de recarga, a partir de la pieza 013 se realizó un ensayo independiente de cada uno de los 2 AMM con una configuración de ensayo con apoyo intermedio (Figura IV.5). De esta forma el AMM contrario al ensayado no está sometido a carga y puede ensayarse a posteriori, consiguiéndose realizar dos ensayos independientes para cada una de las vigas fabricadas. Esta es la configuración adoptada para todas las piezas a partir de la 013.

En los ensayos con apoyo intermedio el reparto de cargas entre los dos apoyos es el que se indica en la Figura IV.1.

En la Tabla IV.3 se indican los distintos ensayos realizados para cada una de las piezas, indicando su configuración de ensayo.

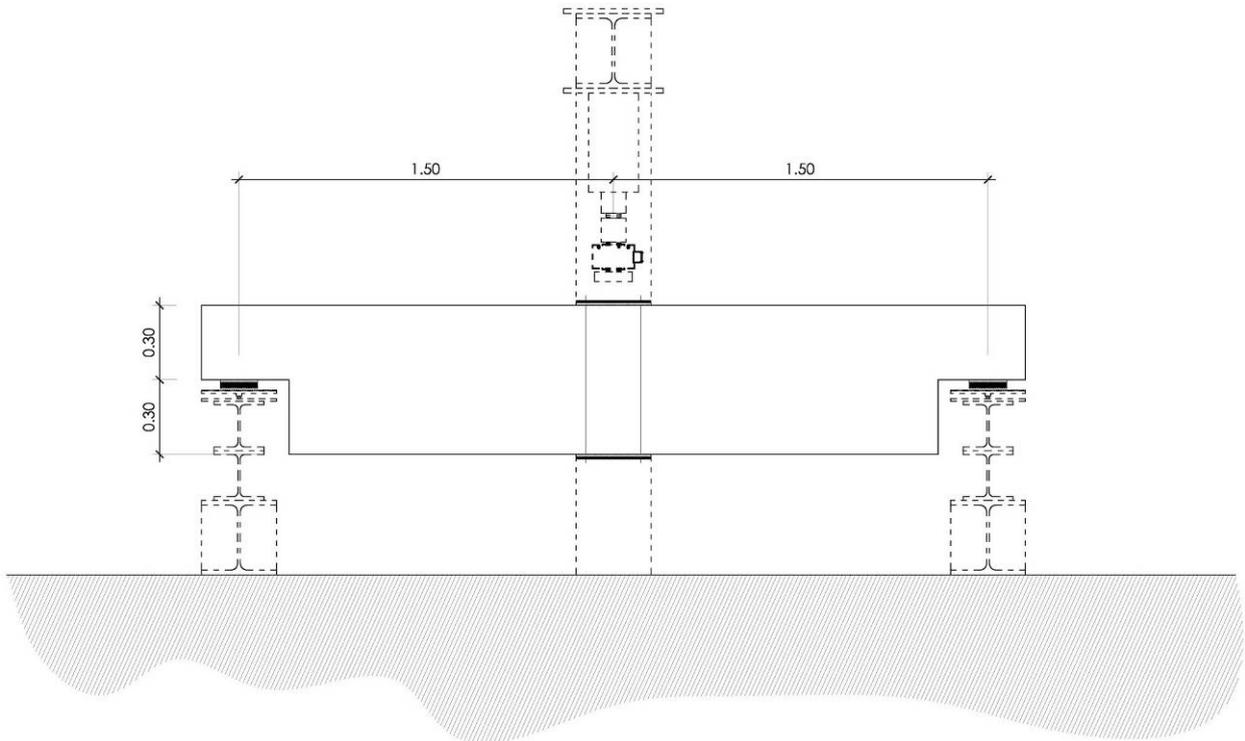


Figura IV.4: Configuración de ensayo simétrico

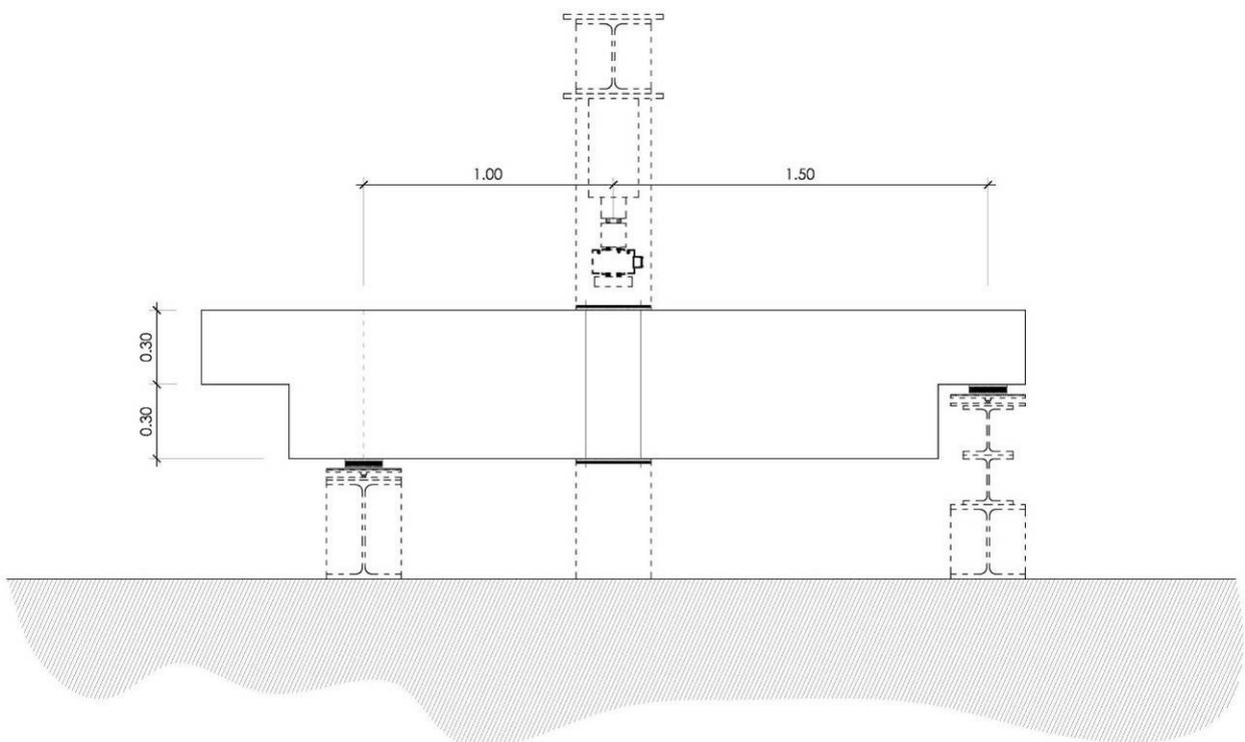


Figura IV.5: Configuración de ensayo con apoyo intermedio

Tabla IV.3: Resumen de ensayos y sus principales características

Pieza	Ensayo	Tipo de ensayo	Control carga	Detalles
001	001	Simétrico	Fuerza	-
003	003	Simétrico	Fuerza	-
003	003r	Ap. intermedio	Fuerza	Ensayo de recarga tras ensayo simétrico
006	006	Simétrico	Fuerza	-
006	006r	Ap. intermedio	Fuerza	Ensayo de recarga tras ensayo simétrico
010	010	Simétrico	Fuerza	-
010	010r	Ap. intermedio	Fuerza	Ensayo de recarga tras ensayo simétrico
011	011	Simétrico	Desplazamiento	-
013	013A1	Ap. intermedio	Desplazamiento	-
013	013A2	Ap. intermedio	Desplazamiento	-
014	014A1	Ap. intermedio	Desplazamiento	-
014	014A2	Ap. intermedio	Desplazamiento	-
015	015A1	Ap. intermedio	Desplazamiento	-
015	015A2	Ap. intermedio	Desplazamiento	-
016	016A1	Ap. intermedio	Desplazamiento	-
016	016A2	Ap. intermedio	Desplazamiento	-
017	017A1	Ap. intermedio	Desplazamiento	-
017	017A2	Ap. intermedio	Desplazamiento	-
018	018A1	Ap. intermedio	Desplazamiento	-
018	018A2	Ap. intermedio	Desplazamiento	-
019	019A1	Ap. intermedio	Desplazamiento	-
019	019A2	Ap. intermedio	Desplazamiento	-

IV.3 Instrumentación y equipos

En este apartado se detalla tanto el equipo empleado para la aplicación de la carga como la instrumentación dispuesta para la toma de datos de los ensayos.

IV.3.1 Aplicación de la carga

Para la aplicación de la carga se emplea un actuador hidráulico de 2500 kN accionado mediante un grupo de presión de 250 bares de doble efecto. En los primeros ensayos (véase Tabla IV.3) se realiza un control de la carga tal que el incremento de la fuerza sea constante con el tiempo. A partir de la pieza 011 se dispone un *encoder* que registra el desplazamiento del émbolo y permite que el grupo de presión adecúe automáticamente la carga aplicada para obtener una velocidad de deformación de la pieza constante. Esta última forma de proceder se considera más adecuada, ya que se capta con precisión la carga máxima del ensayo y el comportamiento post-pico, descargándose la pieza cuando se estima conveniente. Mediante el control de carga por fuerza la pieza se descarga súbitamente al alcanzar la carga de colapso; véanse las diferencias en la Figura IV.6.

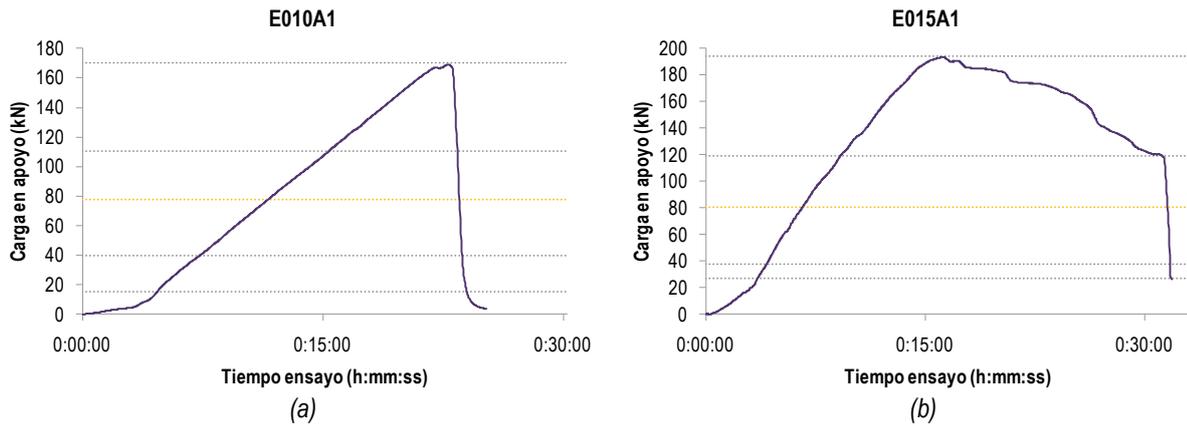


Figura IV.6: Gráficas experimentales de evolución de la carga - (a) Ensayo con control de carga por fuerza - (b) Ensayo con control de carga por desplazamiento

IV.3.2 Medición de la carga actuante

Se dispone un transductor de fuerza para el control de la carga aplicada, tipo C6A 1000 kN de HBM (Hottinger Baldwin Messtechnik), que se complementa con la medición de presión en el circuito hidráulico mediante 2 transductores de presión tipo Druck PDCR 4011 de 350 bares de General Electric.

IV.3.3 Medición de desplazamientos

Para el control de la deformada, del alargamiento de los tirantes y del deslizamiento producido en los apoyos se disponen hasta 21 transductores de desplazamiento potenciométricos lineales, del tipo TEX-0300 de Novo Technic, con una carrera máxima de 300 mm. La disposición concreta de los transductores se encuentra detallada para cada uno de los ensayos en el apartado C de su ficha, con un esquema análogo al mostrado en la Figura IV.7. Las distintas fichas de ensayos vienen recogidas en el Anejo A.

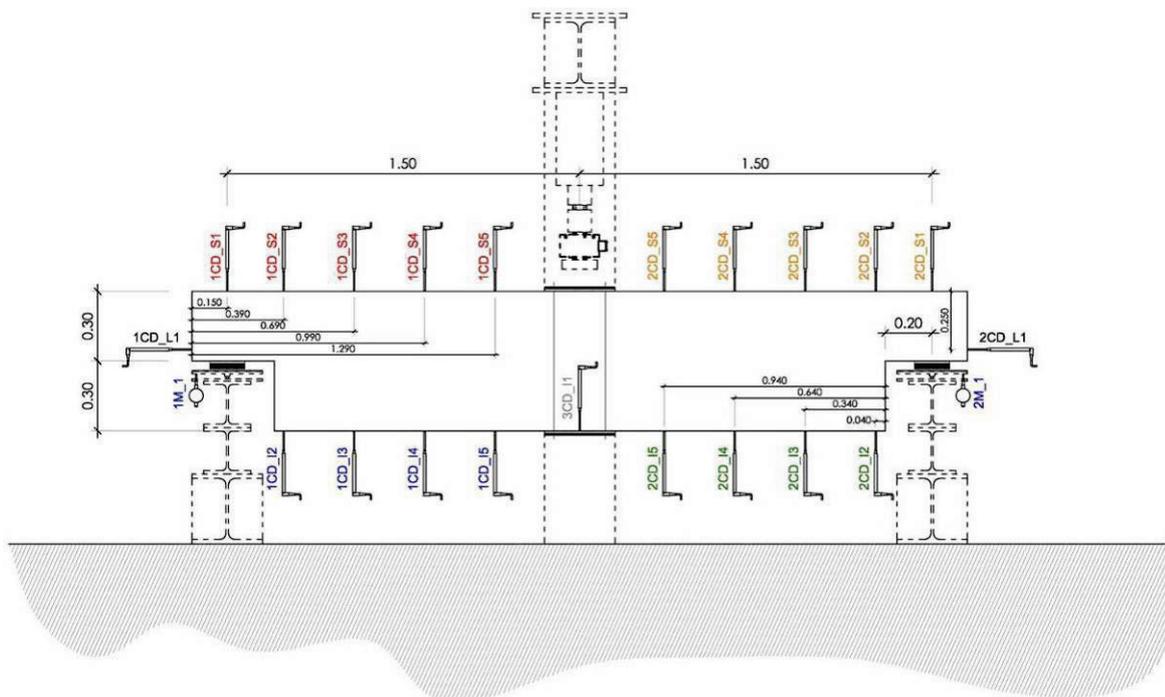


Figura IV.7: Esquema de disposición de transductores de desplazamiento. Pieza 001

Para el control del giro de los aparatos de apoyo se emplean 2 micrómetros Tesa Digico 305 MIE de Hexagon Metrology, con una carrera de 12,5 mm y una resolución de 0,001 mm.

IV.3.4 Medición de deformaciones

Dada la complejidad de la región que se está estudiando se hace necesario disponer gran cantidad de bandas extensométricas tipo K-LY41-3/120-3-2M de HBM, de 3 mm de longitud, pegadas en las barras de acero (hasta 99 galgas por pieza, variables en función del tipo de armado), para controlar con precisión la carga transmitida por cada tramo de cada una de las armaduras existentes en la zona de estudio. Las galgas en los tirantes principales del AMM se disponen lo más cerca posible de la esquina de la pieza, para obtener así el máximo alargamiento de las mismas, al quedar en las inmediaciones de la fisura que aparece en la esquina y ser la contribución del hormigón en tracción nula o muy reducida en esta zona. Un ejemplo de la ubicación de las galgas se muestra en la Figura IV.8.

Para cada una de las piezas se preparan esquemas en 3D en las que se representa la ubicación de las distintas galgas y su codificación (véase Figura IV.8). En el apartado C de cada ficha de ensayo se muestra el esquema de galgas de la pieza.

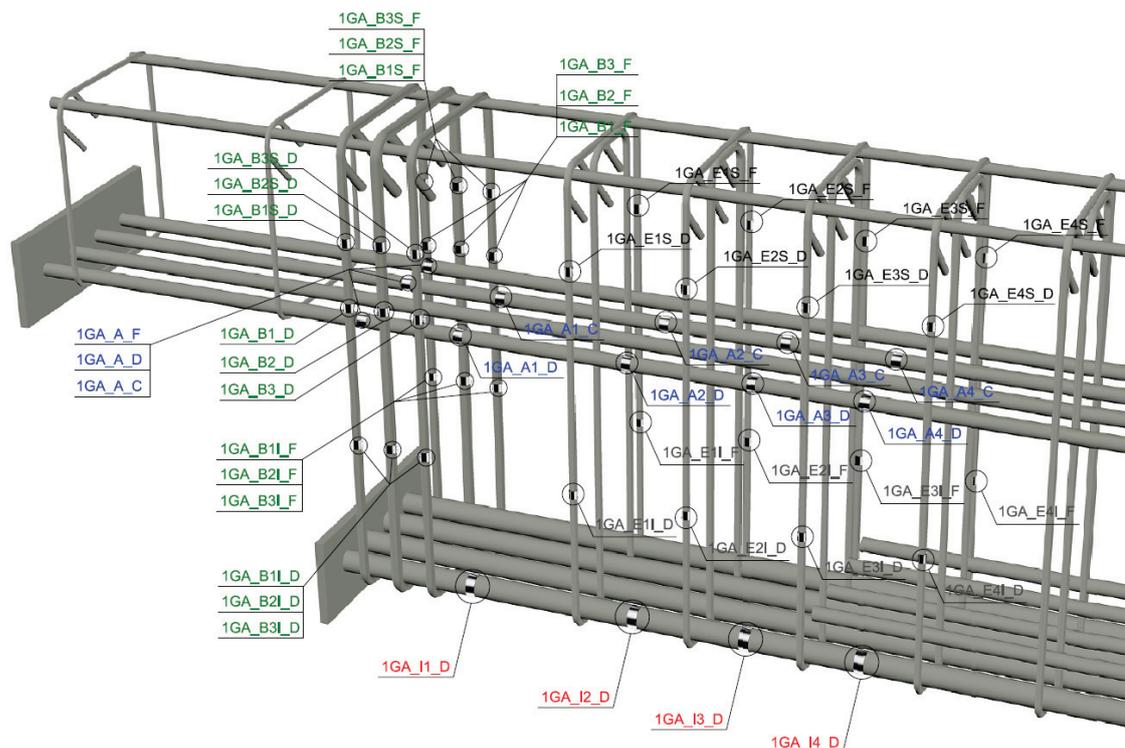


Figura IV.8: Esquema de ubicación de galgas extensométricas de acero. Pieza 014 – Apoyo 1

Para identificar cada galga se emplea una codificación del tipo de la representada en la expresión (IV.2).

$$1GA_B3I_D \quad (IV.2)$$

El primer número indica el extremo de la viga (1 o 2; 3 indica centro de luz de la viga) y va seguido de los caracteres “GA”, que indican galga de acero. Separado por un guión bajo se agrega un código que indica la posición de la galga. Dicho código está compuesto por una primera letra que indica

la armadura en la que se dispone la galga (A=Tirante horizontal; B=Tirante vertical; C=Tirante inclinado; E1=1^{er} estribo de cortante; E2=2^o estribo de cortante...), seguida en la mayoría de los casos de un número y una letra que concretan el tramo concreto de la armadura. Finalmente, separado nuevamente por un guión bajo, se dispone una letra que indica la cara de la viga en que se dispone la galga (F=frontal; C=centro viga; D=dorsal).

Además de las galgas en las barra de acero, se disponen 4 bandas extensométricas tipo K-LY41-50/120-3-0.5M de HBM, de 50 mm de longitud, pegadas a la superficie del hormigón junto a las esquinas, en la posición indicada por la Figura IV.9. Estas galgas permiten detectar con precisión el comienzo de la fisuración.

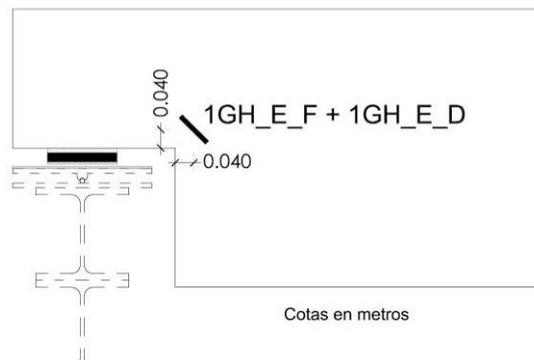


Figura IV.9: Esquema de ubicación de galgas de hormigón

IV.3.5 Medición de aberturas de fisura

La medición de las aberturas de fisura producidas en la esquina del apoyo es una de las mediciones más relevantes del programa experimental. Tradicionalmente la medición de aberturas de fisura en el hormigón se realiza con microscopios ópticos. Se descartó emplear este método para realizar todas las mediciones, puesto que presenta los inconvenientes de que la lectura óptica de la abertura es subjetiva y no permite una medida continua de la misma, requiriendo interrumpir el proceso de carga para realizar la medición. Pese a ello, se emplea un microscopio óptico OPT-P2034-100M de 100 aumentos de Peak Optics como contraste de los resultados de la técnica fotogramétrica finalmente empleada.

Como alternativa a la medición con microscopía, en varios estudios de AMM [12], [33], [14] se emplean transductores de desplazamiento (véase Fotografía II.2) en las inmediaciones de la esquina para poder medir las aberturas de fisura. Este procedimiento sí que permite una medida continua, pero presenta varios inconvenientes:

- Se desconoce a priori la ubicación concreta de la fisura, por ello es necesario disponer transductores de cierta longitud.
- Se desconoce a priori la inclinación de la fisura, por lo que no es posible disponer los transductores perfectamente perpendiculares a la fisura.
- Pueden abrirse varias fisuras en la zona de medida del transductor, invalidándose la medición.

- Es difícil disponer los transductores en el borde de la pieza, zona en la que la abertura de fisura es mayor.
- Los transductores deben anclarse a la superficie del hormigón, lo que exige realizar taladros. Dichos taladros pueden condicionar la fisuración de la pieza.

IV.3.5.1 Técnica fotogramétrica

Finalmente se decidió realizar una toma de fotografías de la región de estudio, con la finalidad de, mediante técnicas fotogramétricas, extraer a posteriori el campo de desplazamientos en los puntos deseados, lo que permite obtener tanto la abertura de fisura como su desplazamiento relativo en la dirección de la fisura. Al realizarse la toma de una fotografía por segundo, y dada la duración del ensayo, los resultados obtenidos pueden ser considerados continuos. Entre las ventajas de esta técnica pueden citarse las siguientes:

- La selección de los puntos de medición se realiza a posteriori, una vez se conoce el mapa de fisuración.
- Es una técnica no invasiva.
- Puede extraerse información de todos los puntos que se desee en la región fotografiada.
- Permite obtener información no prevista a la hora de realizar el ensayo.

Pese a que los fundamentos teóricos de la técnica están plenamente desarrollados, no se han desarrollado aplicaciones que permitan transferirla de una manera sencilla a la medición de laboratorio. La principal dificultad reside en el elevado número de fotos a procesar de cada uno de los ensayos.

Se han encontrado diversos ejemplos de medición fotogramétrica para la medición de deformaciones y fisuras en el hormigón [42-49]. Al ser investigaciones específicas de fotogrametría, suelen emplear procedimientos muy potentes, pero la mayoría resultan inviables por estar poco automatizados o ser poco operativos. A continuación se indican algunos aspectos generales de fotogrametría, tratándose de explicar sintéticamente la metodología empleada.

Todo proceso de fotogrametría métrica requiere modelizar la cámara empleada, es decir, conseguir un modelo teórico que describa cómo se transforma la escena en imagen, de esta forma se adquiere conocimiento acerca de la relación entre una imagen de una escena tomada por la cámara y la propia escena. El procedimiento por el que se modeliza una cámara se denomina *calibración*. Existen distintos procedimientos de calibración y distintos modelos de cámara.

IV.3.5.1.a Calibración

El proceso de calibración empleado se basa en el procedimiento propuesto por Zhang [50]. Se realizan distintas fotografías de una rejilla plana desde varios puntos de vista (véase Figura IV.10). El método de cálculo extrae las coordenadas de la rejilla y obtiene los parámetros intrínsecos y extrínsecos del modelo que minimizan el error cuadrático medio de la reproyección (el error es la diferencia entre las coordenadas extraídas y las coordenadas teóricas obtenidas con los parámetros del modelo). Se trata de un proceso de optimización no lineal.

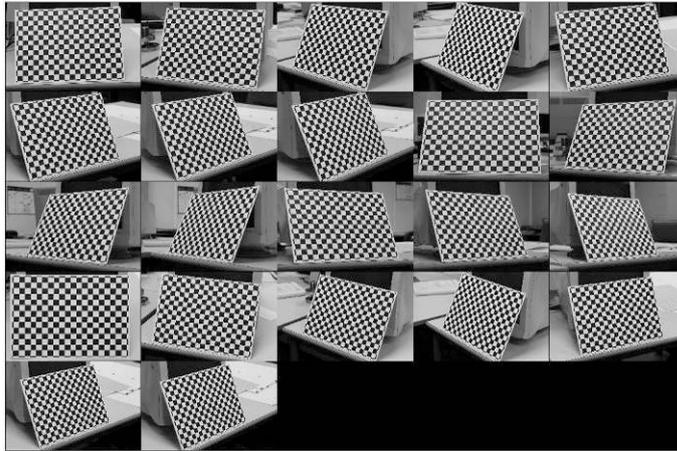


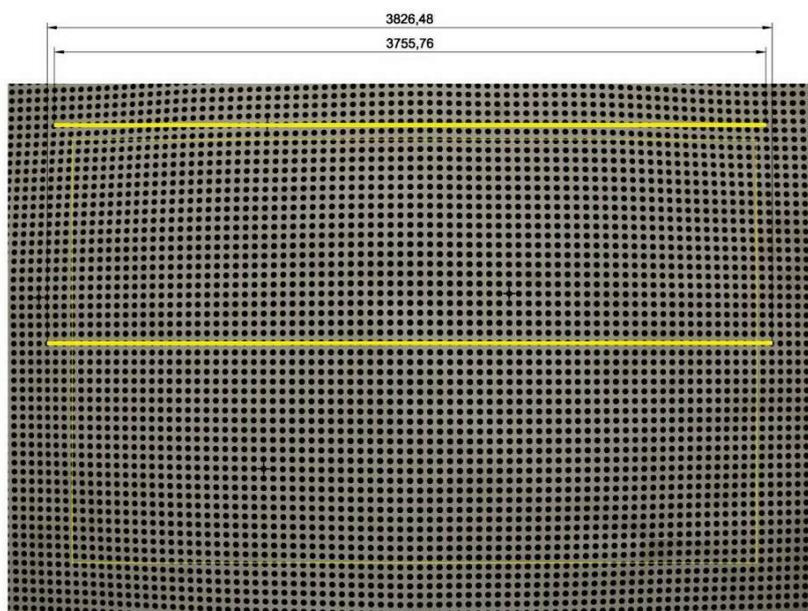
Figura IV.10: Mosaico de fotografías para calibración de cámara

IV.3.5.1.b Modelo de cámara

El modelo de cámara empleado es el propuesto por Heikkilä y Silvén [51]. Los parámetros que emplea el modelo se dividen en intrínsecos y extrínsecos.

Los parámetros extrínsecos definen la ubicación de la cámara respecto al sistema de referencia definido para la probeta. No se trata más que de un cambio de ejes, definido por tres coeficientes de traslación y tres coeficientes de rotación. Es necesario determinar estos parámetros para cada ensayo, tomando una foto de la rejilla de calibración antes de comenzar el ensayo.

Los parámetros intrínsecos permiten definir la proyección del sistema óptico de lentes sobre el plano que define el sensor. Debido a imperfecciones de las lentes y del sensor, en las cámaras convencionales no se cumple el principio de proyectividad, por el que las líneas rectas en una proyección sobre un plano deberían ser líneas rectas (véase distorsión radial de barrilete en Fotografía IV.3). Por este motivo hay que incorporar dentro de los parámetros intrínsecos parámetros que modelicen las distorsiones.



Fotografía IV.3: Distorsión radial

Los parámetros intrínsecos que emplea el modelo son la distancia principal, las coordenadas del punto principal, el ángulo que forman las líneas verticales y horizontales de los píxeles que forman el sensor y cuatro coeficientes de distorsión, dos que definen el polinomio que se emplea para modelizar la distorsión radial y otros dos para el polinomio que modeliza la distorsión tangencial.

Estos parámetros se determinan en el proceso de calibración y son dependientes de la longitud focal y de la distancia de enfoque.

IV.3.5.1.c Equipo

Para la toma de fotografías se emplean 2 cámaras Canon EOS 5D Mark II de 21,1 MPx de resolución y sensor CMOS de 35x24 mm, con objetivos Canon EF 85 mm f/1,8 USM y Canon EF 24-105mm f/4L IS USM.

El disparo automático de las mismas se realiza controlado por ordenador a través de un modulo de relés Compact FieldPoint, de National Instruments (NI).

IV.3.5.1.d Procedimiento general

El procedimiento práctico finalmente aplicado es el siguiente:

- Trabajo previo
 - Calibración del equipo (según lo indicado en apartado IV.3.5.1.a)
- Trabajo de laboratorio
 - Moteado con pintura blanca y negra de la zona de medición, para mejorar el contraste (véase Fotografía IV.11.a). Se analiza la influencia de distintos parámetros que podrían influir en la precisión de la detección de los patrones de seguimiento, analizando la variación de longitud entre dos puntos para fotografías de una probeta quieta, concluyéndose que a mayor contraste del patrón de seguimiento menor ruido se obtiene (véase Tabla IV.4).

Tabla IV.4: Influencia de tipo de moteado en el ruido del proceso de seguimiento de patrones

Moteado	Desviación de longitud respecto a la longitud media. Intervalo de confianza del 95% (px)
Sin moteado (hormigón)	0,0623
Blanco	0,0345
Blanco y negro	0,0304



Fotografía IV.4: Patrones de textura superficial

- Toma de fotografía patrón de la rejilla, para determinar los parámetros extrínsecos de la cámara.
- Toma de fotografías durante el ensayo.
- Post-proceso
 - Selección de puntos de medida
 - Seguimiento de patrones en las distintas fotografías (información en coordenadas imagen)
 - Conversión coordenadas imagen (píxeles) a coordenadas reales (milímetros) mediante el modelo de cámara descrito previamente y bajo la hipótesis de movimiento plano de la probeta.

IV.3.5.1.e Comparativa de técnicas

La medición de aberturas de fisura mediante fotogrametría da unos resultados satisfactorios. En la Figura IV.11 se muestra la comparativa de resultados respecto a la medición con microscopio. Las desviaciones entre ambas metodologías son muy reducidas. De una manera indirecta también es posible determinar la abertura de fisura mediante la galga extensométrica dispuesta cerca de la esquina, considerando que si la fisura atraviesa la galga, toda su medición se corresponde con la abertura de fisura; de esta manera al multiplicar su deformación unitaria por su longitud de medida, se obtendría la abertura de fisura. Esta medición es consistente con las dos anteriores, pero tiene la problemática de que la galga suele romperse para unas deformaciones en el entorno del 3-5%; es decir, de esta forma solamente es posible medir aberturas de fisura de unos 0,15-0,25 mm como máximo.

Abertura de fisura E019A1 (fotogrametría vs microscopía vs galga)

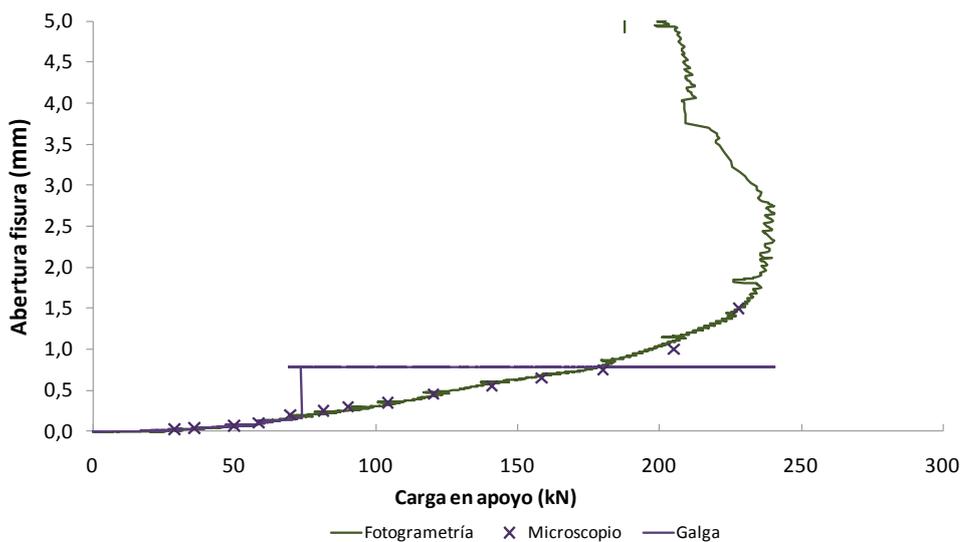


Figura IV.11: Comparativa de técnicas de medición de abertura de fisura

IV.3.6 Equipo de adquisición de datos

La adquisición de datos se realiza mediante un equipo modular FieldPoint de National Instruments (NI), capaz de adquirir simultáneamente hasta 136 canales, entre transductores de fuerza, presión, desplazamiento y bandas extensométricas.



Fotografía IV.5: Equipo de adquisición modular FieldPoint de NI

Se emplea la aplicación CEAD (Control de Equipos de Adquisición de Datos) para gestionar la adquisición de datos mediante un PC. Dicho software, desarrollado en el entorno LabView por el personal del Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH) de la Universidad Politécnica de Valencia, permite graficar los resultados obtenidos del ensayo en tiempo real. De esta forma se analiza el comportamiento de las piezas durante el ensayo, pudiendo detectar posibles errores que dieran lugar a medidas incoherentes.

IV.4 Propiedades de los materiales

Los materiales empleados para la fabricación de las vigas con AMM son hormigón convencional y acero corrugado para armar. A continuación se describen sus propiedades.

IV.4.1 Hormigón

El elevado volumen de las piezas a ensayar (450 litros) exige el suministro del mismo desde una central de hormigonado mediante camión hormigonera.

Cada una de las dos series de 6 vigas que se exponen en el trabajo (Serie 1: 001-013; Serie 2: 014-019) se fabrican con el mismo suministro de hormigón. De esta forma la variabilidad del hormigón dentro de cada una de las series vendrá dada sólo por la diferencia de edad a la que se ensayen; este efecto se ha comprobado que es muy reducido (véanse resultados detallados de resistencia del hormigón en Anejo D).

El hormigón se suministra por HormiCemex S.A., solicitándose en ambos casos un hormigón de resistencia característica de 30 MPa, consistencia fluida, con tamaño máximo de árido de 20 mm y clase general de exposición no agresiva (HA-30/F/20/I, según denominación de la EHE-08). Las características específicas de cada suministro se detallan en la Tabla IV.5.

Tabla IV.5: Características del hormigón

Amasada	Fecha de fabricación	Piezas fabricadas	Planta de suministro	Tipo cemento	Contenido de cemento	Relación A/C
Serie 1	16/06/2010	001-003-006-010-011-013	Albuixech	CEM II B-V 42,5 R	359±15 kg/m ³	0,62±0,02
Serie 2	29/10/2010	014-015-016-017-018-019	Ribarroja	CEM II A-LL 42,5 R	318±15 kg/m ³	0,59±0,02

Para cada una de las amasadas se fabrican un total de 22 probetas cilíndricas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, para caracterizar tanto la resistencia a compresión simple como la resistencia a tracción indirecta. Parte de las probetas (control) se mantienen en condiciones estándar de curado y se ensayan a 28 días, mientras que el resto (acompañamiento) se dejan en las mismas condiciones de curado que las piezas a ensayar y se rompen a la misma edad que éstas.

En la Tabla IV.6 y en la Tabla IV.7 se muestran las resistencias obtenidas. Tanto el procedimiento de los ensayos como los resultados detallados se encuentran en el Anejo D.

Tabla IV.6: Resistencias del hormigón. Serie 1

Fecha hormigonado	Fecha ensayo	Edad probeta (días)	Tipo de ensayo	Resistencia a compresión -f _c - (Mpa)	Resistencia a tracción indirecta -f _{ct} - (Mpa)
16/06/2010	14/07/2010	28	Control	41,0	3,03
16/06/2010	15/07/2010	29	Acompañamiento E001	41,1	3,15
16/06/2010	19/07/2010	33	Acompañamiento E003	39,3	2,56
16/06/2010	22/07/2010	36	Acompañamiento E006	39,9	2,98
16/06/2010	23/07/2010	37	Acompañamiento E010	40,4	3,19
16/06/2010	27/07/2010	41	Acompañamiento E011	40,8	3,05
16/06/2010	29/07/2010	43	Acompañamiento E013	40,2	3,05

Tabla IV.7: Resistencias del hormigón. Serie 2

Fecha hormigonado	Fecha ensayo	Edad probeta (días)	Tipo de ensayo	Resistencia a compresión -f _c - (Mpa)	Resistencia a tracción indirecta -f _{ct} - (Mpa)
29/10/2010	26/11/2010	28	Control	34,9	3,26
29/10/2010	19/11/2010	21	Acompañamiento E014	31,1	3,19
29/10/2010	26/11/2010	28	Acompañamiento E015	30,0	2,84
29/10/2010	01/12/2010	33	Acompañamiento E017	33,3	2,98
29/10/2010	03/12/2010	35	Acompañamiento E018	32,2	2,77
29/10/2010	16/12/2010	48	Acompañamiento E019	31,9	3,19
29/10/2010	22/12/2010	54	Acompañamiento E016	33,3	2,98

Se observa que las resistencias a tracción indirecta obtenidas están más influenciadas por la elevada dispersión propia del ensayo que por el aumento de resistencia debido a la mayor edad de las probetas. En la resistencia a compresión simple sí hay una ligera tendencia a que incremente su resistencia con la edad, aunque la mayor variabilidad se da entre el hormigón de la Serie 1 con el hormigón de la Serie 2, que difieren 6 MPa en los ensayos de control a 28 días.

IV.4.2 Acero

Se emplea acero corrugado de calidad B500SD, usándose varios diámetros. Para cada una de las series de vigas (véase correspondencia de series y piezas en la Tabla IV.5) se emplea un lote distinto de acero. Para cada lote y diámetro empleado se realizan dos ensayos de tracción. El resumen de los resultados se muestra en la Tabla IV.8 y en la Tabla IV.9 respectivamente. En el Anejo C se detallan los resultados y se muestra el procedimiento de ensayo.

Tabla IV.8: Características mecánicas del acero. Serie 1

	Diámetro			
	φ8	φ10	φ12	φ20
Límite elástico (MPa)	619,0	566,5	585,0	536,2
Tensión carga máxima (MPa)	708,9	655,0	672,5	655,5

Tabla IV.9: Características mecánicas del acero. Serie 2

	Diámetro					
	φ6	φ8	φ10	φ12	φ16	φ25
Límite elástico (MPa)	547,3	532,3	544,2	546,1	549,6	569,9
Tensión carga máxima (MPa)	680,1	672,1	654,3	658,5	672,8	695,9

Se observa que la influencia del diámetro de la armadura en las características mecánicas es apreciable en el lote de acero empleado en la serie 1.

IV.5 Desarrollo del programa experimental

Tanto la fabricación de las piezas como el ensayo de las mismas se realizaron en el laboratorio de elementos estructurales del Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH) de la Universidad Politécnica de Valencia.

En apartados anteriores ya se ha descrito en detalle, tanto la configuración del ensayo como la instrumentación dispuesta. En este apartado se mostrará de una manera gráfica las principales tareas requeridas para realizar los ensayos.

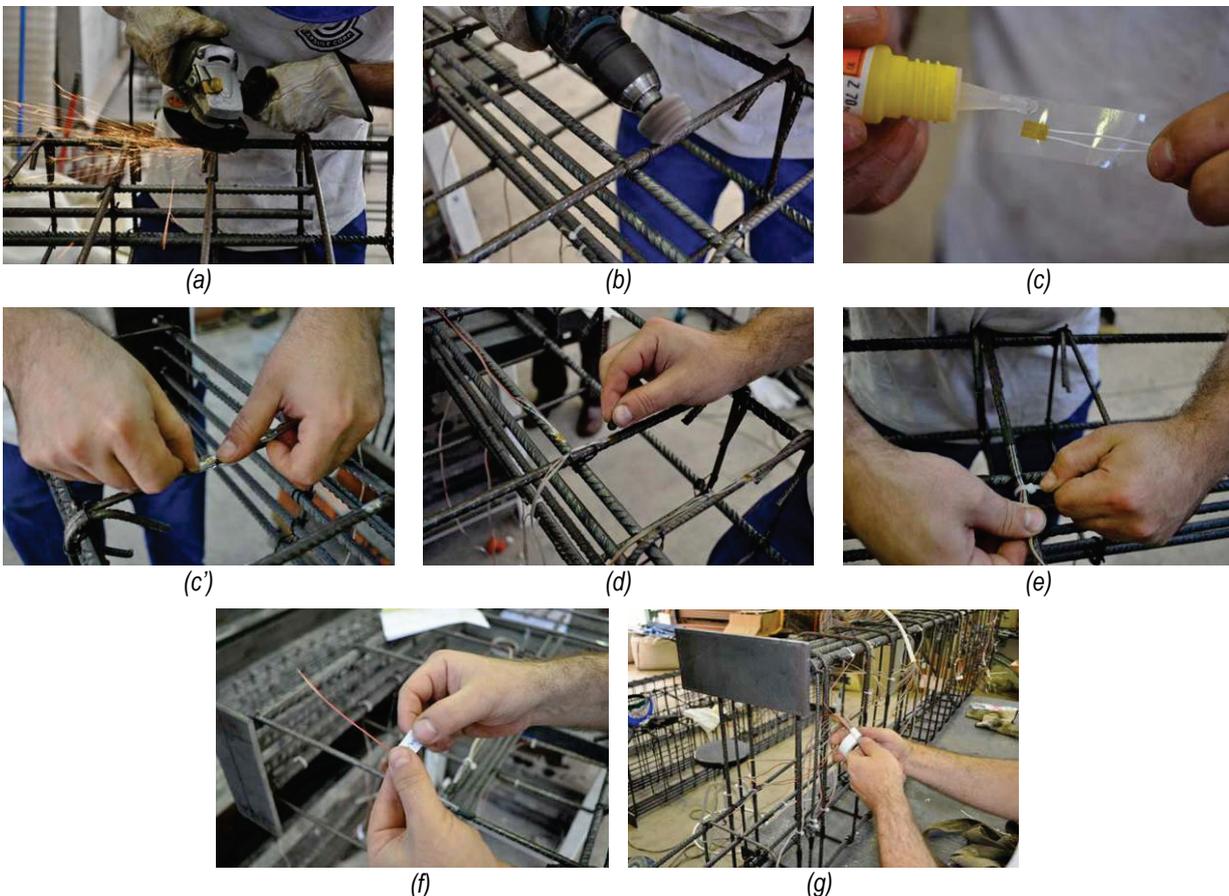
Para controlar de manera adecuada la realización de los ensayos se ha confeccionado un protocolo de ensayo (véase Anejo B), en el que se registra la fecha en la que se realiza cada una de las tareas, así como posibles incidencias surgidas en las mismas. Dicho protocolo comprende el proceso completo desde la definición de las piezas hasta el análisis de los resultados obtenidos. A continuación, de entre todas las tareas indicadas en el protocolo, se relacionan exclusivamente las principales tareas realizadas en el laboratorio⁴.

⁴ Decide mantenerse en este apartado la numeración de las fases empleada en el Protocolo del Ensayo. Para un detalle completo de las tareas realizadas, deberá acudir a dicho protocolo contenido en el Anejo B.

▪ **FASE 2: Fabricación de piezas**

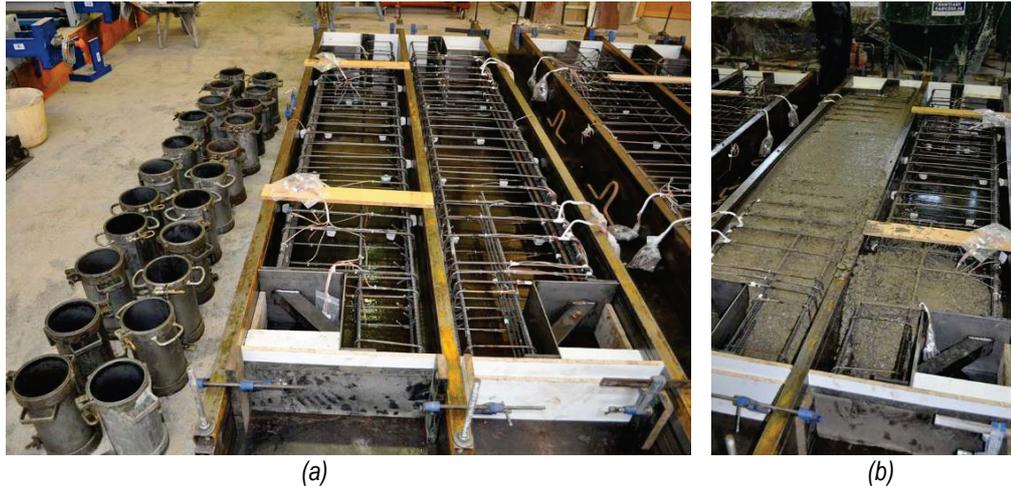
- Instrumentación de ferralla. Disposición de galgas en armaduras según esquemas predefinidos. Comprende las siguientes operaciones (véase Fotografía IV.6):

- (a) Eliminar las corrugas de la ferralla con la amoladora angular (sierra radial)
- (b) Pulir la superficie y limpiarla con acetona
- (c) Pegar la galga
- (d) Proteger la galga con masilla, para evitar que se dañe durante el hormigonado
- (e) Disponer una abrazadera de plástico para evitar posibles tirones del cable
- (f) Etiquetar convenientemente el cable
- (g) Recoger los cables y protegerlos dentro de bolsas



Fotografía IV.6: Proceso de instrumentación de la ferralla

- Preparación de encofrados. El encofrado se realiza sobre una plancha horizontal sobre la que se disponen perfiles tubulares metálicos que separan las piezas entre sí (véase Fotografía IV.7.a). Para materializar el apoyo a media madera se han fabricado unas escuadras metálicas. Antes de disponer la ferralla en los encofrados se disponen un número suficiente de separadores en la ferralla que garantizan los recubrimientos deseados de las armaduras.



Fotografía IV.7: (a) Preparación de encofrados - (b) Hormigonado

- Hormigonado. Tal y como se indicó con anterioridad, el elevado volumen de las piezas hace inviable la fabricación del hormigón en el laboratorio. Por este motivo se fabrican 6 vigas simultáneamente y el hormigón es suministrado por una central de hormigonado. En el laboratorio se dispone el hormigón mediante cubilote (véase Fotografía IV.7.b) y se vibra convenientemente.

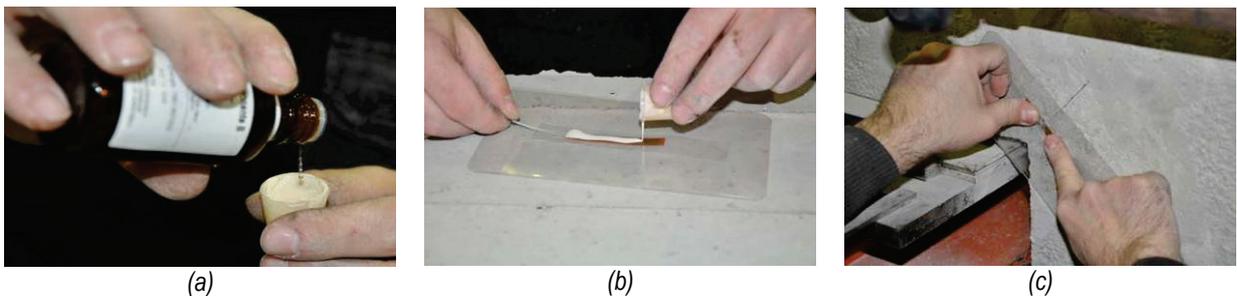
▪ **FASE 3: Preparación del ensayo**

- Colocación de la pieza en el pórtico de ensayo



Fotografía IV.8: Montaje de probeta en pórtico de ensayo

- Pegado de galgas en la superficie del hormigón. Se usa adhesivo bicomponente específico.



Fotografía IV.9: Proceso de pegado de galgas en la superficie de hormigón - (a) Mezclado de adhesivo bicomponente - (b) Colocación de pegamento sobre galga - (c) Pegado

- Colocación de transductores de desplazamiento y conexión al equipo de adquisición (véase Fotografía IV.10.a)
- Conexión de galgas extensométricas. Se disponen punteras en los extremos de los cables para asegurar una adecuada conexión eléctrica (véase Fotografía IV.10.b) y se conectan a los canales correspondientes del equipo de adquisición, según la configuración de canales prevista.



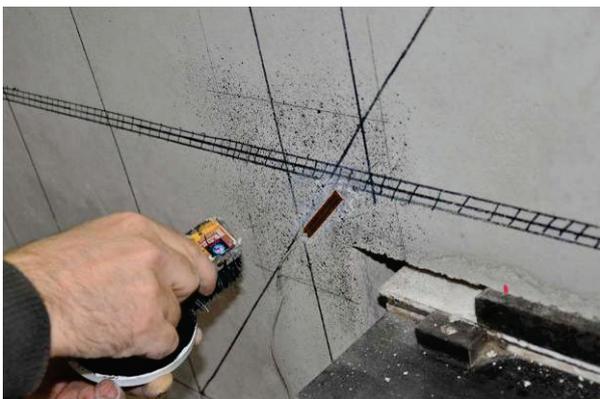
(a)



(b)

Fotografía IV.10: (a) Transductores de desplazamiento sobre la probeta - (b) Disposición de punteras en extremos de cables de galgas extensométricas

- Preparación de equipo fotogramétrico. Se realiza un moteado con pintura blanca y negra de la zona de medición, para mejorar el contraste (véase Fotografía IV.11.a). Se dispone la iluminación artificial y las cámaras en la posición deseada (véase Fotografía IV.11.b).



(a)



(b)

Fotografía IV.11: (a) Moteado de la región de medición fotogramétrica - (b) Colocación del equipo fotogramétrico

- Configuración de canales en el software de adquisición de datos fotogramétrico.

- FASE 4: Realización del ensayo



Fotografía IV.12: Detalle del ensayo E018-A2 en rotura

Capítulo V

Resultados experimentales

En este capítulo se describen las fichas de los ensayos, tanto su organización, como la obtención de los distintos resultados que en ellas están contenidas. Por último se muestra una tabla con los resultados principales de los distintos ensayos. Las fichas de cada uno de los ensayos se adjuntan en el Anejo A.

V.1 Descripción de las fichas de ensayos

V.1.1 Organización

Cada una de las fichas de los ensayos está compuesta en todos los casos por un total de 7 hojas. Las fichas se numeran de manera correlativa, no guardando relación esta numeración con la numeración empleada para la denominación de las piezas. En la Tabla V.2 de resumen de resultados, se indica el número de ficha de cada ensayo.

En la parte superior derecha del encabezado de las fichas se indica un código que indica el número de la ficha y el número de hoja de la ficha, separados por un punto. Así, en el ejemplo de la Figura V.1, el código 1.5 indicaría que se trata de la hoja nº 5 de la primera de las fichas de ensayos. Debajo de éste código se indica el número de la pieza ensayada y el apoyo de la misma (A1 o A2).

<u>FICHA:</u>	1.5
<u>ENSAYO:</u>	001A1

Figura V.1: Ejemplo de numeración de fichas de ensayos

Cada una de las fichas sintetiza tanto los datos, como los resultados de cada ensayo (gráficas, fotografías...), y está concebida como un todo, partiendo de la premisa de que debe contener toda la información necesaria para que, a partir de las mismas, y sin necesidad de acudir a ningún otro

documento, cualquier investigador pueda realizar una modelización numérica de las piezas ensayadas y comparar sus resultados.

A continuación se indican los distintos apartados en que se han dividido las fichas, así como la información que contienen:

- A. Descripción del ensayo. Contiene los datos básicos del ensayo, como son la codificación de la pieza (descrita en el apartado IV.1), las fechas de hormigonado y ensayo, el tipo de ensayo (simétrico o con apoyo intermedio) y las armaduras que componen los tirantes principales. También se muestran los resultados de los ensayos del hormigón, así como la carga máxima⁵ alcanzada en el ensayo (V última), la carga para la que se obtiene una abertura de fisura de 0,4 mm, así como la codificación del tipo de rotura que se produce⁶.
- B. Esquemas de armado. Se muestran dos esquemas de armado independientes. En el primero se muestra el armado de los tirantes principales de la región D y en el segundo las restantes armaduras, que se mantienen constantes para cada nivel de cuantía de armado.
- C. Instrumentación. Primeramente se muestra el esquema de la ubicación de las galgas extensométricas de acero (véase ejemplo en Figura IV.8) y a continuación un esquema de la pieza con la ubicación de los transductores de desplazamiento. En este último esquema puede apreciarse gráficamente la configuración del ensayo (simétrico o apoyo intermedio). En el caso de ensayos simétricos se resalta el apoyo que se está detallando en la ficha.
- D. Resultados – Gráficas. Un total de 2 hojas componen las gráficas de resultados. Todas las gráficas representan, a excepción de la gráfica carga-tiempo y la gráfica que relaciona la abertura de fisura con las deformaciones de las armaduras, en ordenadas la variable de estudio (deformación, flecha, abertura de fisura...) y en abscisas la que se considera que es la variable independiente de un ensayo, la carga. En las gráficas se indican 5 líneas punteadas (véase Figura V.2), que indican las cargas que definen determinados escalones representativos de los ensayos, como se explicará posteriormente en el apartado V.1.2.1.

D.1) Resultados principales. La primera hoja contiene los resultados más relevantes del ensayo, como son la abertura de fisura y las deformaciones de las armaduras principales; se confecciona una gráfica representando abertura de fisura frente a deformaciones de armaduras principales, indicando en la misma la deformación para la que plastifica cada una de las armaduras (véase ejemplo en Figura V.3), en base a las

⁵ Todos los resultados de carga se refieren a la reacción vertical en el apoyo ensayado (V - cortante en el apoyo), no a la carga que introduce el actuador. Véase Figura IV.1

⁶ La denominación de los distintos tipos de rotura se explica en el apartado V.1.2.7

características obtenidas en los ensayos (véase apartado IV.4.2). En los ensayos de la serie 2 los valores de plastificación difieren muy poco para los distintos diámetros, por lo que los umbrales de plastificación de los distintos tirantes se superponen.

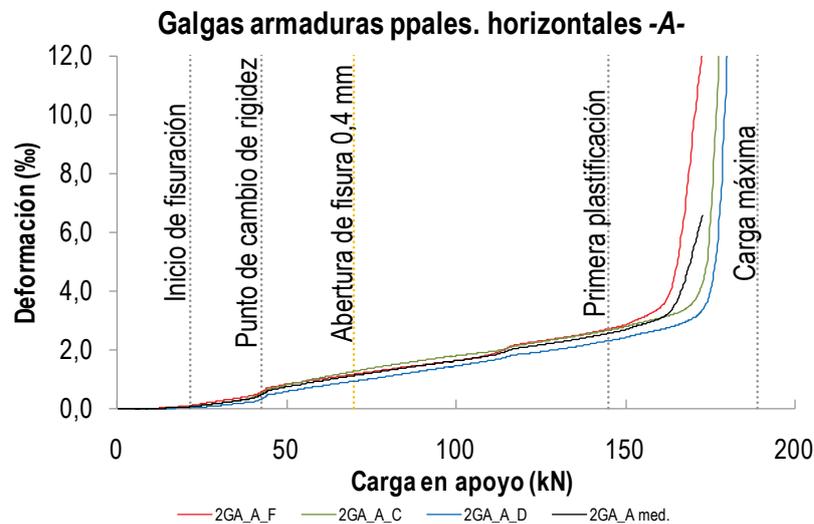


Figura V.2: Ejemplo de gráfica carga-deformación. Ensayo 015A2

En las gráficas de deformaciones se representan las distintas galgas dispuestas (cara frontal, central y dorsal) y en negro su promedio. Para la armadura vertical -B-, en los casos en que hay tres estribos, se representan sólo los promedios de cada estribo.

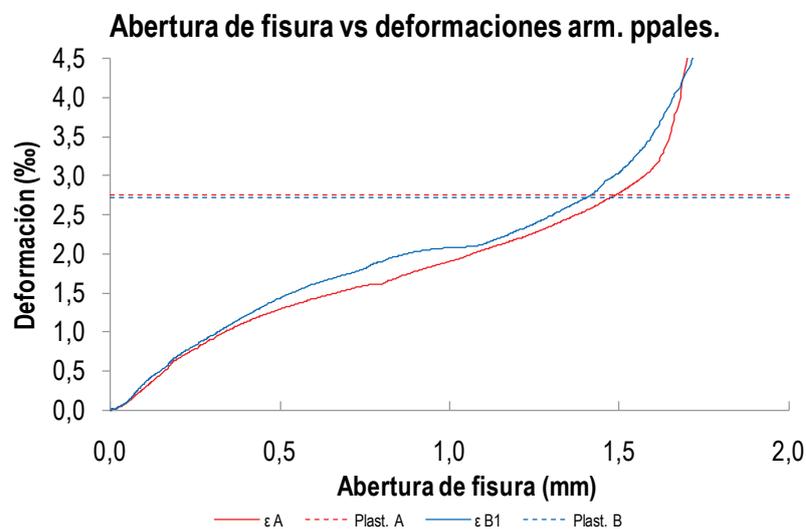


Figura V.3: Ejemplo de gráfica deformación-abertura de fisura. Ensayo 015A2

D.2) *Otros resultados.* La segunda hoja contiene información de deformaciones de otras armaduras instrumentadas. El número de gráficas varía de un ensayo a otro, puesto que la instrumentación dispuesta no es siempre la misma.

En las gráficas deformación-carga se emplea siempre la misma escala vertical, de forma que los resultados sean comparables entre ensayos. Para las gráficas en las que aparezcan las armaduras principales (horizontal -A-, vertical -B- e inclinada -C-) se

tomará una deformación máxima del 10‰, mientras que para el resto de armaduras este límite será del 3‰.

- E. Resultados - Tablas. En la 5ª hoja de las fichas de ensayos se muestran dos tablas, que muestran los resultados considerados principales. La primera tabla muestra los resultados en escalones de carga y la segunda en puntos representativos (una determinada abertura de fisura, el comienzo de la plastificación...)
- F. Esquemas de tensiones y tracciones. Puesto que se dispone de información de deformaciones un número elevado de armaduras y resulta complejo analizarlas todas simultáneamente se confeccionan unos dibujos que faciliten esta tarea (véase Figura V.4). Se muestran las figuras para el 25%, el 50%, el 75% y el 100% de la carga máxima. Se representan las distintas armaduras instrumentadas. Con el grosor se representa la tracción que lleva cada armadura (su obtención se explicará en el apartado V.1.2.6), que además se grafía con texto; con el color se representa el cociente entre la tensión de la armadura y el límite elástico de la misma (la obtención de tensiones se aborda en V.1.2.5). En muchos casos las galgas fallan a elevadas cargas; en esos casos se dibuja la armadura con trazo discontinuo y se pone el texto “Sin datos”; en caso de que falle una galga habiendo plastificado previamente la armadura, se pondrá el texto “Plast.” y se mantendrá el grosor asociado a la máxima tracción medida.

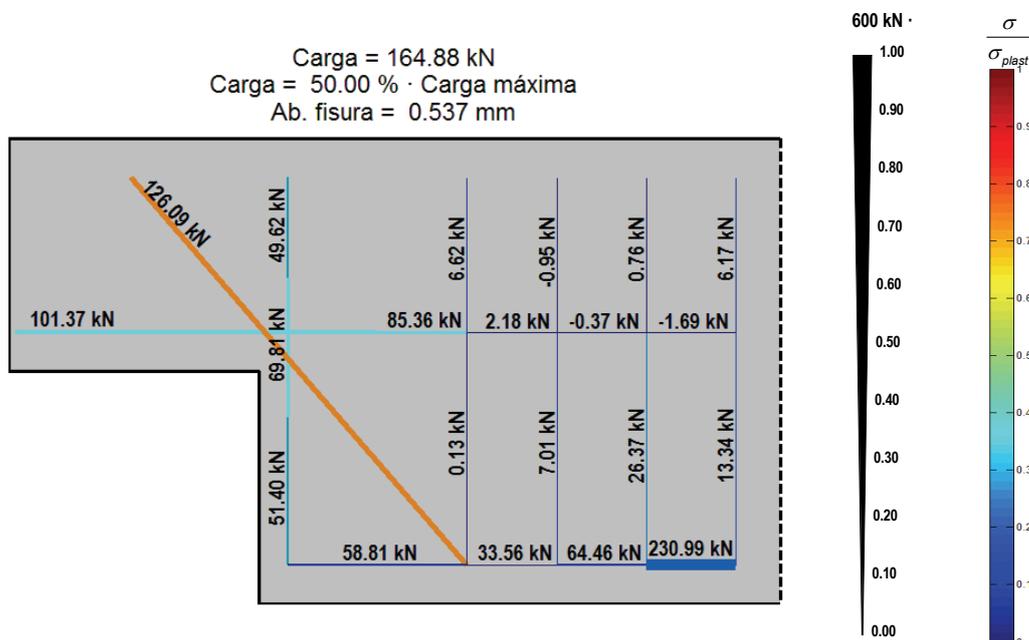


Figura V.4: Ejemplo de esquema de tensiones y tracciones. Ensayo 016A2

- G. Fotos de los ensayos.
- H. Comentarios. Se comentan posibles incidencias del ensayo. Se describe cualitativamente la fisuración, así como el tipo de rotura y el comportamiento post-pico.

V.1.2 Resultados

A continuación se explica la manera de obtenerse los resultados existentes en las fichas de ensayos.

V.1.2.1 Puntos representativos de las gráficas

En todas las gráficas en las que se represente la carga en el apoyo, se grafían cinco líneas discontinuas que marcan lo que se denominan *puntos representativos*. En la Figura V.2 se muestra un ejemplo de esas líneas, así como su denominación. Las dos primeras líneas discontinuas en gris representan el inicio de la fisuración y el denominado punto de cambio de rigidez. A continuación se representa una línea en naranja que representa la carga para la cual se obtiene una abertura de fisura de 0,4 mm. Las dos últimas líneas representan, respectivamente, la carga para la que se produce la primera plastificación de las armaduras principales, y la carga máxima alcanzada en el ensayo. En caso de que no plastificara ninguna armadura antes de la rotura se omitiría la línea correspondiente.

La determinación de los puntos representativos es inmediata a excepción de los dos primeros que pasan a detallarse.

V.1.2.1.a Inicio de fisuración

Hasta que se produce la fisuración, las piezas muestran un comportamiento más o menos lineal, en el que las armaduras prácticamente no trabajan. La determinación de la carga para la que se produce la fisuración se lleva a cabo mediante los resultados de las deformaciones de las galgas de hormigón. Se establece el criterio de que la pieza fisura cuando se supere en un 50% la deformación en tracción máxima del hormigón, determinada según la expresión (V.1).

$$\varepsilon_{fis} = \frac{f_{ct}}{E_{ct}} = \frac{f_{ct}}{21.000 \cdot \sqrt[3]{f_c/10}} \quad (V.1)$$

donde:

ε_{fis}	deformación asociada a la resistencia a tracción del hormigón
f_{ct}	resistencia tracción del hormigón (experimental)
E_{ct}	módulo de elasticidad en tracción del hormigón, tomando del Código Modelo 2010 (borrador) [41]
f_c	resistencia a compresión del hormigón (experimental)

V.1.2.1.b Punto de cambio de rigidez

A partir del punto de fisuración se observa una pérdida progresiva de la rigidez en las gráficas de deformaciones de las armaduras principales. La rigidez se estabiliza a partir de un determinado punto, que se denomina *punto de cambio de rigidez* (véase Figura V.5). La definición de un criterio objetivo que permitiera la detección de este punto no ha sido posible; finalmente se decidió determinar mediante una

inspección visual del tramo inicial de las gráficas de las armaduras principales (horizontal, vertical e inclinada).

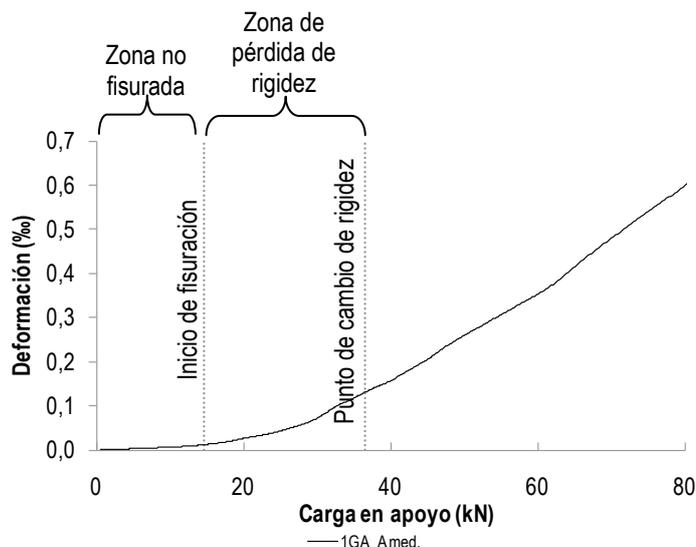


Figura V.5: Determinación de punto de cambio de rigidez. Armadura horizontal. Ensayo 016A1

V.1.2.2 Deformaciones

Las deformaciones son un resultado directo de los ensayos, obtenido a partir de las galgas extensométricas dispuestas. Se expresan como alargamiento unitario en tanto por mil, considerando positivas las tracciones.

V.1.2.3 Flecha

La flecha se da en todos los ensayos bajo el punto de aplicación de la carga. Los resultados de flechas no son comparables entre los ensayos simétricos y los ensayos con apoyo intermedio.

Los apoyos tienen cierta deformabilidad vertical, inducida principalmente por los neoprenos. Debido al descenso producido en los apoyos la viga experimentará un movimiento de sólido rígido que habrá que descontar a las medidas de los transductores de desplazamiento, para poder obtener la flecha.

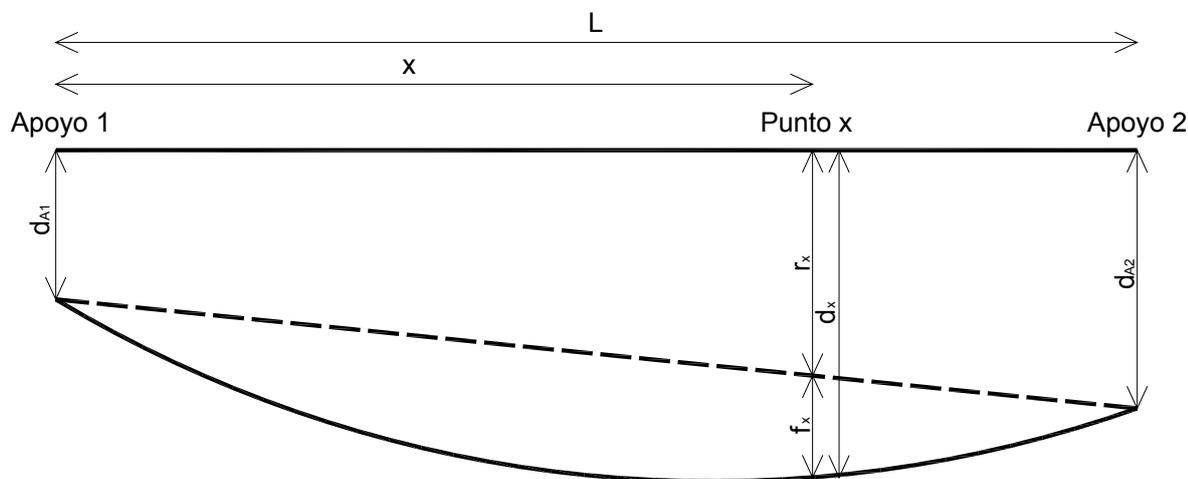


Figura V.6: Esquema del movimiento de sólido rígido de la viga por descenso de los apoyos

La obtención de la flecha, en un punto cualquiera x de la viga, se realiza según lo indicado en las siguientes expresiones:

$$f_x = d_x - r_x \quad (V.2)$$

$$r_x = d_{A1} - (d_{A2} - d_{A1}) \cdot \frac{x}{L} \quad (V.3)$$

donde:

- f_x flecha en el punto a calcular (x)
- d_x medida del transductor en el punto x
- r_x movimiento de sólido rígido en el punto x
- d_{A1} descenso del apoyo 1
- d_{A2} descenso del apoyo 2
- x distancia del apoyo 1 al punto x
- L distancia entre apoyos

En la Figura V.7 se muestra un ejemplo con las mediciones de los transductores⁷ (en rojo el situado bajo la aplicación de la carga) y la flecha obtenida al descontar el movimiento de sólido rígido; es destacable la diferencia entre la medida del transductor bajo la carga y la flecha en ese punto. Se observa un comportamiento de rigidización por deformación en las medidas de los apoyos (1CD_S1 y 2CD_S1), típico de los neoprenos.

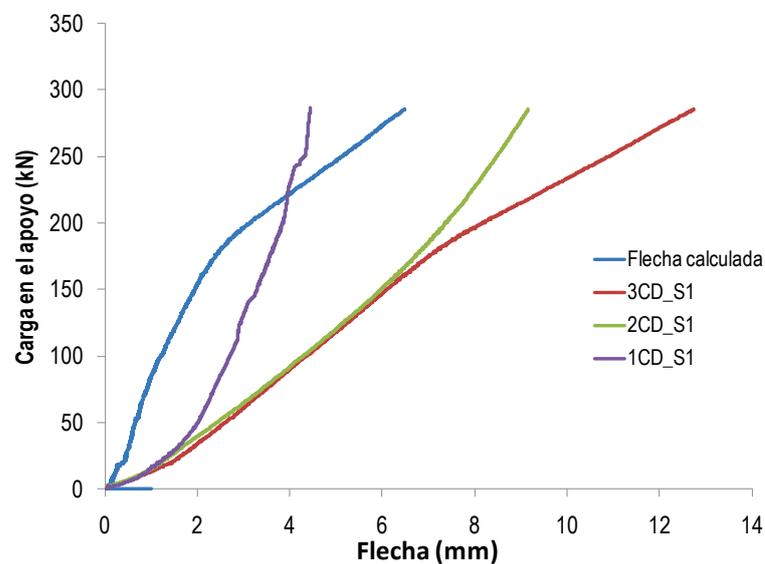


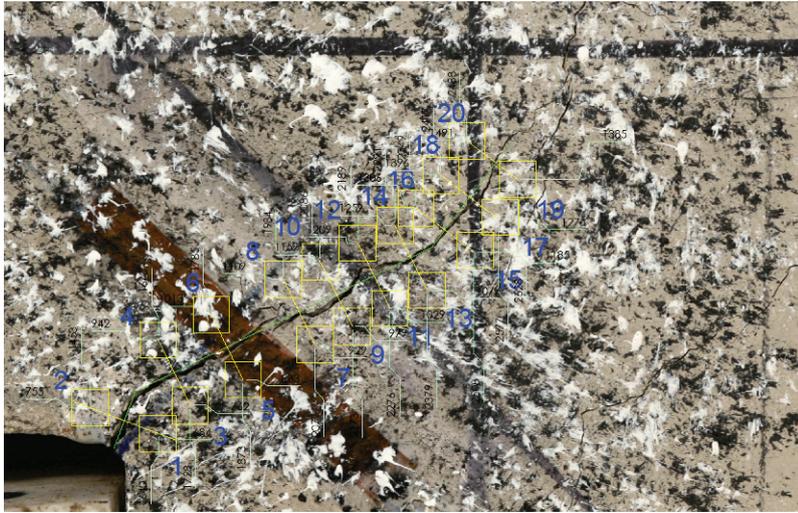
Figura V.7: Flecha y datos de captadores

⁷ La medida de los dos transductores que miden el descenso de los apoyos difiere puesto que el ensayo representado dispone de un apoyo intermedio y por tanto no es simétrico.

V.1.2.4 Abertura de fisura

Mediante la técnica fotogramétrica explicada en el apartado IV.3.5.1, se obtienen los desplazamientos de los puntos marcados para definir la fisura. Estos puntos se definen de forma que sean perfectamente ortogonales a la dirección de la fisura. Los puntos se pueden introducir muy cerca del borde de la pieza (a menos de 1 cm), donde la abertura de fisura es máxima.

Para analizar qué influencia tiene la distancia al borde de la pieza en la abertura de fisura, se realiza una medición de la misma con 10 pares de puntos situados entre la esquina de la pieza y el cruce de las armaduras ortogonales, tal y como se muestra en la Fotografía V.1.



Fotografía V.1: Selección de puntos de medición a lo largo de la fisura. E016A2

En la Figura V.8 se representa, para cuatro niveles de carga distintos, la abertura de fisura en función de la distancia a la esquina de la pieza. Puede observarse que existen unas diferencias muy relevantes en función de la distancia a la esquina de la pieza, siendo la abertura de fisura máxima donde se realizan las mediciones fotogramétricas, a unos 5 mm de la esquina.

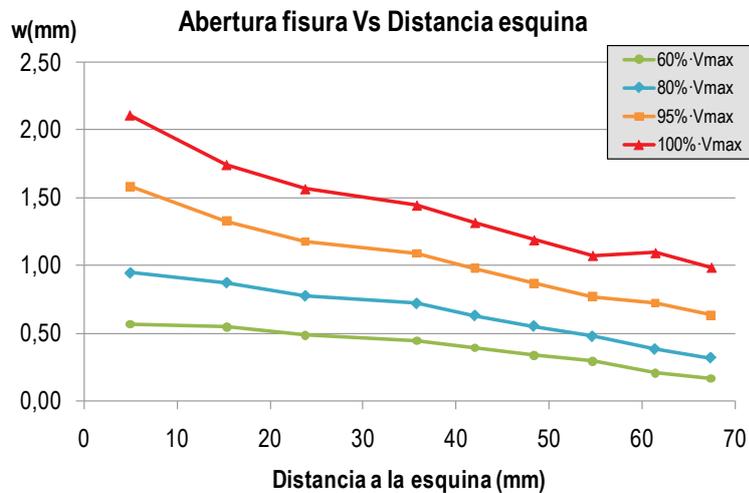


Figura V.8: Influencia de la distancia al borde de la pieza en la abertura de fisura en ensayo E016A2

Las aberturas relativas respecto a la abertura más cercana al borde (abertura máxima) son bastante constantes para los distintos escalones de carga. En la Tabla V.1 se obtienen los promedios de dichas aberturas de fisuras relativas para distintas cargas.

Tabla V.1: Abertura relativa de fisura en función de la distancia al borde de la pieza

Distancia a esquina (mm)	5,0	15,3	23,8	35,8	42,0	48,4	54,7	61,4	67,4
w/w_{max}	100%	96%	87%	74%	64%	56%	49%	42%	34%

Para comparar los valores de aberturas de abertura de fisura con otros estudios será necesario tener muy presente dónde se realiza en dichos estudios la medición de la misma. A modo de ejemplo, en el estudio de Zhu et al. [33] se realiza la medición de la abertura de fisura mediante transductores de desplazamiento situados a una distancia de la esquina de al menos 50 mm (véase Fotografía II.2).

Aparte de las consideraciones sobre la ubicación de los dos puntos de medición que definen la fisura, cabe destacar que el incremento de longitud entre ellos (ΔL), se descompone en su componente ortogonal a la dirección de la fisura, que sería la abertura de fisura (w), y en su componente en dirección de la misma, que marcaría el deslizamiento de fisura (δ).

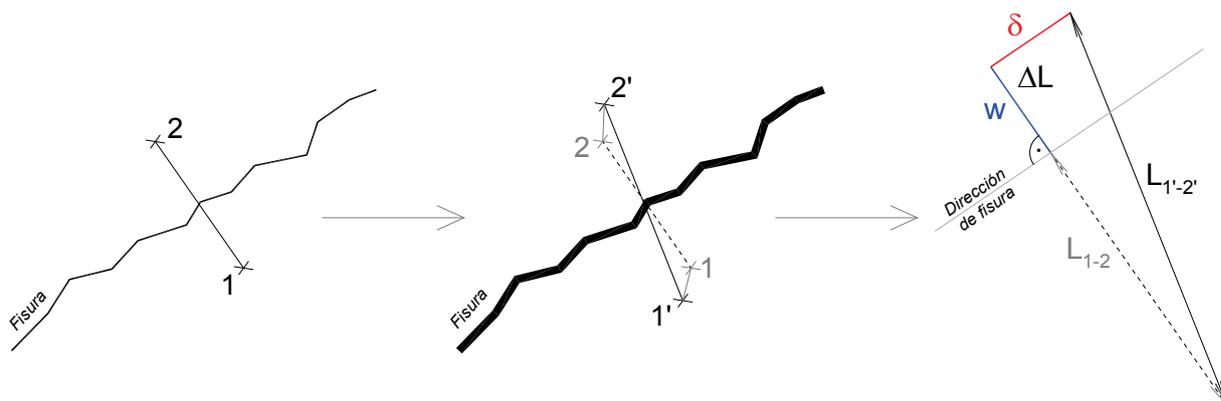


Figura V.9: Obtención de abertura y deslizamiento de fisura

V.1.2.5 Tensiones

Las tensiones en las armaduras se obtienen a partir de las deformaciones medias en las mismas y suponiendo⁸ un diagrama bilineal del acero con rama de endurecimiento, como el indicado en la Figura V.10. A partir de los resultados del límite elástico y la tensión máxima obtenidas en los ensayos, y suponiendo una pendiente del tramo elástico de 200.000 MPa y una deformación máxima⁹ de la armadura del 20‰, quedan definidos los demás parámetros que definen el diagrama, según las siguientes expresiones:

⁸ El equipo de ensayo empleado para hacer los ensayos del acero da una elevada deformabilidad del acero en su rama elástica, debido a deslizamientos producidos en el sistema de agarre de las barras. Por este motivo resulta más exacto suponer un diagrama simplificado a partir de los datos de límite elástico y carga máxima obtenidos en los ensayos.

⁹ La deformación máxima del acero puede ser bastante superior, pero se toma este valor por ser ligeramente superior a la deformación máxima que son capaces de medir las galgas extensométricas (16‰).

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_S} \quad (V.4)$$

$$E_P = \frac{f_{\max} - f_y}{\varepsilon_{\max} - \varepsilon_y} \quad (V.5)$$

donde:

- ε_y deformación de plastificación de la armadura
- ε_{\max} deformación máxima de la armadura (se toma 20‰)
- f_y límite elástico del acero
- f_{\max} tensión máxima del acero
- E_S mód. elasticidad del acero en rama elástica (se toman 200.000 MPa)
- E_P mód. elasticidad del acero en rama de endurecimiento

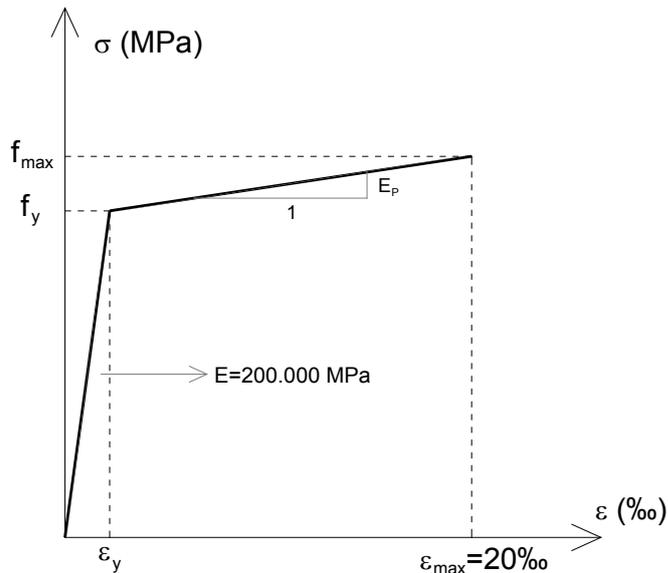


Figura V.10: Diagrama bilineal del acero

Puesto que se tienen unas características mecánicas de las armaduras para cada diámetro, también se tendrán distintos diagramas bilineales para los distintos diámetros. En los tirantes compuestos por barras de varios diámetros se hace un promedio de las características mecánicas, ponderado en función de las áreas de armado de cada uno de los diámetros.

V.1.2.6 Tracciones

Las tracciones en las barras o los tirantes se obtienen a partir de las tensiones, sin más que multiplicar la tensión, calculada según lo indicado en V.1.2.5, por el área de la armadura.

V.1.2.7 Tipo de rotura

Con carácter general se distinguirán las roturas en función de qué material agota su capacidad y lleva al colapso de la pieza:

- Rotura previa plastificación del acero (rotura por acero)
- Rotura sin plastificación del acero (rotura por hormigón)

Cabe destacar que en todos los ensayos realizados la rotura se produce previa plastificación de alguna de las armaduras principales (rotura por el acero).

En los casos en que la rotura se produce por el acero, se indicarán también las armaduras principales que han plastificado durante el ensayo y el orden de plastificación. Esto se realizará poniendo las letras representativas de los tirantes principales (A=horizontal; B=vertical, seguida en su caso de un número si hay varios planos; C=inclinada) ordenadas según la secuencia de plastificación.

V.2 Síntesis de resultados

En la Tabla V.2 se muestran los resultados que se consideran más representativos de los ensayos. Cabe destacar que en los ensayos realizados con una configuración simétrica se representan dos filas para cada ensayo, una por cada uno de los apoyos, ya que se exponen resultados en servicio que son distintos para cada apoyo. Tal como se indicó en el apartado IV.2, de los ensayos de recarga sólo tiene interés la carga máxima alcanzada.

Codificación ensayo	Pieza	Ensayo	Apoyo	Ficha n°	f _c (MPa)	f _{ct} (MPa)	V _u (kN)	Tipo de rotura	Incidencias	Inicio de fisuración		Pto. cambio de rigidez		Abertura de fisura 0,4 mm					Primera plastificación de armaduras							
										V (kN)	V / V _u (%)	V (kN)	V / V _u (%)	V / V _u (%)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)	V / V _u (%)	w (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
ρ3/HA30_A1_B1.1_C0_S1	001	E001	1	1	41,1	3,15	193,56	Acero / A-B		11,88	6%	35,00	18%	35%	1,06	0,84	-	-	-	76%	1,65	2,93	2,79	-	-	-
ρ3/HA30_A1_B1.1_C0_S1	001	E001	2	2				Acero / B-A		12,46	6%	36,00	19%	36%	1,19	1,28	-	-	-	63%	1,11	2,29	2,95	-	-	-
ρ3/HA30_A3_B1.1_C0_S1	003	E003	1	3	39,3	2,56	132,71	Acero / A-B		19,65	15%	48,00	36%	50%	1,78	1,27	-	-	-	73%	0,82	2,84	2,36	-	-	-
ρ3/HA30_A3_B1.1_C0_S1	003	E003	2	4				Acero / A-B		17,38	13%	38,50	29%	40%	1,43	1,11	-	-	-	72%	0,99	2,84	2,49	-	-	-
ρ3/HA30_A3_B1.1_C0_S1	003	E003r	1	-				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ρ3/HA30_A1_B4_C0_S1	006	E006	1	5	39,9	2,98	121,11	Acero / B-A		13,73	11%	47,50	39%	49%	1,25	1,55	-	-	-	64%	0,70	1,98	3,10	-	-	-
ρ3/HA30_A1_B4_C0_S1	006	E006	2	6				Acero / B		16,39	14%	35,50	29%	51%	1,10	1,21	-	-	-	67%	0,83	1,65	3,10	-	-	-
ρ3/HA30_A1_B4_C0_S1	006	E006r	2	-				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ρ3/HA30_A1_B1.2_C0_S3	010	E010	1	7	40,4	3,19	170,43	Acero / B2-B1-B3-A		15,39	9%	39,50	23%	46%	1,81	1,47	1,77	1,19	-	65%	0,62	2,27	2,51	3,10	2,98	-
ρ3/HA30_A1_B1.2_C0_S3	010	E010	2	8				Acero / B1-A-B2-B3		16,39	10%	48,50	28%	37%	1,57	1,48	1,21	0,26	-	58%	1,00	2,81	3,10	2,62	1,18	-
ρ3/HA30_A1_B1.2_C0_S3	010	E010r	1	-				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ρ3/HA30_A3_B1.2_C0_S3	011	E011	1	9	40,8	3,05	125,30	Acero / A-B2-B1		13,86	11%	40,00	32%	39%	1,93	1,80	1,59	0,45	-	56%	0,68	2,83	2,66	3,01	0,80	-
ρ3/HA30_A3_B1.2_C0_S3	011	E011	2	10				Acero / A-B1-B2		20,41	16%	35,50	28%	42%	1,67	1,11	0,68	0,32	-	65%	0,86	2,80	2,36	1,56	0,70	-
ρ3/HA30_A3_B3_C3_S1	013	E013A1	1	11	40,2	3,05	194,87	Acero / C-B-A		21,44	11%	38,50	20%	45%	0,80	0,74	-	-	2,46	47%	0,48	0,90	0,85	-	-	2,82
ρ3/HA30_A3_B3_C3_S1	013	E013A2	2	12				Acero / C-B-A		199,58	8%	38,50	19%	36%	0,60	0,67	-	-	1,78	52%	0,80	1,01	1,31	-	-	2,84
ρ1/HA30_A1_B1_C0_S3	014	E014A1	1	13	31,1	3,19	308,63	Acero / B1-A-B2-B3		18,15	6%	29,70	10%	35%	1,17	1,55	0,95	0,58	-	63%	0,81	2,39	2,72	1,83	1,43	-
ρ1/HA30_A1_B1_C0_S3	014	E014A2	2	14				Acero / B1-A-B2		250,90	7%	46,00	18%	32%	0,75	1,21	0,71	0,54	-	65%	1,04	1,93	2,73	1,71	1,33	-
ρ1/HA30_A3_B1_C0_S3	015	E015A1	1	15	30,0	2,84	194,39	Acero / B1-A		27,10	14%	37,50	19%	42%	1,19	1,71	0,43	0,14	-	61%	0,71	1,80	2,73	0,80	0,95	-
ρ1/HA30_A3_B1_C0_S3	015	E015A2	2	16				Acero / B1-A		188,80	8%	45,50	24%	37%	1,12	1,20	0,46	0,39	-	77%	1,40	2,56	2,72	1,33	1,09	-
ρ1/HA30_A3_B3_C3_S1	016	E016A1	1	17	33,3	2,98	321,82	Acero / C-B-A		14,70	5%	36,50	11%	39%	1,08	1,07	-	-	1,57	65%	0,67	1,64	1,80	-	-	2,73
ρ1/HA30_A3_B3_C3_S1	016	E016A2	2	18				Acero / C-B-A		329,76	6%	32,00	10%	42%	0,99	0,92	-	-	1,78	63%	0,67	1,42	1,40	-	-	2,73
ρ2/HA30_A1_B1_C0_S3	017	E017A1	1	19	32,2	2,77	195,25	Acero / B1-A-B2-B3		13,60	7%	37,20	19%	38%	1,24	1,65	1,14	0,35	-	65%	0,79	2,71	2,76	2,10	1,17	-
ρ2/HA30_A1_B1_C0_S3	017	E017A2	2	20				Acero / A-B1-B2-B3		199,06	8%	48,50	24%	40%	1,66	1,51	1,71	0,84	-	47%	0,54	2,69	1,81	1,96	1,07	-
ρ2/HA30_A3_B1_C0_S3	018	E018A1	1	21	31,9	3,19	141,75	Acero / B1-A-B2		19,25	14%	31,00	22%	48%	1,34	1,37	1,21	0,20	-	78%	0,96	2,25	2,71	2,10	0,73	-
ρ2/HA30_A3_B1_C0_S3	018	E018A2	2	22				Acero / B1-A-B2		145,48	11%	36,50	25%	46%	1,39	1,41	1,01	0,30	-	78%	1,06	2,55	2,73	2,37	1,29	-
ρ2/HA30_A3_B3_C3_S1	019	E019A1	1	23	33,3	2,98	240,49	Acero / C-A-B		19,24	8%	43,50	18%	45%	1,25	1,14	-	-	1,72	65%	0,65	2,14	1,80	-	-	2,88
ρ2/HA30_A3_B3_C3_S1	019	E019A2	2	24				Acero / C-A	(1)	159,91	8%	34,50	18%	44%	1,05	0,81	-	-	1,55	72%	0,84	1,76	1,54	-	-	2,74

(1) La menor carga que alcanza este apoyo respecto al contrario parece ser debida a que en el ensayo previo del apoyo contrario se daña la zona del apoyo intermedio

Capítulo VI

Discusión de resultados

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos. Primeramente se analiza el comportamiento en servicio de los AMM, para pasar a discutir su comportamiento en rotura; en ambos casos se verá cómo influyen las variables estudiadas. También se analizarán otros fenómenos como son la evolución de los mecanismos resistentes en función de la carga, el anclaje de la armadura principal horizontal o la distribución de deformaciones a lo largo de la armadura principal vertical.

VI.1 Comportamiento en servicio

VI.1.1 Determinación de la carga de servicio

Para analizar la fisuración en servicio de los AMM, es necesario primeramente establecer de manera simplificada qué porcentaje de la carga de rotura observada en los ensayos experimentales puede considerarse como el nivel de servicio para el cual serían de aplicación las limitaciones de abertura de fisura establecidas para la verificación del Estado Límite de Servicio (ELS) de fisuración.

Por una parte, se determina la relación (S_1) entre la combinación de acciones exigida para Estado Límite Último y la combinación de acciones cuasipermanente que rige en el cálculo de la fisuración. Para ello se tomarán los coeficientes de seguridad especificados en la EHE-08 [2] y se supondrá la existencia de una carga permanente y una única carga variable (con coeficiente de simultaneidad 0,6), ambas con el mismo valor característico.

$$S_1 = \frac{G_k + \psi_2 \cdot Q_k}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k} = \frac{1 + \psi_2}{\gamma_G + \gamma_Q} = \frac{1 + 0,6 \cdot 1}{1,35 \cdot 1 + 1,50 \cdot 1} = 56\% \quad (\text{VI.1})$$

donde:

- γ_G coeficiente de mayoración de acción permanente
- γ_Q coeficiente de mayoración de acción variable

G_k	valor característico de las acciones permanentes
Q_k	valor característico de las acciones variables
ψ_2	coeficiente de simultaneidad (cuasipermanente)

Además de la relación anterior, que marca la relación entre el umbral de rotura y el umbral de servicio para proyecto, se considera la diferencia entre la carga última que se obtendría en el proyecto de los AMM y la carga última que se obtendría mediante el ensayo de las piezas (coeficiente S_2). Esta diferencia, suponiendo que el cálculo que se realiza en proyecto se ajusta bien a los resultados experimentales, sería debida a las diferencias entre el límite elástico real de las barras (550 MPa, valor medio de los valores experimentales mostrados en IV.4.2), y el límite usual establecido para el diseño de los tirantes en regiones D, de 400 MPa.

$$S_2 = \frac{f_{yd}}{f_y} = \frac{400}{550} = 73\% \quad (VI.2)$$

El coeficiente que marca el nivel de servicio respecto a la carga máxima experimental (S), se obtendrá mediante el producto de las dos expresiones anteriores:

$$S = S_1 \cdot S_2 = 56\% \cdot 73\% \approx 41\% \quad (VI.3)$$

En algunos estudios (Zhu et al. [33]), se define el umbral de servicio como el 60% de la carga de plastificación de las armaduras. Puesto que la carga de plastificación de los ensayos realizados va entre el 47% y el 78% de la carga última (véanse resultados en la Tabla V.2), la aplicación de este criterio deriva en un umbral de la carga de servicio de entre el 28% y el 47% de la carga última dependiendo del ensayo. Estos límites son consistentes con lo establecido en la ecuación (VI.3).

VI.1.2 Análisis de la influencia de las variables estudiadas en la abertura de fisura

VI.1.2.1 Influencia del nivel de cuantía de armado

Como se indicó en el apartado IV.1 se analizan 3 niveles de cuantía de armado distintos. Pasa a estudiarse su influencia en la abertura de fisura. Hay 3 esquemas de armados distintos en los que se analizan las distintas cuantías (armado ortogonal equilibrado, armado ortogonal disminuyendo la armadura horizontal y armado ortogonal e inclinado equilibrados). Para independizar la influencia que puedan tener los esquemas de armado, se compararán los ensayos con el mismo tipo de armado.

Así en la Figura VI.1 se muestra la influencia del nivel de cuantía de armado para el esquema de armado ortogonal equilibrado. Al representar la gráfica respecto a la carga total del apoyo¹⁰ (Figura VI.1.a), se comprueba que hay diferencias significativas en las aberturas de fisura; como es lógico cuanto mayor es la cuantía de armadura, menor es la abertura de fisura para una misma carga. Al considerar la carga relativa a la carga máxima de cada ensayo (Figura VI.1.b), no se aprecian

¹⁰ En las gráficas comparativas en que se representa la abertura de fisura frente a carga total del apoyo, se incorpora una línea punteada vertical para cada una de las series, que representa la carga máxima alcanzada por cada ensayo.

diferencias significativas de la abertura de fisura en función del nivel de cuantía de armado para un mismo nivel de carga dentro de las cargas de servicio. Cerca de la rotura hay ciertos ensayos en los que la abertura es bastante superior a la del resto. Puede observarse también que, para el 40% de la carga última, la abertura de fisura se encuentra entre 0,3 y 0,5 mm, por encima de los límites establecidos para la mayoría de las clases de exposición, según la EHE-08 [2].

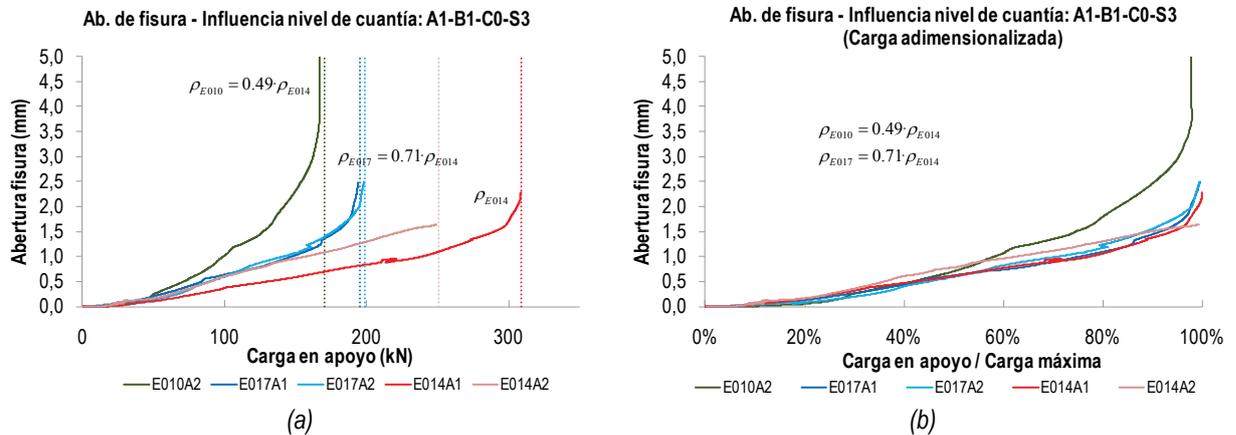


Figura VI.1: Influencia de la cuantía global de armado. Esquema de armado ortogonal equilibrado - (a) Carga total - (b) Carga adimensionalizada

El análisis para la configuración de armado ortogonal con armadura horizontal reducida se muestra en la Figura VI.2. Las conclusiones indicadas para el esquema de armado ortogonal son también válidas para este caso.

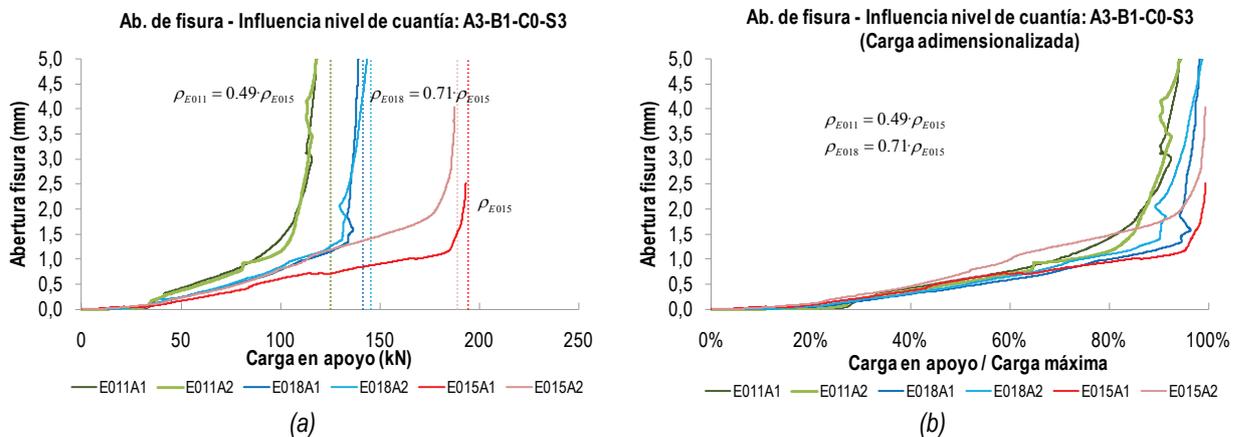


Figura VI.2: Influencia de la cuantía global de armado. Esquema de armado ortogonal con armadura horizontal reducida - (a) Carga total - (b) Carga adimensionalizada

No hay tampoco diferencias respecto al análisis anterior en el caso de los esquemas de armado con armadura ortogonal e inclinada, que se muestran en la Figura VI.3. Cabe destacar que en la Figura VI.3.a el comportamiento anómalo del ensayo E019A2, que con una cuantía intermedia tiene un comportamiento más parecido a las piezas con una cuantía baja (E013) es debido a una incidencia en el ensayo según se indica en la Tabla V.2.

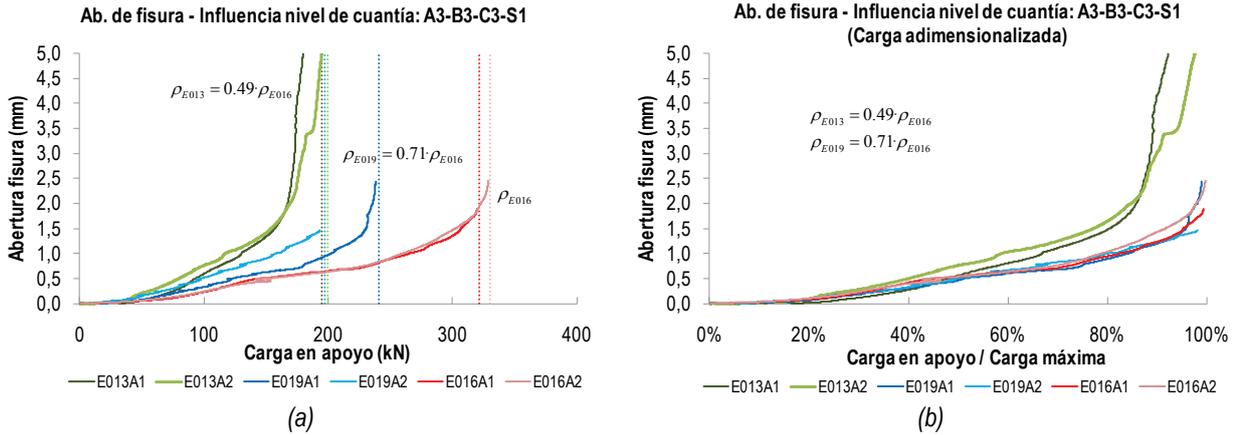


Figura VI.3: Influencia de la cuantía global de armado. Esquema de armado ortogonal e inclinado equilibrados - (a) Carga total - (b) Carga adimensionalizada

Cerca de la carga máxima se observa cierta tendencia para todos los esquemas de armado, según la cual las aberturas de fisura son superiores en las piezas con un menor nivel de cuantía de armado.

Como síntesis, en todos los esquemas de armado analizados, para un mismo nivel de carga (en porcentaje sobre la carga última) dentro del rango de servicio no se aprecian diferencias significativas de la abertura de fisura en función del nivel de cuantía de armado.

VI.1.2.2 Influencia de la configuración de armado

De manera análoga a como se realizó en el apartado anterior, se analiza ahora la influencia que puedan tener las distintas configuraciones de armado en la abertura de fisura, analizándose de manera independiente para cada uno de los niveles de cuantía de armado.

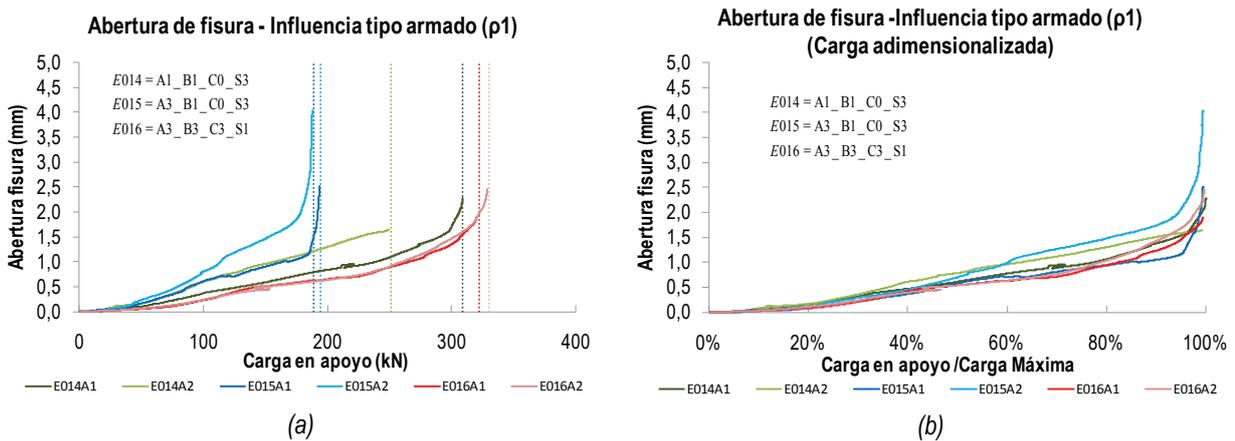


Figura VI.4: Influencia de la configuración de armado. Nivel alto de cuantía de armado - (a) Carga total - (b) Carga adimensionalizada

Para el nivel alto de cuantía de armado (véase Figura VI.4), se observa que el esquema de armado con la armadura horizontal reducida respecto al diseño equilibrado (E015) tiene, para una misma carga, una mayor abertura de fisura que los otros esquemas. Las piezas con armadura inclinada (E016), tienen en general una menor abertura de fisura para la misma carga que las piezas con el esquema de armado ortogonal equilibrado. Tal y como sucedía con el nivel de cuantía de armado, al representar la

abertura de fisura respecto al porcentaje de carga las diferencias comentadas desaparecen (véase Figura VI.4.b), concluyéndose que los distintos esquemas de armados analizados tienen, en el rango de servicio, aberturas de fisura similares para el mismo nivel de carga.

Las conclusiones anteriores son también válidas en las piezas con niveles de bajos y medios de cuantías de armado (véase Figura VI.5).

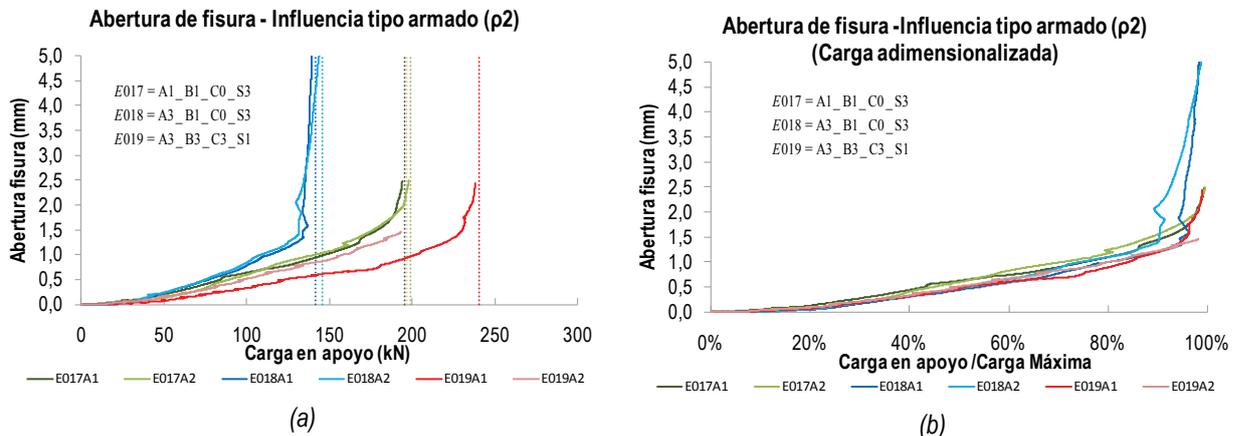


Figura VI.5: Influencia de la configuración de armado. Nivel medio de cuantía de armado - (a) Carga total - (b) Carga adimensionalizada

En todos estos casos puede observarse que, para el 40% de la carga última, la apertura de fisura se encuentra entre 0,3 y 0,5 mm, tal y como ya se indicaba en el apartado VI.1.2.1.

VI.1.2.3 Influencia del recubrimiento mecánico del tirante vertical

Por lo que respecta al recubrimiento mecánico del tirante vertical, las conclusiones son similares a las que se han obtenido para los dos parámetros anteriores. Para el esquema de armado ortogonal equilibrado, al observarse la apertura de fisura frente a la carga total se aprecia que, para cargas superiores a 100 kN, la apertura de fisura es superior en la pieza E010 (doble de recubrimiento mecánico) que en la pieza E001 (véase Figura VI.6.a). No hay diferencias significativas si se analiza la apertura de fisura a un mismo nivel de carga respecto a la carga última (véase Figura VI.6.b).

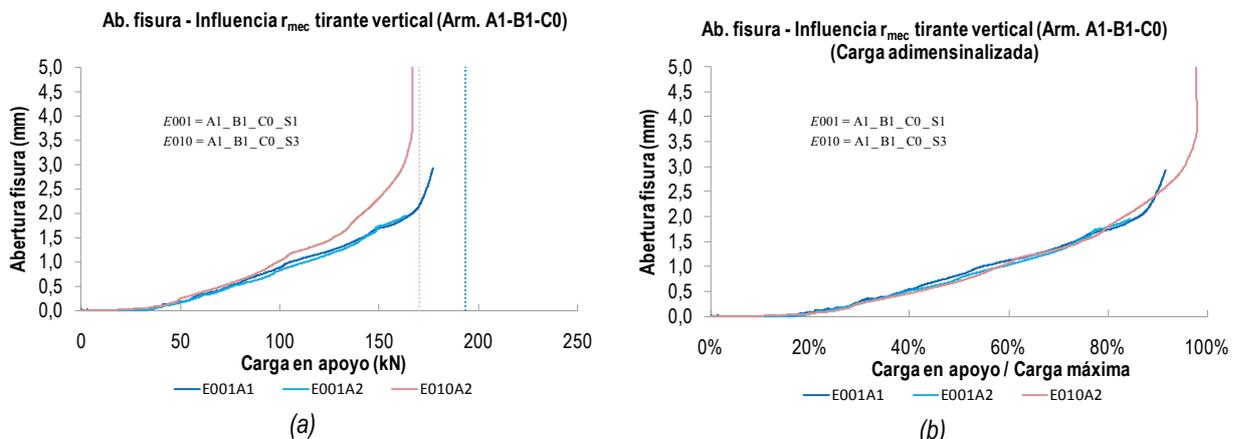


Figura VI.6: Influencia del recubrimiento mecánico del tirante vertical. Esquema de armado ortogonal equilibrado y nivel de cuantía bajo - (a) Carga total - (b) Carga adimensionalizada

Para el caso del armado ortogonal con armadura horizontal reducida, no se aprecian diferencias debidas al recubrimiento mecánico del tirante vertical ni para una determinada carga, ni para un determinado nivel de carga respecto a la carga máxima (véase Figura VI.7).

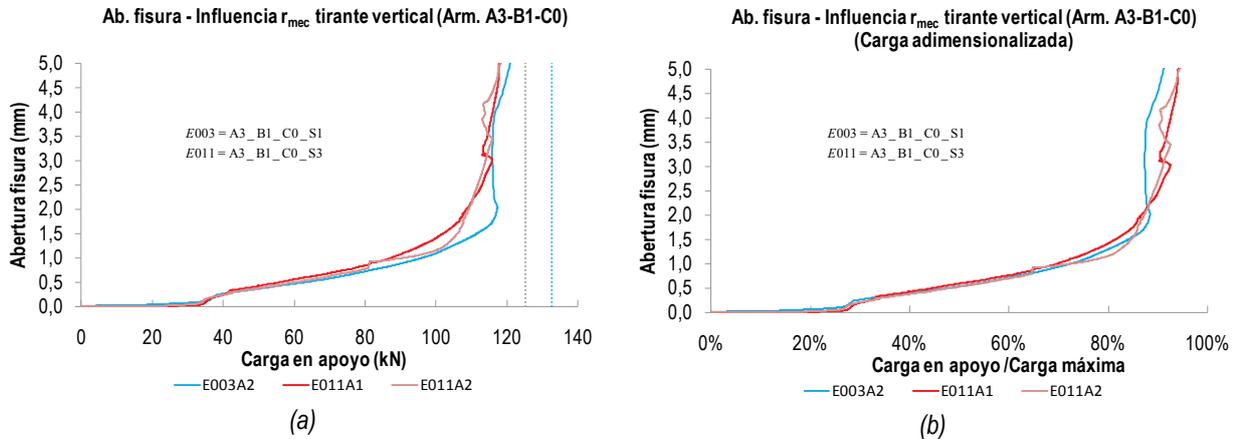


Figura VI.7: Influencia del recubrimiento mecánico del tirante vertical. Esquema de armado ortogonal con armadura horizontal reducida y nivel bajo de cuantía - (a) Carga total - (b) Carga adimensionalizada

Las tres variables analizadas, tal y como se indica en el apartado VI.2.1, influyen en la carga última de las piezas, pero no modifican de manera significativa la fisuración para un mismo nivel de carga. En todos los casos la abertura de fisura se encuentra entre 0,3 y 0,5 mm, para el nivel de servicio, definido en el apartado VI.1.1 como el 40% de la carga última. Estas aberturas de fisura se encuentran por encima de los límites establecidos para la mayoría de las clases de exposición establecidos en las normativas de diseño. Por tanto, para cumplir los límites de fisuración habituales, será necesario sobredimensionar el armado respecto al dimensionamiento estricto por ELU, o lo que es lo mismo, el armado de los AMM viene condicionado por su diseño en servicio y no por su diseño en rotura.

VI.2 Comportamiento en rotura

Tal y como se indica en la Tabla V.2 todas las roturas se producen previa plastificación de alguna de las armaduras. En la mayoría de las piezas, salvo que haya una elevada descompensación de los tirantes respecto al armado equilibrado, plastifican todas las armaduras principales del AMM antes de alcanzarse la carga máxima en el ensayo.



Fotografía VI.1: Rotura de pieza. E014A1 (a) Instante previo a rotura - (b) Instante posterior a rotura

Pese a que se haya designado la rotura como “rotura por acero”, lo que realmente sucede es que al plastificar las armaduras se produce una progresiva redistribución de tensiones gracias a la ductilidad del acero, que lleva al agotamiento del hormigón. El proceso de fallo del hormigón puede ser más o menos brusco, tal y como se verá en el apartado VI.2.2, pero en todos los casos se manifiesta con un salto del recubrimiento de hormigón que queda por encima de la armadura superior de la viga. En la Fotografía VI.1 puede observarse este desprendimiento del recubrimiento¹¹.

VI.2.1 Análisis de la influencia de las variables estudiadas en la carga última

VI.2.1.1 Influencia del nivel de cuantía de armado

Tal y como se indicaba en el apartado VI.1.2.1 para el comportamiento en servicio, hay 3 esquemas de armados distintos para los que se plantean los distintos niveles de cuantías: armado ortogonal equilibrado (A1_B1_C0_S3), armado ortogonal disminuyendo la armadura horizontal (A3_B1_C0_S3) y armado ortogonal e inclinado equilibrados (A3_B3_C3_S1). En la Tabla VI.1 se muestran las cargas de rotura relativas de los distintos niveles de cuantías, para cada uno de los tipos de armado analizados. Para confeccionar dicha tabla se emplea para cada pieza el promedio de las cargas de rotura de los dos apoyos ensayados.

Tabla VI.1: Cargas de rotura relativas. Influencia de la cuantía global de armado

Nivel de cuantía	Tipo armado			Promedio
	A1_B1_C0_S3	A3_B1_C0_S3	A3_B3_C3_S1	
ρ_1	100%	100%	100%	100%
ρ_2 (71% · ρ_1)	70%	75%	74%	73%
ρ_3 (49% · ρ_1)	61%	65%	61%	62%

A tenor de los resultados, parece que hay cierta no linealidad en el proceso, y el incremento de la cuantía de armado en un determinado grado, para un mismo esquema de armado, conduce a un aumento de la resistencia algo inferior a dicho incremento del armado.

VI.2.1.2 Influencia de la configuración de armado

Puesto que el esquema de armado ortogonal equilibrado (A1_B1_C0) es el que se toma de base para el diseño de los demás, en la Tabla VI.2 en que se sintetiza la influencia de las distintas configuraciones de armado, se referencian las cargas últimas a la de este esquema, para cada una de las cuantías ensayadas.

Por lo que respecta al tipo de armado A3_B1_C0, en el que se detrae el 40% de la armadura horizontal respecto al diseño base, se obtienen cargas de rotura sobre un 30% inferiores respecto a éste, de manera bastante equilibrada en todos los niveles de cuantías.

¹¹ Cabe destacar que en el caso mostrado en la Fotografía VI.1 la rotura se produce de manera muy brusca. Las fotografías mostradas difieren sólo un intervalo de tiempo de un segundo.

Tabla VI.2: Cargas de rotura relativas. Influencia de la configuración de armado

Tipo armado	Nivel de cuantía de armado			Promedio
	ρ_1	ρ_2	ρ_3	
A1_B1_C0	100%	100%	100%	100%
A3_B1_C0	68%	73%	69%	70%
A1_B4_C0	-	-	63%	63%
A3_B3_C3	116%	122%	102%	113%

Resulta bastante destacable el comportamiento de la pieza con un tipo de armado en que se disminuye la armadura del tirante vertical en un 60% (sólo analizada para la cuantía de armado más baja – pieza 006 – A1_B4_C0), ya que la pérdida de resistencia no llega a un 40%. Esto se explica por la contribución de los estribos de la viga, ya que al encontrarse la armadura horizontal muy sobredimensionada respecto a la vertical, es capaz de inclinar la biela lo suficiente como para que parte de la carga vertical sea transferida a dichos estribos; cabe destacar que el ángulo que debe formar la biela con la horizontal para transmitir carga al primer estribo de la viga es muy bajo, inferior a 25°. A continuación se indica una explicación que corrobora experimentalmente este aspecto.

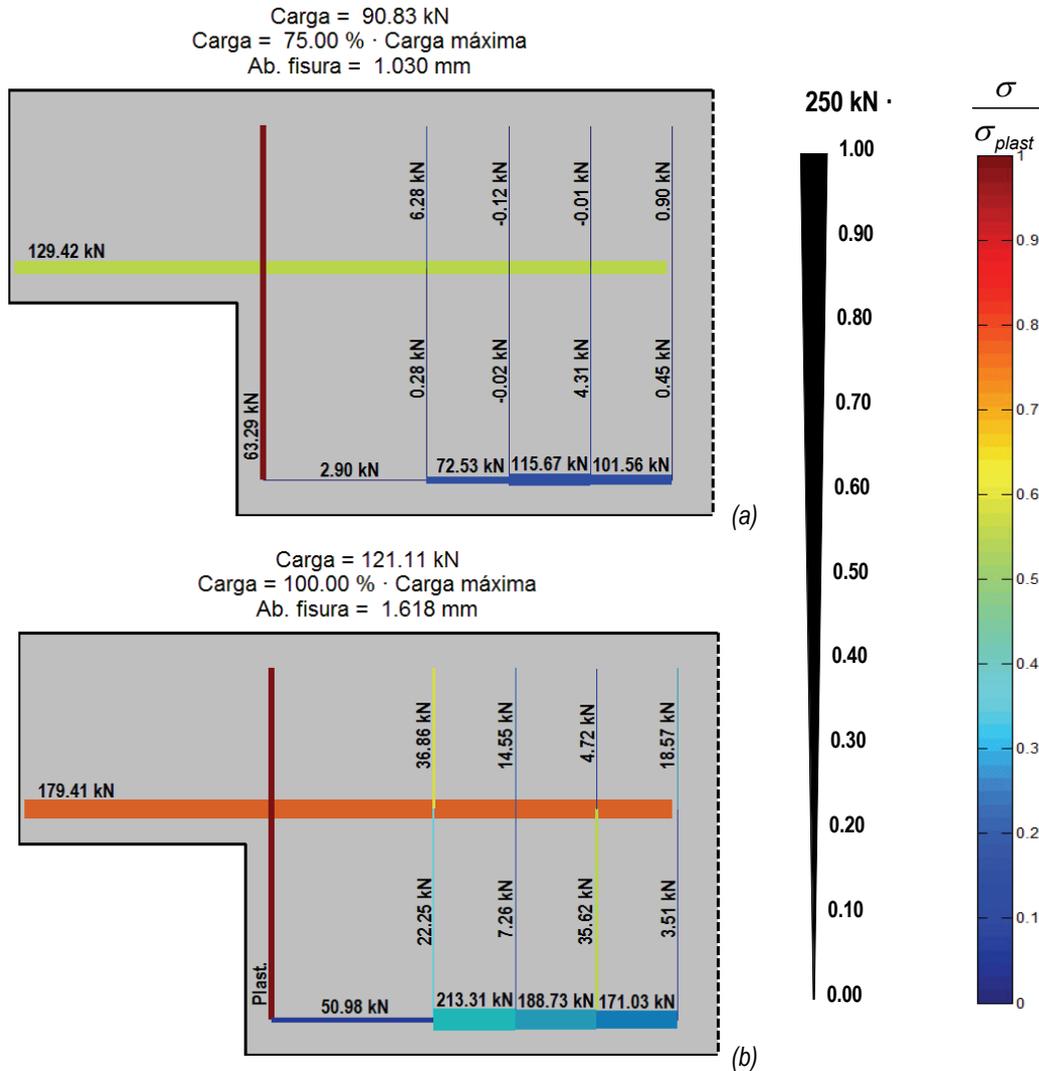


Figura VI.8: Esquemas de tensiones y tracciones. Ensayo E006A2 - (a) 75% carga máxima – (b) 100% carga máxima

En la Figura VI.8 se muestran los esquemas de tensiones y tracciones descritos en el apartado V.1.1, para el 75% y el 100% de la carga última. Se observa que para el 75% de la carga última (Figura VI.8.a) el tirante principal vertical se encuentra plastificado, estando cerca de la carga máxima que es capaz de transmitir y, por tanto, los siguientes incrementos en la carga deberán ser absorbidos principalmente por otras armaduras verticales. Para dicha carga el tirante horizontal se encuentra a una tensión de aproximadamente el 50% de su límite elástico y los estribos de la viga no soportan prácticamente carga alguna. Entre ese escalón y la rotura hay un incremento de la carga vertical de 30 kN; esta carga es absorbida por el primer estribo de la viga, en el que se estima justo ese incremento de carga. Para poder transmitir esa carga vertical al primer estribo mediante una biela de la inclinación indicada anteriormente, la armadura horizontal debe de sufrir un incremento de tracción aproximadamente igual al doble de dicha carga vertical; el incremento de carga registrado en dicha armadura es de 50 kN, bastante consistente con lo indicado.

Por lo que respecta a los esquemas de armado con armaduras ortogonales e inclinada equilibradas, el análisis de la variación de la carga de rotura respecto al armado ortogonal equilibrado no es inmediato. Se registran resistencias sobre un 10% superiores a las del armado de referencia, lo que concuerda con el reparto de cargas indicado en IV.1, según el cual el esquema inclinado absorbía el 50% de la carga y el inclinado el 60%. Se sugiere que el reparto de las cargas entre ambos esquemas no tiene porqué sumar más de la carga de diseño prevista siempre que el comportamiento dúctil de la región permita alcanzar la plastificación de la armadura en ambos mecanismos resistentes.

VI.2.1.3 Influencia del recubrimiento mecánico del tirante vertical

Para analizar la influencia del recubrimiento mecánico de la armadura principal vertical en el comportamiento de los AMM se plantean, para el nivel bajo de cuantía de armado, las piezas 001 y 010 con un armado ortogonal equilibrado y las piezas 003 y 011 con un esquema ortogonal con la armadura horizontal reducida; cada pareja de piezas difieren exclusivamente en su recubrimiento mecánico (véase Tabla IV.2). En la Tabla VI.3 se muestran sus cargas de rotura relativas.

Tabla VI.3: Cargas de rotura relativas. Influencia del recubrimiento mecánico

Rec. Mecánico	Tipo armado	
	$\rho3_{A1_B1_C0}$	$\rho3_{A3_B1_C0}$
S1 (40 mm)	100%	100%
S3 (80 mm)	88%	94%

Como cabía esperar el aumento del recubrimiento mecánico conduce a una disminución de la resistencia de las piezas, puesto que aumenta la distancia -a- (véase la Figura II.7) entre el eje de la fuerza y el eje del tirante vertical y por tanto la biela que parte del apoyo debe ser más tendida.

Se observa que la disminución de resistencia es la mitad en las piezas en las que se ha forzado a que la rotura venga condicionada por el tirante horizontal. En estas piezas hay exceso de armadura en el tirante vertical y por tanto puede quedarse menos solicitado el estribo vertical más alejado de la aplicación de la carga; al recibir menos carga este estribo, la biela que parte del apoyo puede ser ligeramente más vertical, asemejándose más a lo que sucede al disponerse el tirante vertical en un único

plano. En el caso del diseño ortogonal equilibrado, al no haber exceso de armadura vertical, el estribo más alejado de la carga también debe acabar solicitándose a su máxima tensión, con lo que la biela será más tendida que en el caso anterior y, por tanto, al diferir más de la inclinación de la biela en el caso un único estribo, la pérdida de carga relativa es superior.

Este comportamiento es corroborado por las medidas de laboratorio. En la Figura VI.9 se muestra el alargamiento de los tres planos de la armadura vertical en dos piezas con el recubrimiento mecánico superior (S3). Se observa que en la pieza con armadura horizontal reducida (Figura VI.9.b), el tercer estribo (en azul) incluso en rotura no llega a alcanzar su alargamiento de plastificación, mientras que sí se alcanza en el caso de que el armado esté equilibrado (Figura VI.9.a). En este último caso, pese a que llegue a plastificar, se observa que su contribución resistente está desfasada, ya que inicialmente tienden a trabajar de manera significativa y bastante equilibradamente sólo los dos primeros estribos.

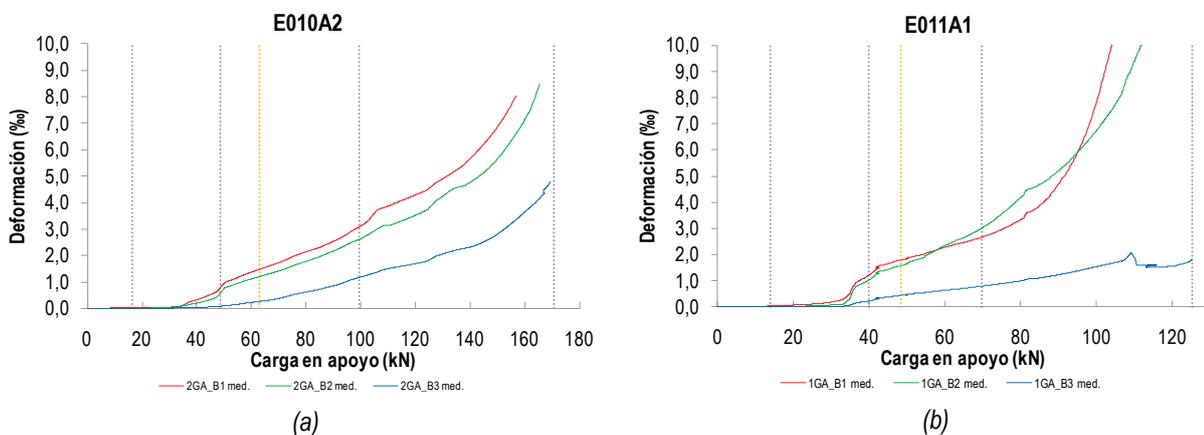


Figura VI.9: Solicitación de los distintos planos de la armadura vertical - (a) Pieza con diseño de armado ortogonal equilibrado - (b) Pieza con armado ortogonal con déficit de armadura horizontal

VI.2.2 Comportamiento post-pico

En el apartado anterior se ha tratado exclusivamente la carga máxima de los ensayos. Otro aspecto fundamental del comportamiento de una pieza de hormigón es la ductilidad que ésta es capaz de desarrollar antes del colapso. En aquellos ensayos en los que el control se ha realizado por velocidad de desplazamiento constante (véase Tabla IV.3) es posible analizar la ductilidad de las piezas. Para ello se representa la carga frente al desplazamiento vertical de la viga en el punto de aplicación de la carga.

Se distinguen varios tipos de comportamiento tras alcanzarse la carga máxima:

- Caída brusca de la carga (véase Figura VI.11.a). Ductilidad baja.
- Descenso progresivo de la carga (véase Figura VI.10.b). Ductilidad media.
- Estabilización de carga en un valor cercano a la carga máxima (véase Figura VI.10.a). Ductilidad alta.

Evidentemente los comportamientos posibles son continuos entre el de máxima y mínima ductilidad; los tipos de comportamiento indicados sólo pretenden ser una referencia.

Como sucede en otros elementos de hormigón, se observa que la ductilidad de las piezas se reduce conforme aumenta la cuantía de armadura (véase Figura VI.10). Esta reducción se da en todos los tipos de armado analizados.

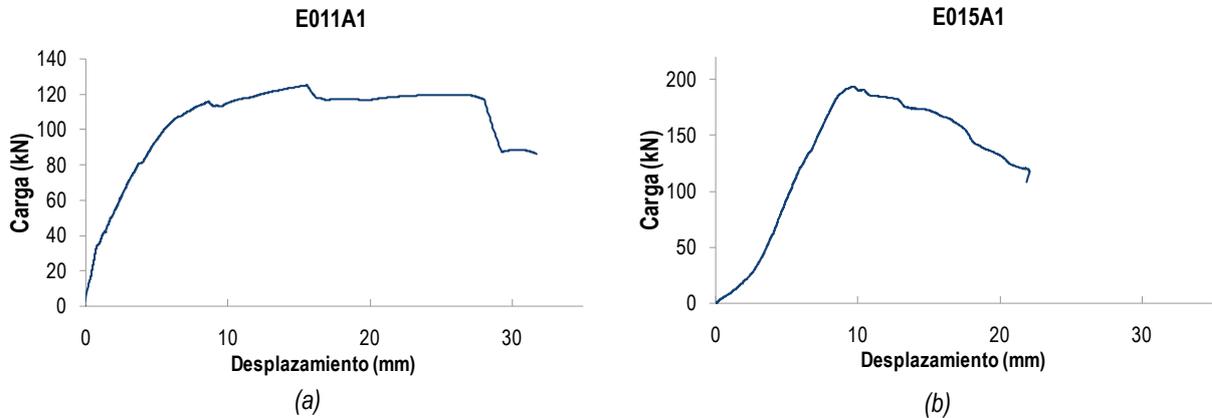


Figura VI.10: Influencia de la cuantía de armado en el comportamiento post-pico. Piezas con armadura horizontal reducida - (a) Nivel bajo de cuantía de armado - ρ_3 . Alta ductilidad - (b) Nivel alto de cuantía de armado - ρ_1 . Ductilidad media

Aún mayor influencia que la cuantía de armadura en la ductilidad de las piezas, tiene el tipo de esquema de armado dispuesto. Siempre para una misma cuantía de armadura se tiene que:

- El esquema de armado con armadura horizontal reducida es el que presenta una mayor ductilidad. Su ductilidad se puede clasificar entre media, para cuantías de armado altas (Figura VI.10.b), y alta para cuantías de armado bajas (Figura VI.10.a).
- El esquema de armado ortogonal equilibrado es el que presenta una menor ductilidad. Su ductilidad se puede clasificar entre baja para cuantías de armado altas (Figura VI.11.a) y media para cuantías de armado bajas.
- El esquema de armado con armadura ortogonal e inclinada tiene una ductilidad significativamente superior a la del armado ortogonal y ligeramente inferior al armado ortogonal con armadura horizontal reducida. Su ductilidad se clasificaría de la misma forma que el primer tipo de armado, como media para cuantías de armado altas (Figura VI.11. b) y alta para cuantías de armado bajas.

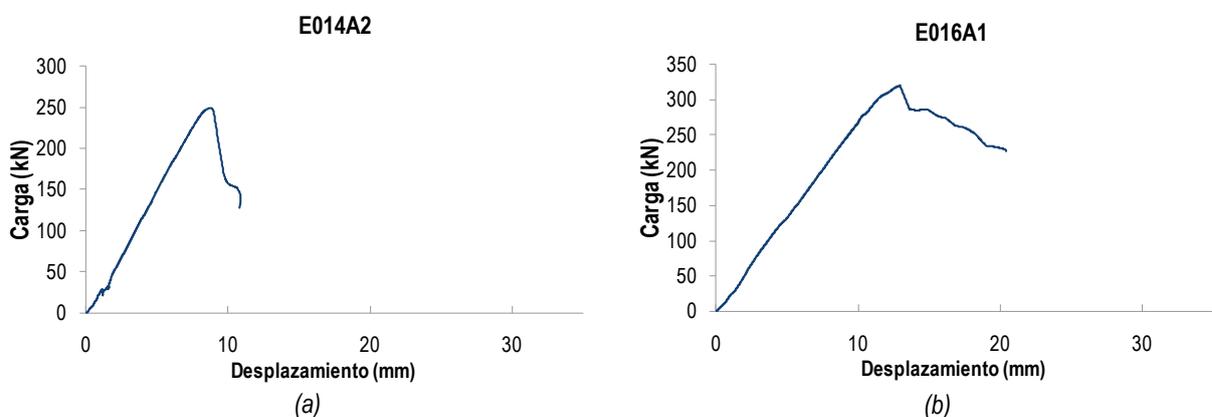


Figura VI.11: Influencia del tipo de armado en el comportamiento post-pico. Piezas con cuantía global de armado alta - ρ_1 - (a) Armado ortogonal equilibrado. Ductilidad baja - (b) Armado ortogonal e inclinado equilibrados. Ductilidad media

VI.3 Análisis de otros fenómenos

VI.3.1 Evolución de los mecanismos resistentes

Mediante el análisis de los esquemas de esfuerzos de tracción y tensiones (véase Figura V.4), confeccionados para cada uno de los ensayos a escalones del 5% de la carga, es posible sacar de una manera sencilla conclusiones sobre la evolución de los mecanismos resistentes. Cabe recordar que en las fichas de ensayos contenidas en el Anejo A, se muestran 4 de estos esquemas para cada uno de los ensayos. A continuación se indican de una manera sintética las conclusiones preliminares obtenidas:

- Para cargas bajas la resistencia a tracción del hormigón tiene una importancia bastante relevante. Por ejemplo para el ensayo E017A1, al tratar de establecer el equilibrio de fuerzas verticales para el 25% de la carga, se observa que las armaduras verticales, en su tramo más cargado, sólo compensan 2/3 partes de la carga aplicada (véase Figura VI.12). La carga restante debe ser transmitida por el hormigón.

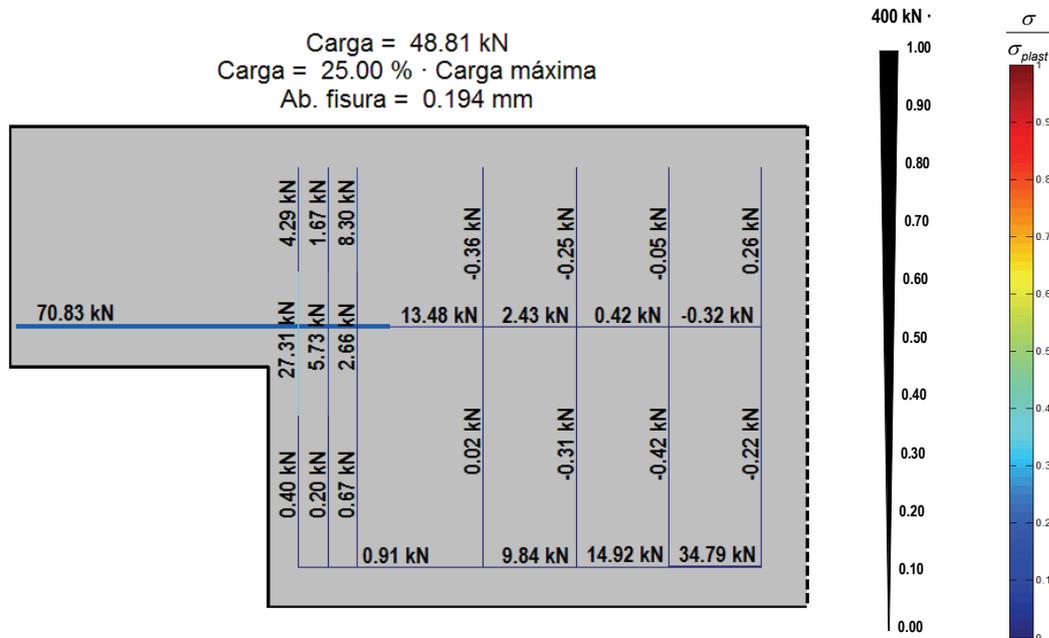


Figura VI.12: Esquema de tensiones y tracciones. Ensayo 017A1 (25% carga máxima)

- En las piezas con armadura inclinada y ortogonal, el esquema resistente compuesto por la armadura inclinada es el que trabaja en mayor medida para carga bajas. Cuando la armadura inclinada plastifica, quedando agotado su mecanismo resistente, el mecanismo resistente ortogonal ha desarrollado aproximadamente la mitad de su capacidad. Este fenómeno puede observarse en la Figura VI.13.

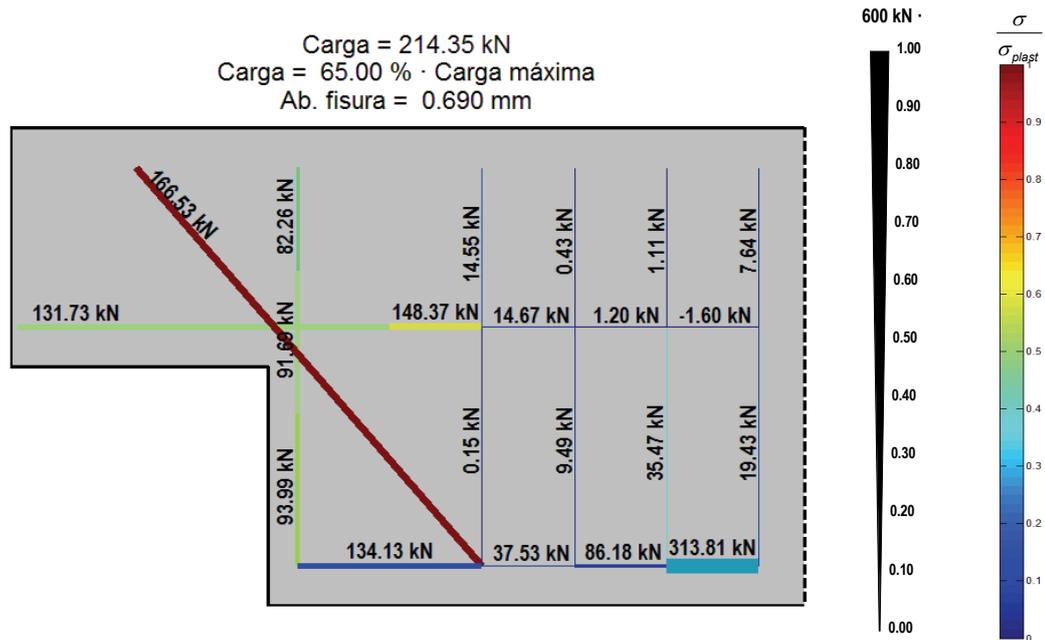


Figura VI.13: Esquema de tensiones y tracciones. Ensayo 016A2 (65% carga máxima)

- Tal y como ya se indicaba en el apartado VI.2.1.3, en caso de que el tirante vertical esté compuesto por varios planos de armadura, comienzan a trabajar en primer lugar los estribos más cercanos al apoyo. Al encontrarse estos muy solicitados y siempre que haya suficiente armadura horizontal como para que la biela se vaya haciendo más tendida, irán entrando sucesivamente en valores significativos de carga los planos del tirante vertical más alejados del apoyo.
- No se detectan alargamientos significativos en los estribos de cortante de la viga (E1-E2-E3-E4), salvo para cargas elevadas en las piezas cuya armadura horizontal se encuentra sobredimensionada respecto a la vertical (véase Figura VI.14). El poco alargamiento registrado puede ser debido a que las galgas de medición se encuentren alejadas de la zona de fisuras, y en dicha región las tracciones sean absorbidas mayoritariamente por el hormigón.

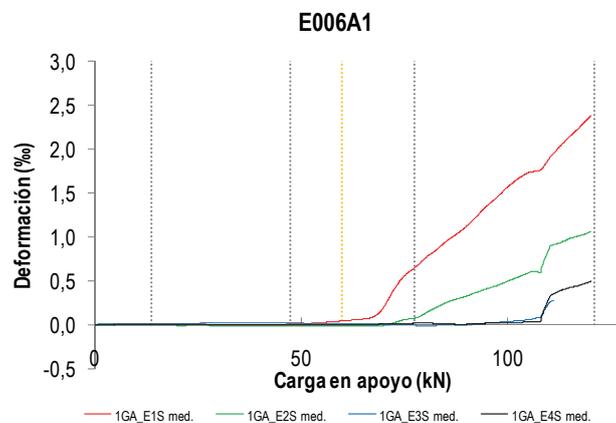


Figura VI.14: Deformaciones en los tramos superiores de los estribos de cortante de la viga. E006A1

VI.3.2 Anclaje del tirante horizontal

En la serie 2 de ensayos se instrumenta la armadura horizontal a lo largo de su longitud, para analizar su anclaje. En la mayoría de los ensayos se observa que la variación de deformación entre el punto A de la armadura situado en las inmediaciones de la fisura (véase situación de galgas en Figura IV.8) y el punto A1 situado entre el tirante vertical y el primer estribo de la viga es muy poca, especialmente para cargas cercanas a la de rotura. La tensión de la armadura será por tanto constante en este tramo, o lo que es lo mismo, para cargas de rotura la armadura horizontal no comienza a anclarse hasta llegar (véase la Figura VI.15 y la Figura VI.16.b) al primer estribo de la viga. Esta observación, viene a corroborar la conveniencia de no contabilizar el anclaje de la armadura horizontal desde su intersección con el tirante vertical, sino desde su intersección con la hipotética fisura generada desde la esquina del extremo inferior de la viga (véase Figura II.25), tal y como se especifica en el procedimiento del PCI (véase apartado II.3.6).

Pese a que en el diseño de los armados se ha contabilizado el anclaje desde la intersección con el tirante vertical no se ha producido ningún fallo por anclaje. Esto es debido a que las tensiones de adherencia que se puede generar en la realidad son superiores a las tensiones de adherencia máxima asociadas a las longitudes de anclaje tipificadas en las normativas.

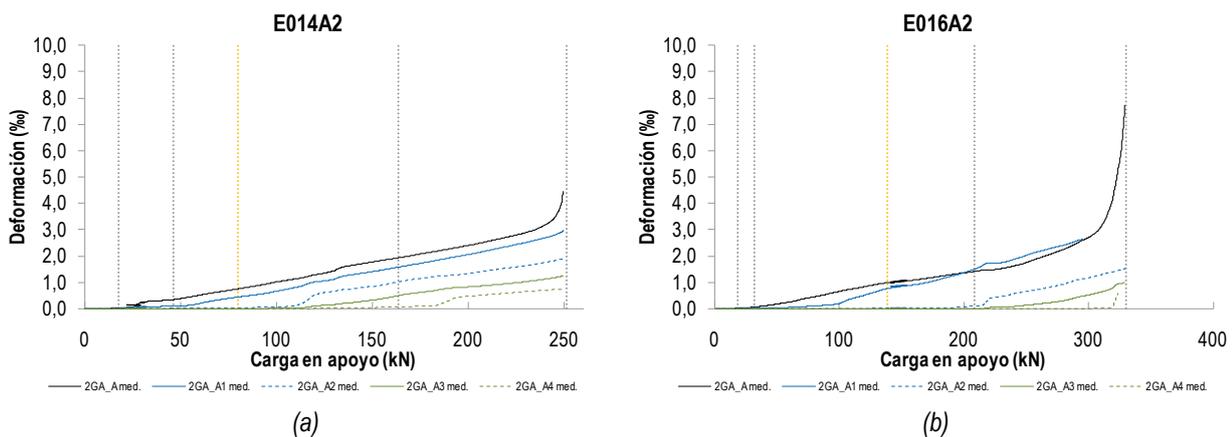


Figura VI.15: Deformaciones de la armadura horizontal a lo largo de su longitud - (a) E014A2 - (b) E016A2

Como es esperable, para cargas medias-bajas el anclaje de la armadura se realiza en un tramo muy corto y llega sin casi tensión al primer estribo de cortante de la viga (véase Figura VI.16.a). Para cargas cercanas a la de rotura es cuando entra en carga toda la longitud de la armadura (véase Figura VI.16.b).

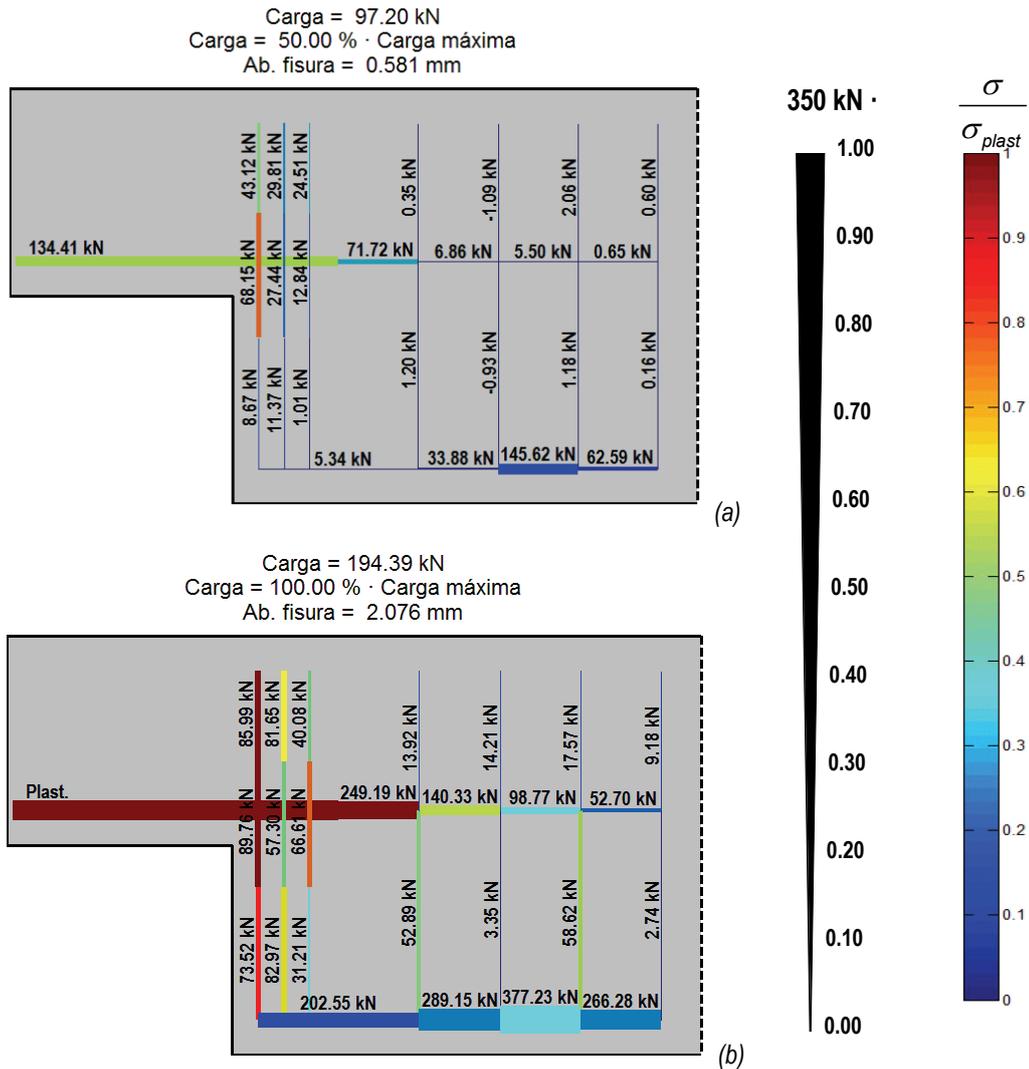


Figura VI.16: Esquemas de tensiones y tracciones. Ensayo E015A1 - (a) 50% carga máxima - (b) 100% carga máxima

VI.3.3 Distribución de deformaciones a lo largo del tirante vertical

En las piezas de la serie 2 de ensayos el tirante vertical se instrumenta en tres alturas distintas (véase Figura IV.8). La galga central se encuentra en las inmediaciones de la fisura, por lo que en esa zona la contribución del hormigón en tracción puede considerarse nula. Las deformaciones son sensiblemente superiores en ese tramo a las del tramo superior e inferior del tirante. Esto puede ser debido a que en esas zonas las galgas no están en las inmediaciones de una fisura y por tanto hay cierta contribución del hormigón en tracción. Otra posibilidad es que las bielas generadas por el anclaje de la armadura horizontal no sólo se apoyen en los extremos superior e inferior del tirante vertical, sino también en su tramo central, lo que explicaría la mayor tensión en esta zona.

Capítulo VII

Síntesis, conclusiones y futuras líneas de investigación

En el presente capítulo se indican los principales hitos del trabajo de investigación realizado, se relacionan las conclusiones más relevantes y se indican las líneas de investigación abiertas a raíz del estudio.

VII.1 Síntesis

En el Capítulo II se analizó el estado del conocimiento sobre AMM, estudiando tanto los procedimientos teóricos para su diseño, como los estudios experimentales realizados, así como las indicaciones que al respecto de estos elementos hacen distintas normativas internacionales. Fruto de este estudio se detecta que el comportamiento en servicio de los AMM todavía no ha sido suficientemente tratado.

Se plantea el desarrollo una campaña experimental sobre AMM que estudie en detalle el comportamiento en servicio y en rotura de los AMM, tratando de profundizar en el conocimiento general del comportamiento en servicio de las regiones D. Para ello:

- Se realiza la puesta a punto de un procedimiento de ensayo para AMM.
- Se realizan un total de 22 ensayos sobre elementos tipo viga con distintos niveles de cuantía de armado y distintas disposiciones de armado.

Las características del programa experimental y los resultados del mismo vienen recogidos en el Capítulo IV y el Capítulo V respectivamente.

En las escasas investigaciones previas que caracterizan el comportamiento en servicio de los AMM se detecta la problemática de la ubicación en la que se registran las aberturas de fisura. Se ha verificado experimentalmente que existe una variación muy importante de la abertura de fisura en función de la distancia a la esquina de la pieza, por lo que es un aspecto que no debe ser obviado. En las investigaciones previas, para registrar la abertura de fisura de manera continua, se emplean

transductores de desplazamiento ubicados a una distancia suficientemente alejada de la esquina como para que pueda considerarse que la abertura de fisura registrada es la máxima. Para solventar esta problemática se pone a punto una técnica fotogramétrica que permite registrar de manera continua, en cualquier punto de cualquier fisura, tanto su abertura como su deslizamiento. De esta forma se determina con precisión la abertura máxima de fisura, que se produce justo en la esquina de la pieza.

VII.2 Conclusiones

Fruto de la revisión bibliográfica realizada, puede concluirse que:

- Los métodos teóricos más empleados en el diseño de AMM son el Método de Bielas y Tirantes (MBT) y el cálculo con modelos de fricción por cortante y flexión diagonal en las hipotéticas superficies de rotura.
- El MBT es un método suficientemente conservador como para realizar el dimensionamiento de los AMM, mientras que los modelos de fricción por cortante y flexión diagonal predicen la ubicación de la fisura crítica y la resistencia de la pieza con precisión.
- Bastantes investigaciones han analizado este tipo de apoyos, pero su comportamiento en servicio todavía no ha sido suficientemente estudiado.
- Las normativas analizadas, con la excepción del manual de diseño PCI Design Handbook [39], no tienen metodologías de cálculo específicas para los AMM, sino que remiten para su diseño al procedimiento del MBT.

Fruto de los resultados de la campaña experimental, en la que se estudia el comportamiento en servicio y en rotura de los AMM, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- Se genera una fisura en el vértice del elemento para solicitaciones relativamente bajas (en el entorno del 5% al 15% de la carga última).
- La abertura de la fisura va disminuyendo muy significativamente conforme la fisura profundiza en el interior de la pieza. En las cercanías del vértice dicha abertura es máxima y para cargas de servicio se encuentra en el entorno de los 0,3-0,5 mm.
- Las principales variables estudiadas (nivel de cuantía de armado, configuración de armado y recubrimiento mecánico del tirante vertical) no modifican de manera significativa la fisuración para un mismo nivel de carga (relativo a la carga última de las piezas).
- A la vista de las aberturas de fisura obtenidas, el dimensionamiento del armado de este tipo de elementos puede estar condicionado en muchos casos por su diseño en servicio.
- La rotura de las piezas se produce siempre previa plastificación de alguna de las armaduras. Salvo que haya una elevada descompensación entre los distintos tirantes del AMM plastifican todas las armaduras principales.

- La rotura se manifiesta con un salto del recubrimiento de hormigón que queda por encima de la armadura superior de la viga. Esta forma de rotura apunta a la no consideración del recubrimiento para configurar el Modelo de Bielas y Tirantes en rotura en el diseño de estos elementos.
- La ductilidad de las piezas se reduce conforme aumenta la cuantía de armadura.
- Las piezas que incorporan armadura inclinada presentan una ductilidad muy superior a las piezas con armado ortogonal. El diseño de armado ortogonal con armadura horizontal reducida presenta una ductilidad muy elevada, superior incluso a la de las piezas con armadura inclinada.
- Se ha verificado experimentalmente que la armadura principal de los AMM no comienza a anclar en su intersección con la armadura principal vertical.

VII.3 Futuras líneas de investigación

A la vista de los resultados y conclusiones obtenidas en esta investigación, adicionales estudios deben realizarse sobre los AMM, como son:

- Analizar la influencia que el biselado del vértice pueda tener en la abertura de fisura. Se presupone que pueda inducir a que en lugar de una única fisura se generen dos fisuras, reduciéndose la abertura.
- Estudiar cómo se comportan los AMM realizados con hormigones reforzados con fibras de acero (HRFA) y con hormigones de alta resistencia. Especialmente en el primer caso, tratar de establecer si la previsible mejora en la fisuración justifica su empleo.
- Analizar la influencia que el pretensado de la armadura horizontal pudiera tener en el comportamiento en servicio de los AMM.
- Investigar posibles refuerzos aplicables a AMM existentes y que se encuentren en un estado de durabilidad comprometido. En este sentido el uso de FRP's puede tener especial interés, por su facilidad de instalación y ser viable su empleo al ser la zona de refuerzo muy reducida.
- Establecer una metodología analítica simplificada que permita calcular la abertura de fisura de los AMM.

Gran parte de estos aspectos serán abordados por el autor mediante la realización de una Tesis Doctoral, que supondrá la continuación del presente trabajo.

Además, este estudio debe enmarcarse dentro del estudio general del comportamiento en servicio de las regiones de Discontinuidad (D). El Método de Bielas y Tirantes es el procedimiento más común para diseñar este tipo de regiones, pero presenta la problemática de que únicamente está planteado para estados de rotura. Por este motivo deben realizarse esfuerzos para caracterizar el comportamiento de estas regiones en servicio y tratar de establecer una metodología general que

permita su análisis en servicio, de la misma forma que es posible realizarlo en las regiones de continuidad.

Para conseguir el objetivo anterior es necesario realizar campañas de experimentación sobre regiones D, abordando de una manera profunda su comportamiento en servicio. Entre los elementos que podrían estudiarse se encuentran:

- Ménsulas cortas, que presentan una geometría similar a la de los AMM, con un vértice cercano a la aplicación de la carga que tiende a producir también la aparición de una fisura concentrada.
- Pilares apeados, cuya experimentación, incluso en rotura, está muy poco estudiada.
- Cálices, que materializan las uniones entre pilares prefabricados y zapatas, y los encepados de pilotes. Estos dos elementos presentan el reto adicional de tratar de extender los procedimientos del MBT a las tres dimensiones.

Además de la experimentación sobre los elementos estructurales indicados, se aconseja profundizar en el empleo de la técnica de medición fotogramétrica aplicada a ensayos de hormigón. El objetivo final debería ser poder determinar de una manera bastante automatizada tanto el campo de deformaciones como el patrón de fisuración en la superficie del hormigón. La obtención de estos dos aspectos resultaría de especial interés en el estudio de las regiones D, ya que permitiría establecer con detalle los flujos de compresiones en el hormigón y cómo varían para distintos escalones de carga.

Bibliografía

- [1] fib Task Group 4.4, *Practitioners' guide to finite element modelling of reinforced concrete structures. fib bulletin No. 45*. Lausanne, Suiza, 2008.
- [2] Comisión Permanente del Hormigón, *Instrucción de hormigón estructural. EHE-08*. Madrid, España: Ministerio de Fomento, 2008.
- [3] M. D. Brown, «Design for shear in reinforced concrete using strut-and-tie and sectional models», Thesis, University of Texas, 2005.
- [4] P. Marti, «Basic tools of reinforced concrete beam design», *Journal of the American Concrete Institute*, vol. 82, nº. 1, págs. 46-56, 1985.
- [5] P. Marti, «Truss models in detailing», *Concrete International*, vol. 7, nº. 12, págs. 66-73, 1985.
- [6] J. Schlaich, K. Schäfer, y M. Jennewein, «Toward a consistent design of structural concrete», *PCI Journal*, vol. 32, nº. 3, págs. 74–150, Jun. 1987.
- [7] P. F. Miguel Sosa et al., *Proyecto de estructuras de hormigón mediante el método de las bielas y tirantes. 2ª edición, revisada y ampliada a la EHE-08*. Valencia, España: Ediciones VJ, 2009.
- [8] T. C.-K. Chan, «A Study of the behaviour of reinforced concrete dapped end beams», M.Sc. Thesis, University of Washington, 1979.
- [9] A. H. Mattock y T. C. Chan, «Design and behavior of dapped-end beams», *PCI Journal*, vol. 24, nº. 6, págs. 28–45, 1979.
- [10] ACI 318-08, *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-08) and commentary*. Farmington Hills, Michigan, USA: American Concrete Institute, 2008.
- [11] C. S. A. Standard, «CSA A23. 3-04», *Canadian Standard Association*, vol. 232, 2004.
- [12] R. Herzinger, «Stud reinforcement in dapped ends of concrete beams», Thesis, University of Calgary, 2008.
- [13] P. Kumaraguru, «Strength of dapped end beams», Thesis, University of Calgary, 1992.

- [14] R. Herzinger y M. Elbadry, «Alternative reinforcing details in dapped ends of precast concrete bridge girders: experimental investigation», *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2028, nº. 1, págs. 111-121, Dic. 2007.
- [15] G. C. Reynolds, *The strength of half-joints in reinforced concrete beams*. Cement and Concrete Association, TRA 415, 1969.
- [16] M. P. Werner y W. H. Dilger, «Shear design of prestressed concrete stepped beams», *PCI Journal*, vol. 18, nº. 4, págs. 37-49, Ago. 1973.
- [17] A. A. Hamoudi, M. K. S. Phang, y R. A. Bierweiler, «Diagonal shear in prestressed concrete dapped-beams», in *ACI Journal Proceedings*, 1975, vol. 72, págs. 347-350.
- [18] G. Menon y R. W. Furlong, «Design of reinforcement for notched ends of prestressed concrete girders», Research Project, University of Texas, 1977.
- [19] M. A. Khan, «A study of the behavior of reinforced concrete dapped-end beams», M.Sc. Thesis, University of Washington, 1981.
- [20] S. K. Liem, «Maximum shear strength of dapped-end or corbel», M.Sc. Thesis, Concordia University, 1983.
- [21] J. C.-J. Chung, «Effect of depth of nib on strength of dapped-end beam», M.Sc. Thesis, University of Washington, 1985.
- [22] J. M. Ajina, «Effect of steel fibers on precast dapped-end beam connections», M.Sc. Thesis, South Dakota State University, 1986.
- [23] A. H. Mattock y T. S. Theryo, «Strength of precast prestressed concrete members with dapped ends», *PCI Journal*, vol. 34, nº. 5, págs. 58-75, Oct. 1986.
- [24] W. D. Cook, «Studies of disturbed region near discontinuities in reinforced concrete members», M.Sc. Thesis, McGill University, 1987.
- [25] W. D. Cook y D. Mitchell, «Studies of disturbed regions near discontinuities in reinforced concrete members», *ACI Structural Journal*, vol. 85, nº. 2, págs. 206-216, 1988.
- [26] L. A. Clark y P. Thorogood, «Serviceability behaviour of reinforced concrete half joints», *Structural Engineer*, vol. 66, nº. 18, págs. 295-302, Sep. 1988.
- [27] D. L. Barton, «Detailing of structural concrete dapped end beams», M.Sc. Thesis, University of Texas, 1988.
- [28] L. A. Clark, B. Gill, y H. Taylor, «Precast concrete U-beam dapped ends», *ACI Structural Journal*, vol. 86, nº. 6, págs. 723-727, 1989.
- [29] K. M. P. So, «The behaviour of thin stemmed precast prestressed concrete members with dapped ends», M.Sc. Thesis, McGill University, 1989.
- [30] D. J. Mader, «Detailing dapped ends of pretensioned concrete beams», M.Sc. Thesis, University of Texas, 1990.
- [31] I. J. Lin, S. J. Hwang, W. Y. Lu, y J. T. Tsai, «Shear strength of reinforced concrete dapped-end beams», *Structural Engineering and Mechanics*, vol. 16, nº. 3, págs. 275-294, 2003.
- [32] W. Y. Lu, I. J. Lin, S. J. Hwang, y Y. H. Lin, «Shear strength of high-strength concrete dapped-end beams», *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, vol. 26, nº. 5, págs. 671-680, 2003.

- [33] R. R. H. Zhu, W. Wanichakorn, T. T. C. Hsu, y J. Vogel, «Crack width prediction using compatibility-aided strut-and-tie model», *ACI Structural Journal*, vol. 100, nº. 4, págs. 413–421, 2003.
- [34] S. E. D. M. F. Taher, «Strengthening of critically designed girders with dapped ends», *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Structures and Buildings*, vol. 158, nº. 2, págs. 141–152, 2005.
- [35] Q. Wang, Z. Guo, y P. C. J. Hoogenboom, «Experimental investigation on the shear capacity of RC dapped end beams and design recommendations», *Structural Engineering and Mechanics*, vol. 21, nº. 2, pág. 221, 2005.
- [36] P.-C. Huang y A. Nanni, «Dapped-end strengthening of full-scale prestressed double tee beams with FRP composites», *Advances in Structural Engineering*, vol. 9, nº. 2, págs. 293-308, Abr. 2006.
- [37] J. R. Gaston y L. B. Kriz, «Connections in precast concrete structures—scarf joints», *PCI Journal*, vol. 9, nº. 3, págs. 37-59, Jun. 1964.
- [38] PCI Industry Handbook Committee, *PCI design handbook 3rd ed*, Chicago, Illinois, EEUU: Precast/Prestressed Concrete Institute, 1985.
- [39] PCI Industry Handbook Committee, *PCI design handbook 7th ed*, Chicago, Illinois, EEUU: Precast/Prestressed Concrete Institute, 2010.
- [40] CE-Normalización, *Eurocódigo 2 - Proyecto de Estructuras de Hormigón, Parte I-I: Reglas generales y Reglas para Edificación*, AENOR, 1993.
- [41] CEB-FIP, *Model Code 2010 draft version*. Lausanne, Suiza 2010.
- [42] L. Barazzetti y M. Scaioni, «Crack measurement: development, testing and applications of an automatic image-based algorithm», *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 64, nº. 3, págs. 285–296, 2009.
- [43] W. Benning, J. Lange, R. Schwermann, C. Effkemann, y S. Glörtz, «Monitoring crack origin and evolution at concrete elements using photogrammetry», in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2004, vol. 35, págs. 678–683.
- [44] S. Choi y S. P. Shah, «Measurement of deformations on concrete subjected to compression using image correlation», *Experimental Mechanics*, vol. 37, nº. 3, págs. 307–313, 1997.
- [45] P. Dare, H. Hanley, C. Fraser, B. Riedel, y W. Niemeier, «An operational application of automatic feature extraction: the measurement of cracks in concrete structures», *The Photogrammetric Record*, vol. 17, nº. 99, págs. 453-464, Abr. 2002.
- [46] A. Ito, Y. Aoki, y S. Hashimoto, «Accurate extraction and measurement of fine cracks from concrete block surface image», in *IECON-PROCEEDINGS-*, 2002, vol. 3, págs. 2202–2207.
- [47] B. J. Pease, M. R. Geiker, H. Stang, y J. Weiss, «Photogrammetric assessment of flexure induced cracking of reinforced concrete beams under service loads», in *Second International RILEM Symposium: Advances in Concrete Through Science and Engineering*, 2006.
- [48] P. Ronnholm et al., «Comparison of measurement techniques and static theory applied to concrete beam deformation», *Photogrammetric Record*, vol. 24, nº. 128, págs. 351-371, Dic. 2009.
- [49] H.-G. Sohn, Y.-M. Lim, K.-H. Yun, y G.-H. Kim, «Monitoring crack changes in concrete structures», *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 20, nº. 1, págs. 52-61, Ene. 2005.
- [50] Z. Zhang, «A flexible new technique for camera calibration», *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 22, nº. 11, págs. 1330–1334, 2002.

- [51] J. Heikkila y O. Silven, «A four-step camera calibration procedure with implicit image correction», in *Computer Vision and Pattern Recognition, 1997. Proceedings., 1997 IEEE Computer Society Conference on*, 2002, págs. 1106–1112.
- [52] UNE-EN ISO 6892-1, *Materiales Metálicos. Ensayo de Tracción. Parte 1 - Método de ensayo a temperatura ambiente*. Asociación española de normalización y certificación, AENOR. 2009.
- [53] UNE-EN 12390-3, *Ensayo de Hormigón Endurecido. Parte 3 - Determinación de la resistencia a compresión de probetas*. Asociación española de normalización y certificación, AENOR. 2003.
- [54] UNE-EN 12390-6, *Ensayo de Hormigón Endurecido. Parte 6 - Resistencia a tracción indirecta de probetas*. Asociación española de normalización y certificación, AENOR. 2001.

Anejo A

Fichas de ensayos

En los siguientes apartados se muestran las distintas fichas de los ensayos. Su organización se encuentra descrita en el apartado V.1.1 del documento. En caso de estar usando el documento electrónico se recomienda usar los marcadores para navegar entre las distintas fichas. En la tabla resumen de resultados (véase Tabla V.2) también hay vínculos que llevan directamente a la ficha de cada ensayo.

A.1 Ensayo 001 (p3/HA30_A1_B1.1_C0_S1) – Apoyo 1

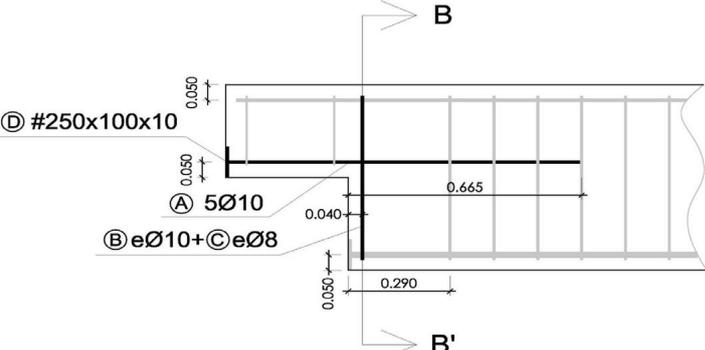
				FICHA: 1.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera			ENSAYO: 001A1	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B1.1_C0_S1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

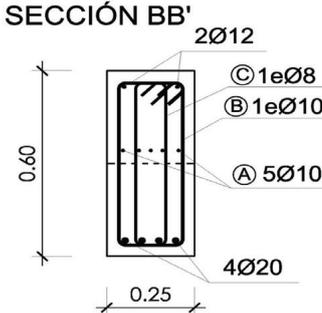
Codificación: p3/HA30_A1_B1.1_C0_S1 Fecha horm.: 16/06/2010 Fecha ensayo: 15/07/2010 Edad (días): 29 Secc. apoyo (mm): 250x300 Secc. viga (mm): 250x600 Tipo ensayo: Simétrico V última (kN): 193,56 V (w=0,4 mm) (kN): 67,91 35% Tipo rotura: Acero / A-B	NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 49% <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">TIR. HORIZ. -A-</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">TIR. VERTICAL -B-</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">TIR. INCLIN. -C-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Armado: 5ϕ10</td> <td style="text-align: center;">Armado: 2ϕ10+2ϕ8</td> <td style="text-align: center;">Armado: -</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 3,93</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 2,58</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 0,00</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(A/A_{max})_{pi}: 100%</td> <td style="text-align: center;">(B/B_{max})_{pi}: 100%</td> <td style="text-align: center;">(C/C_{max})_{pi}: 0%</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Rec. mecán. (mm): 40</td> </tr> </table> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> Variante 1: - Variante 2: - <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; text-align: center;">f_c (Mpa)</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">f_{ct} (Mpa)</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">Vol. Fibras</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">41,1</td> <td style="text-align: center;">3,15</td> <td style="text-align: center;">0,00%</td> <td style="text-align: center;">- -</td> </tr> </table> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/>	TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	Armado: 5 ϕ 10	Armado: 2 ϕ 10+2 ϕ 8	Armado: -	Cuantía (cm ²): 3,93	Cuantía (cm ²): 2,58	Cuantía (cm ²): 0,00	(A/A _{max}) _{pi} : 100%	(B/B _{max}) _{pi} : 100%	(C/C _{max}) _{pi} : 0%	Rec. mecán. (mm): 40			f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)	41,1	3,15	0,00%	- -
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-																						
Armado: 5 ϕ 10	Armado: 2 ϕ 10+2 ϕ 8	Armado: -																						
Cuantía (cm ²): 3,93	Cuantía (cm ²): 2,58	Cuantía (cm ²): 0,00																						
(A/A _{max}) _{pi} : 100%	(B/B _{max}) _{pi} : 100%	(C/C _{max}) _{pi} : 0%																						
Rec. mecán. (mm): 40																								
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)																					
41,1	3,15	0,00%	- -																					

B.- ESQUEMAS DE ARMADO

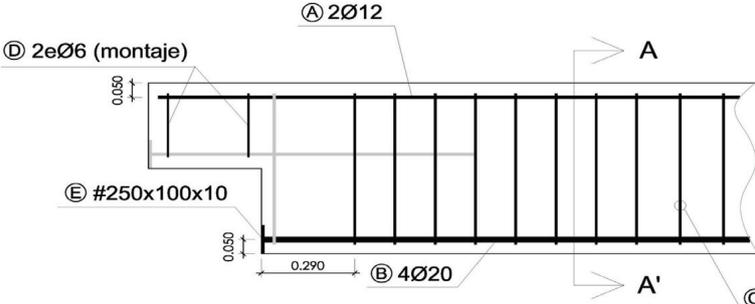
B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



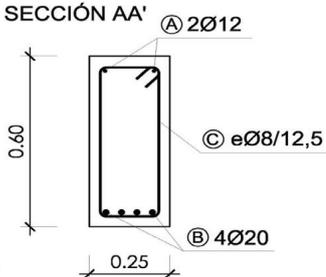
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros



B2.- ARMADO DE LA VIGA



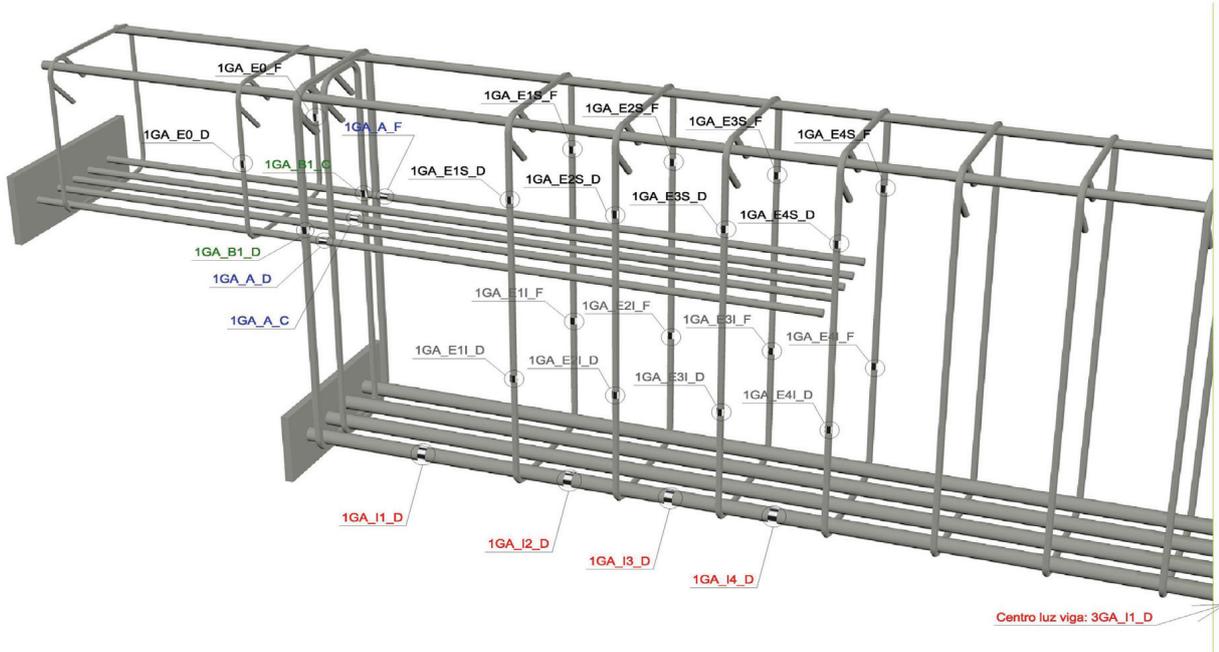
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros



PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A1_B1.1_C0_S1
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

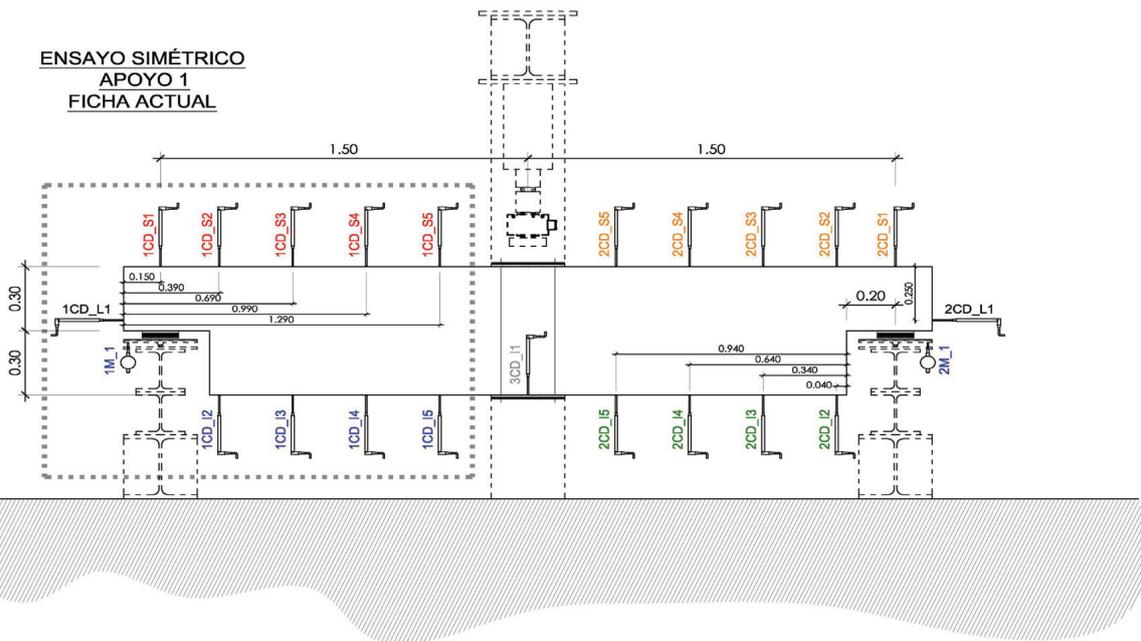
C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA

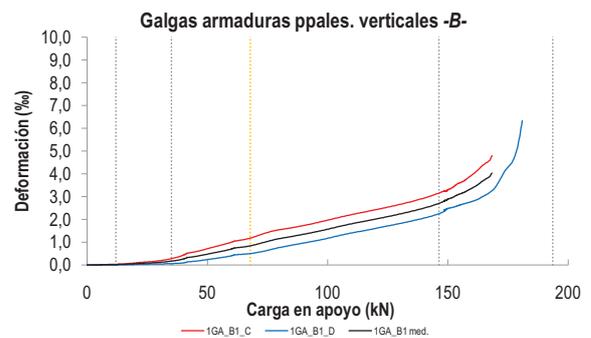
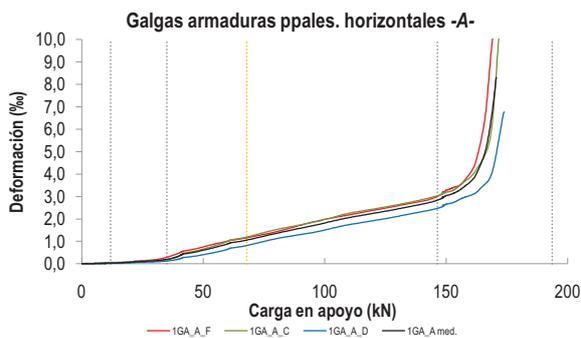
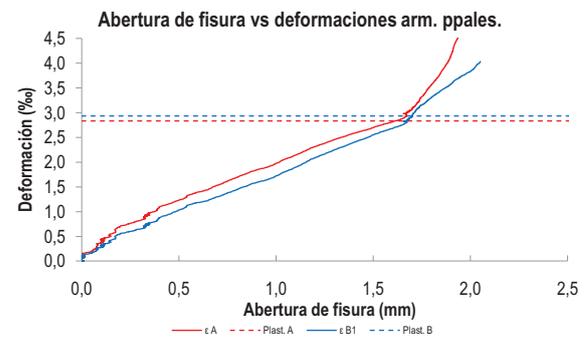
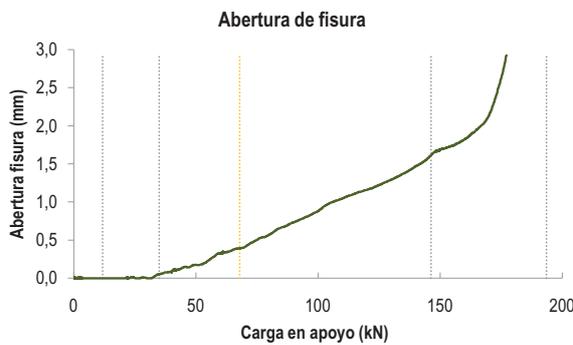
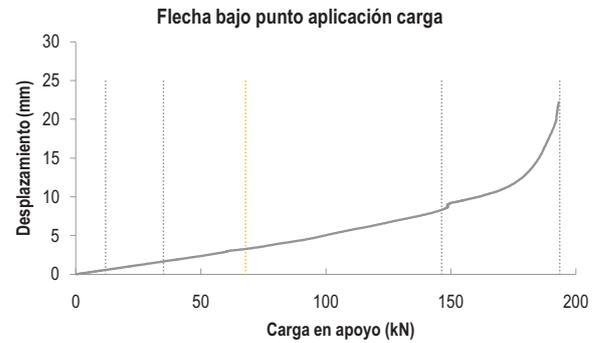
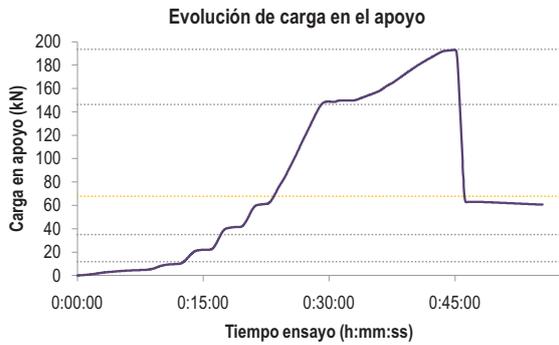
**ENSAYO SIMÉTRICO
APOYO 1
FICHA ACTUAL**



   		FICHA: 1.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO: 001A1	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B1.1_C0_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

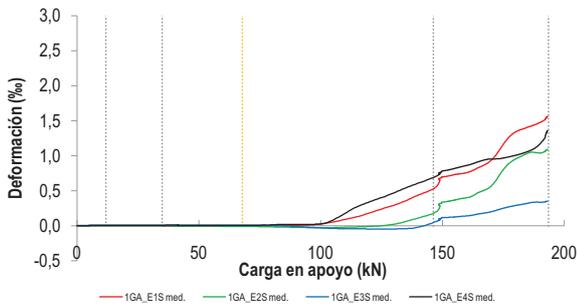


LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE
DE ARMADURA INCLINADA -C-

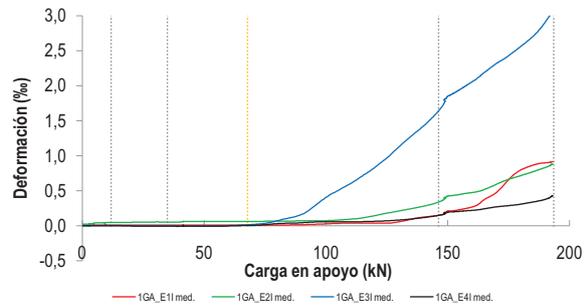
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO:	001A1
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A1_B1.1_C0_S1	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS

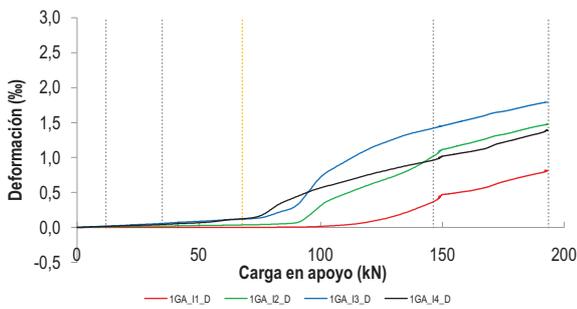
Galgas estribos. Tramo superior



Galgas estribos. Tramo inferior



Galgas armadura inferior



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

   		FICHA: 1.5
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO: 001A1
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A1_B1.1_C0_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
9,68	5%	0,00	0,46	0,03	0,01	-	-	-
19,36	10%	0,00	0,91	0,07	0,05	-	-	-
29,03	15%	0,00	1,37	0,13	0,11	-	-	-
38,71	20%	0,08	1,83	0,30	0,23	-	-	-
48,39	25%	0,16	2,28	0,56	0,44	-	-	-
58,07	30%	0,30	2,79	0,83	0,65	-	-	-
67,75	35%	0,39	3,26	1,05	0,84	-	-	-
77,42	40%	0,54	3,73	1,30	1,10	-	-	-
87,10	45%	0,69	4,23	1,52	1,29	-	-	-
96,78	50%	0,83	4,80	1,74	1,49	-	-	-
106,46	55%	1,00	5,49	1,98	1,73	-	-	-
116,14	60%	1,12	6,10	2,18	1,93	-	-	-
125,82	65%	1,23	6,75	2,36	2,14	-	-	-
135,49	70%	1,38	7,40	2,56	2,37	-	-	-
145,17	75%	1,60	8,25	2,82	2,68	-	-	-
154,85	80%	1,74	9,53	3,25	3,10	-	-	-
164,53	85%	1,93	10,30	4,56	3,67	-	-	-
174,21	90%	2,52	11,56	-	-	-	-	-
183,88	95%	-	14,51	-	-	-	-	-
193,56	100%	-	20,21	-	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	11,88	6,1%	0,00	0,56	0,03	0,02	-	-	-
Punto de cambio de rigidez	35,00	18,1%	0,05	1,65	0,20	0,17	-	-	-
Abertura de fisura 0,20 mm	53,46	27,6%	0,20	2,53	0,69	0,55	-	-	-
Abertura de fisura 0,40 mm	67,91	35,1%	0,40	3,27	1,06	0,84	-	-	-
Abertura de fisura 0,60 mm	81,05	41,9%	0,60	3,93	1,38	1,17	-	-	-
Abertura de fisura 0,80 mm	94,51	48,8%	0,80	4,64	1,68	1,44	-	-	-
Primera plastificación	146,32	75,6%	1,65	8,67	2,93	2,79	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



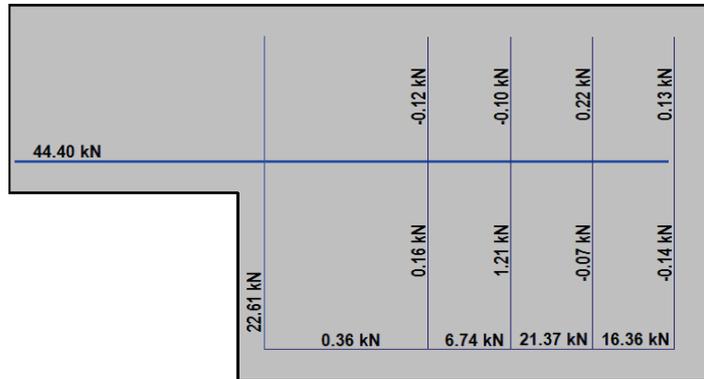
FICHA: 1.6

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A1_B1.1_C0_S1
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

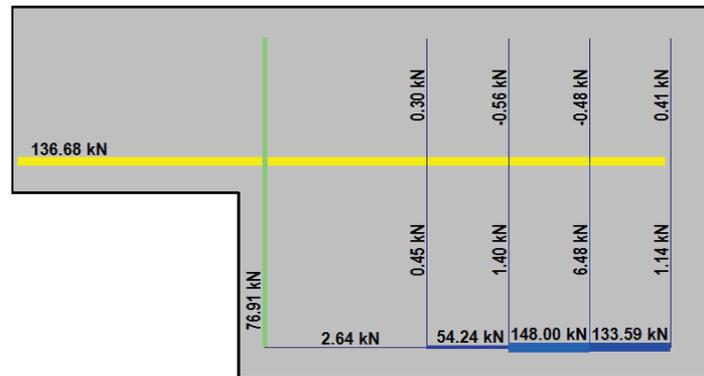
ENSAYO: 001A1

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

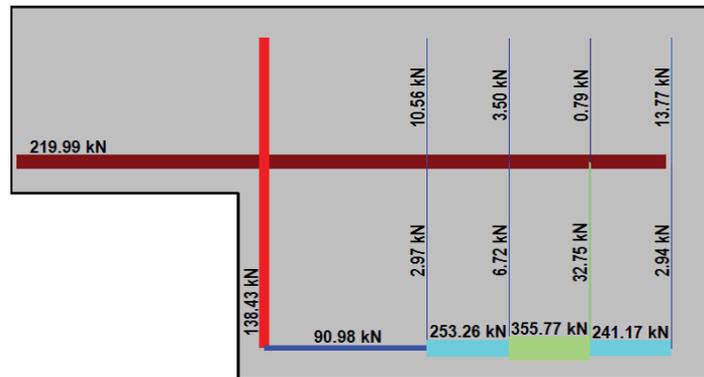
V (kN): 48,39
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,16



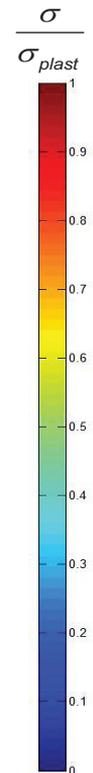
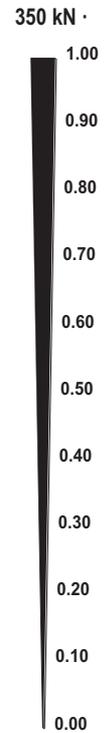
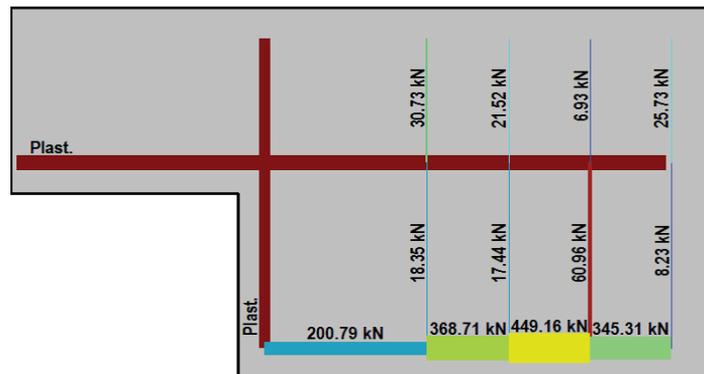
V (kN): 96,78
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,83



V (kN): 145,17
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 1,60



V (kN): 193,56
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): -



   		FICHA: 1.7
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A1_B1.1_C0_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón
		ENSAYO: 001A1

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

FISURACIÓN DEL APOYO AL 92% DE LA CARGA ÚLTIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA



DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN TRAS LA ROTURA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico con control de carga por velocidad de fuerza. El apoyo detallado en la presente ficha está ligeramente más dañado que el apoyo contrario, pero puede considerarse que el colapso se produce de manera simultánea en ambos apoyos.
- INCIDENCIAS: Se produce un desconchamiento superficial sobre el neopreno del apoyo, pero no afecta a la resistencia del elemento.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°, para al encontrarse con el tirante vertical verticalizarse ligeramente hasta los 60° respecto a la horizontal y acabar finalmente arqueándose hasta horizontalizarse situándose paralela a la armadura superior.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º/ horizontal - 2º/ vertical, pero prácticamente a la misma carga
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte de la esquina, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se descarga completamente la pieza tras alcanzar su resistencia máxima, por lo que no puede analizarse este comportamiento.

A.2 Ensayo 001 (ρ 3/HA30_A1_B1.1_C0_S1) – Apoyo 2

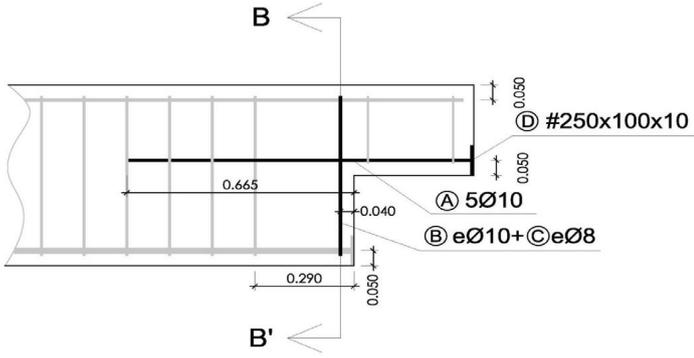
		UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		GOBIERNO DE ESPAÑA		MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	FICHA: 2.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 001A2	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B1.1_C0_S1			AUTOR: Jaime Mata Falcón				

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p3/HA30_A1_B1.1_C0_S1 Fecha horm.: 16/06/2010 Fecha ensayo: 15/07/2010 Edad (días): 29 Secc. apoyo (mm): 250x300 Secc. viga (mm): 250x600 Tipo ensayo: Simétrico V última (kN): 193,56 V (w=0,4 mm) (kN): 69,93 36% Tipo rotura: Acero / B-A	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 49%</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">TIR. HORIZ. -A-</th> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">TIR. VERTICAL -B-</th> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">TIR. INCLIN. -C-</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Armado: 5ϕ10</td> <td style="text-align: center;">Armado: 2ϕ10+2ϕ8</td> <td style="text-align: center;">Armado: -</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 3,93</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 2,58</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 0,00</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(A_y/A_{max})_{pi}: 100%</td> <td style="text-align: center;">(B_y/B_{max})_{pi}: 100%</td> <td style="text-align: center;">(C_y/C_{max})_{pi}: 0%</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">Rec. mecán. (mm): 40</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="border-bottom: 1px dashed black;"> Variante 1: - Variante 2: - </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">f_c (Mpa)</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">f_{ct} (Mpa)</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">Vol. Fibras</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">41,1</td> <td style="text-align: center;">3,15</td> <td style="text-align: center;">0,00%</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">$f_{1,R}$ (Mpa)</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">$f_{3,R}$ (Mpa)</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td></td> </tr> </table>	NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 49%			TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	Armado: 5 ϕ 10	Armado: 2 ϕ 10+2 ϕ 8	Armado: -	Cuantía (cm ²): 3,93	Cuantía (cm ²): 2,58	Cuantía (cm ²): 0,00	(A_y/A_{max}) _{pi} : 100%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%	Rec. mecán. (mm): 40			Variante 1: - Variante 2: -			f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	41,1	3,15	0,00%	$f_{1,R}$ (Mpa)	$f_{3,R}$ (Mpa)		-	-	
NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 49%																																		
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-																																
Armado: 5 ϕ 10	Armado: 2 ϕ 10+2 ϕ 8	Armado: -																																
Cuantía (cm ²): 3,93	Cuantía (cm ²): 2,58	Cuantía (cm ²): 0,00																																
(A_y/A_{max}) _{pi} : 100%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%																																
Rec. mecán. (mm): 40																																		
Variante 1: - Variante 2: -																																		
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras																																
41,1	3,15	0,00%																																
$f_{1,R}$ (Mpa)	$f_{3,R}$ (Mpa)																																	
-	-																																	

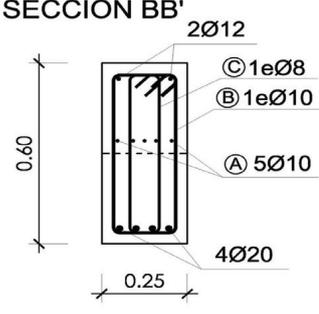
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

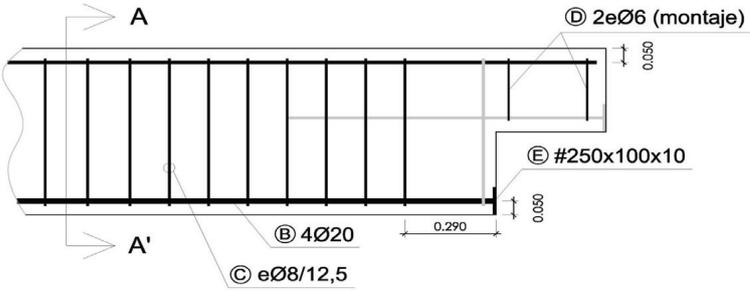


- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

SECCIÓN BB'

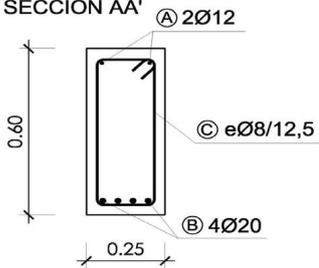


B2.- ARMADO DE LA VIGA



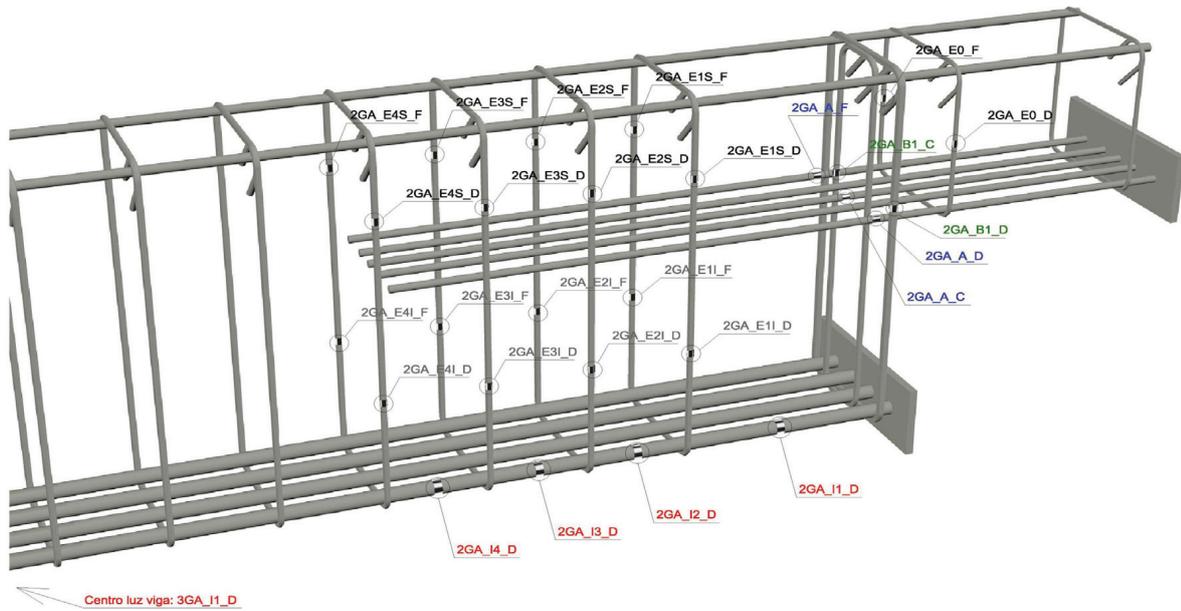
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

SECCIÓN AA'

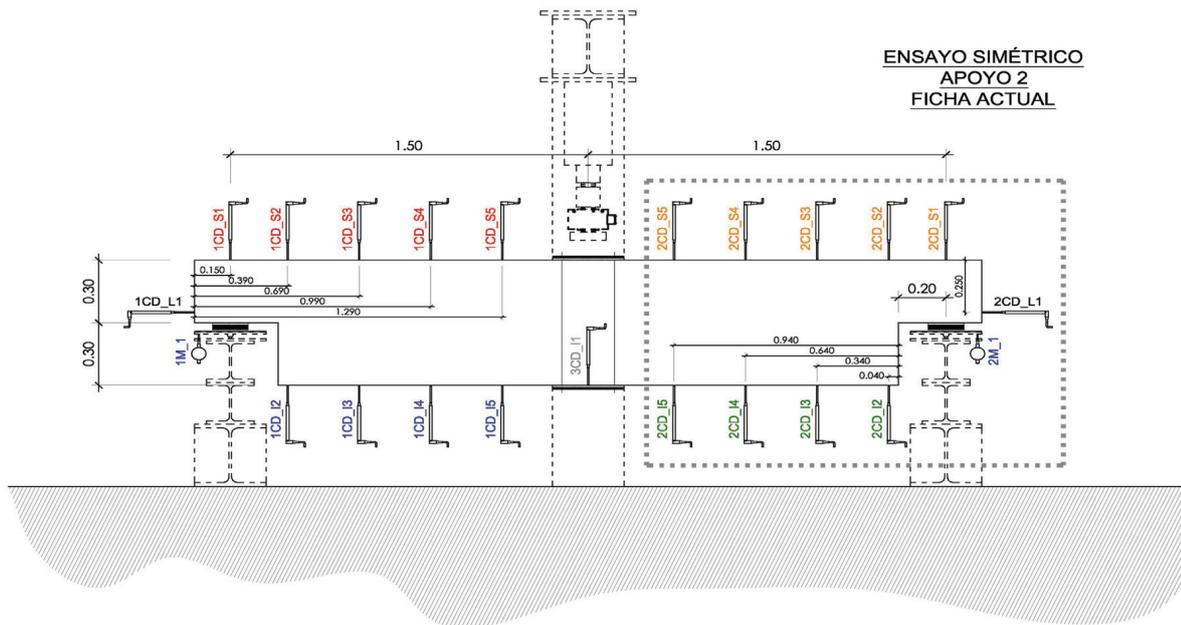


C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



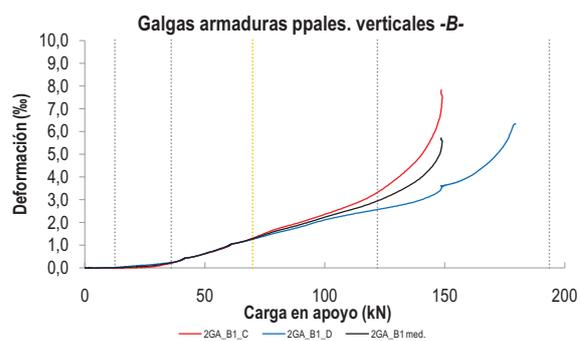
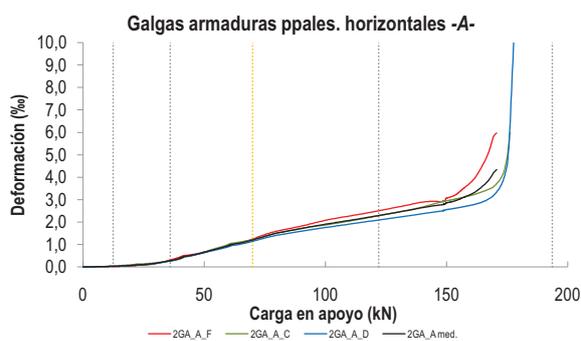
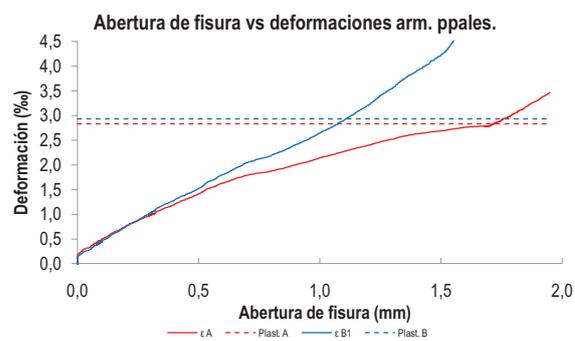
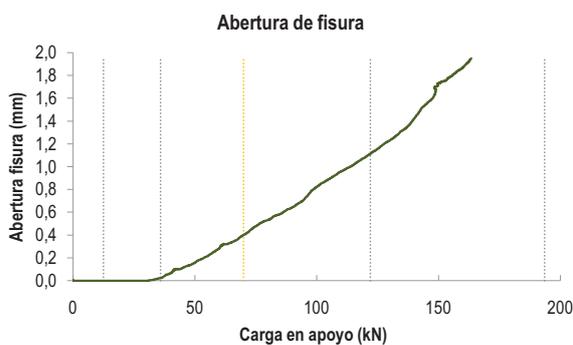
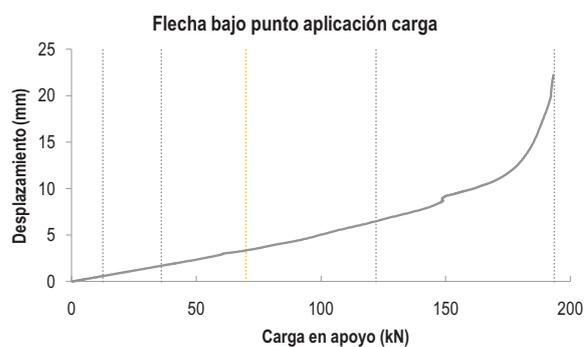
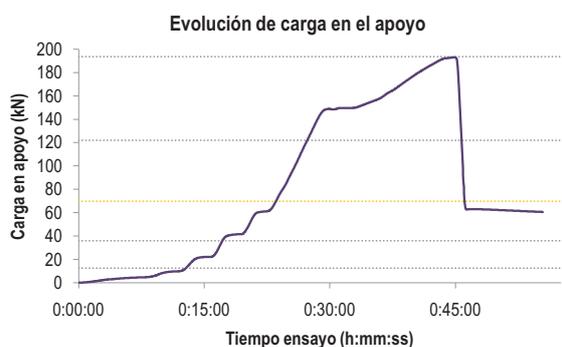
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 2.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 001A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B1.1_C0_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

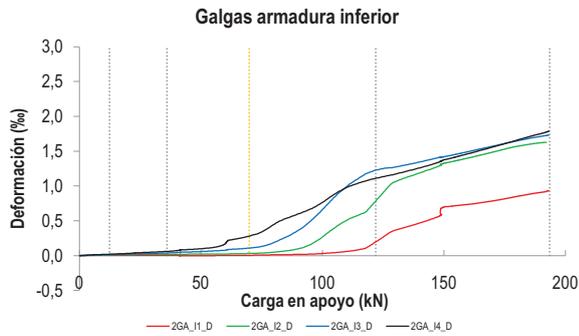
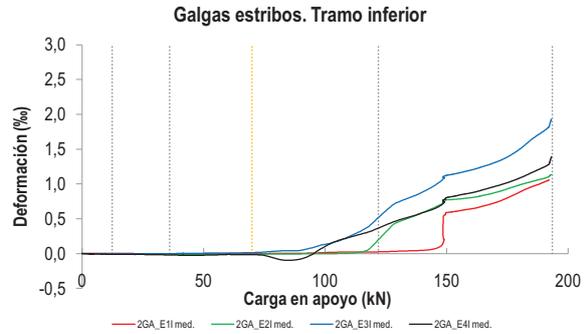
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO:	001A2
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A1_B1.1_C0_S1	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 2.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 001A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B1.1_C0_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
9,68	5%	0,00	0,46	0,02	0,01	-	-	-
19,36	10%	0,00	0,91	0,06	0,04	-	-	-
29,03	15%	0,00	1,37	0,15	0,11	-	-	-
38,71	20%	0,05	1,83	0,35	0,30	-	-	-
48,39	25%	0,14	2,28	0,61	0,58	-	-	-
58,07	30%	0,26	2,79	0,89	0,90	-	-	-
67,75	35%	0,37	3,26	1,14	1,21	-	-	-
77,42	40%	0,51	3,73	1,44	1,55	-	-	-
87,10	45%	0,61	4,23	1,65	1,83	-	-	-
96,78	50%	0,76	4,80	1,84	2,13	-	-	-
106,46	55%	0,91	5,49	2,01	2,43	-	-	-
116,14	60%	1,03	6,10	2,18	2,73	-	-	-
125,82	65%	1,17	6,75	2,36	3,12	-	-	-
135,49	70%	1,32	7,40	2,55	3,64	-	-	-
145,17	75%	1,56	8,25	2,74	4,62	-	-	-
154,85	80%	1,79	9,53	3,00	-	-	-	-
164,53	85%	1,92	10,30	3,56	-	-	-	-
174,21	90%	-	11,56	-	-	-	-	-
183,88	95%	-	14,51	-	-	-	-	-
193,56	100%	-	20,21	-	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	12,46	6,4%	0,00	0,59	0,03	0,01	-	-	-
Punto de cambio de rigidez	36,00	18,6%	0,02	1,70	0,28	0,23	-	-	-
Abertura de fisura 0,20 mm	53,68	27,7%	0,20	2,55	0,76	0,75	-	-	-
Abertura de fisura 0,40 mm	69,93	36,1%	0,40	3,35	1,19	1,28	-	-	-
Abertura de fisura 0,60 mm	85,92	44,4%	0,60	4,17	1,62	1,79	-	-	-
Abertura de fisura 0,80 mm	99,74	51,5%	0,80	5,01	1,89	2,22	-	-	-
Primera plastificación	122,01	63,0%	1,11	6,49	2,29	2,95	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



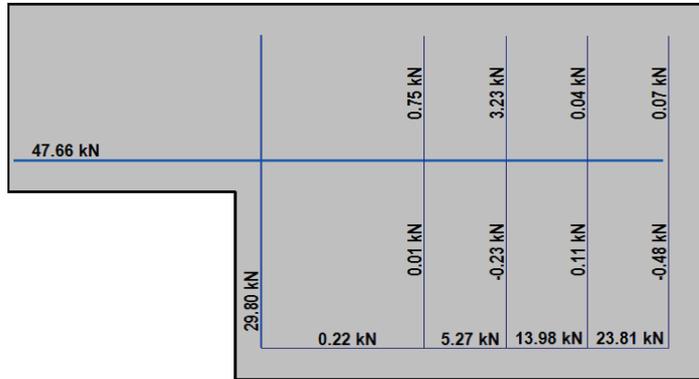
FICHA: **2.6**

PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B1.1_C0_S1
 AUTOR: Jaime Mata Falcón

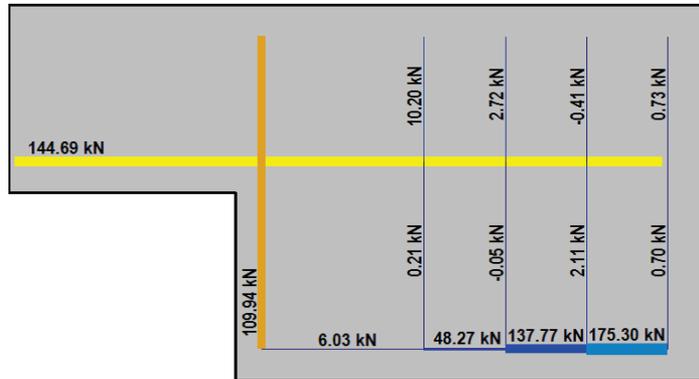
ENSAYO: **001A2**

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

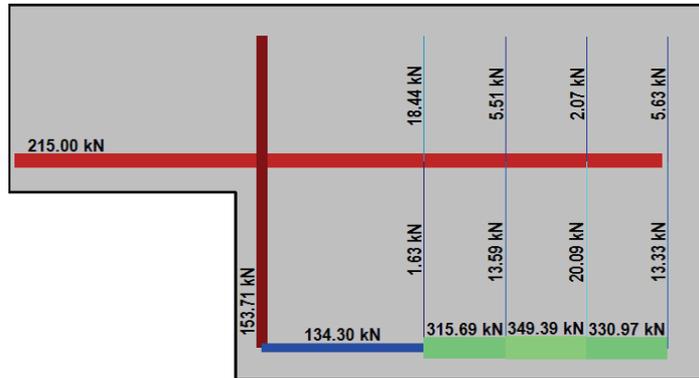
V (kN): 48,39
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,14



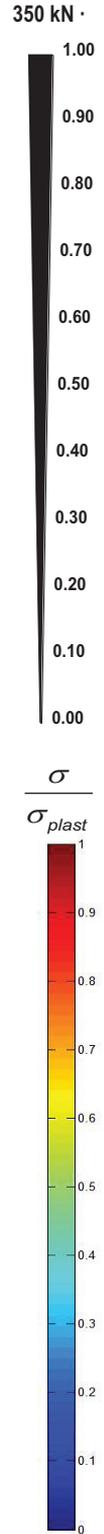
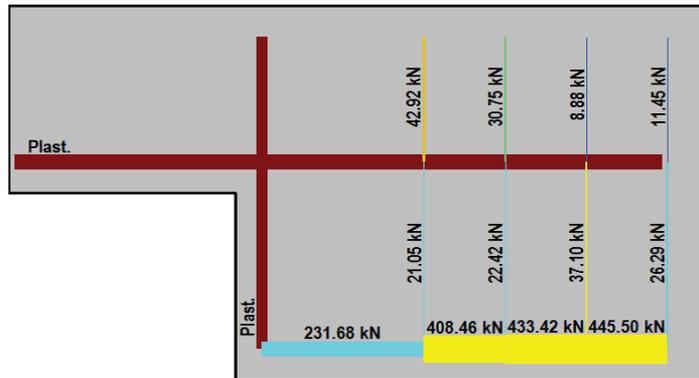
V (kN): 96,78
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,76



V (kN): 145,17
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 1,56



V (kN): 193,56
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): -



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 2.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 001A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B1.1_C0_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

FISURACIÓN DEL APOYO AL 85% DE LA CARGA ÚLTIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA



FISURACIÓN EN CARA DORSAL DE LA VIGA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico con control de carga por velocidad de fuerza. El apoyo detallado en la presente ficha está ligeramente menos dañado que el apoyo contrario, pero puede considerarse que el colapso se produce de manera simultánea en ambos apoyos.

- INCIDENCIAS: --

- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:

- La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
- La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°, para al encontrarse con las armaduras volverse bastante horizontal y acabar finalmente buscando la parte superior del primer estribo de cortante de la viga.

- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales, primeramente el vertical y algo después el horizontal.

- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte de la esquina, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón. El apoyo contrario está más dañado; dado el mal estado de este apoyo no tiene sentido realizar un ensayo de recarga.

- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se descarga completamente la pieza tras alcanzar su resistencia máxima, por lo que no puede analizarse este comportamiento.

A.3 Ensayo 003 (p3/HA30_A3_B1.1_C0_S1) – Apoyo 1

				FICHA: 3.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 003A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B1.1_C0_S1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p3/HA30_A3_B1.1_C0_S1
 Fecha horm.: 16/06/2010
 Fecha ensayo: 19/07/2010
 Edad (días): 33

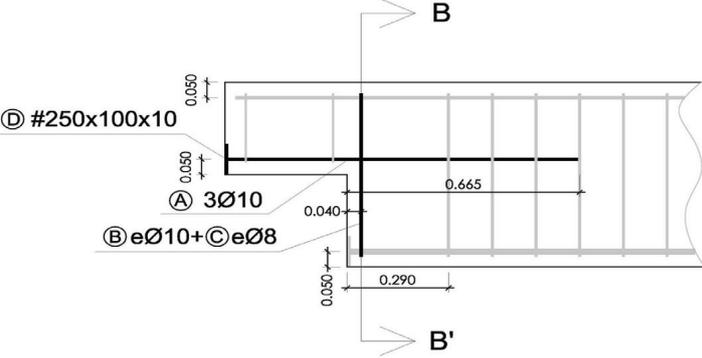
NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 49%			
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	
Armado: 3 ϕ 10	Armado: 2 ϕ 10+2 ϕ 8	Armado: -	
Cuantía (cm ²): 2,36	Cuantía (cm ²): 2,58	Cuantía (cm ²): 0,00	
(A_y/A_{max}) _{pi} : 60%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%	
Rec. mecán. (mm): 40			

Variante 1: - Variante 2: -			

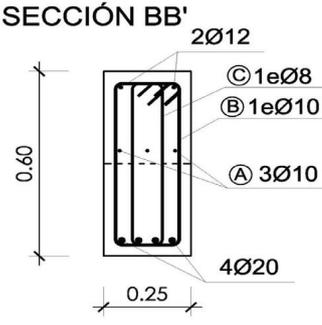
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)
39,3	2,56	0,00%	- -

B.- ESQUEMAS DE ARMADO

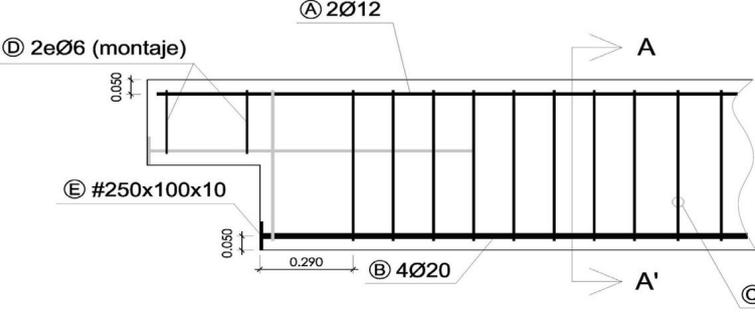
B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



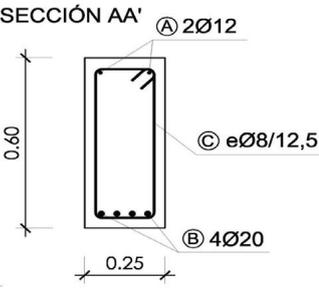
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros



B2.- ARMADO DE LA VIGA

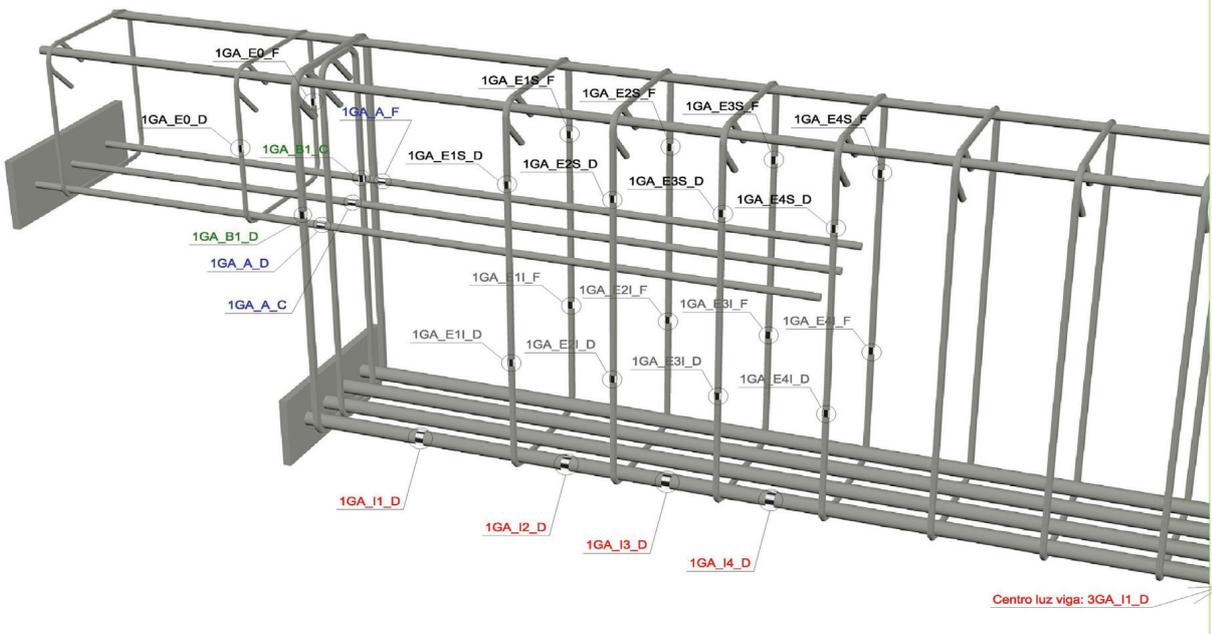


- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

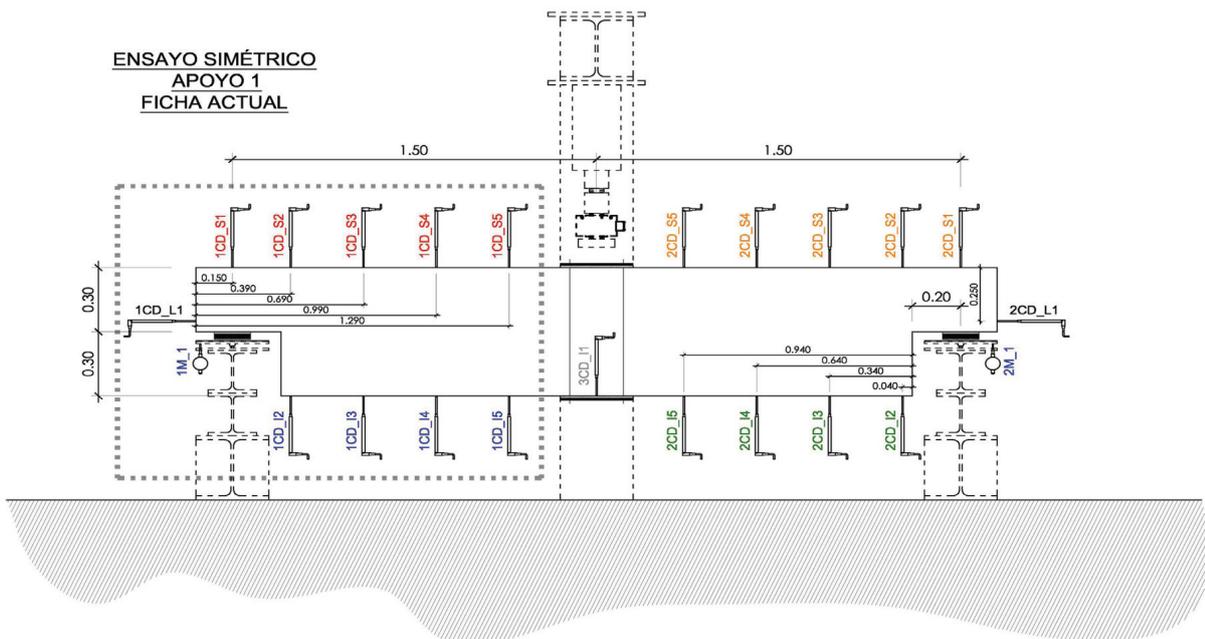


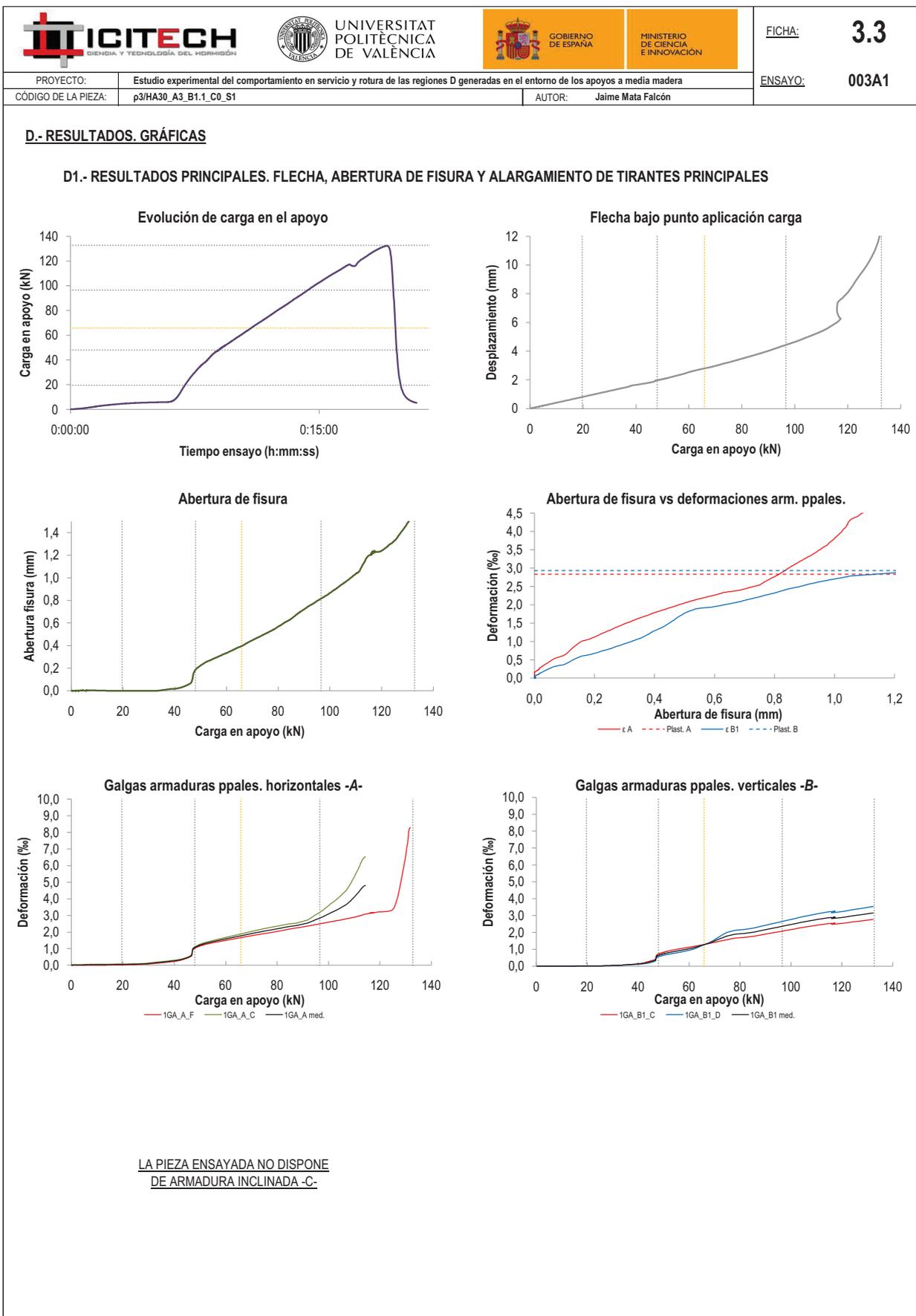
C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



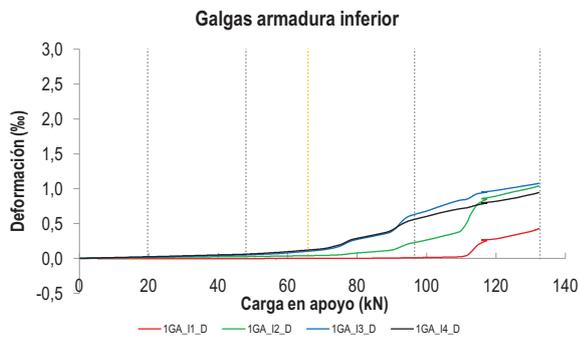
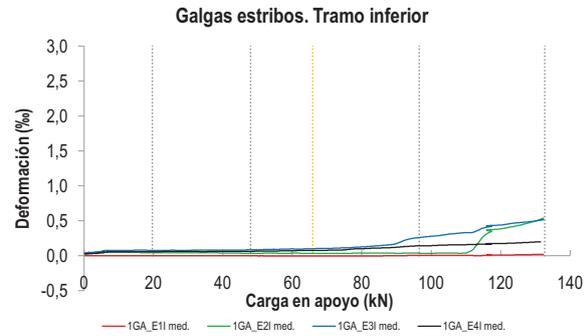
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA





PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO:	003A1
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A3_B1.1_C0_S1	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 3.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 003A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B1.1_C0_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
6,64	5%	0,00	0,27	0,03	0,00	-	-	-
13,27	10%	0,00	0,54	0,04	0,00	-	-	-
19,91	15%	0,00	0,81	0,05	0,01	-	-	-
26,54	20%	0,00	1,08	0,07	0,02	-	-	-
33,18	25%	0,00	1,36	0,16	0,06	-	-	-
39,81	30%	0,02	1,64	0,27	0,13	-	-	-
46,45	35%	0,09	1,89	0,72	0,43	-	-	-
53,08	40%	0,26	2,18	1,35	0,83	-	-	-
59,72	45%	0,33	2,52	1,58	1,02	-	-	-
66,35	50%	0,40	2,81	1,79	1,29	-	-	-
72,99	55%	0,48	3,12	2,00	1,67	-	-	-
79,62	60%	0,56	3,46	2,19	1,91	-	-	-
86,26	65%	0,66	3,80	2,37	2,04	-	-	-
92,90	70%	0,76	4,20	2,61	2,25	-	-	-
99,53	75%	0,86	4,61	3,06	2,45	-	-	-
106,17	80%	0,97	5,08	3,60	2,65	-	-	-
112,80	85%	1,12	5,65	4,53	2,82	-	-	-
119,44	90%	1,24	7,70	-	2,88	-	-	-
126,07	95%	1,37	9,72	-	3,02	-	-	-
132,71	100%	1,53	11,67	-	3,13	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	19,65	14,8%	0,00	0,80	0,05	0,01	-	-	-
Punto de cambio de rigidez	48,00	36,2%	0,18	1,96	1,05	0,63	-	-	-
Abertura de fisura 0,20 mm	48,87	36,8%	0,20	2,00	1,14	0,69	-	-	-
Abertura de fisura 0,40 mm	65,90	49,7%	0,40	2,80	1,78	1,27	-	-	-
Abertura de fisura 0,60 mm	82,14	61,9%	0,60	3,58	2,26	1,95	-	-	-
Abertura de fisura 0,80 mm	95,38	71,9%	0,80	4,36	2,77	2,32	-	-	-
Primera plastificación	96,59	72,8%	0,82	4,43	2,84	2,36	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

FICHA:

3.6

PROYECTO:

Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera

ENSAYO:

003A1

CÓDIGO DE LA PIEZA:

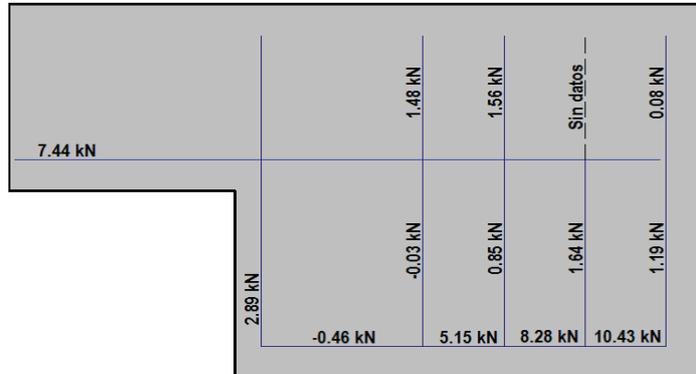
p3/HA30_A3_B1.1_C0_S1

AUTOR:

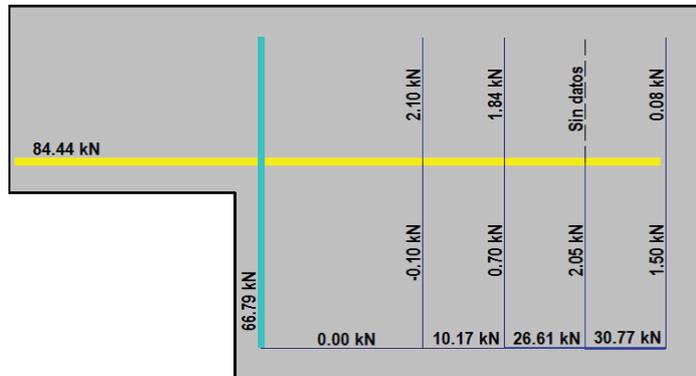
Jaime Mata Falcón

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

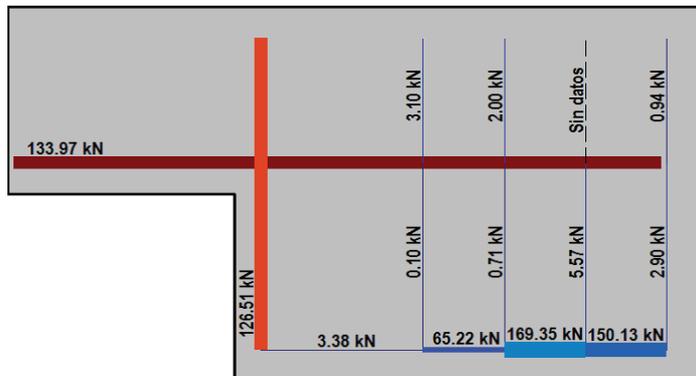
V (kN): 33,18
 $V/V_{\text{última}}$: 25%
 w (mm): 0,00



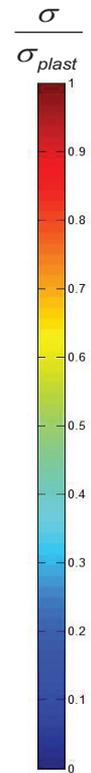
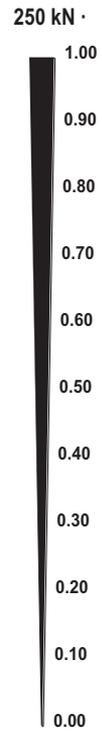
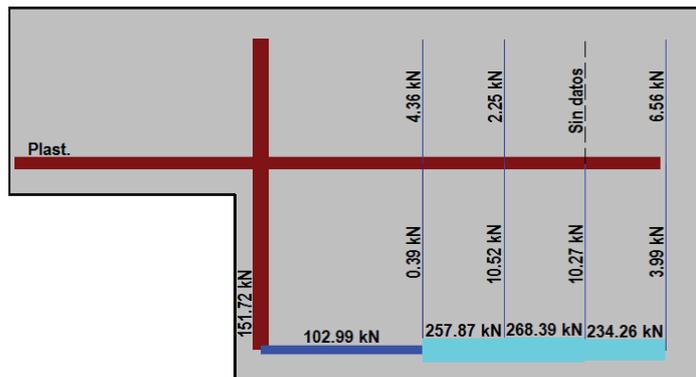
V (kN): 66,35
 $V/V_{\text{última}}$: 50%
 w (mm): 0,40



V (kN): 99,53
 $V/V_{\text{última}}$: 75%
 w (mm): 0,86



V (kN): 132,71
 $V/V_{\text{última}}$: 100%
 w (mm): 1,53



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 3.7
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 003A1	
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A3_B1.1_C0_S1	AUTOR:		Jaime Mata Falcón		

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

FISURACIÓN DEL APOYO SOMETIDO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS FALLO DE APOYO CONTRARIO



VISTA GENERAL TRAS EL ENSAYO DE RECARGA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico con control de carga por velocidad de fuerza. La rotura se produce por el apoyo contrario al detallado en la presente ficha.

- INCIDENCIAS: --

- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:

- Aparece una única fisura de relevancia, que parte desde la esquina con una inclinación ligeramente vertical a los 45°.

- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican ambas armaduras; lo hace bastante antes la armadura horizontal, puesto que es la que es insuficiente respecto al diseño equilibrado. Pese a encontrarse plastificadas las armaduras, el aspecto de la pieza tras la rotura del apoyo contrario no es muy malo, por lo que se realiza un ensayo de recarga para determinar su carga máxima.

A.4 Ensayo 003 (p3/HA30_A3_B1.1_C0_S1) – Apoyo 2

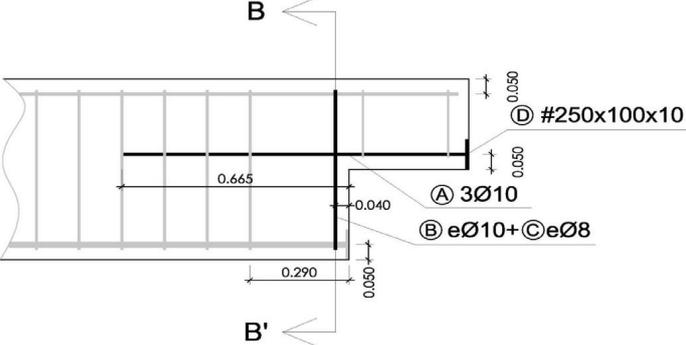
				FICHA: 4.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 003A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B1.1_C0_S1			AUTOR: Jaime Mata Falcón	

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

<p>Codificación: p3/HA30_A3_B1.1_C0_S1 Fecha hom.: 16/06/2010 Fecha ensayo: 19/07/2010 Edad (días): 33</p> <p>Secc. apoyo (mm): 250x300 Secc. viga (mm): 250x600 Tipo ensayo: Simétrico</p> <p>V última (kN): 132,71 V (w=0,4 mm) (kN): 53,52 40% Tipo rotura: Acero / A-B</p>	<p style="text-align: center;">NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 49%</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">TIR. HORIZ. -A-</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">TIR. VERTICAL -B-</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">TIR. INCLIN. -C-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Armado: 3ϕ10</td> <td style="text-align: center;">Armado: 2ϕ10+2ϕ8</td> <td style="text-align: center;">Armado: -</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 2,36</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 2,58</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 0,00</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(A_y/A_{max})_{pi}: 60%</td> <td style="text-align: center;">(B_y/B_{max})_{pi}: 100%</td> <td style="text-align: center;">(C_y/C_{max})_{pi}: 0%</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Rec. mecán. (mm): 40</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">-----</p> <p style="text-align: center;">Variante 1: - Variante 2: -</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; text-align: center;">f_c (Mpa)</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">f_{ct} (Mpa)</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">Vol. Fibras</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">39,3</td> <td style="text-align: center;">2,56</td> <td style="text-align: center;">0,00%</td> <td style="text-align: center;">- -</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">-----</p>	TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	Armado: 3 ϕ 10	Armado: 2 ϕ 10+2 ϕ 8	Armado: -	Cuantía (cm ²): 2,36	Cuantía (cm ²): 2,58	Cuantía (cm ²): 0,00	(A_y/A_{max}) _{pi} : 60%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%	Rec. mecán. (mm): 40			f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)	39,3	2,56	0,00%	- -
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-																						
Armado: 3 ϕ 10	Armado: 2 ϕ 10+2 ϕ 8	Armado: -																						
Cuantía (cm ²): 2,36	Cuantía (cm ²): 2,58	Cuantía (cm ²): 0,00																						
(A_y/A_{max}) _{pi} : 60%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%																						
Rec. mecán. (mm): 40																								
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)																					
39,3	2,56	0,00%	- -																					

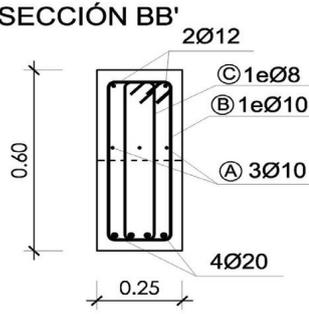
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

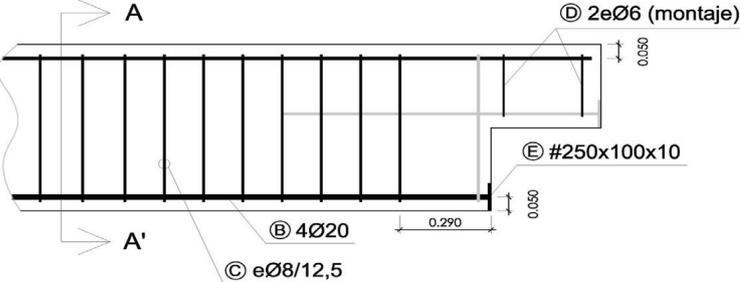


- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

SECCIÓN BB'

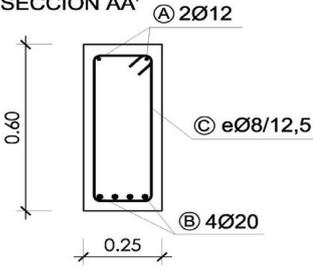


B2.- ARMADO DE LA VIGA



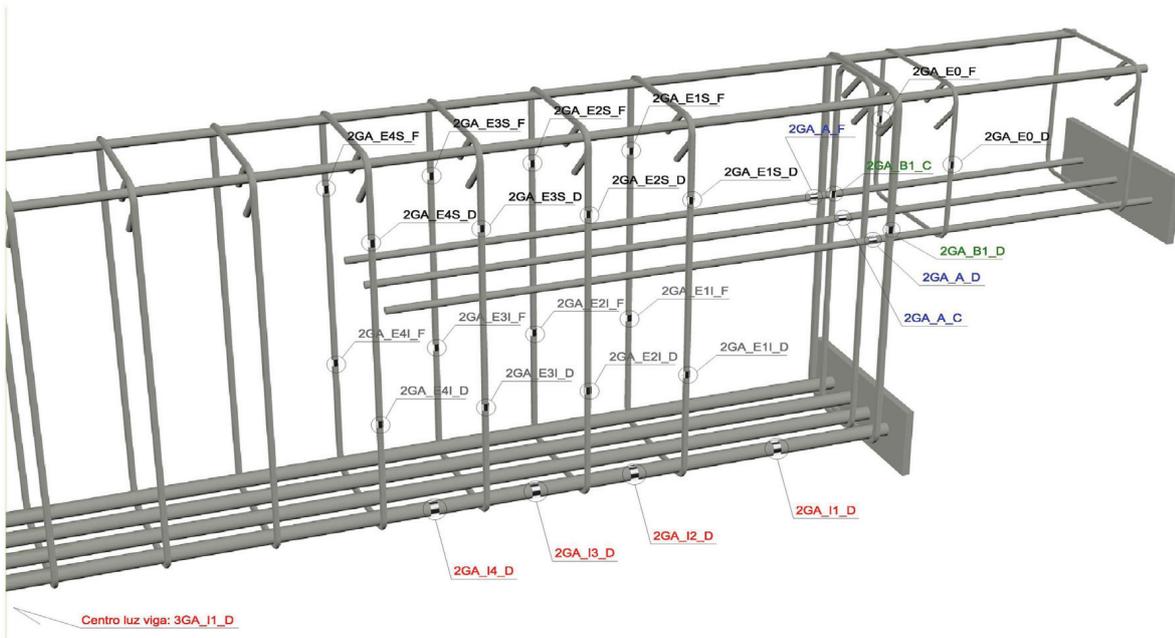
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

SECCIÓN AA'

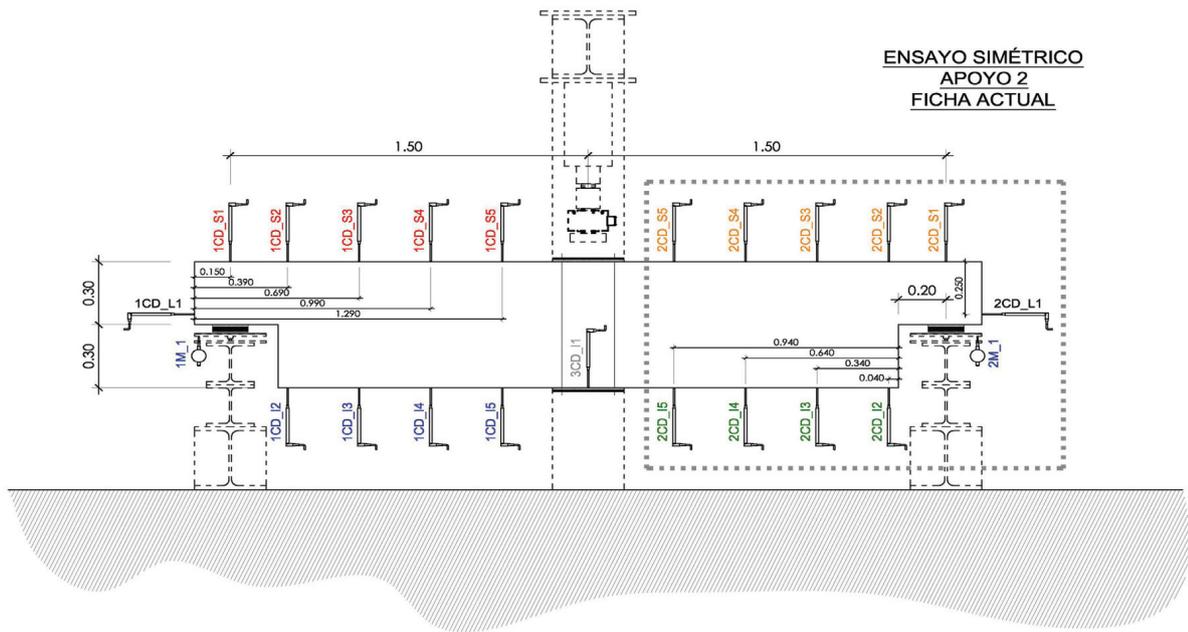


C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



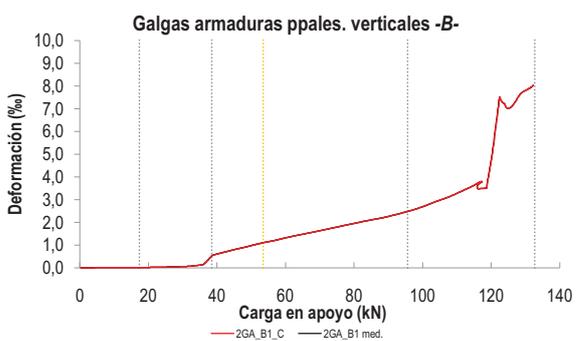
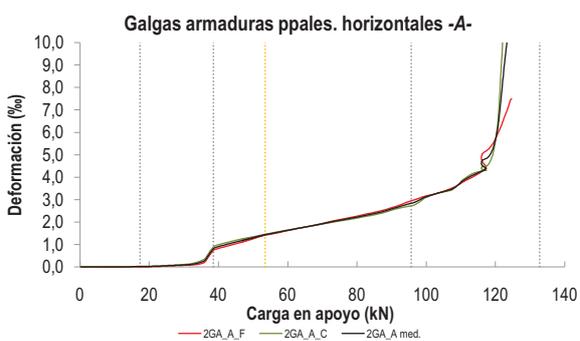
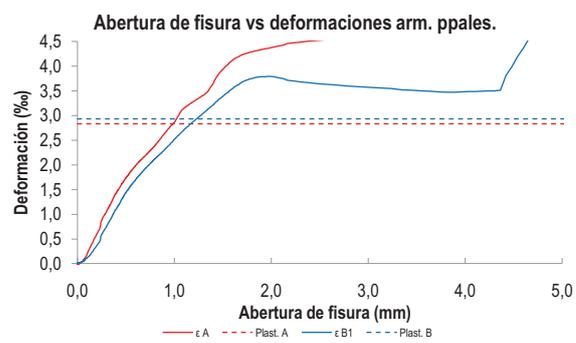
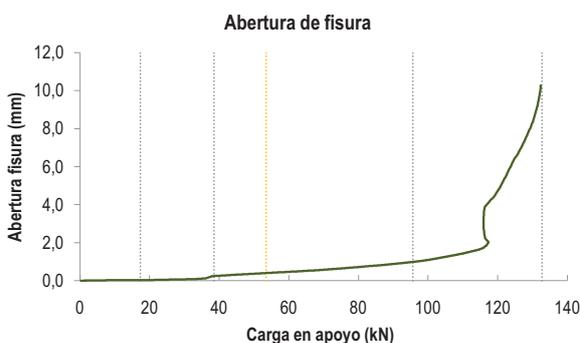
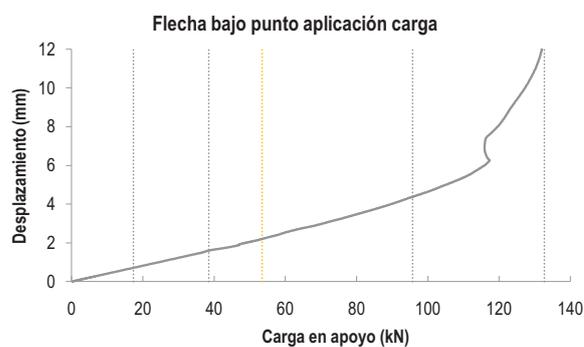
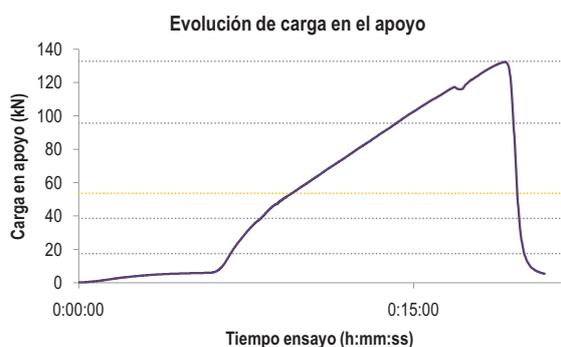
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 4.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO: 003A2	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B1.1_C0_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

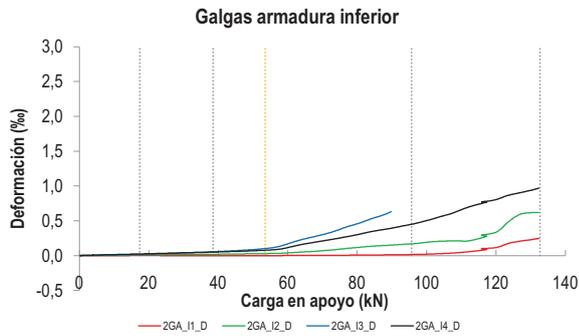
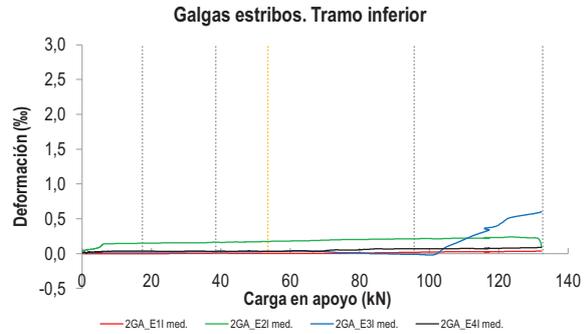
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO:	003A2
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A3_B1.1_C0_S1	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 4.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 003A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B1.1_C0_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
6,64	5%	0,02	0,27	0,00	0,02	-	-	-
13,27	10%	0,02	0,54	0,00	0,02	-	-	-
19,91	15%	0,03	0,81	0,02	0,03	-	-	-
26,54	20%	0,06	1,08	0,06	0,04	-	-	-
33,18	25%	0,09	1,36	0,14	0,09	-	-	-
39,81	30%	0,26	1,64	0,90	0,60	-	-	-
46,45	35%	0,33	1,89	1,18	0,87	-	-	-
53,08	40%	0,40	2,18	1,42	1,09	-	-	-
59,72	45%	0,46	2,52	1,62	1,31	-	-	-
66,35	50%	0,53	2,81	1,81	1,52	-	-	-
72,99	55%	0,61	3,12	2,02	1,73	-	-	-
79,62	60%	0,71	3,46	2,21	1,95	-	-	-
86,26	65%	0,81	3,80	2,42	2,15	-	-	-
92,90	70%	0,93	4,20	2,71	2,37	-	-	-
99,53	75%	1,08	4,61	3,09	2,67	-	-	-
106,17	80%	1,29	5,08	3,41	3,04	-	-	-
112,80	85%	1,55	5,65	4,03	3,47	-	-	-
119,44	90%	4,14	7,70	5,57	4,57	-	-	-
126,07	95%	6,84	9,72	11,26	7,24	-	-	-
132,71	100%	9,26	11,67	-	7,92	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	17,38	13,1%	0,03	0,71	0,01	0,02	-	-	-
Punto de cambio de rigidez	38,50	29,0%	0,24	1,60	0,78	0,51	-	-	-
Abertura de fisura 0,20 mm	37,48	28,2%	0,20	1,54	0,59	0,36	-	-	-
Abertura de fisura 0,40 mm	53,52	40,3%	0,40	2,20	1,43	1,11	-	-	-
Abertura de fisura 0,60 mm	71,77	54,1%	0,60	3,06	1,98	1,69	-	-	-
Abertura de fisura 0,80 mm	85,11	64,1%	0,80	3,74	2,38	2,11	-	-	-
Primera plastificación	95,67	72,1%	0,99	4,37	2,84	2,49	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



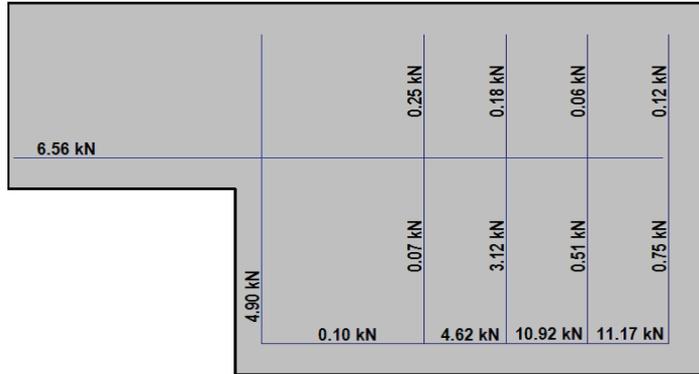
FICHA: **4.6**

PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B1.1_C0_S1
 AUTOR: Jaime Mata Falcón

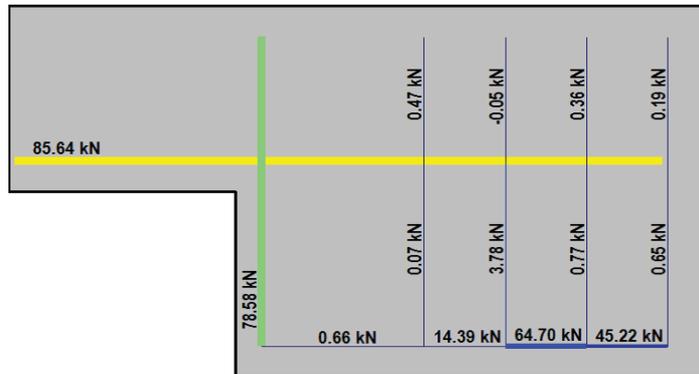
ENSAYO: **003A2**

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

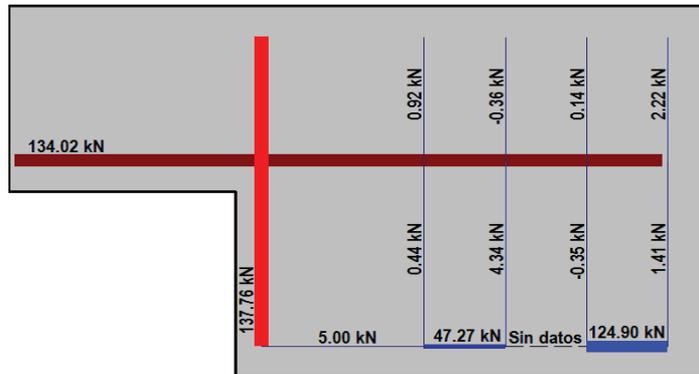
V (kN): 33,18
 V/V_{última}: **25%**
 w (mm): 0,09



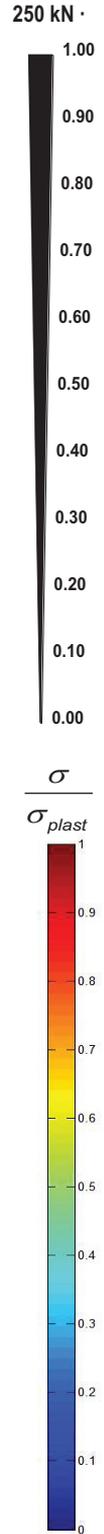
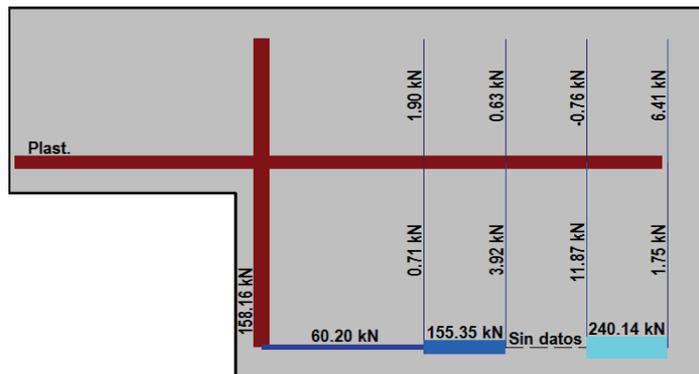
V (kN): 66,35
 V/V_{última}: **50%**
 w (mm): 0,53



V (kN): 99,53
 V/V_{última}: **75%**
 w (mm): 1,08



V (kN): 132,71
 V/V_{última}: **100%**
 w (mm): 9,26



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 4.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 003A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B1.1_C0_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

FISURACIÓN DEL APOYO AL 85% DE CARGA ÚLTIMA (w=1,5 mm)



DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



PIEZA TRAS LA ROTURA (Lado dorsal)



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico con control de carga por velocidad de fuerza. El apoyo detallado en la presente ficha es el apoyo más dañado y por el que se produce el fallo de la pieza en este ensayo.

- INCIDENCIAS: --

- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:

- La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio. Arranca con una inclinación de unos 60° respecto a la horizontal y al encontrarse con las armaduras se vuelve más vertical, debido a la debilidad del tirante horizontal.
- Cerca de la rotura aparece una fisura que parte del eje del apoyo y que se vuelve horizontal al llegar a la armadura superior.

- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican los dos tirantes principales, primeramente el horizontal, puesto que es el que tiene déficit respecto al diseño equilibrado, pero poco después lo hace también el vertical.

- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del apoyo provoca el levantamiento del recubrimiento de hormigón.

- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se descarga completamente la pieza tras alcanzar su resistencia máxima, por lo que no puede analizarse este comportamiento.

A.5 Ensayo 006 (p3/HA30_A1_B4_C0_S1) – Apoyo 1

	 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>	 <p>GOBIERNO DE ESPAÑA</p>	 <p>MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN</p>	<p>FICHA: 5.1</p>
<p>PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera</p>				<p>ENSAYO: 006A1</p>
<p>CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B4_C0_S1</p>		<p>AUTOR: Jaime Mata Falcón</p>		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 49%

	TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-
Armado:	5 ϕ 10	2 ϕ 8	Armado: -
Cuantía (cm ²):	3,93	1,01	Cuantía (cm ²): 0,00
(A _y /A _{max}) _{pi} :	100%	(B _y /B _{max}) _{pi} : 39%	(C _y /C _{max}) _{pi} : 0%
	Rec. mecán. (mm): 40		

Variante 1: -
Variante 2: -

	f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa)	f _{3,R} (Mpa)
	39,9	2,98	0,00%	-	-

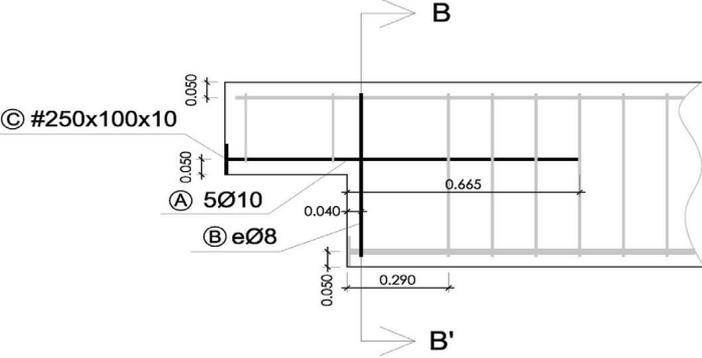
Codificación: p3/HA30_A1_B4_C0_S1
 Fecha horm.: 16/06/2010
 Fecha ensayo: 22/07/2010
 Edad (días): 36

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Simétrico

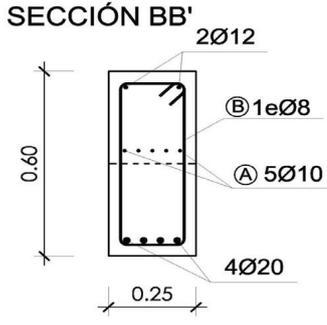
V última (kN): 121,11
 V (w=0,4 mm) (kN): 59,83 49%
 Tipo rotura: Acero / B-A

B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

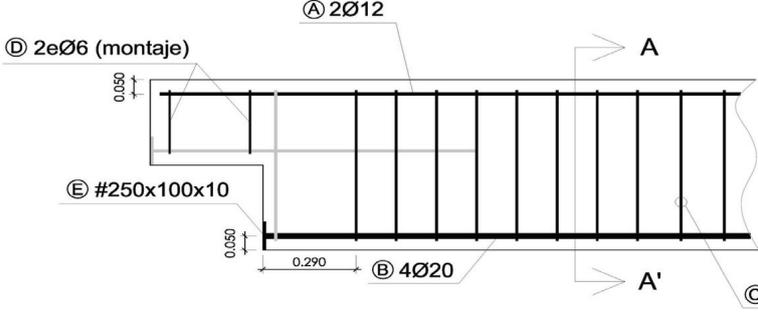


SECCIÓN BB'

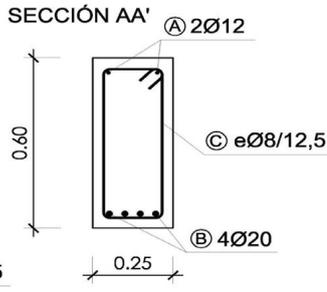


- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA



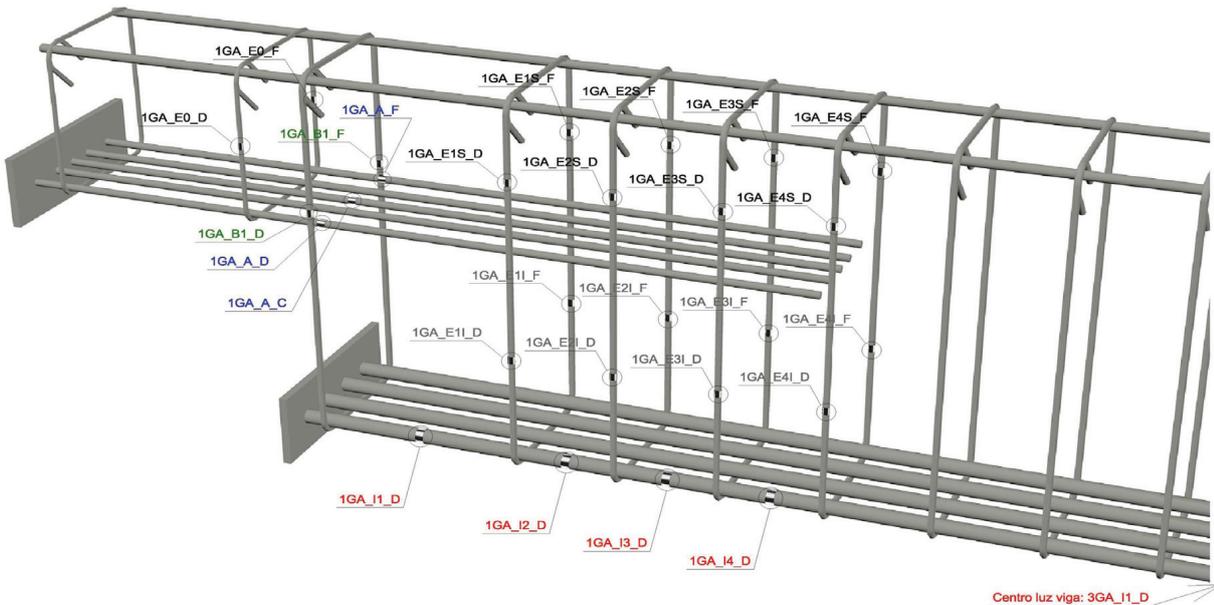
SECCIÓN AA'



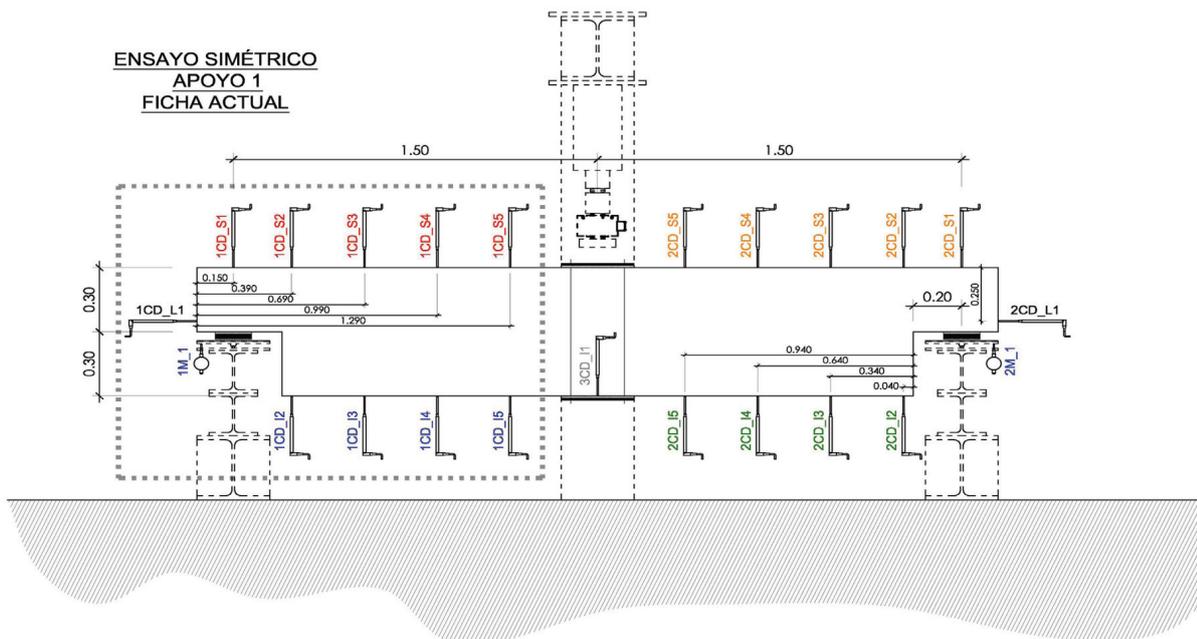
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



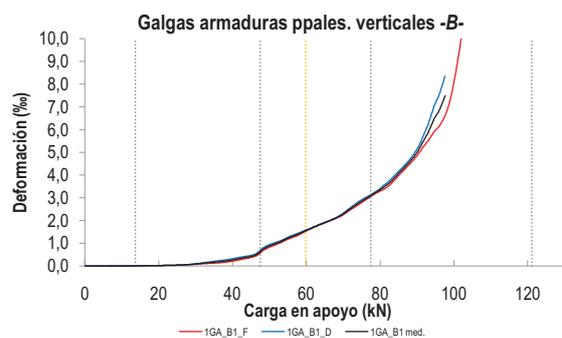
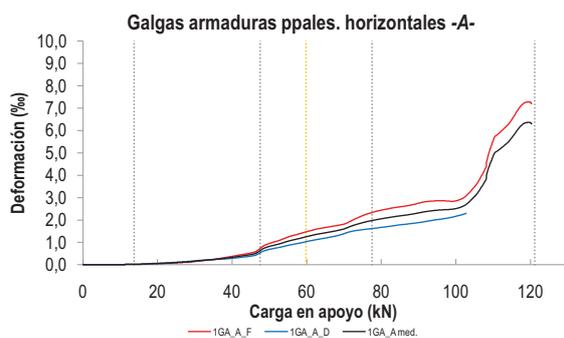
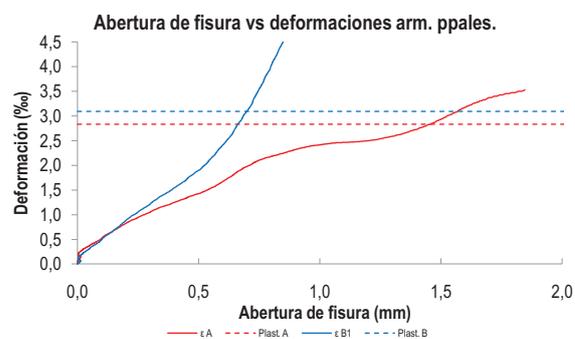
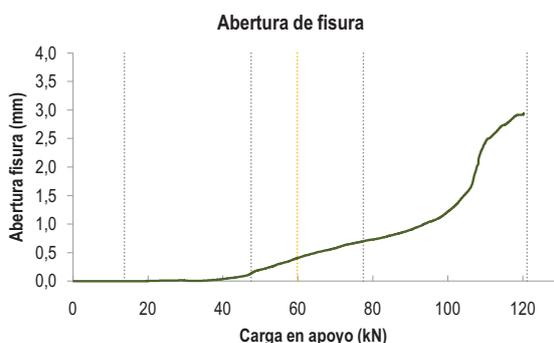
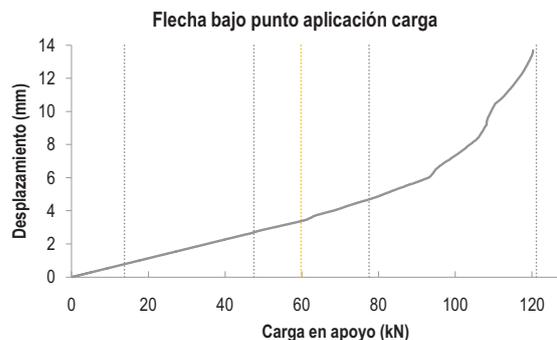
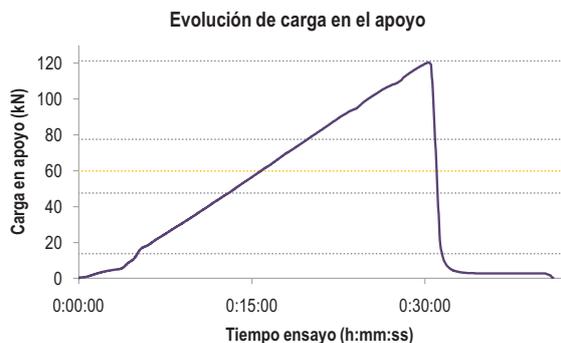
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 5.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 006A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B4_C0_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

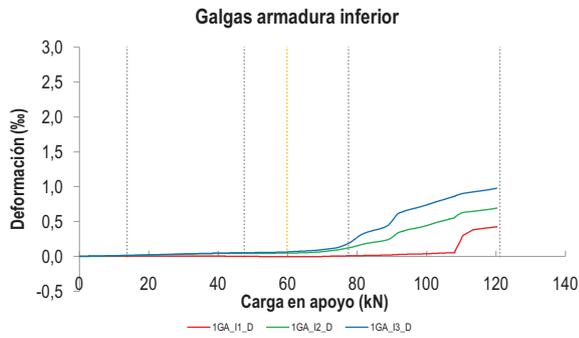
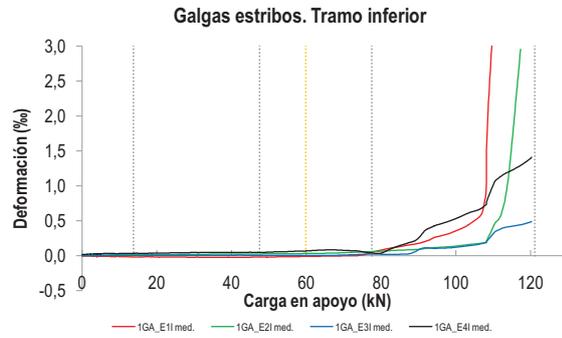
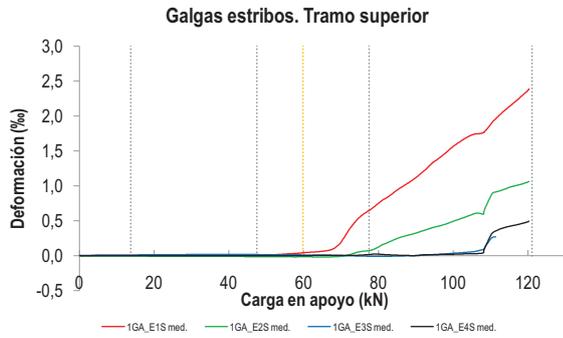
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO:	006A1
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A1_B4_C0_S1	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 5.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO: 006A1					
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B4_C0_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
6,06	5%	0,00	0,34	0,01	0,00	-	-	-
12,11	10%	0,00	0,69	0,02	0,00	-	-	-
18,17	15%	0,00	1,03	0,05	0,01	-	-	-
24,22	20%	0,00	1,37	0,09	0,03	-	-	-
30,28	25%	0,00	1,72	0,17	0,09	-	-	-
36,33	30%	0,00	2,06	0,26	0,18	-	-	-
42,39	35%	0,06	2,41	0,39	0,34	-	-	-
48,44	40%	0,16	2,76	0,72	0,74	-	-	-
54,50	45%	0,29	3,09	1,03	1,18	-	-	-
60,56	50%	0,42	3,43	1,28	1,61	-	-	-
66,61	55%	0,53	3,91	1,48	2,01	-	-	-
72,67	60%	0,63	4,35	1,77	2,59	-	-	-
78,72	65%	0,72	4,78	2,02	3,22	-	-	-
84,78	70%	0,80	5,30	2,18	4,02	-	-	-
90,83	75%	0,92	5,81	2,34	5,24	-	-	-
96,89	80%	1,09	6,85	2,46	6,99	-	-	-
102,94	85%	1,40	7,84	2,75	-	-	-	-
109,00	90%	2,18	9,59	4,21	-	-	-	-
115,06	95%	2,74	11,60	5,73	-	-	-	-
121,11	100%	2,92	13,22	6,35	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	13,73	11,3%	0,00	0,78	0,02	0,00	-	-	-
Punto de cambio de rigidez	47,50	39,2%	0,13	2,70	0,63	0,62	-	-	-
Abertura de fisura 0,20 mm	50,12	41,4%	0,20	2,87	0,83	0,89	-	-	-
Abertura de fisura 0,40 mm	59,83	49,4%	0,40	3,38	1,25	1,55	-	-	-
Abertura de fisura 0,60 mm	71,22	58,8%	0,60	4,24	1,68	2,43	-	-	-
Abertura de fisura 0,80 mm	84,03	69,4%	0,80	5,24	2,16	3,89	-	-	-
Primera plastificación	77,50	64,0%	0,70	4,69	1,98	3,10	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



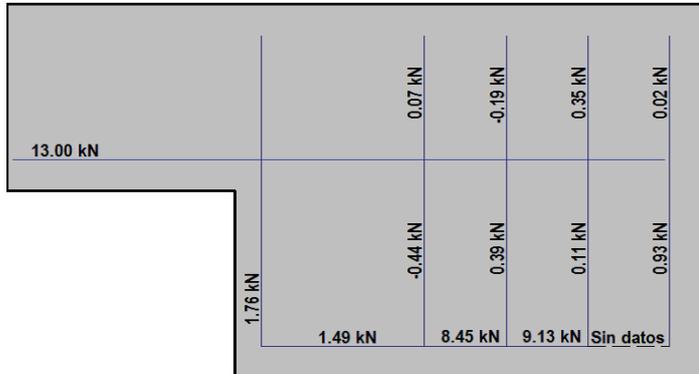
FICHA: **5.6**

PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B4_C0_S1
 AUTOR: Jaime Mata Falcón

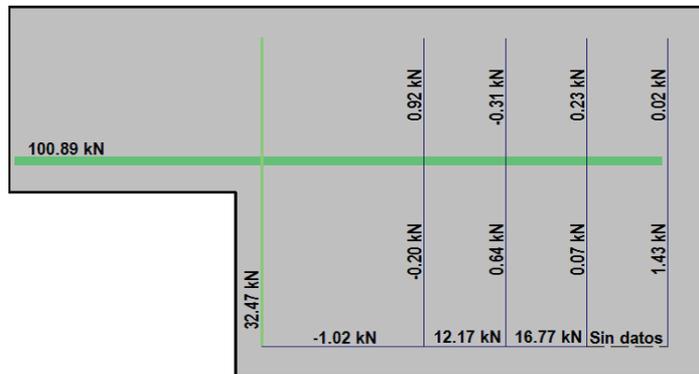
ENSAYO: **006A1**

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

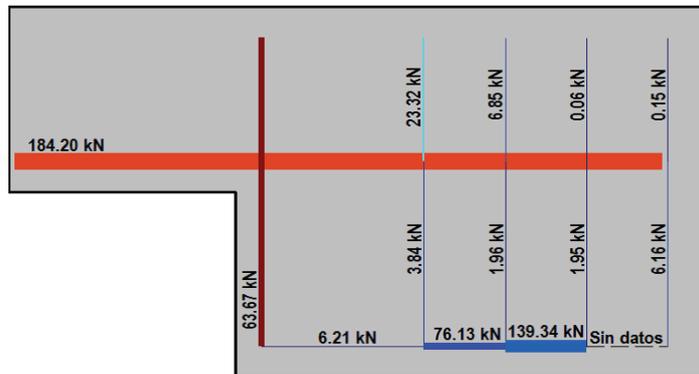
V (kN): 30,28
 V/V_{última}: **25%**
 w (mm): 0,00



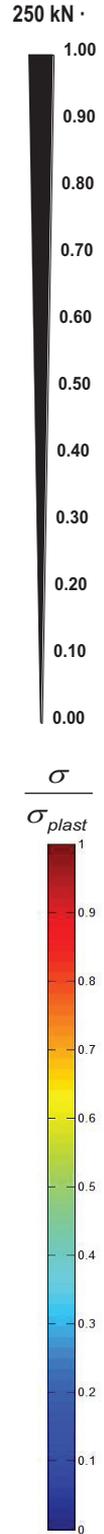
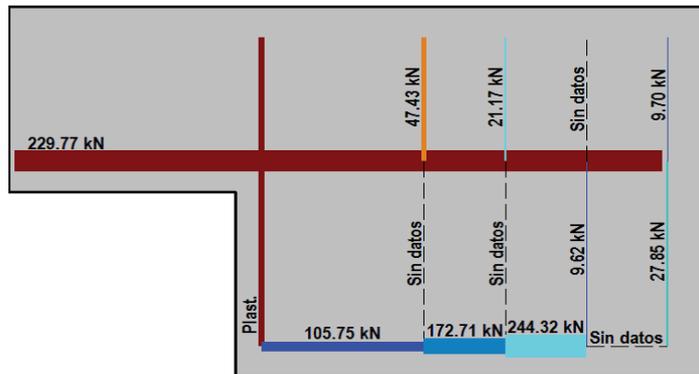
V (kN): 60,56
 V/V_{última}: **50%**
 w (mm): 0,42



V (kN): 90,83
 V/V_{última}: **75%**
 w (mm): 0,92



V (kN): 121,11
 V/V_{última}: **100%**
 w (mm): 2,92



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 5.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera					ENSAYO: 006A1	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B4_C0_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

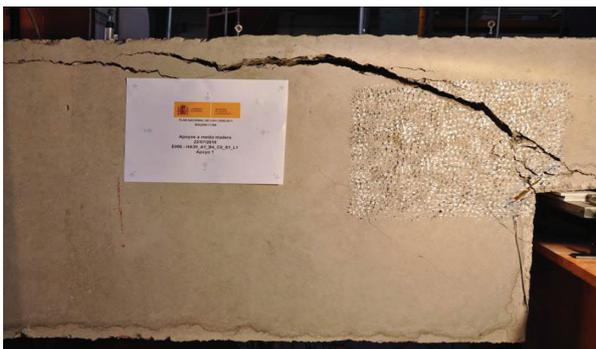
DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN TRAS LA ROTURA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA (2)



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico con control de carga por velocidad de fuerza. El apoyo detallado en la presente ficha es el apoyo más dañado y por el que se produce el fallo de la pieza en este ensayo.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio. Arranca con una inclinación de unos 45° y al encontrarse con las armaduras se vuelve más horizontal, debido a la debilidad del tirante vertical.
 - Cerca de la rotura aparece una fisura que parte del borde del neopreno y va a buscar la parte superior del primer estribo de la viga.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican los dos tirantes principales, primeramente el vertical, puesto que es el que tiene déficit respecto al diseño equilibrado. Al plastificar la armadura vertical, la biela que parte del apoyo se inclina mucho, haciendo trabajar de manera significativa a los estribos de la viga, hasta que plastifica también la armadura horizontal.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde del neopreno, se hace bastante inclinada y acaba produciendo el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se descarga completamente la pieza tras alcanzar su resistencia máxima, por lo que no puede analizarse este comportamiento.

A.6 Ensayo 006 (p3/HA30_A1_B4_C0_S1) – Apoyo 2

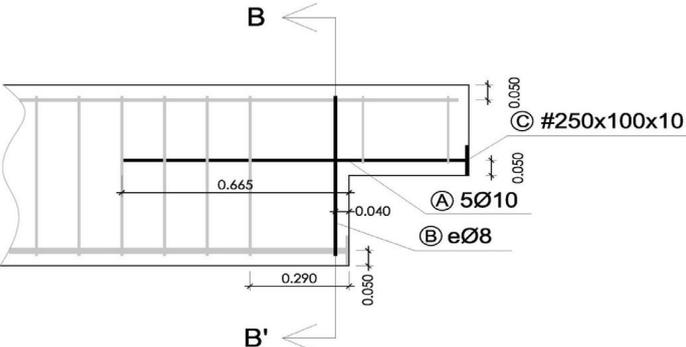
				FICHA: 6.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 006A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B4_C0_S1			AUTOR: Jaime Mata Falcón	

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p3/HA30_A1_B4_C0_S1 Fecha horm.: 16/06/2010 Fecha ensayo: 22/07/2010 Edad (días): 36 Secc. apoyo (mm): 250x300 Secc. viga (mm): 250x600 Tipo ensayo: Simétrico V última (kN): 121,11 V (w=0,4 mm) (kN): 61,96 51% Tipo rotura: Acero / B	NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 49%															
	<table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:33%; text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">TIR. HORIZ. -A-</td> <td style="width:33%; text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">TIR. VERTICAL -B-</td> <td style="width:33%; text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">TIR. INCLIN. -C-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Armado: 5ϕ10</td> <td style="text-align: center;">Armado: 2ϕ8</td> <td style="text-align: center;">Armado: -</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 3,93</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 1,01</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 0,00</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(A_y/A_{max})_{pi}: 100%</td> <td style="text-align: center;">(B_y/B_{max})_{pi}: 39%</td> <td style="text-align: center;">(C_y/C_{max})_{pi}: 0%</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; border-top: 1px dashed black;">Rec. mecán. (mm): 40</td> </tr> </table>	TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	Armado: 5 ϕ 10	Armado: 2 ϕ 8	Armado: -	Cuantía (cm ²): 3,93	Cuantía (cm ²): 1,01	Cuantía (cm ²): 0,00	(A_y/A_{max}) _{pi} : 100%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 39%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%	Rec. mecán. (mm): 40		
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-														
Armado: 5 ϕ 10	Armado: 2 ϕ 8	Armado: -														
Cuantía (cm ²): 3,93	Cuantía (cm ²): 1,01	Cuantía (cm ²): 0,00														
(A_y/A_{max}) _{pi} : 100%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 39%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%														
Rec. mecán. (mm): 40																
	Variante 1: - Variante 2: -															
	<table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:25%; text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">f_c (Mpa)</td> <td style="width:25%; text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">f_{ct} (Mpa)</td> <td style="width:25%; text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">Vol. Fibras</td> <td style="width:25%; text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">39,9</td> <td style="text-align: center;">2,98</td> <td style="text-align: center;">0,00%</td> <td style="text-align: center;">- -</td> </tr> </table>	f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)	39,9	2,98	0,00%	- -							
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)													
39,9	2,98	0,00%	- -													

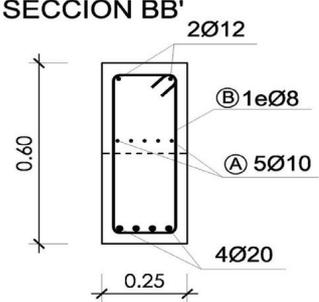
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

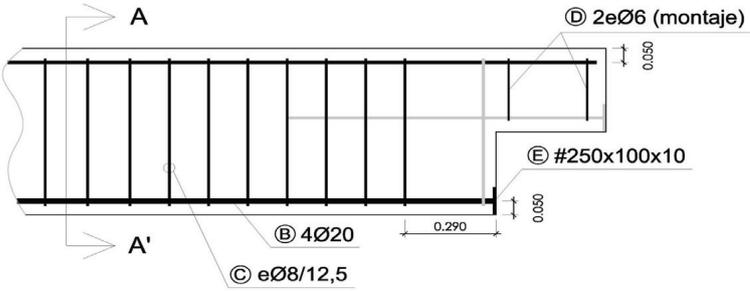


- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

SECCIÓN BB'

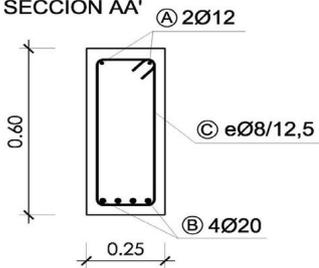


B2.- ARMADO DE LA VIGA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

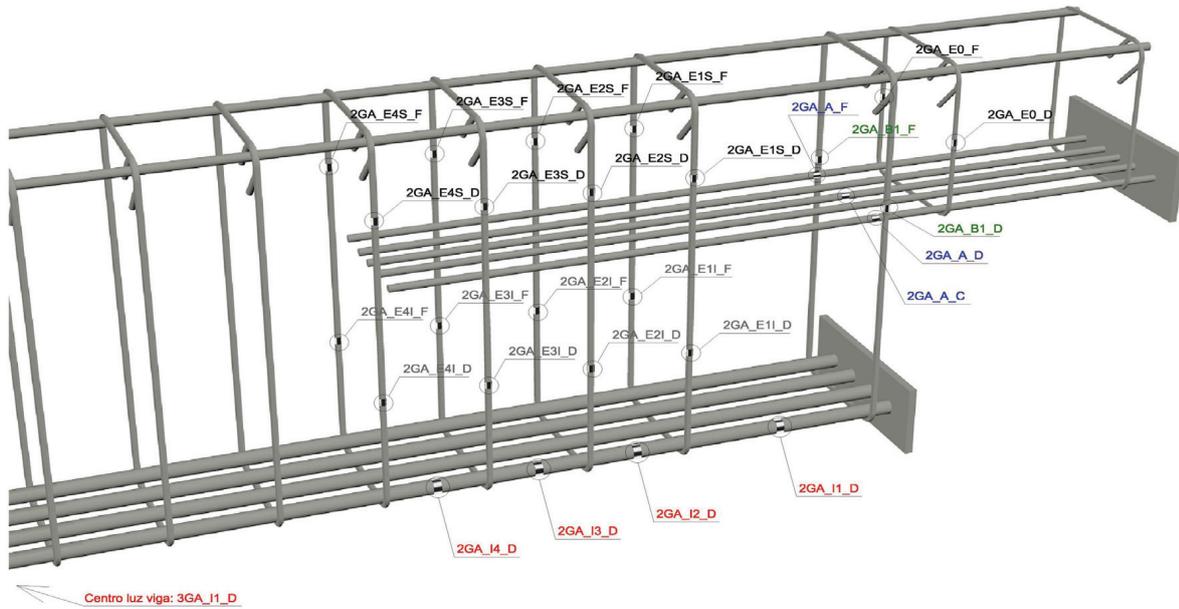
SECCIÓN AA'



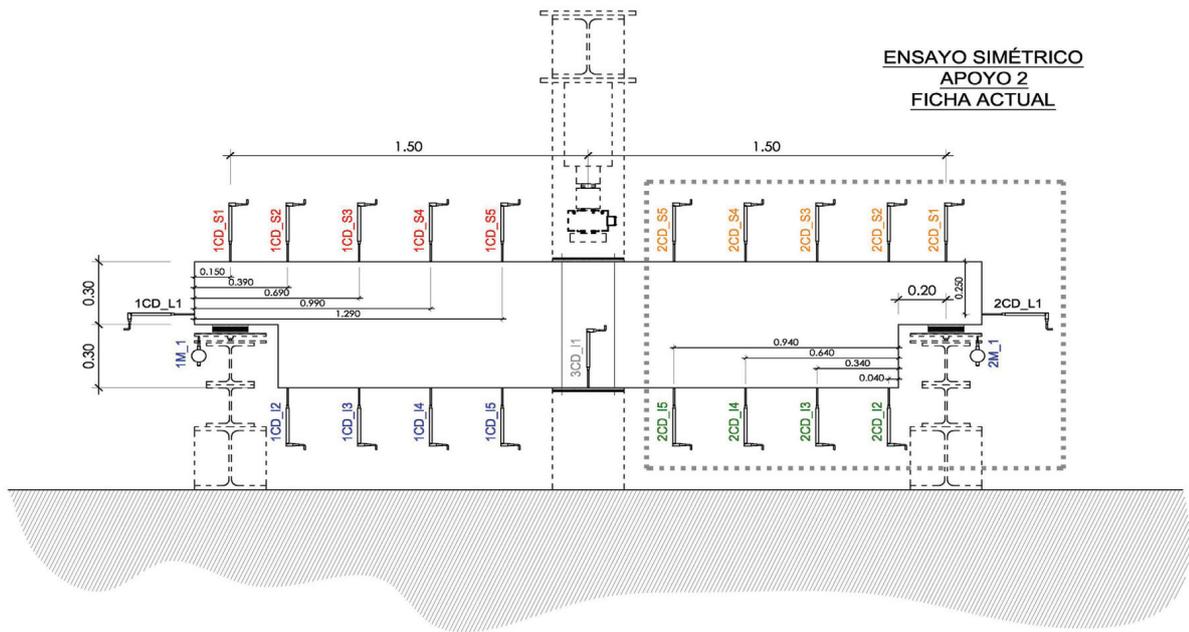
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A1_B4_C0_S1
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



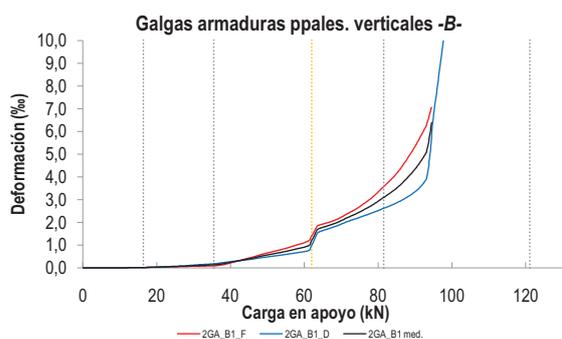
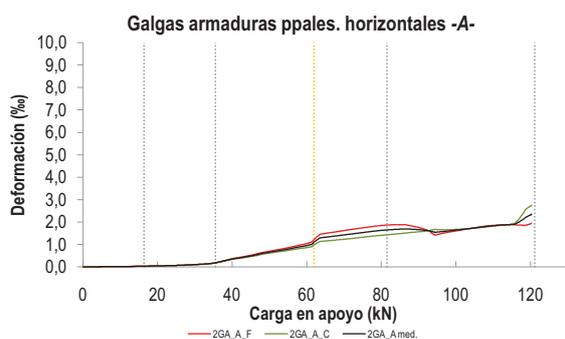
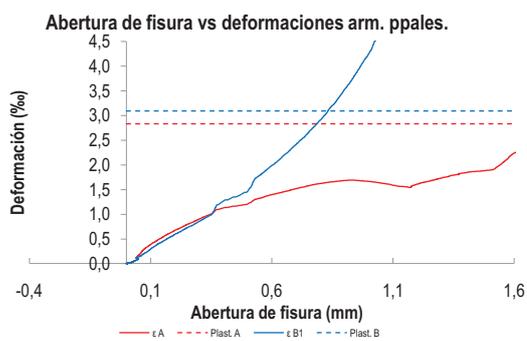
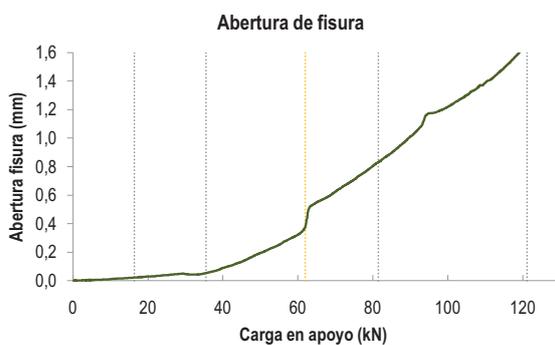
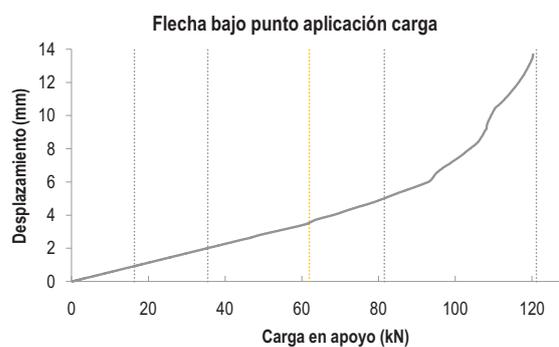
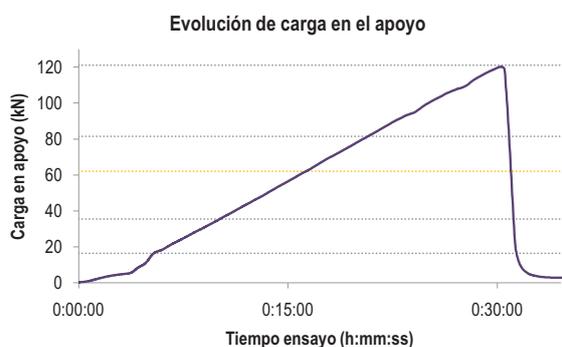
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 6.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 006A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B4_C0_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

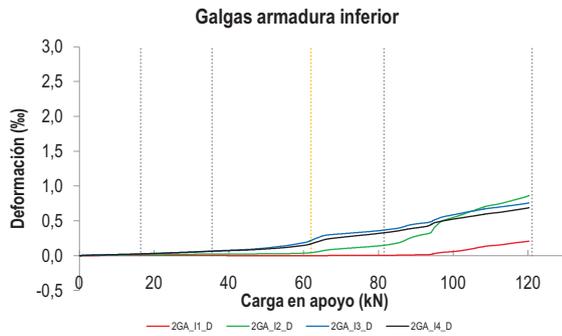
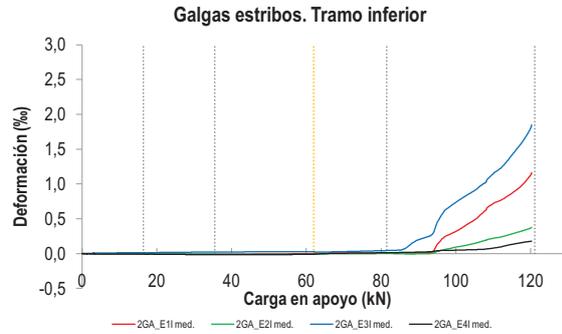
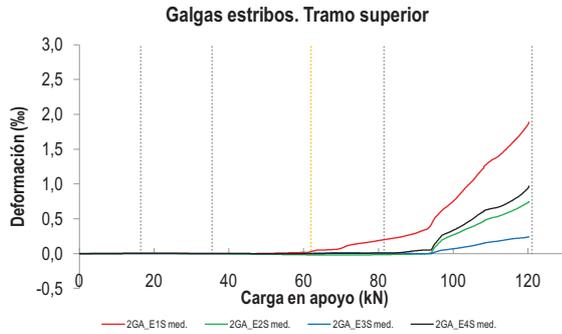
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE
DE ARMADURA INCLINADA -C-

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO:	006A2
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A1_B4_C0_S1	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 6.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 006A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B4_C0_S1					AUTOR: Jaime Mata Falcón	

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
6,06	5%	0,00	0,34	0,01	0,01	-	-	-
12,11	10%	0,00	0,69	0,02	0,01	-	-	-
18,17	15%	0,03	1,03	0,04	0,03	-	-	-
24,22	20%	0,04	1,37	0,06	0,06	-	-	-
30,28	25%	0,05	1,72	0,10	0,10	-	-	-
36,33	30%	0,06	2,06	0,21	0,15	-	-	-
42,39	35%	0,11	2,41	0,41	0,32	-	-	-
48,44	40%	0,18	2,76	0,61	0,52	-	-	-
54,50	45%	0,25	3,09	0,78	0,71	-	-	-
60,56	50%	0,34	3,43	0,98	0,96	-	-	-
66,61	55%	0,57	3,91	1,36	1,87	-	-	-
72,67	60%	0,67	4,35	1,48	2,28	-	-	-
78,72	65%	0,78	4,78	1,61	2,80	-	-	-
84,78	70%	0,89	5,30	1,68	3,47	-	-	-
90,83	75%	1,03	5,81	1,65	4,53	-	-	-
96,89	80%	1,18	6,85	1,58	-	-	-	-
102,94	85%	1,27	7,84	1,69	-	-	-	-
109,00	90%	1,37	9,59	1,81	-	-	-	-
115,06	95%	1,50	11,60	1,92	-	-	-	-
121,11	100%	1,62	13,22	2,28	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	16,39	13,5%	0,02	0,93	0,03	0,02	-	-	-
Punto de cambio de rigidez	35,50	29,3%	0,05	2,02	0,18	0,14	-	-	-
Abertura de fisura 0,20 mm	50,54	41,7%	0,20	2,89	0,67	0,59	-	-	-
Abertura de fisura 0,40 mm	61,96	51,2%	0,40	3,55	1,10	1,21	-	-	-
Abertura de fisura 0,60 mm	68,32	56,4%	0,60	4,02	1,39	1,97	-	-	-
Abertura de fisura 0,80 mm	79,83	65,9%	0,80	4,87	1,62	2,92	-	-	-
Primera plastificación	81,49	67,3%	0,83	5,01	1,65	3,10	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



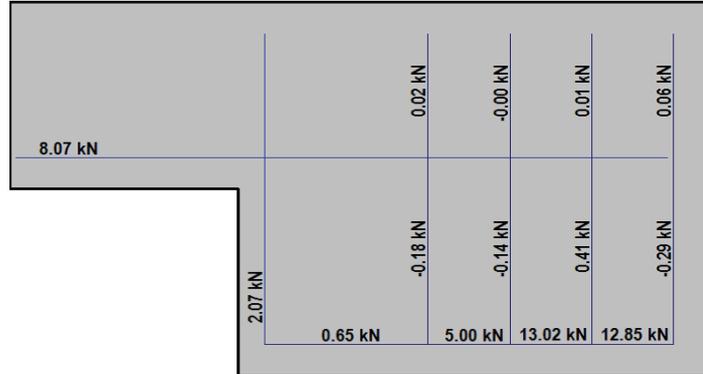
FICHA: **6.6**

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A1_B4_C0_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

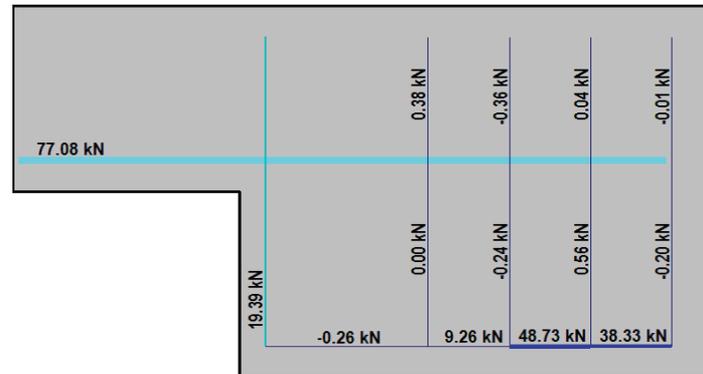
ENSAYO: **006A2**

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

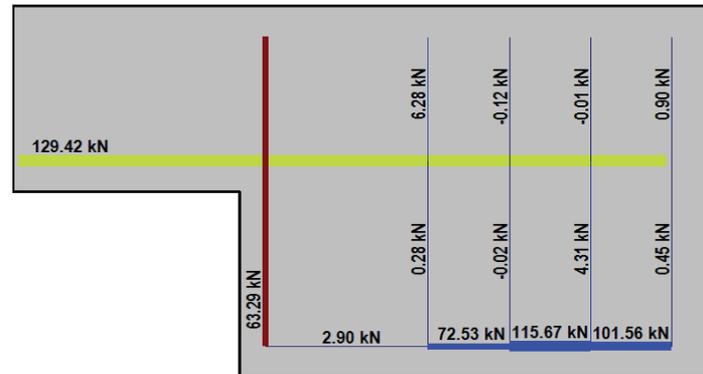
V (kN): 30,28
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,05



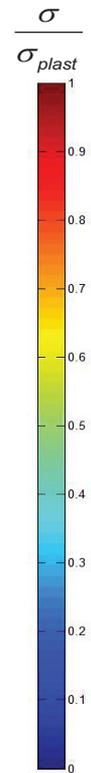
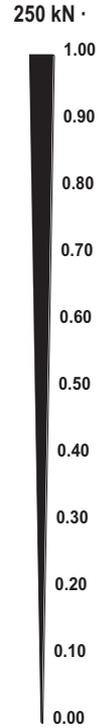
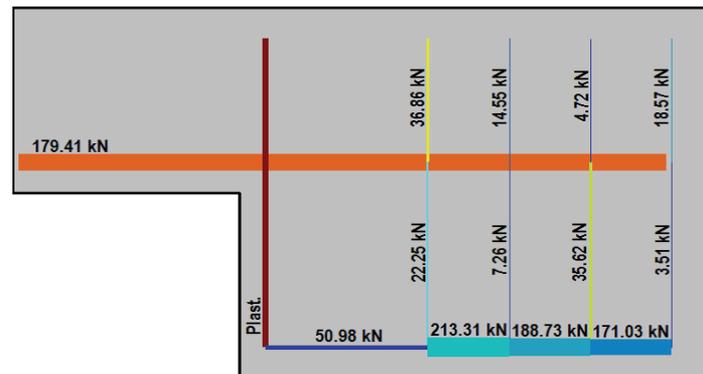
V (kN): 60,56
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,34



V (kN): 90,83
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 1,03



V (kN): 121,11
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 1,62



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 6.7
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 006A2	
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A1_B4_C0_S1	AUTOR:		Jaime Mata Falcón		

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA DEL AP. CONTRARIO



DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN TRAS LA ROTURA



VISTA GENERAL TRAS EL ENSAYO DE RECARGA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico con control de carga por velocidad de fuerza. La rotura se produce por el apoyo contrario al detallado en la presente ficha.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - Dicha fisura tiene una inclinación con la horizontal algo inferior los 45°. Al tener el tirante vertical déficit de armadura respecto al diseño equilibrado la fisura tiende a ponerse más horizontal. Ante la debilidad del tirante principal vertical la fisura se propaga hasta la cabeza del primer estribo de cortante de la viga. En el ensayo de recarga a partir de dicho cerco se produce el levantamiento de la capa superior de hormigón.
 - Cerca de la rotura aparece un poco por debajo de la esquina, en la sección de cambio de canto, una fisura paralela a la anterior.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. A diferencia del apoyo contrario en éste solo plastifica el tirante vertical; la armadura horizontal, queda cerca de plastificar, pero no lo hace. Por este motivo se realiza un ensayo de recarga para determinar la carga máxima que soporta este apoyo.

A.7 Ensayo 010 (p3/HA30_A1_B1.2_C0_S3) – Apoyo 1

				FICHA: 7.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 010A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B1.2_C0_S3		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 49%

TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-
Armado: 5 ϕ 10	Armado: 4 ϕ 8+2 ϕ 6	Armado: -
Cuantía (cm ²): 3,93	Cuantía (cm ²): 2,58	Cuantía (cm ²): 0,00
(A_y/A_{max}) _{pi} : 100%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

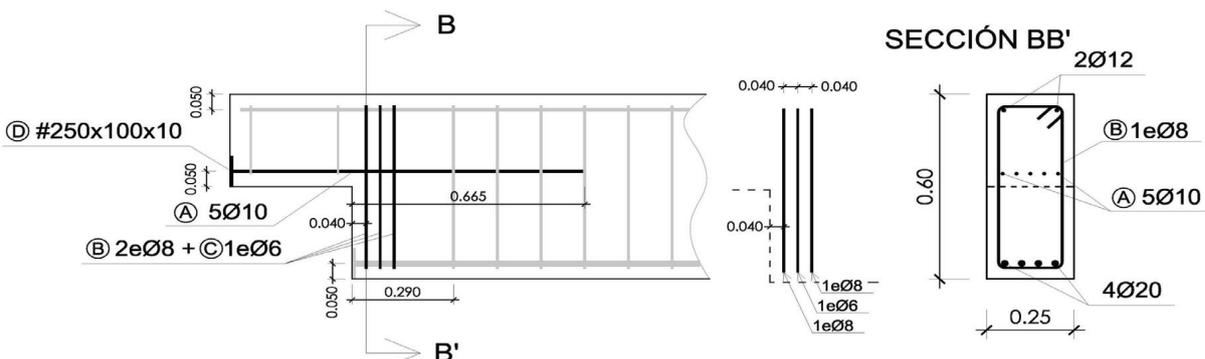
Codificación: p3/HA30_A1_B1.2_C0_S3		
Fecha horm.: 16/06/2010		
Fecha ensayo: 23/07/2010		
Edad (días): 37		

Secc. apoyo (mm): 250x300		
Secc. viga (mm): 250x600		
Tipo ensayo: Simétrico		

V última (kN): 170,43		
V (w=0,4 mm) (kN): 77,77	46%	
Tipo rotura: Acero / B2-B1-B3-A		

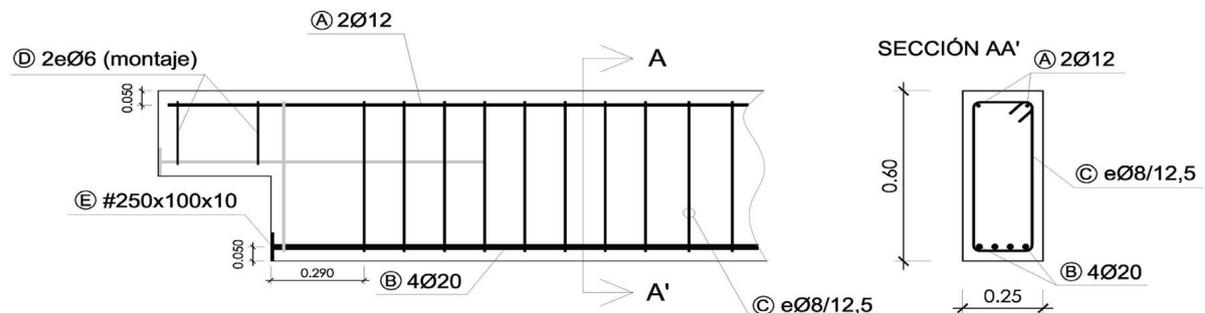
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

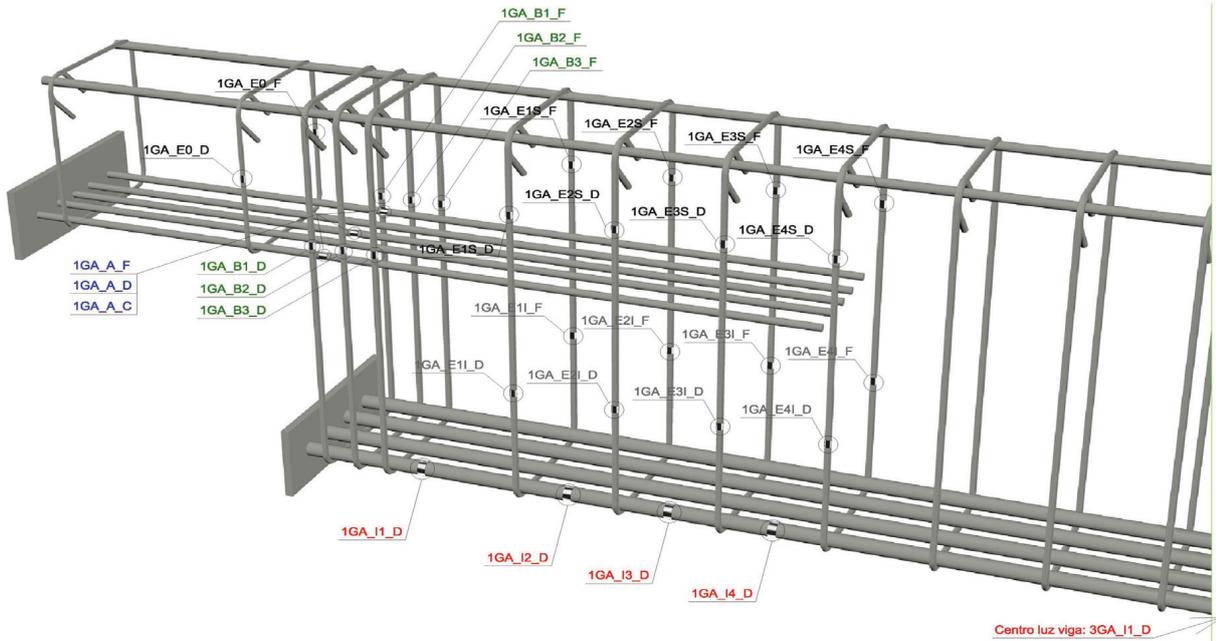
B2.- ARMADO DE LA VIGA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

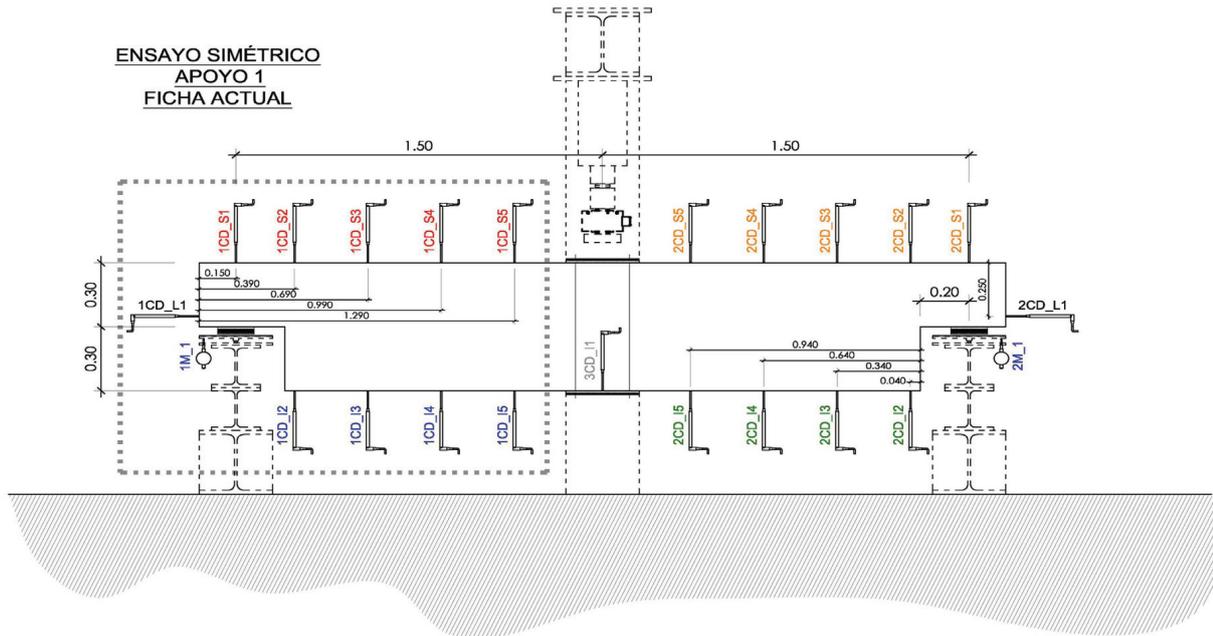
C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA

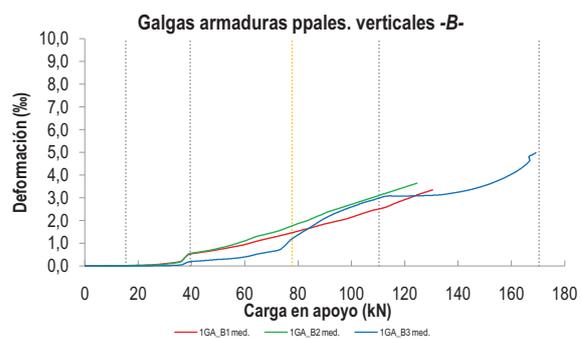
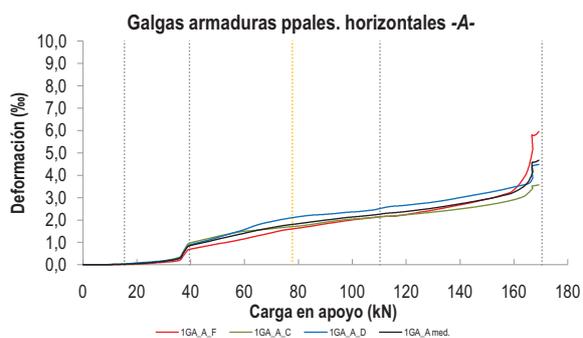
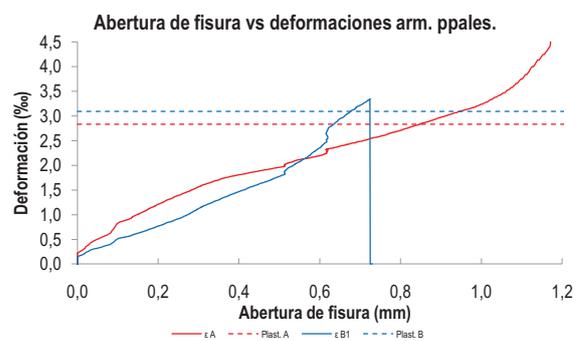
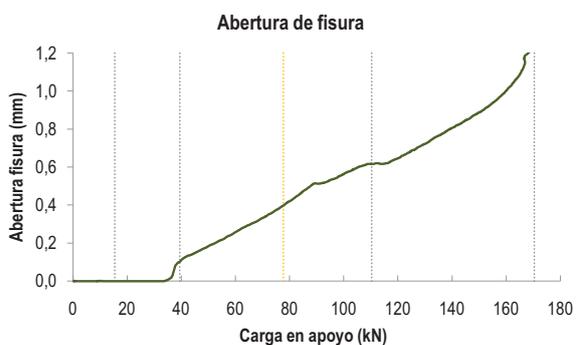
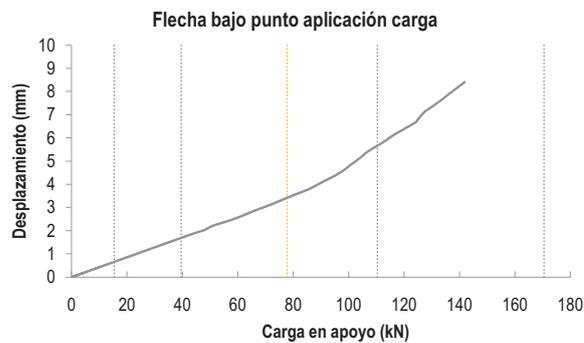
**ENSAYO SIMÉTRICO
APOYO 1
FICHA ACTUAL**



   		FICHA: 7.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO: 010A1	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B1.2_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

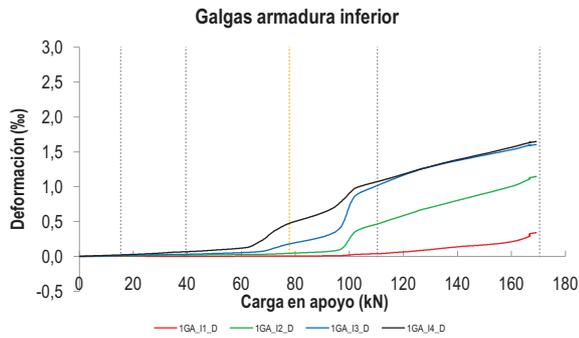
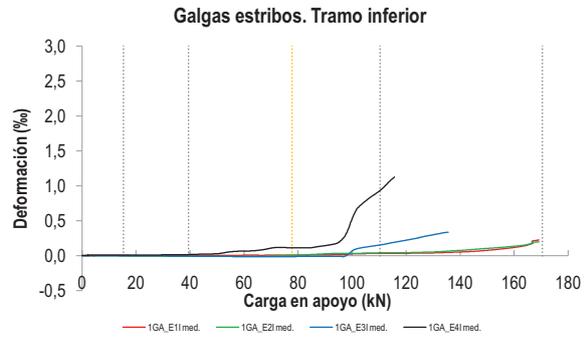
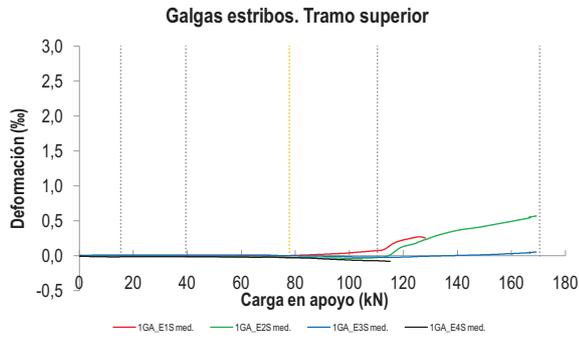
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO:	010A1
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A1_B1.2_C0_S3	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 7.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 010A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B1.2_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
8,52	5%	0,00	0,36	0,01	0,00	0,01	0,00	-
17,04	10%	0,00	0,73	0,03	0,01	0,02	0,00	-
25,56	15%	0,00	1,09	0,10	0,05	0,04	0,00	-
34,09	20%	0,00	1,46	0,23	0,15	0,13	0,03	-
42,61	25%	0,13	1,82	0,93	0,58	0,60	0,21	-
51,13	30%	0,19	2,22	1,17	0,74	0,80	0,29	-
59,65	35%	0,25	2,55	1,40	0,93	1,09	0,39	-
68,17	40%	0,32	2,96	1,62	1,19	1,40	0,59	-
76,69	45%	0,39	3,36	1,79	1,43	1,72	1,08	-
85,21	50%	0,47	3,77	1,92	1,69	2,09	1,75	-
93,74	55%	0,52	4,30	2,05	1,95	2,47	2,30	-
102,26	60%	0,58	4,99	2,16	2,23	2,80	2,69	-
110,78	65%	0,62	5,70	2,27	2,52	3,12	3,00	-
119,30	70%	0,64	6,34	2,37	2,89	3,44	3,07	-
127,82	75%	0,70	7,12	2,50	3,24	-	3,10	-
136,34	80%	0,78	7,91	2,65	-	-	3,18	-
144,86	85%	0,84	-	2,82	-	-	3,37	-
153,39	90%	0,92	-	3,03	-	-	3,68	-
161,91	95%	1,04	-	3,39	-	-	4,17	-
170,43	100%	1,20	-	4,62	-	-	4,92	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	15,39	9,0%	0,00	0,66	0,03	0,01	0,02	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	39,50	23,2%	0,10	1,69	0,84	0,52	0,55	0,19	-
Abertura de fisura 0,20 mm	52,48	30,8%	0,20	2,28	1,21	0,77	0,84	0,30	-
Abertura de fisura 0,40 mm	77,77	45,6%	0,40	3,42	1,81	1,47	1,77	1,19	-
Abertura de fisura 0,60 mm	109,10	64,0%	0,60	5,58	2,25	2,47	3,05	2,94	-
Abertura de fisura 0,80 mm	139,42	81,8%	0,80	8,17	2,71	-	-	3,23	-
Primera plastificación	110,32	64,7%	0,62	5,66	2,27	2,51	3,10	2,98	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



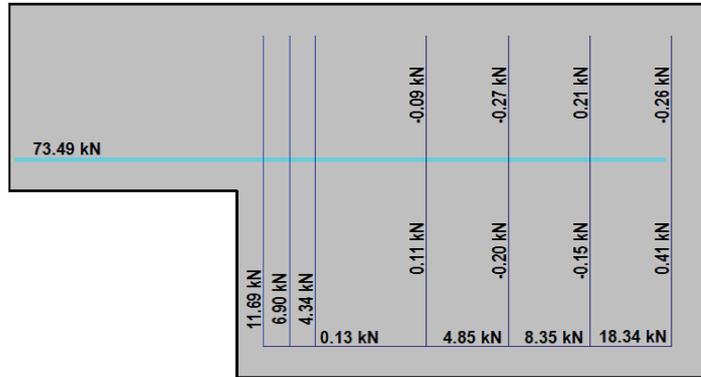
FICHA: **7.6**

PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B1.2_C0_S3
 AUTOR: Jaime Mata Falcón

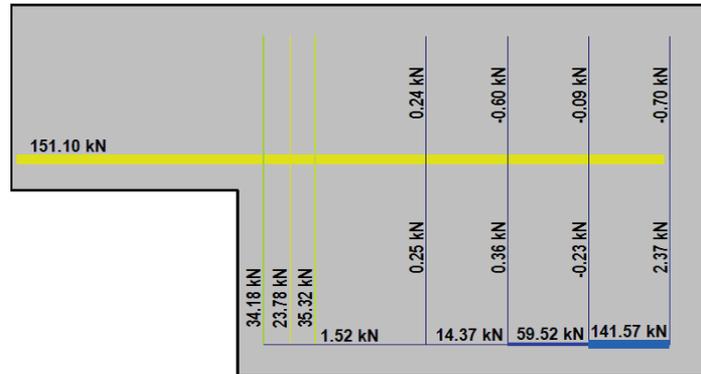
ENSAYO: **010A1**

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

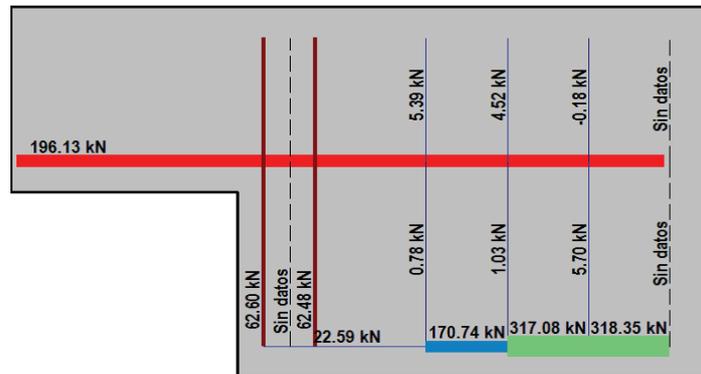
V (kN): 42,61
 V/V_{última}: **25%**
 w (mm): 0,13



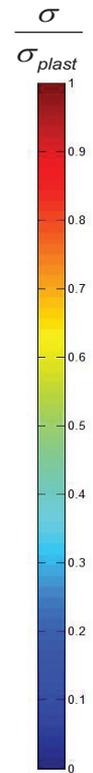
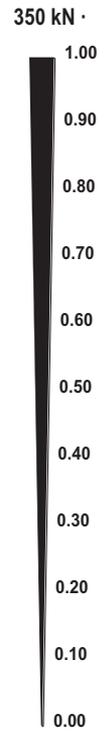
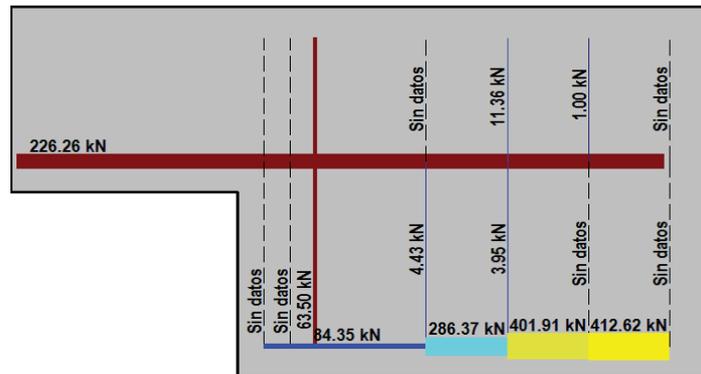
V (kN): 85,21
 V/V_{última}: **50%**
 w (mm): 0,47



V (kN): 127,82
 V/V_{última}: **75%**
 w (mm): 0,70



V (kN): 170,43
 V/V_{última}: **100%**
 w (mm): 1,20



   		FICHA: 7.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO: 010A1	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B1.2_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN A 65% Vmax (w=0,6 mm)



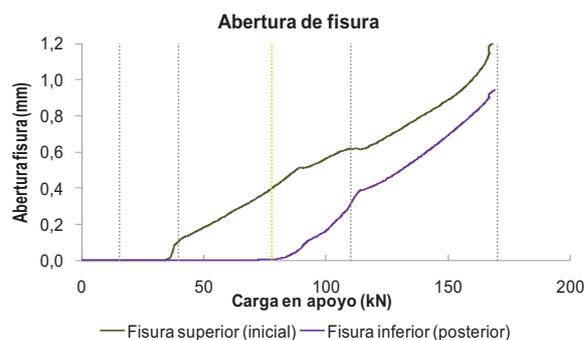
DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL TRAS LA ROTURA DEL OTRO APOYO



CAMBIO DE PTE. EN FISURA CUANDO APARECE OTRA CERCANA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico con control de carga por velocidad de fuerza. La rotura se produce por el apoyo contrario al detallado en la presente ficha.

- INCIDENCIAS: --

- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:

- Este apoyo tiene la peculiaridad de que la primera fisura que se genera no parte exactamente de la esquina. Por este motivo cuando la fisura tiene una abertura de unos 0,4 mm se abre una segunda fisura también cerca de la esquina.
- La primera fisura es la que tiene una mayor abertura, no obstante tiene una determinada pendiente en su progresión que se ve reducida por la aparición de la segunda fisura, ya que toda la deformación tiene que pasar a dividirse entre dos fisuras.
- La abertura de fisura no se dispara cerca de la rotura, puesto que la rotura se produce por el apoyo contrario.

- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales; entre el 65% y el 80% de la carga plastifican los tres estribos que componen el tirante vertical y algo después la armadura horizontal. Pese a encontrarse plastificadas las armaduras este apoyo no se encuentra muy dañado. Se hará un ensayo posterior de recarga de este apoyo para obtener la carga máxima que resiste.

A.8 Ensayo 010 (p3/HA30_A1_B1.2_C0_S3) – Apoyo 2

		UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		GOBIERNO DE ESPAÑA		MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	FICHA: 8.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 010A2	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B1.2_C0_S3			AUTOR: Jaime Mata Falcón				

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p3/HA30_A1_B1.2_C0_S3
 Fecha horm.: 16/06/2010
 Fecha ensayo: 23/07/2010
 Edad (días): 37

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Simétrico

V última (kN): 170,43
 V (w=0,4 mm) (kN): 63,04 37%
 Tipo rotura: Acero / B1-A-B2-B3

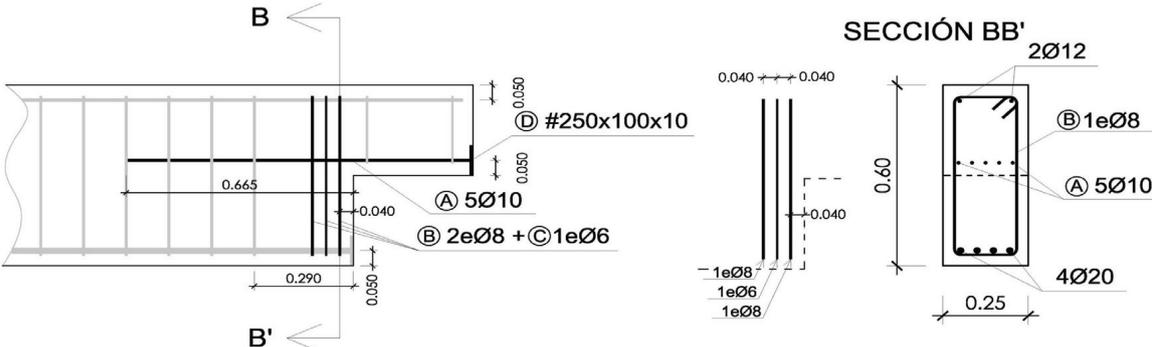
NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 49%			
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	
Armado: 5 ϕ 10	Armado: 4 ϕ 8+2 ϕ 6	Armado: -	
Cuantía (cm ²): 3,93	Cuantía (cm ²): 2,58	Cuantía (cm ²): 0,00	
(A_y/A_{max}) _{pi} : 100%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%	
Rec. mecán. (mm): 80			

Variante 1: -			
Variante 2: -			

f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)
40,4	3,19	0,00%	- -

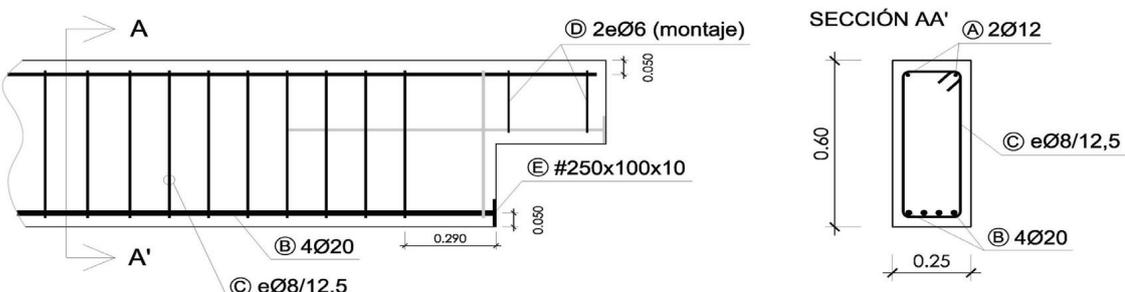
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

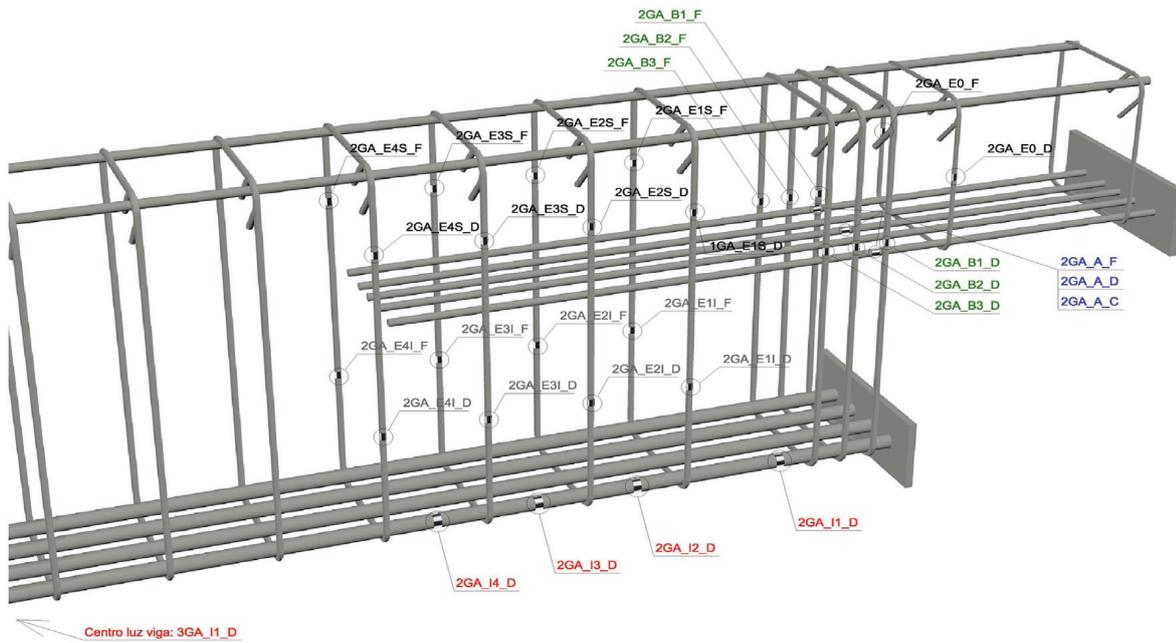
B2.- ARMADO DE LA VIGA



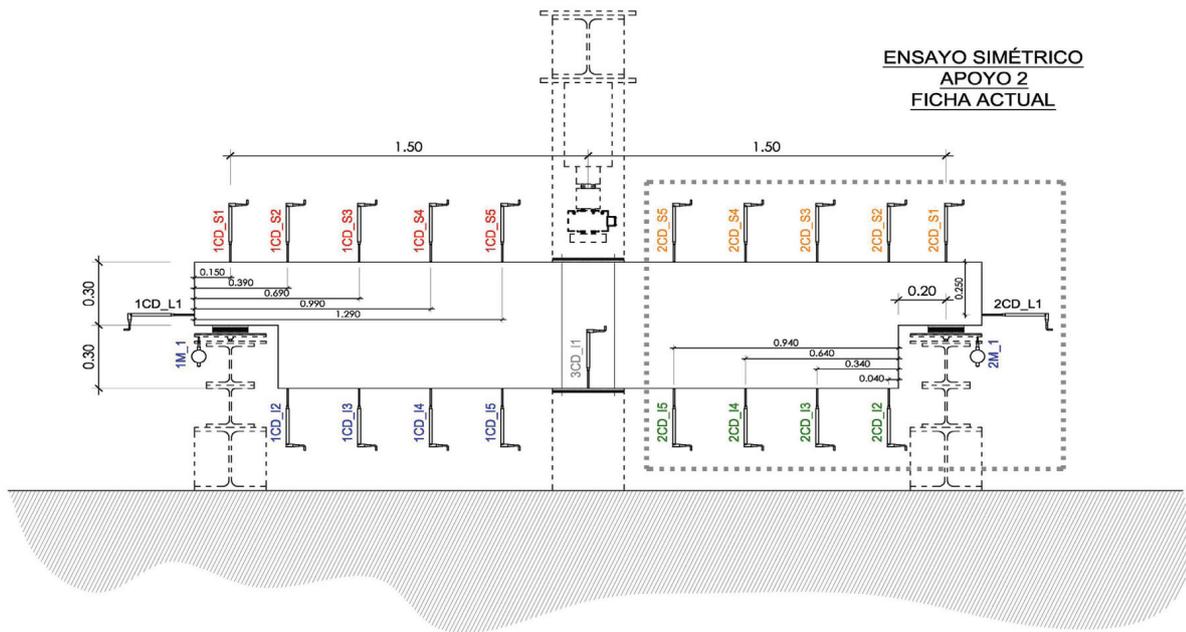
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



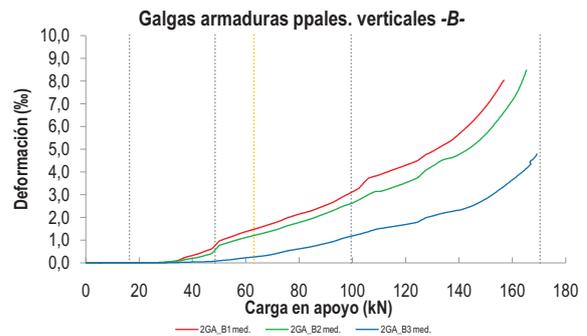
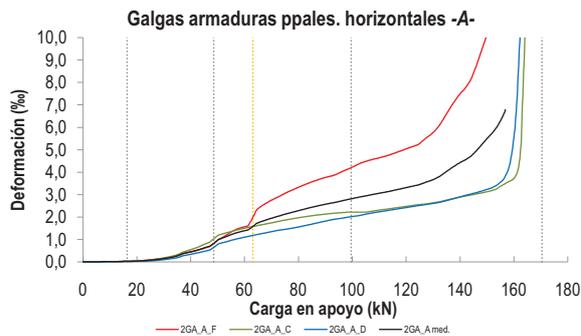
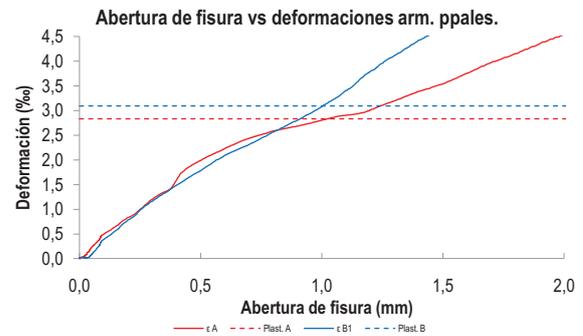
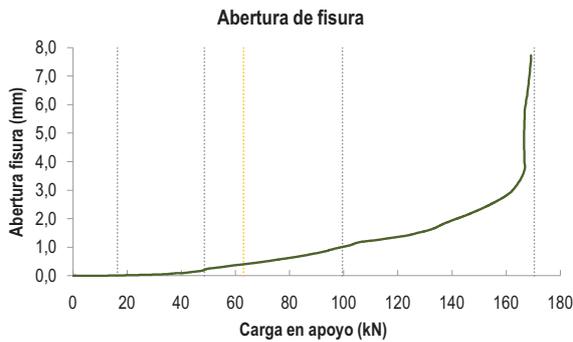
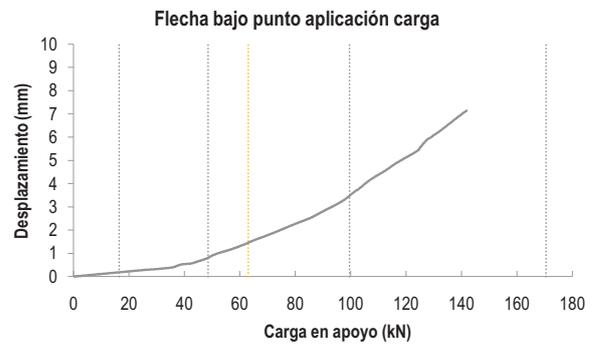
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 8.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera		ENSAYO: 010A2				
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B1.2_C0_S3		AUTOR: Jaime Mata Falcón				

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

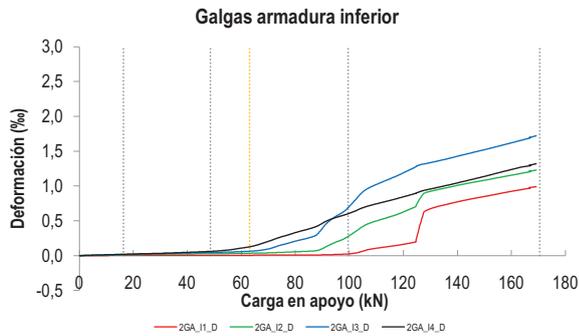
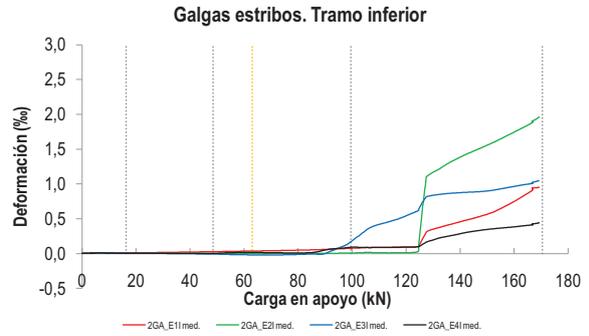
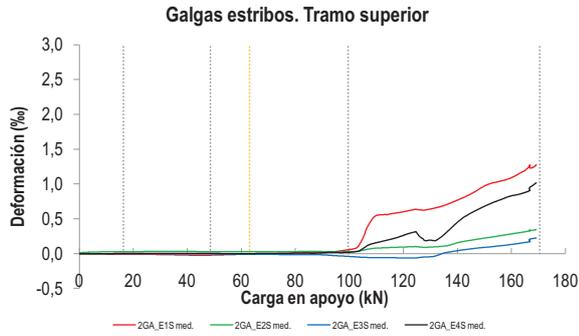


LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A1_B1.2_C0_S3

ENSAYO:	010A2
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 8.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 010A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B1.2_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
8,52	5%	0,00	0,09	0,01	0,02	0,00	0,00	-
17,04	10%	0,00	0,19	0,03	0,02	0,01	0,00	-
25,56	15%	0,03	0,28	0,08	0,01	0,02	0,00	-
34,09	20%	0,05	0,37	0,24	0,09	0,08	0,02	-
42,61	25%	0,11	0,57	0,53	0,42	0,26	0,05	-
51,13	30%	0,26	0,96	1,03	1,02	0,82	0,11	-
59,65	35%	0,36	1,29	1,38	1,36	1,11	0,22	-
68,17	40%	0,46	1,70	1,87	1,67	1,36	0,34	-
76,69	45%	0,58	2,10	2,18	2,03	1,67	0,55	-
85,21	50%	0,70	2,51	2,44	2,32	1,97	0,73	-
93,74	55%	0,87	3,04	2,66	2,73	2,35	0,98	-
102,26	60%	1,07	3,73	2,88	3,30	2,77	1,26	-
110,78	65%	1,23	4,44	3,08	3,90	3,17	1,52	-
119,30	70%	1,35	5,08	3,29	4,26	3,49	1,68	-
127,82	75%	1,51	5,86	3,56	4,75	4,06	1,97	-
136,34	80%	1,79	6,65	4,14	5,34	4,61	2,24	-
144,86	85%	2,11	-	4,83	6,20	5,13	2,51	-
153,39	90%	2,47	-	6,02	7,43	6,12	3,08	-
161,91	95%	3,00	-	-	-	7,59	3,83	-
170,43	100%	6,77	-	-	-	-	4,63	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

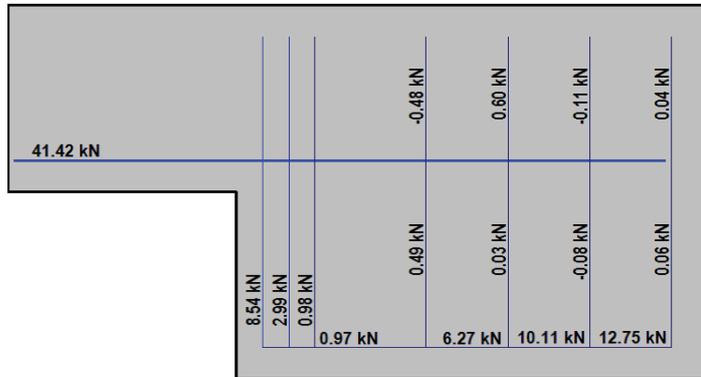
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	16,39	9,6%	0,00	0,18	0,02	0,02	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	48,50	28,5%	0,20	0,81	0,83	0,78	0,58	0,08	-
Abertura de fisura 0,20 mm	48,55	28,5%	0,20	0,81	0,83	0,78	0,58	0,08	-
Abertura de fisura 0,40 mm	63,04	37,0%	0,40	1,45	1,57	1,48	1,21	0,26	-
Abertura de fisura 0,60 mm	78,22	45,9%	0,60	2,18	2,23	2,08	1,72	0,59	-
Abertura de fisura 0,80 mm	90,17	52,9%	0,80	2,82	2,57	2,55	2,19	0,87	-
Primera plastificación	99,55	58,4%	1,00	3,47	2,81	3,10	2,62	1,18	-

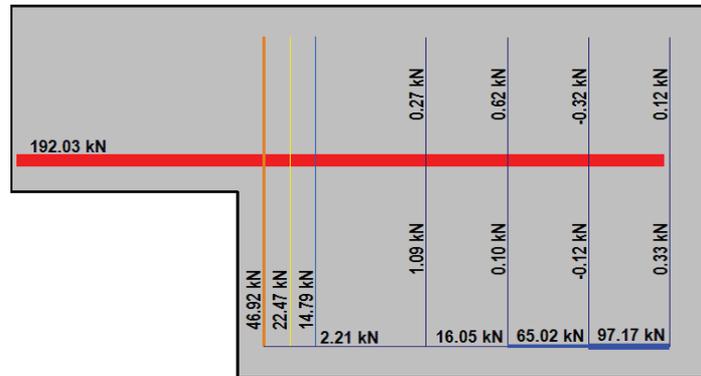
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

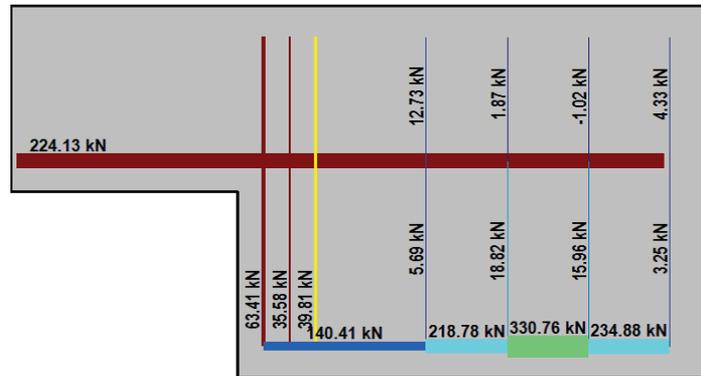
V (kN): 42,61
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,11



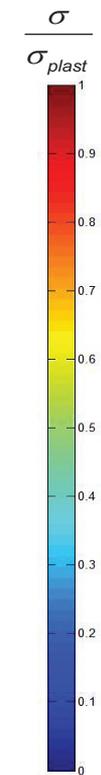
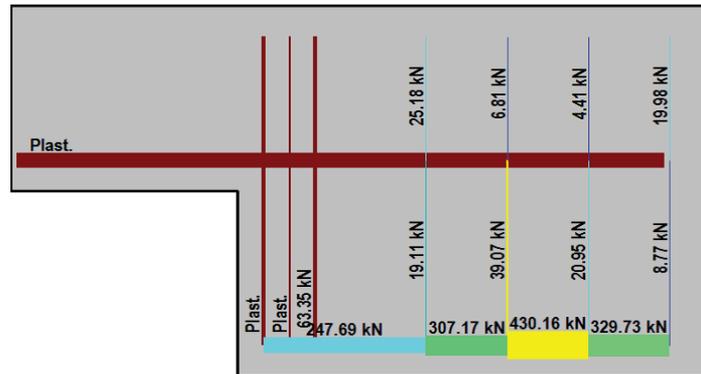
V (kN): 85,21
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,70



V (kN): 127,82
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 1,51



V (kN): 170,43
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 6,77



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 8.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 010A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A1_B1.2_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA



DETALLE DE RECUBRIMIENTO DESPRENDIDO



VISTA DE FISURA EN ESQUINA. LADO DORSAL



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico. El apoyo detallado en la presente ficha es el apoyo más dañado y por el que se produce el fallo de la pieza en este ensayo.

- INCIDENCIAS: --

- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:

- La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
- La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°. No se encuentra con la fisura horizontal a la altura de la armadura superior que aparece cerca de la carga máxima y que produce el colapso de la estructura.

- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican antes de la rotura todos los tirantes principales. Plastifican simultáneamente la armadura horizontal y el primero de los estribos verticales; posteriormente plastifican los otros dos estribos del tirante vertical.

- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce ocasionada por la fisura que aparece a la altura de la armadura superior y que desprende todo el recubrimiento de hormigón, produciéndose el colapso de la estructura.

- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se descarga completamente la pieza tras alcanzar su resistencia máxima, por lo que no puede analizarse este comportamiento.

A.9 Ensayo 011 (p3/HA30_A3_B1.2_C0_S3) – Apoyo 1

	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	 GOBIERNO DE ESPAÑA	 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	FICHA: 9.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 011A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B1.2_C0_S3		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p3/HA30_A3_B1.2_C0_S3
 Fecha hom.: 16/06/2010
 Fecha ensayo: 27/07/2010
 Edad (días): 41

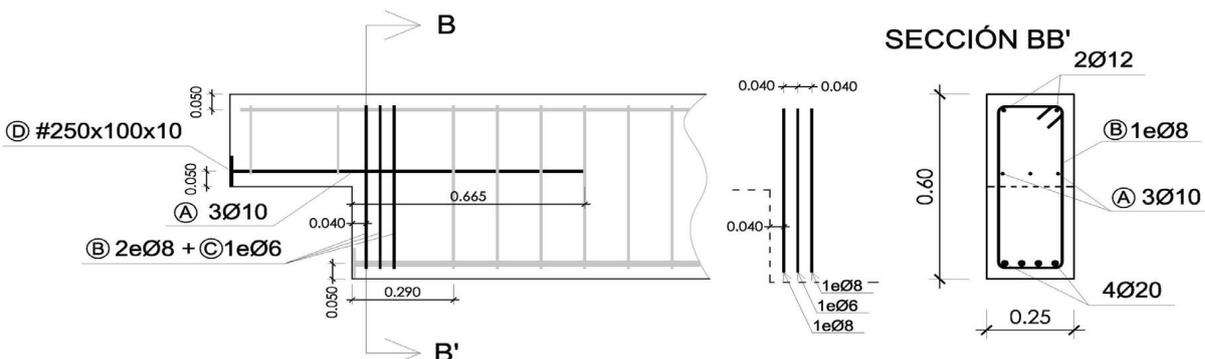
Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Simétrico

V última (kN): 125,30
 V (w=0,4 mm) (kN): 48,47 39%
 Tipo rotura: Acero / A-B2-B1

NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 49%			
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	
Armado: 3 ϕ 10	Armado: 4 ϕ 8+2 ϕ 6	Armado: -	
Cuantía (cm ²): 2,36	Cuantía (cm ²): 2,58	Cuantía (cm ²): 0,00	
(A_y/A_{max}) _{pi} : 60%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%	
Rec. mecán. (mm): 80			
Variante 1: -			
Variante 2: -			
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)
40,8	3,05	0,00%	- -

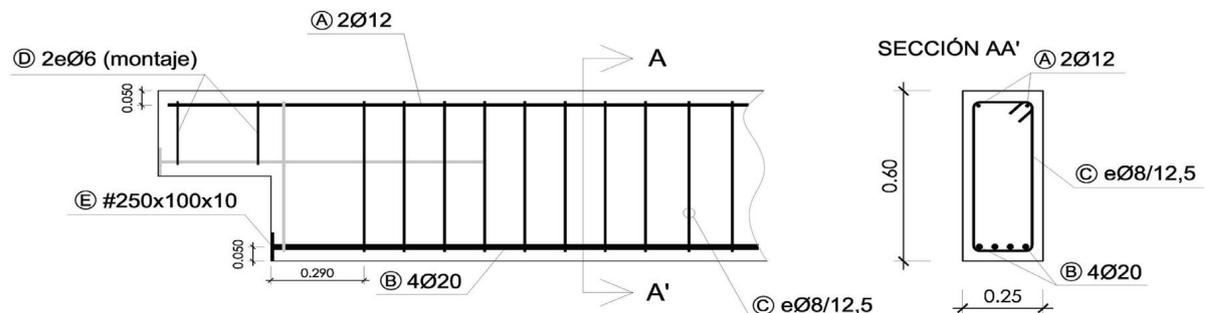
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

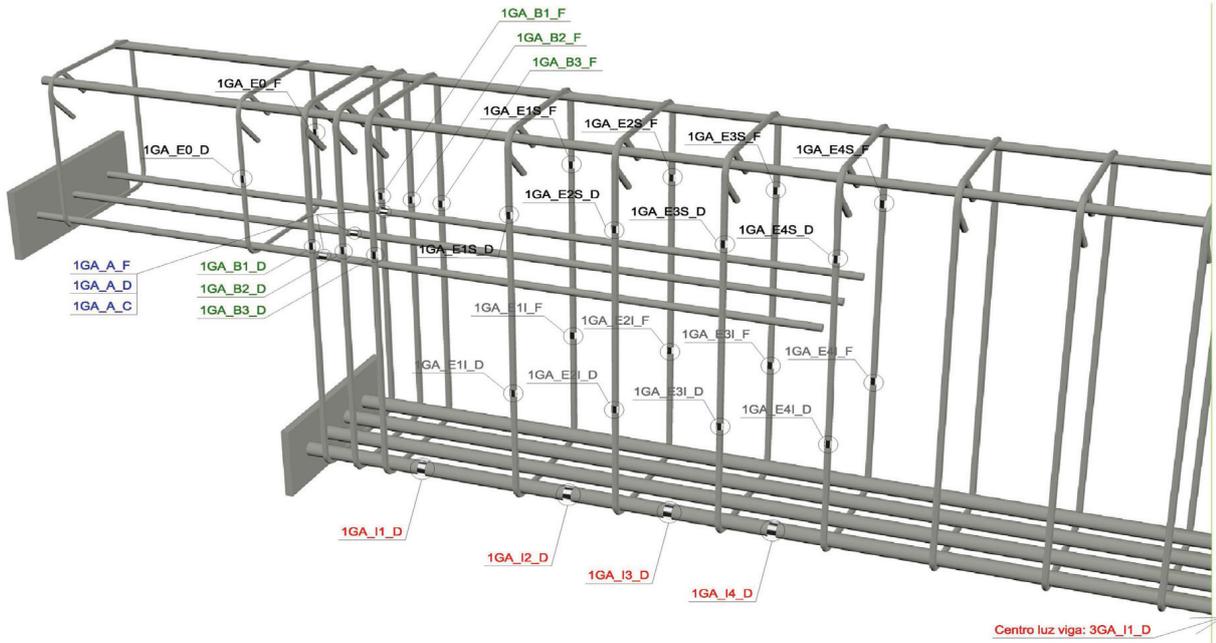
B2.- ARMADO DE LA VIGA



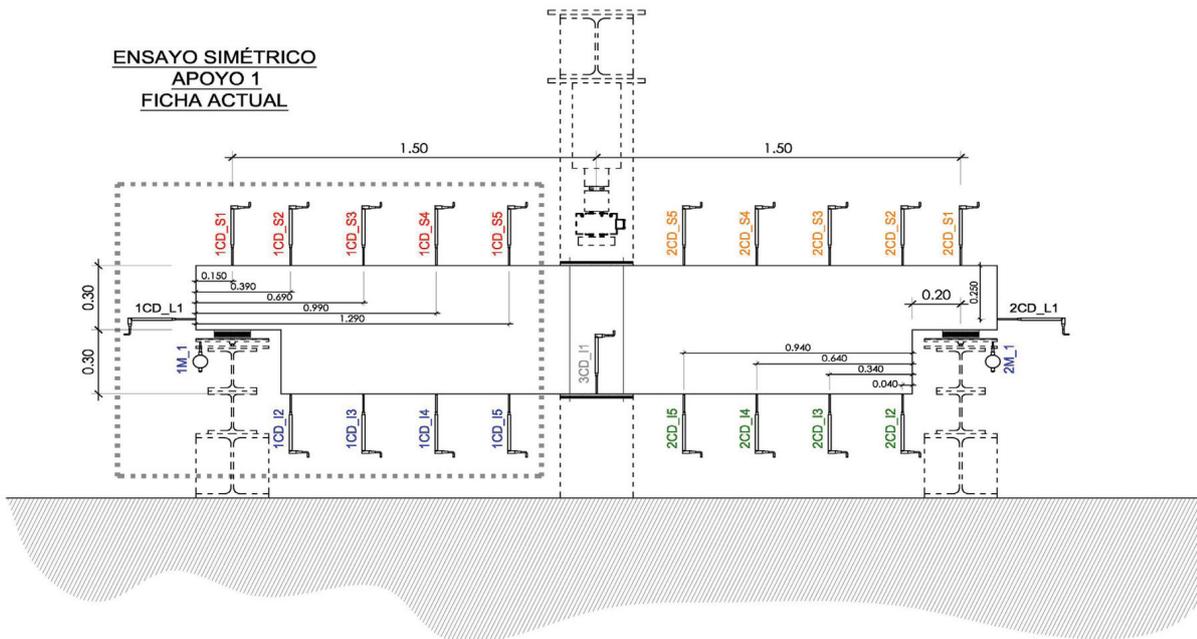
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



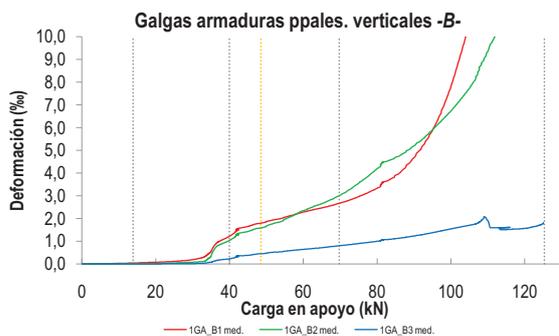
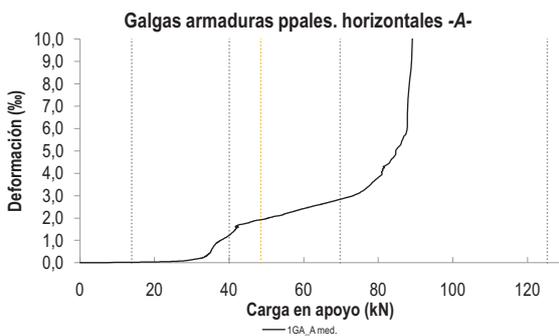
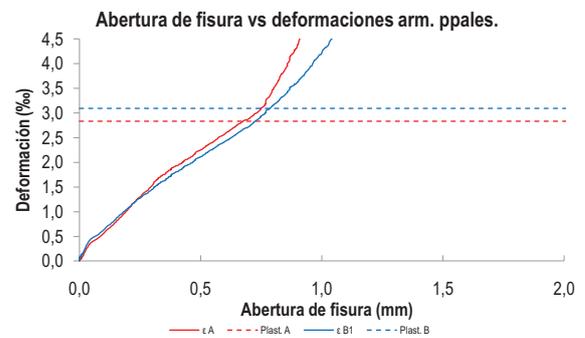
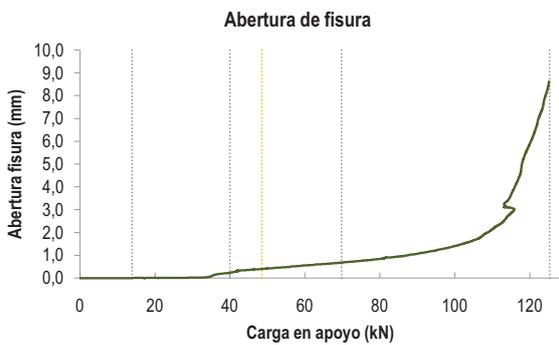
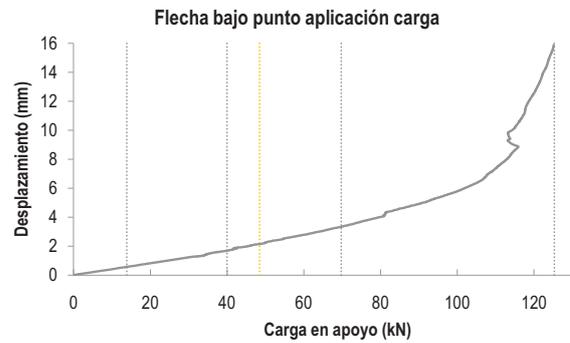
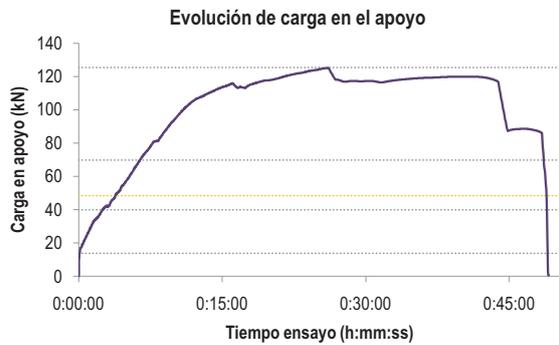
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 9.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO: 011A1	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B1.2_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



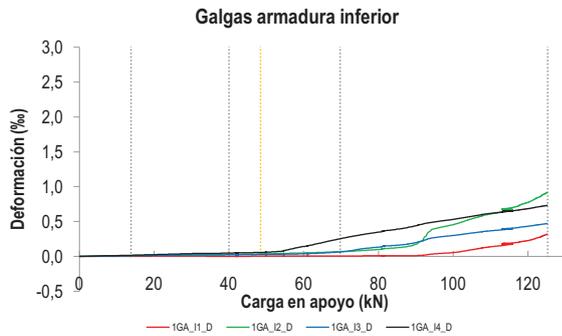
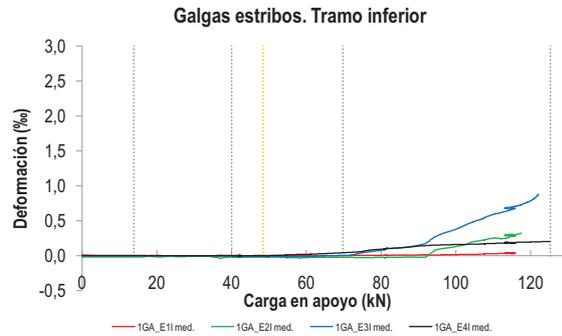
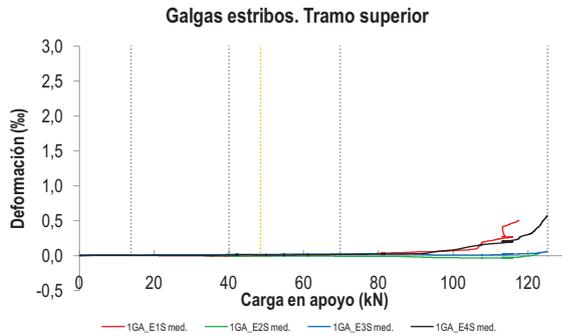
LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE
DE ARMADURA INCLINADA -C-



FICHA: **9.4**

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO:	011A1
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A3_B1.2_C0_S3	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 9.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 011A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B1.2_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
6,26	5%	-	-	-	-	-	-	-
12,53	10%	-	-	-	-	-	-	-
18,79	15%	0,00	0,77	0,04	0,07	0,01	0,00	-
25,06	20%	0,00	1,02	0,06	0,11	0,04	0,01	-
31,32	25%	0,02	1,27	0,18	0,23	0,09	0,02	-
37,59	30%	0,19	1,59	0,97	1,01	0,85	0,18	-
43,85	35%	0,35	1,94	1,74	1,62	1,40	0,37	-
50,12	40%	0,42	2,26	1,99	1,87	1,68	0,48	-
56,38	45%	0,50	2,60	2,25	2,11	2,06	0,58	-
62,65	50%	0,59	2,92	2,53	2,38	2,51	0,68	-
68,91	55%	0,67	3,29	2,80	2,63	2,95	0,79	-
75,18	60%	0,76	3,70	3,15	2,97	3,57	0,90	-
81,44	65%	0,87	4,20	4,12	3,50	4,39	1,04	-
87,71	70%	1,01	4,76	7,17	4,28	4,94	1,17	-
93,97	75%	1,18	5,24	16,40	5,59	5,73	1,34	-
100,24	80%	1,42	5,82	-	8,00	6,80	1,55	-
106,50	85%	1,80	6,68	-	11,93	8,25	1,79	-
112,77	90%	2,86	8,73	-	-	11,63	1,57	-
119,03	95%	5,36	12,01	-	-	-	1,55	-
125,30	100%	7,90	15,01	-	-	-	1,71	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	13,86	11,1%	0,00	0,56	0,02	0,04	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	40,00	31,9%	0,24	1,69	1,24	1,23	1,04	0,23	-
Abertura de fisura 0,20 mm	38,30	30,6%	0,20	1,62	1,05	1,07	0,91	0,19	-
Abertura de fisura 0,40 mm	48,47	38,7%	0,40	2,15	1,93	1,80	1,59	0,45	-
Abertura de fisura 0,60 mm	63,88	51,0%	0,60	2,99	2,58	2,42	2,58	0,69	-
Abertura de fisura 0,80 mm	77,62	62,0%	0,80	3,86	3,45	3,14	3,86	0,95	-
Primera plastificación	69,73	55,7%	0,68	3,34	2,83	2,66	3,01	0,80	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

Estudio Experimental del comportamiento en servicio y rotura de las Regiones D generadas en el entorno de los Apoyos a Media Madera



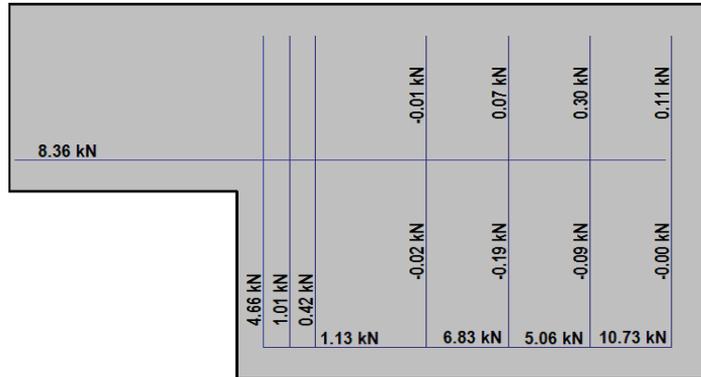
FICHA: **9.6**

PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B1.2_C0_S3
 AUTOR: Jaime Mata Falcón

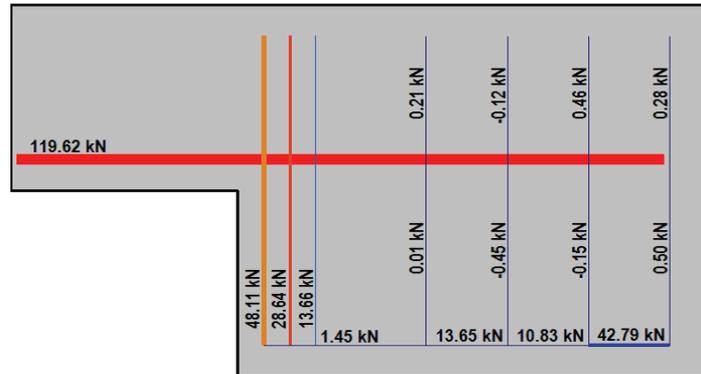
ENSAYO: **011A1**

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

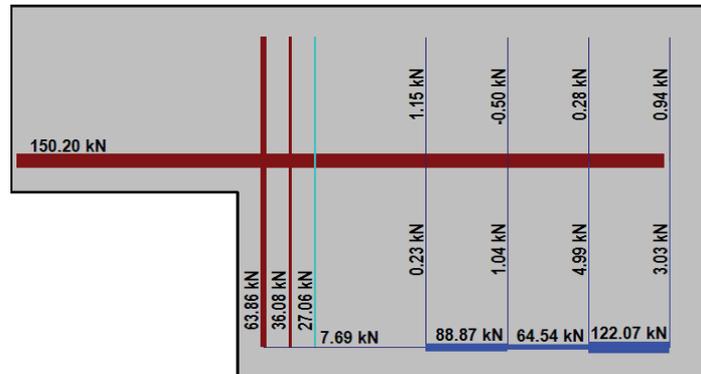
V (kN): 31,32
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,02



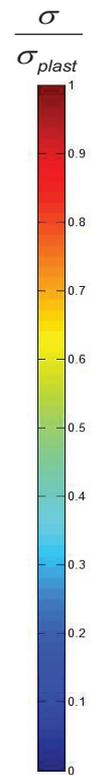
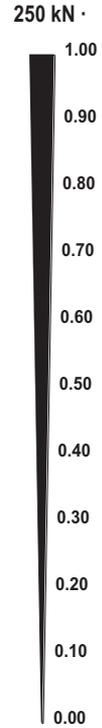
V (kN): 62,65
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,59



V (kN): 93,97
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 1,18



V (kN): 125,30
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 7,90



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 9.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera					ENSAYO: 011A1	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B1.2_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN TRAS LA ROTURA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



DETALLE DE ARMADURAS HORIZONTALES ROTAS



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico. El apoyo detallado en la presente ficha es el apoyo más dañado y por el que se produce el colapso de la estructura.

- INCIDENCIAS: --

- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:

- La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
- La fisura anterior parte con una inclinación de unos 45° y al encontrarse con las armaduras, debido a la debilidad de la armadura horizontal, se hace prácticamente vertical.
- Muy cerca de la fisura anterior, y para cargas cercanas a la máxima aparecen otras fisuras con similar inclinación.

- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. A la misma carga se produce la plastificación de la armadura horizontal y de los dos primeros estribos del tirante vertical. El tercer estribo del tirante vertical queda bastante lejos de la plastificación, como era previsible al ser un diseño con insuficiente armadura horizontal.

- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: Al irse deformando enormemente la sección D se abre mucho la fisura que parte de la esquina. Finalmente la elevada deformación acumulada en las armaduras horizontales acaba por romperlas.

- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Al alcanzar la carga máxima, la carga baja un 6% y se mantiene constante mientras la pieza se va deformando durante mucho rato. Finalmente se rompen físicamente las armaduras horizontales y la pieza colapsa.

A.10 Ensayo 011 (p3/HA30_A3_B1.2_C0_S3) – Apoyo 2

		UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		GOBIERNO DE ESPAÑA		MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	FICHA: 10.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 011A2	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B1.2_C0_S3			AUTOR: Jaime Mata Falcón				

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p3/HA30_A3_B1.2_C0_S3
 Fecha hom.: 16/06/2010
 Fecha ensayo: 27/07/2010
 Edad (días): 41

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Simétrico

V última (kN): 125,30
 V (w=0,4 mm) (kN): 52,61 42%
 Tipo rotura: Acero / A-B1-B2

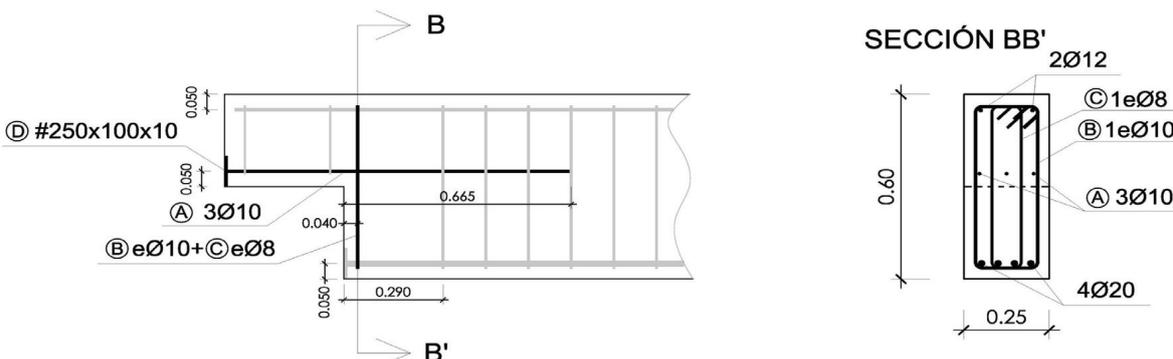
NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 49%			
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	
Armado: 3 ϕ 10	Armado: 4 ϕ 8+2 ϕ 6	Armado: -	
Cuantía (cm ²): 2,36	Cuantía (cm ²): 2,58	Cuantía (cm ²): 0,00	
(A _y /A _{max}) _{pi} : 60%	(B _y /B _{max}) _{pi} : 100%	(C _y /C _{max}) _{pi} : 0%	
Rec. mecán. (mm): 80			

Variante 1: -			
Variante 2: -			

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
40,8	3,05	0,00%	-

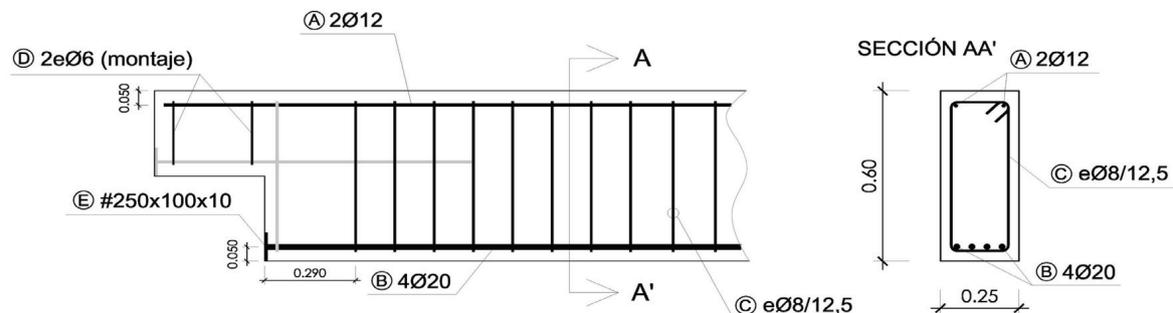
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

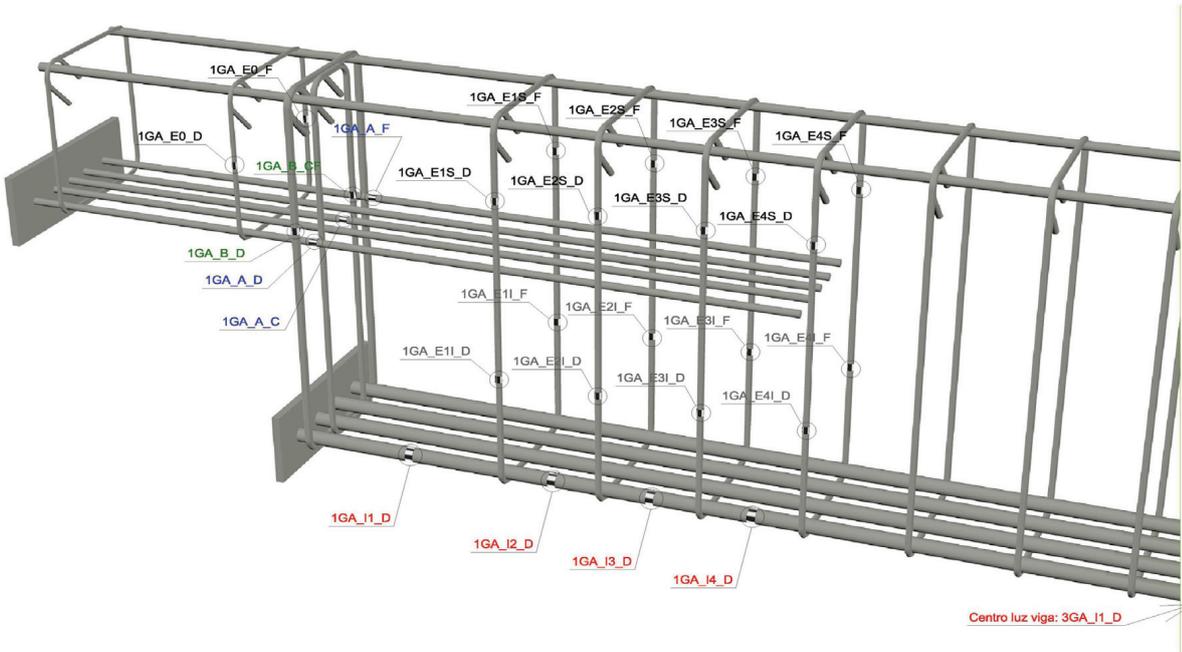
B2.- ARMADO DE LA VIGA



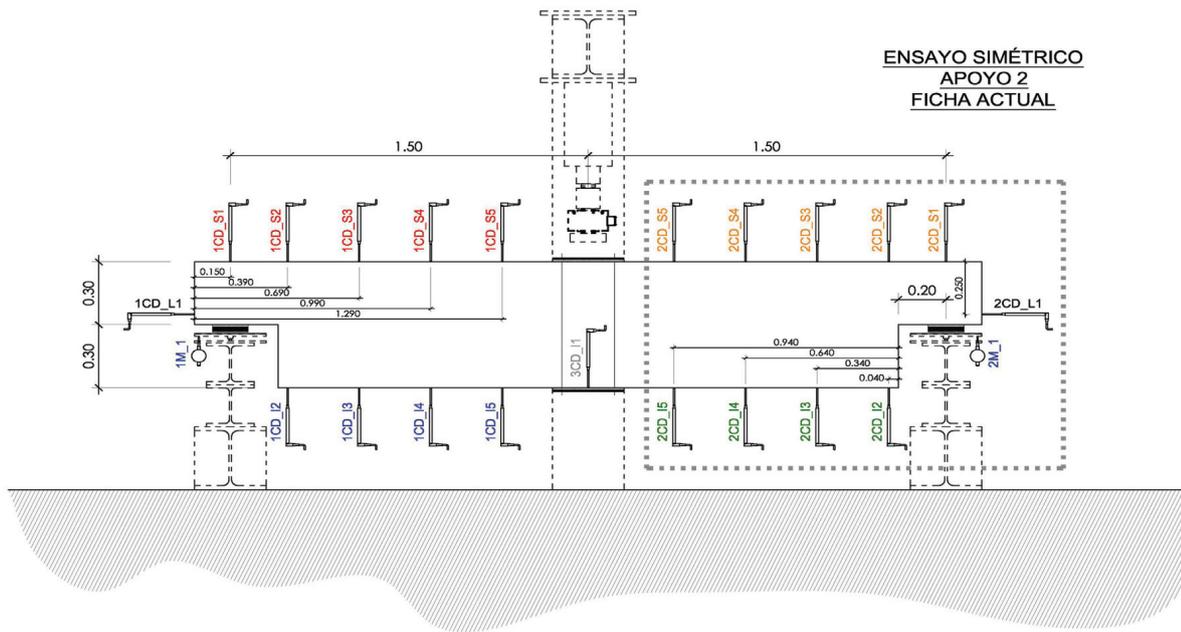
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



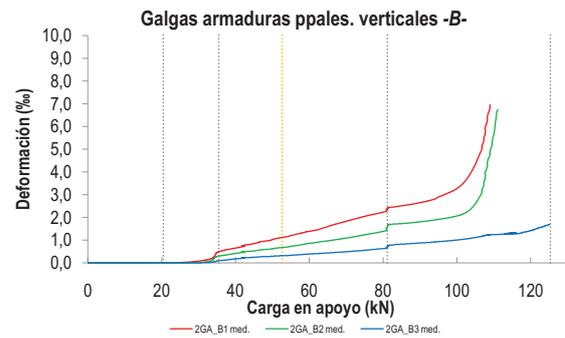
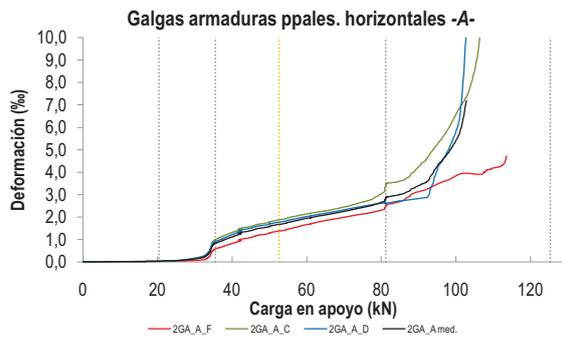
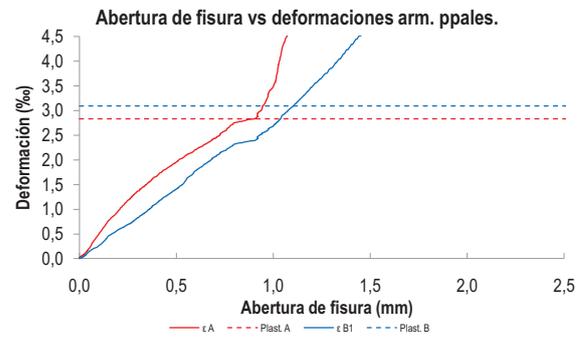
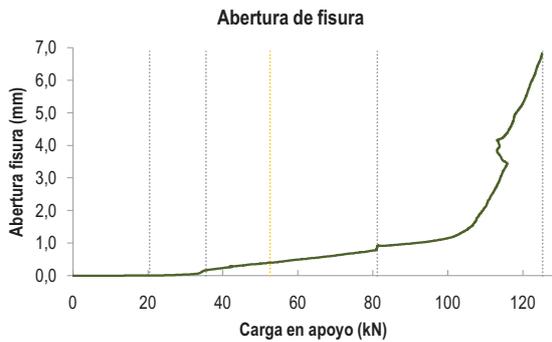
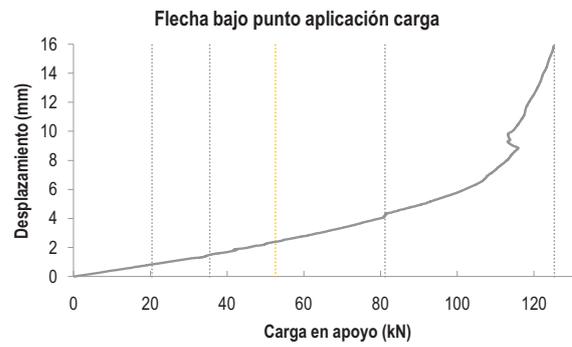
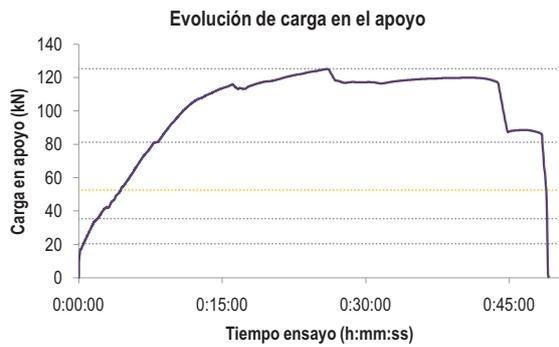
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 10.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 011A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B1.2_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

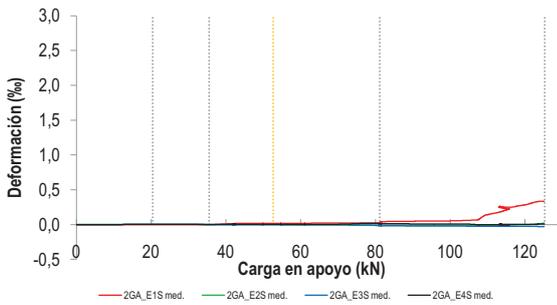
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



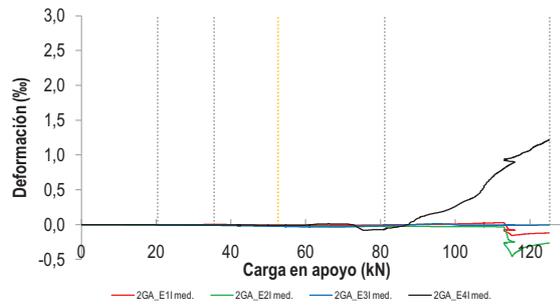
LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

D2.- OTROS RESULTADOS

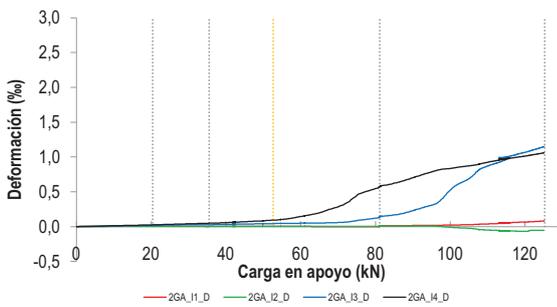
Galgas estribos. Tramo superior



Galgas estribos. Tramo inferior



Galgas armadura inferior



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 10.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 011A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B1.2_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
6,26	5%	-	-	-	-	-	-	-
12,53	10%	-	-	-	-	-	-	-
18,79	15%	0,00	0,77	0,03	0,01	0,00	0,00	-
25,06	20%	0,00	1,02	0,05	0,02	0,01	0,00	-
31,32	25%	0,04	1,27	0,17	0,12	0,04	0,01	-
37,59	30%	0,20	1,59	0,95	0,58	0,35	0,13	-
43,85	35%	0,30	1,94	1,36	0,83	0,52	0,24	-
50,12	40%	0,37	2,26	1,59	1,04	0,63	0,30	-
56,38	45%	0,44	2,60	1,81	1,26	0,76	0,35	-
62,65	50%	0,52	2,92	2,02	1,48	0,92	0,42	-
68,91	55%	0,60	3,29	2,22	1,79	1,07	0,48	-
75,18	60%	0,69	3,70	2,43	2,05	1,24	0,56	-
81,44	65%	0,86	4,20	2,81	2,37	1,57	0,71	-
87,71	70%	0,96	4,76	3,20	2,58	1,77	0,85	-
93,97	75%	1,03	5,24	3,98	2,82	1,89	0,92	-
100,24	80%	1,16	5,82	5,60	3,33	2,09	1,02	-
106,50	85%	1,61	6,68	-	5,24	3,35	1,17	-
112,77	90%	3,35	8,73	-	-	6,52	1,28	-
119,03	95%	5,09	12,01	-	-	-	1,38	-
125,30	100%	6,46	15,01	-	-	-	1,64	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	20,41	16,3%	0,00	0,83	0,03	0,02	0,00	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	35,50	28,3%	0,16	1,48	0,80	0,48	0,29	0,09	-
Abertura de fisura 0,20 mm	37,68	30,1%	0,20	1,59	0,96	0,58	0,35	0,13	-
Abertura de fisura 0,40 mm	52,61	42,0%	0,40	2,39	1,67	1,11	0,68	0,32	-
Abertura de fisura 0,60 mm	68,31	54,5%	0,60	3,25	2,19	1,76	1,05	0,47	-
Abertura de fisura 0,80 mm	79,48	63,4%	0,80	4,01	2,66	2,24	1,40	0,64	-
Primera plastificación	81,15	64,8%	0,86	4,19	2,80	2,36	1,56	0,70	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



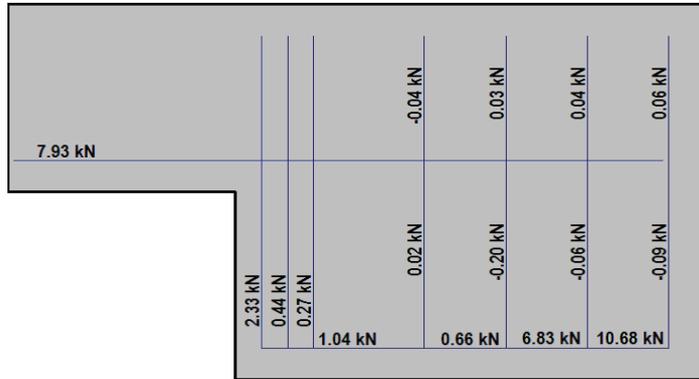
FICHA: **10.6**

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A3_B1.2_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón

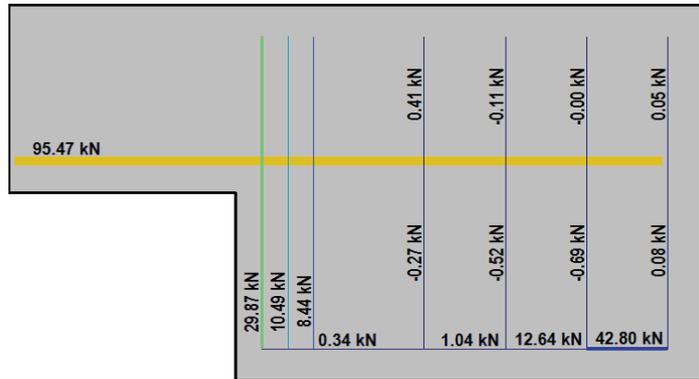
ENSAYO: **011A2**

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

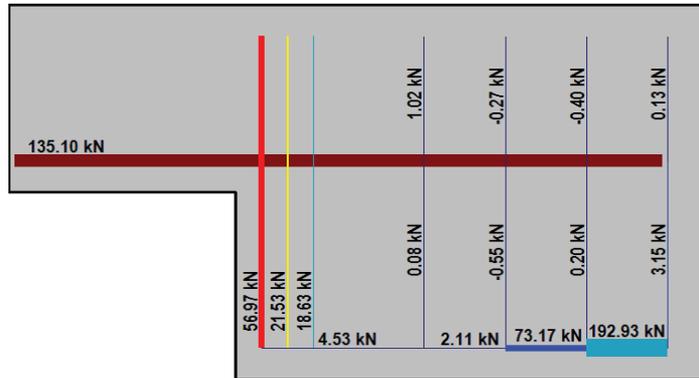
V (kN): 31,32
 $V/V_{\text{última}}$: 25%
 w (mm): 0,04



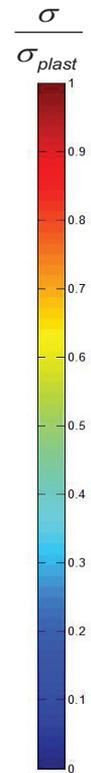
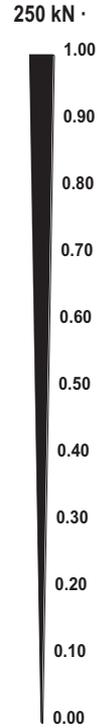
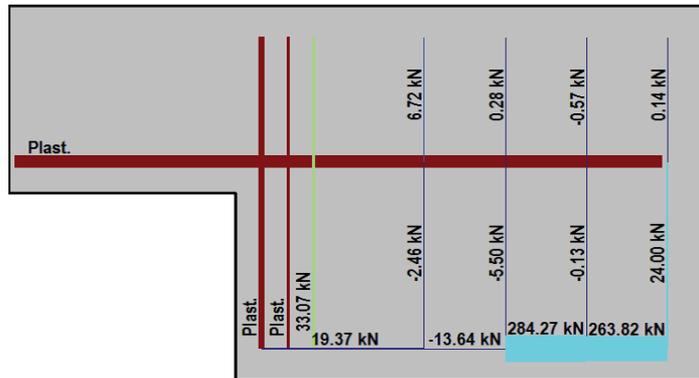
V (kN): 62,65
 $V/V_{\text{última}}$: 50%
 w (mm): 0,52



V (kN): 93,97
 $V/V_{\text{última}}$: 75%
 w (mm): 1,03



V (kN): 125,30
 $V/V_{\text{última}}$: 100%
 w (mm): 6,46



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 10.7
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 011A2	
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A3_B1.2_C0_S3	AUTOR:		Jaime Mata Falcón		

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN PARA $w=1$ mm



DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico. La rotura se produce por el apoyo contrario al que se muestra en la presente ficha. No hay lugar para un ensayo de recarga, puesto que las armaduras se encuentran claramente plastificadas al final del ensayo.

- INCIDENCIAS: --

- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:

- La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
- Esta fisura que parte de la esquina tiene una inclinación respecto a la horizontal de unos 60°. Se verticaliza debido a la debilidad de la armadura horizontal.
- La fisuración de este apoyo a partir de la carga máxima no aumenta excesivamente. Todo el deterioro en esta fase corresponde al apoyo contrario.

- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica primeramente la armadura horizontal y algo después los dos primeros estribos de la armadura vertical. Pese a estar bastante dañado este apoyo no rompe.

A.11 Ensayo 013 (p3/HA30_A3_B3_C3_S1) – Apoyo 1

	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	 GOBIERNO DE ESPAÑA	 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	FICHA: 11.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 013A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B3_C3_S1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p3/HA30_A3_B3_C3_S1
 Fecha horm.: 16/06/2010
 Fecha ensayo: 28/07/2010
 Edad (días): 42

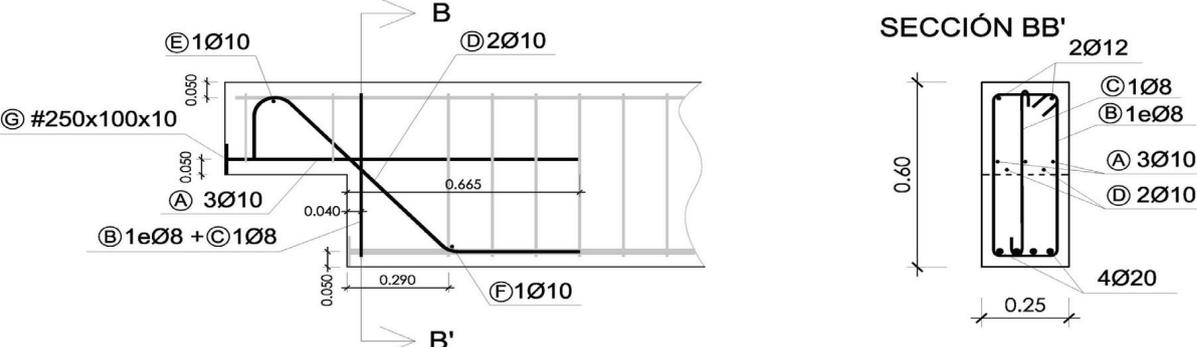
Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

V última (kN): 194,87
 V (w=0,4 mm) (kN): 87,31 45%
 Tipo rotura: Acero / C-B-A

NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 49%			
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	
Armado: 3 ϕ 10	Armado: 3 ϕ 8	Armado: 2 ϕ 10	
Cuantía (cm ²): 2,36	Cuantía (cm ²): 1,51	Cuantía (cm ²): 1,57	
(A_y/A_{max}) _{pi} : 60%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 59%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 50%	
Rec. mecán. (mm): 40			
Variante 1: -			
Variante 2: -			
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)
40,2	3,05	0,00%	- -

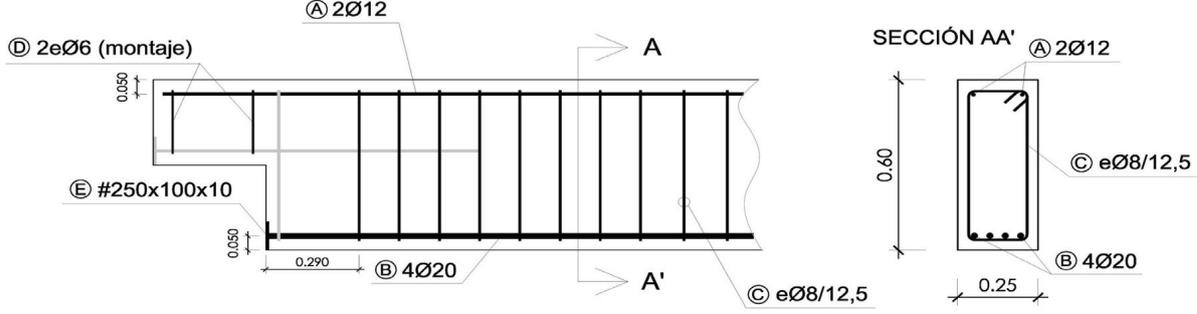
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

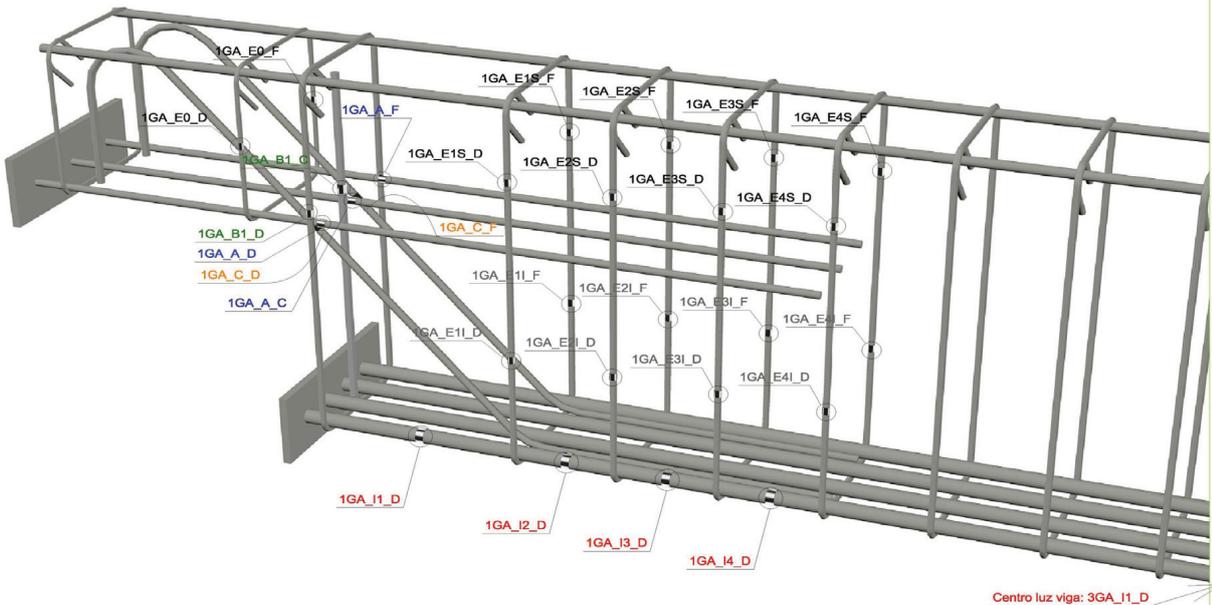
B2.- ARMADO DE LA VIGA



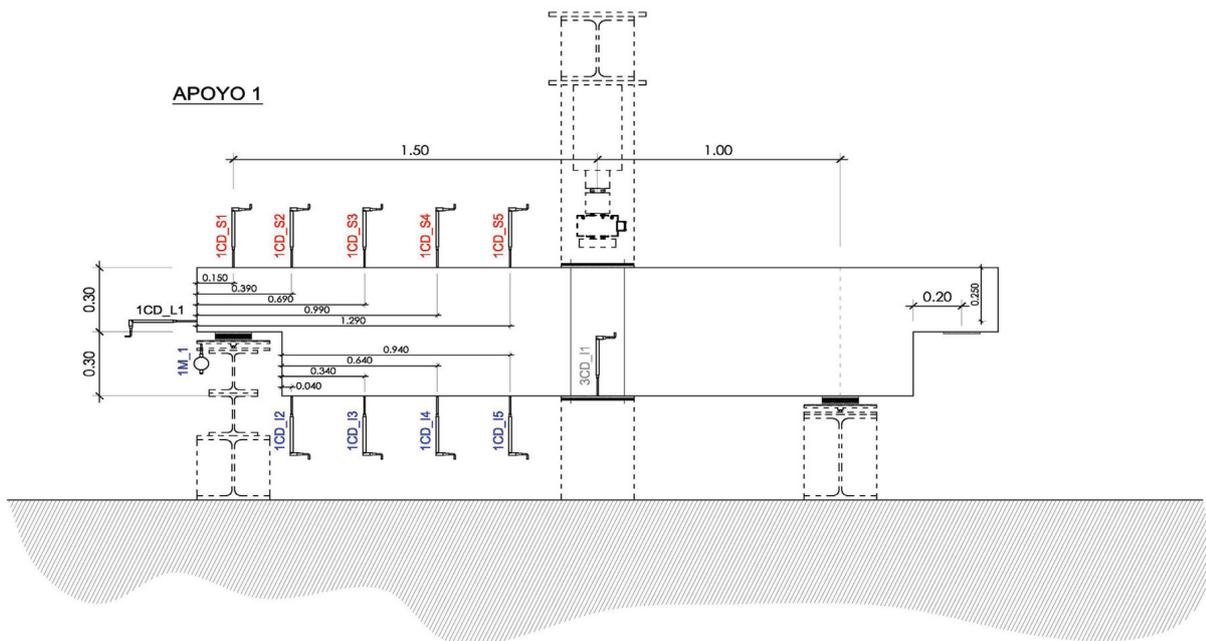
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



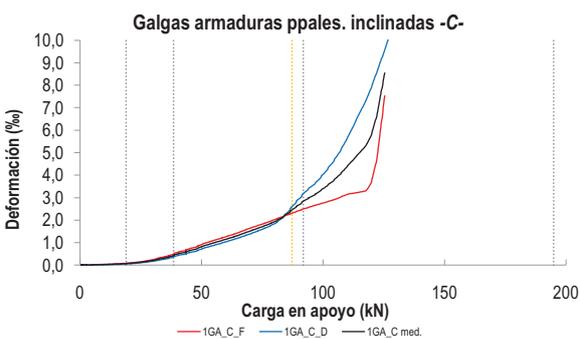
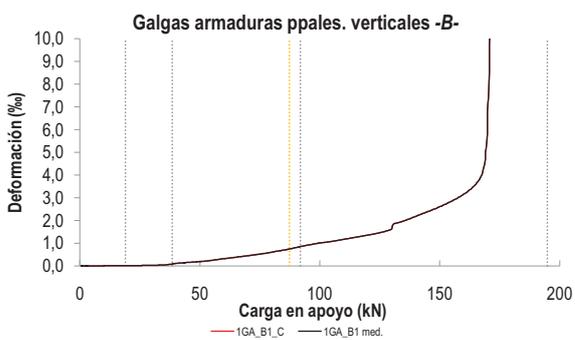
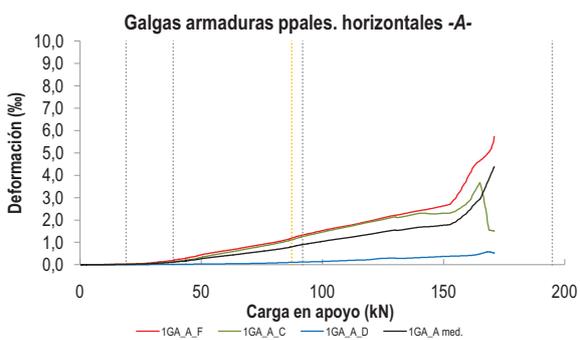
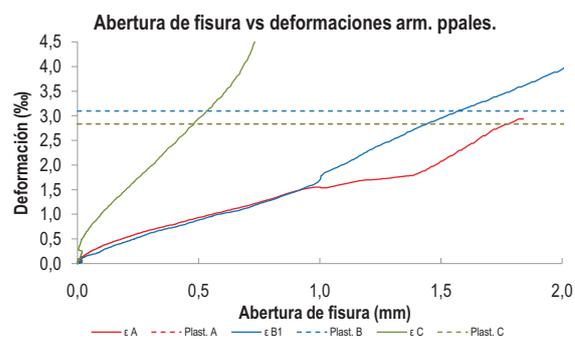
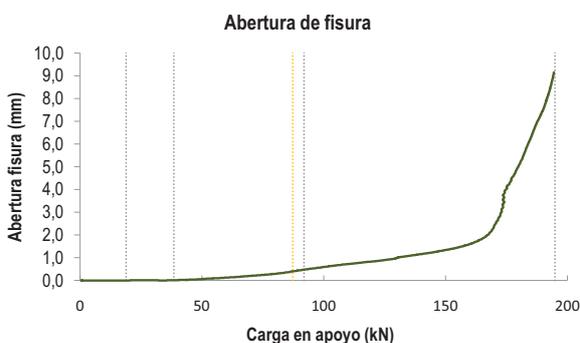
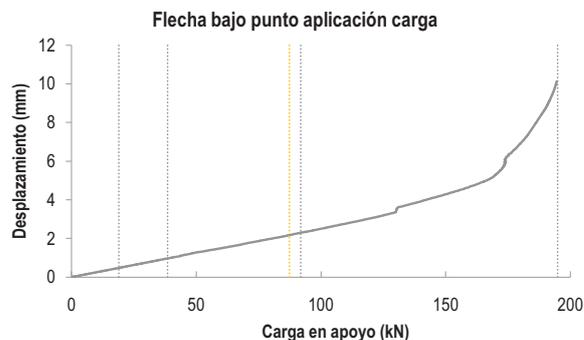
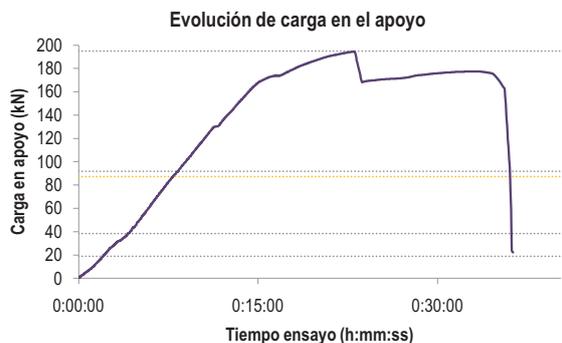
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 11.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO: 013A1	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B3_C3_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

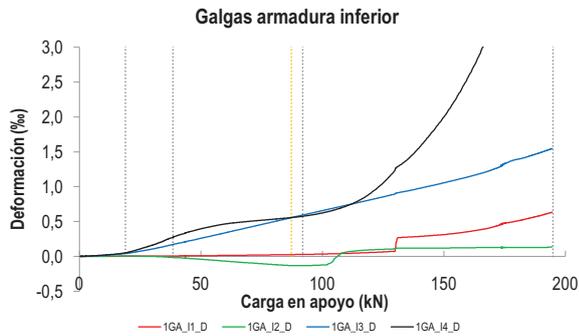
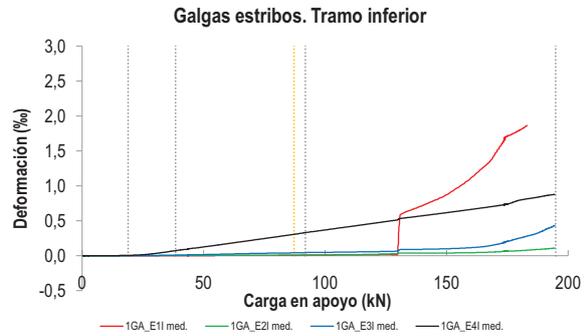
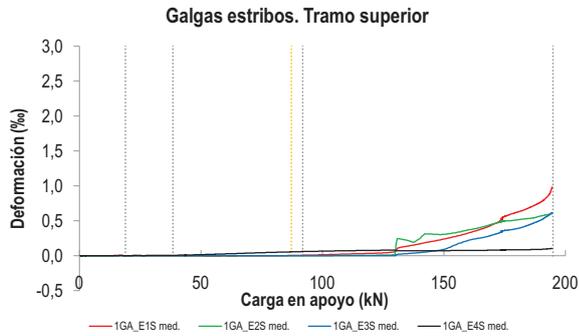
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO:	013A1
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A3_B3_C3_S1	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 11.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 013A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B3_C3_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00
9,74	5%	0,00	0,24	0,01	0,00	-	-	0,03
19,49	10%	0,00	0,49	0,02	0,01	-	-	0,07
29,23	15%	0,02	0,73	0,05	0,02	-	-	0,20
38,97	20%	0,02	0,97	0,12	0,09	-	-	0,45
48,72	25%	0,05	1,24	0,24	0,18	-	-	0,76
58,46	30%	0,12	1,46	0,38	0,30	-	-	1,10
68,21	35%	0,19	1,69	0,51	0,42	-	-	1,45
77,95	40%	0,27	1,94	0,64	0,57	-	-	1,84
87,69	45%	0,41	2,18	0,81	0,75	-	-	2,50
97,44	50%	0,56	2,44	1,00	0,96	-	-	3,21
107,18	55%	0,69	2,70	1,16	1,12	-	-	4,07
116,92	60%	0,81	2,96	1,32	1,30	-	-	5,25
126,67	65%	0,92	3,25	1,50	1,51	-	-	8,24
136,41	70%	1,11	3,80	1,62	2,04	-	-	-
146,15	75%	1,26	4,14	1,72	2,43	-	-	-
155,90	80%	1,47	4,51	2,00	2,90	-	-	-
165,64	85%	1,91	4,99	3,21	3,80	-	-	-
175,39	90%	3,78	6,12	-	14,70	-	-	-
185,13	95%	6,34	7,80	-	-	-	-	-
194,87	100%	8,44	9,52	-	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	18,96	9,7%	0,00	0,48	0,02	0,01	-	-	0,07
Punto de cambio de rigidez	38,50	19,8%	0,00	0,97	0,12	0,09	-	-	0,44
Abertura de fisura 0,20 mm	69,49	35,7%	0,20	1,73	0,53	0,44	-	-	1,50
Abertura de fisura 0,40 mm	87,31	44,8%	0,40	2,17	0,80	0,74	-	-	2,46
Abertura de fisura 0,60 mm	100,40	51,5%	0,60	2,51	1,05	1,02	-	-	3,44
Abertura de fisura 0,80 mm	116,58	59,8%	0,80	2,95	1,31	1,29	-	-	5,19
Primera plastificación	91,91	47,2%	0,48	2,29	0,90	0,85	-	-	2,82

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



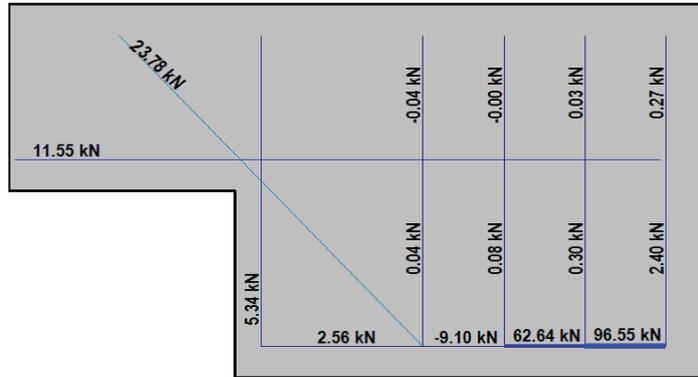
FICHA: **11.6**

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A3_B3_C3_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

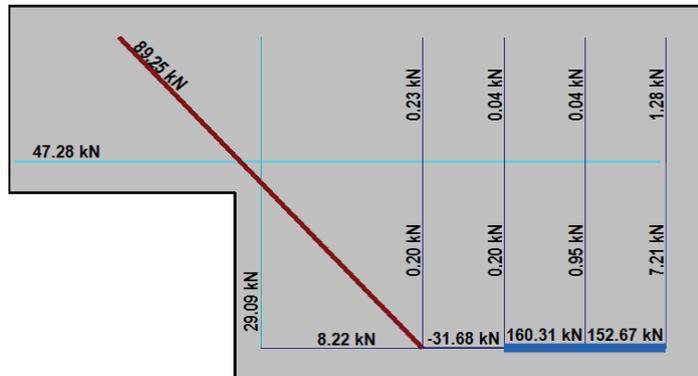
ENSAYO: **013A1**

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

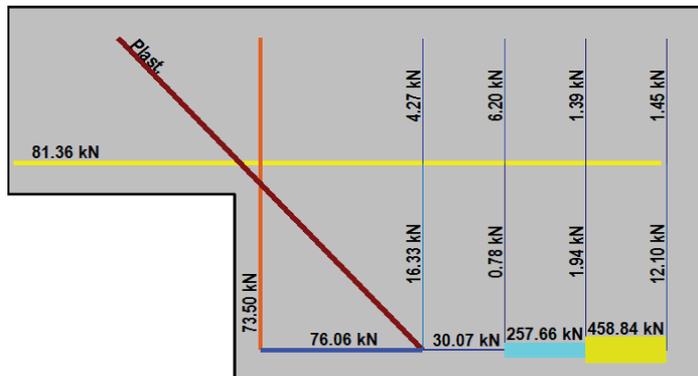
V (kN): 48,72
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,05



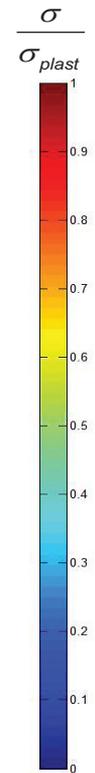
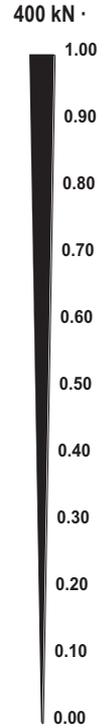
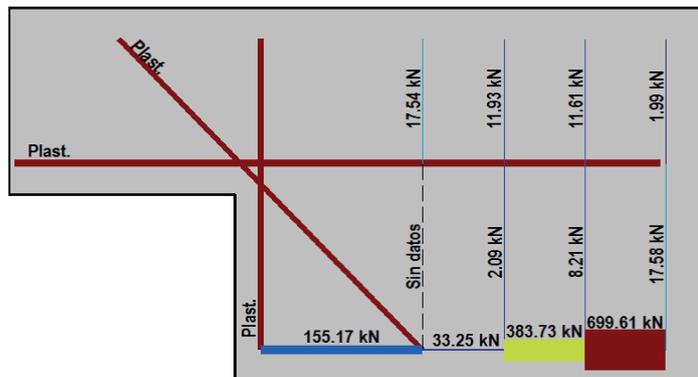
V (kN): 97,44
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,56



V (kN): 146,15
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 1,26



V (kN): 194,87
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 8,44



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 11.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 013A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B3_C3_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN AL 80% DE LA CARGA MÁXIMA



DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN TRAS LA ROTURA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura tiene una inclinación de unos 45°. Es la principal fisura, incluso en rotura, que se junta con la fisura a la altura de la armadura superior y produce el levantamiento del recubrimiento superior de hormigón.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica primeramente la armadura inclinada (C), bastante después plastifican casi simultáneamente las armaduras vertical (B) y horizontal (A).
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progreso de la fisura que parte de la esquina, que produce el desprendimiento del recubrimiento superior del hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar la carga máxima se produce un descenso súbito en el entorno del 13% de la carga. La carga permanece estabilizada e incluso va tomando carga durante bastante rato.

A.12 Ensayo 013 (p3/HA30_A3_B3_C3_S1) – Apoyo 2

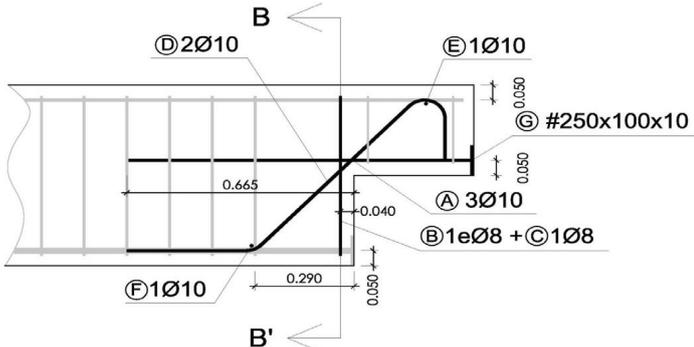
		UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		GOBIERNO DE ESPAÑA		FICHA: 12.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera					ENSAYO: 013A2	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B3_C3_S1			AUTOR: Jaime Mata Falcón			

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

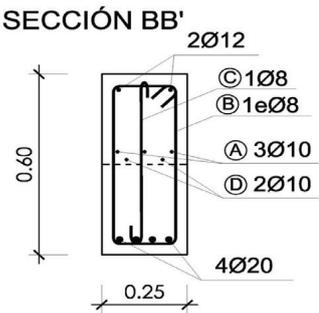
Codificación: p3/HA30_A3_B3_C3_S1 Fecha horm.: 16/06/2010 Fecha ensayo: 29/07/2010 Edad (días): 43 Secc. apoyo (mm): 250x300 Secc. viga (mm): 250x600 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio V última (kN): 199,58 V (w=0,4 mm) (kN): 71,37 36% Tipo rotura: Acero / C-B-A	<p style="text-align: center;">NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 49%</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">TIR. HORIZ. -A-</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">TIR. VERTICAL -B-</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">TIR. INCLIN. -C-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Armado: 3ϕ10</td> <td style="text-align: center;">Armado: 3ϕ8</td> <td style="text-align: center;">Armado: 2ϕ10</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 2,36</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 1,51</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 1,57</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(A_y/A_{max})_{pi}: 60%</td> <td style="text-align: center;">(B_y/B_{max})_{pi}: 59%</td> <td style="text-align: center;">(C_y/C_{max})_{pi}: 50%</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Rec. mecán. (mm): 40</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">-----</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Variante 1: -</td> <td style="width: 33%;">Variante 2: -</td> <td style="width: 33%;"></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">-----</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; text-align: center;">f_c (Mpa)</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">f_{ct} (Mpa)</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">Vol. Fibras</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">40,2</td> <td style="text-align: center;">3,05</td> <td style="text-align: center;">0,00%</td> <td style="text-align: center;">- -</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">-----</p>	TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	Armado: 3 ϕ 10	Armado: 3 ϕ 8	Armado: 2 ϕ 10	Cuantía (cm ²): 2,36	Cuantía (cm ²): 1,51	Cuantía (cm ²): 1,57	(A_y/A_{max}) _{pi} : 60%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 59%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 50%	Rec. mecán. (mm): 40			Variante 1: -	Variante 2: -		f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)	40,2	3,05	0,00%	- -
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-																									
Armado: 3 ϕ 10	Armado: 3 ϕ 8	Armado: 2 ϕ 10																									
Cuantía (cm ²): 2,36	Cuantía (cm ²): 1,51	Cuantía (cm ²): 1,57																									
(A_y/A_{max}) _{pi} : 60%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 59%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 50%																									
Rec. mecán. (mm): 40																											
Variante 1: -	Variante 2: -																										
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)																								
40,2	3,05	0,00%	- -																								

B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

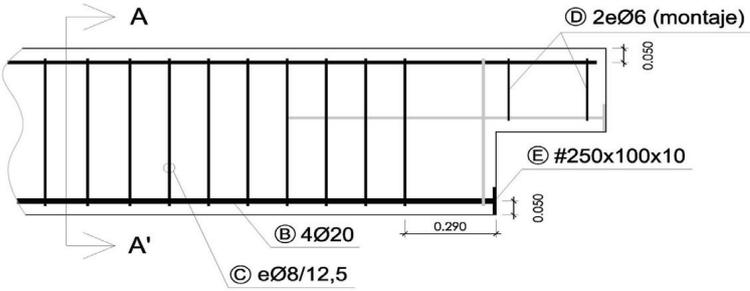


SECCIÓN BB'

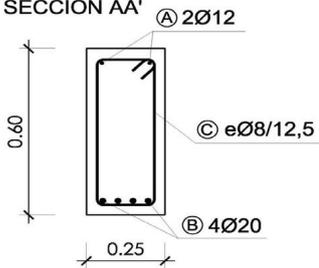


- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA



SECCIÓN AA'

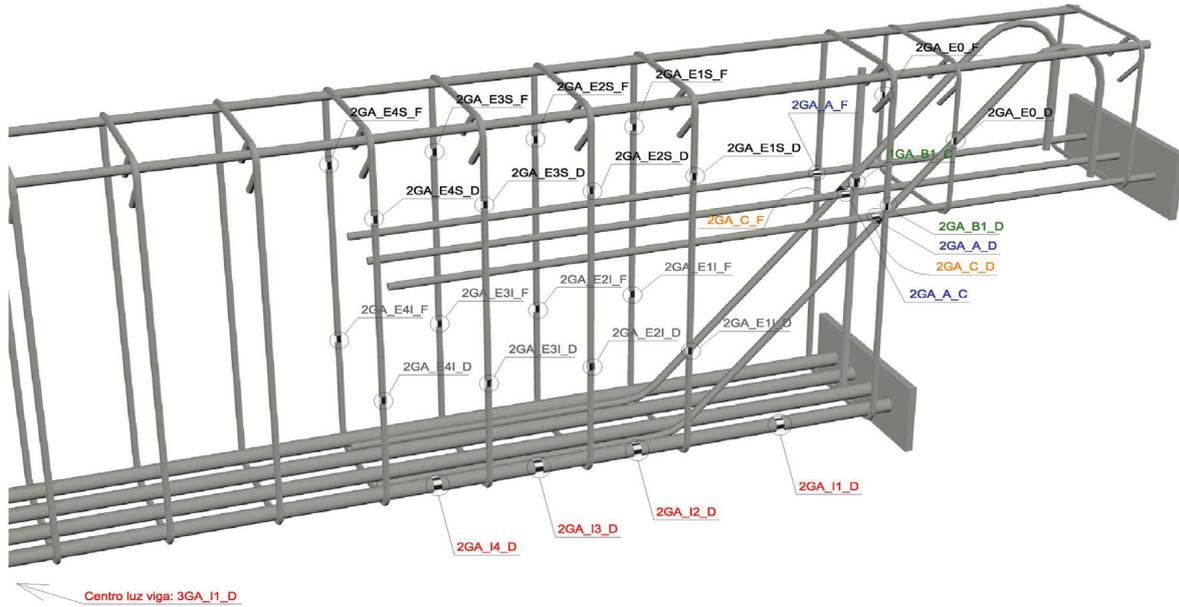


- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

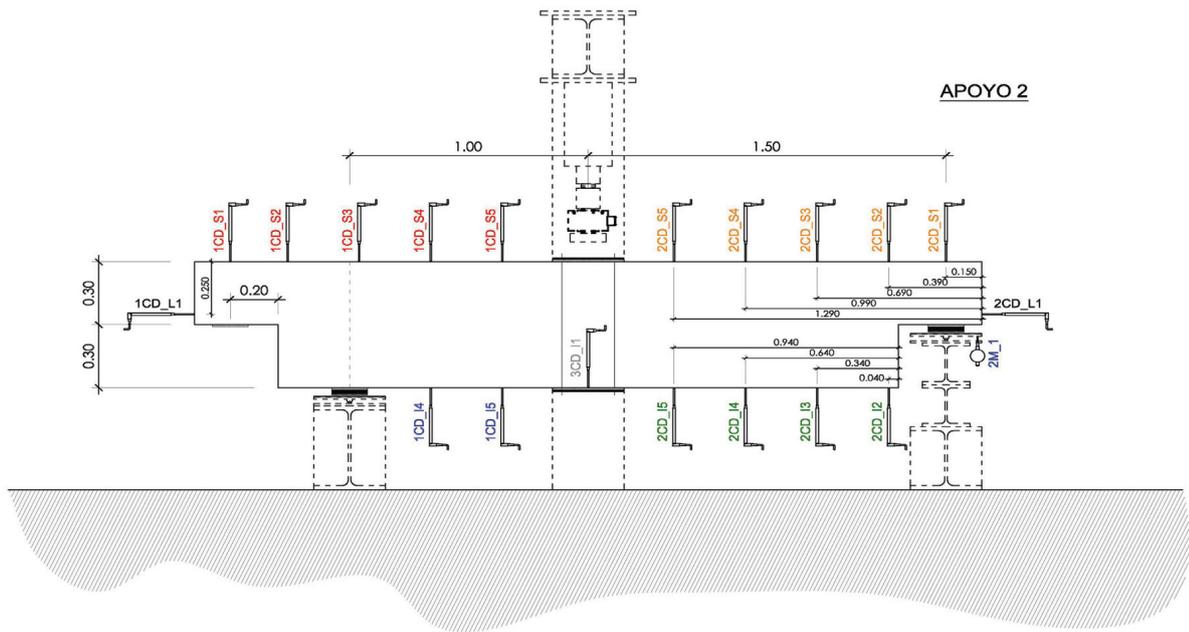
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A3_B3_C3_S1
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

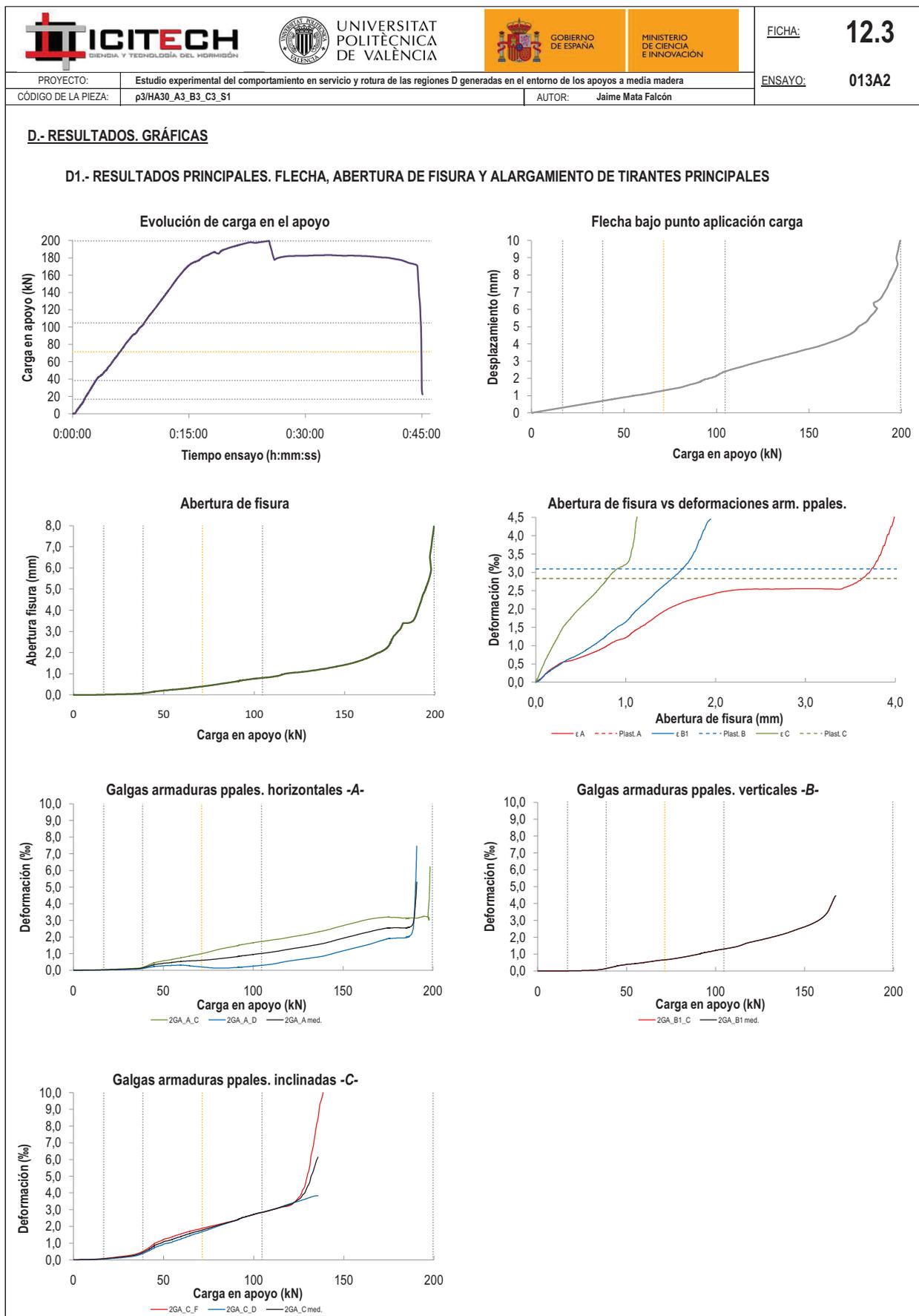
C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



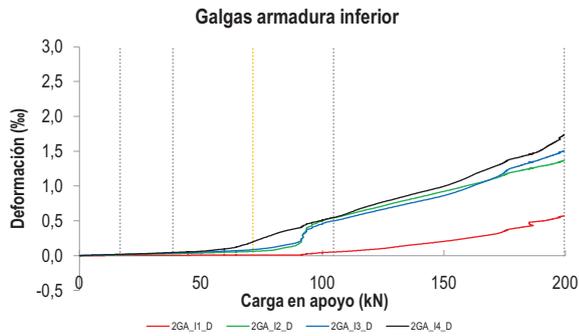
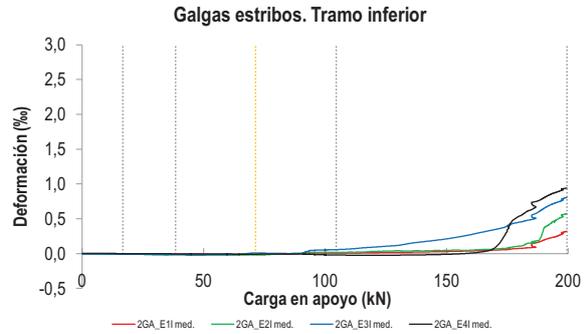
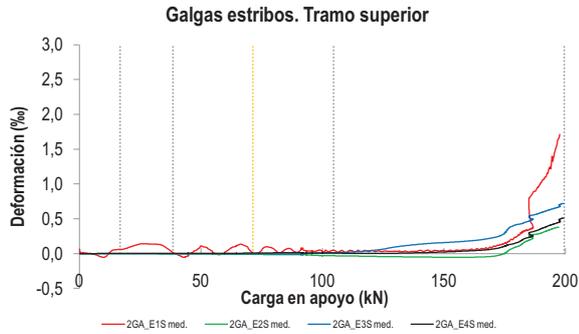
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA





PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO:	013A2
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A3_B3_C3_S1	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 12.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 013A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B3_C3_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00
9,98	5%	0,00	0,18	0,01	0,00	-	-	0,02
19,96	10%	0,02	0,36	0,03	0,02	-	-	0,09
29,94	15%	0,04	0,54	0,07	0,04	-	-	0,21
39,92	20%	0,09	0,72	0,18	0,18	-	-	0,52
49,90	25%	0,21	0,90	0,41	0,39	-	-	1,06
59,87	30%	0,28	1,07	0,53	0,50	-	-	1,40
69,85	35%	0,38	1,26	0,59	0,65	-	-	1,73
79,83	40%	0,50	1,46	0,68	0,79	-	-	2,05
89,81	45%	0,63	1,77	0,80	0,99	-	-	2,36
99,79	50%	0,76	2,15	0,95	1,22	-	-	2,71
109,77	55%	0,85	2,56	1,08	1,40	-	-	2,98
119,75	60%	1,03	2,87	1,26	1,71	-	-	3,30
129,73	65%	1,12	3,16	1,43	1,96	-	-	4,42
139,71	70%	1,25	3,43	1,63	2,24	-	-	-
149,69	75%	1,41	3,71	1,92	2,61	-	-	-
159,67	80%	1,65	4,02	2,19	3,15	-	-	-
169,64	85%	2,03	4,44	2,44	4,37	-	-	-
179,62	90%	2,99	5,24	2,55	-	-	-	-
189,60	95%	4,05	6,80	3,12	-	-	-	-
199,58	100%	6,52	9,04	-	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	16,76	8,4%	0,00	0,30	0,03	0,01	-	-	0,06
Punto de cambio de rigidez	38,50	19,3%	0,08	0,69	0,14	0,15	-	-	0,44
Abertura de fisura 0,20 mm	49,50	24,8%	0,20	0,89	0,41	0,38	-	-	1,05
Abertura de fisura 0,40 mm	71,37	35,8%	0,40	1,30	0,60	0,67	-	-	1,78
Abertura de fisura 0,60 mm	87,67	43,9%	0,60	1,69	0,77	0,94	-	-	2,28
Abertura de fisura 0,80 mm	103,84	52,0%	0,80	2,36	1,00	1,29	-	-	2,82
Primera plastificación	104,64	52,4%	0,80	2,39	1,01	1,31	-	-	2,84

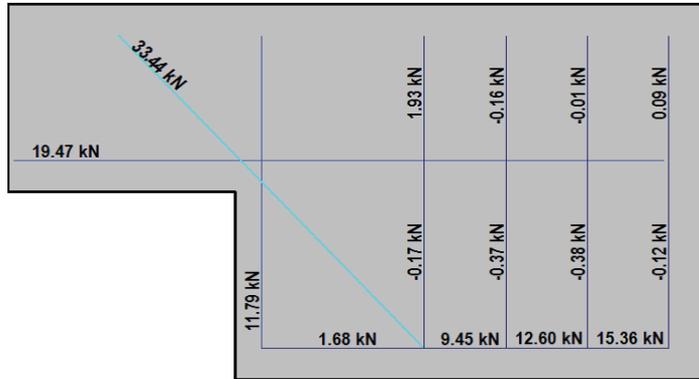
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p3/HA30_A3_B3_C3_S1
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

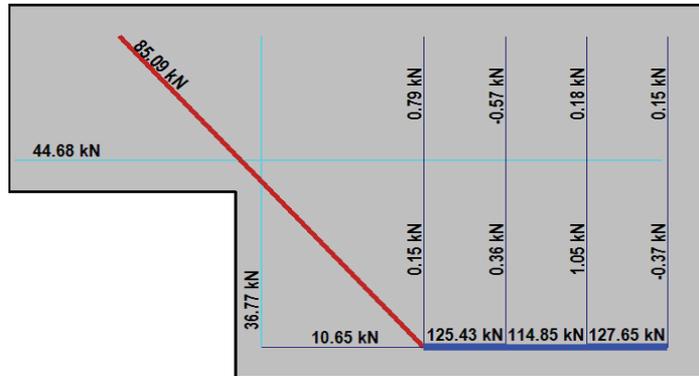
ENSAYO: **013A2**

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

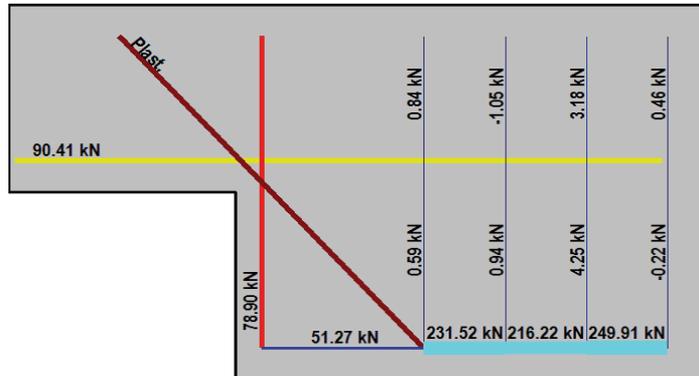
V (kN): 49,90
 $V/V_{\text{última}}$: 25%
 w (mm): 0,21



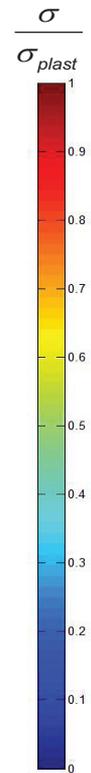
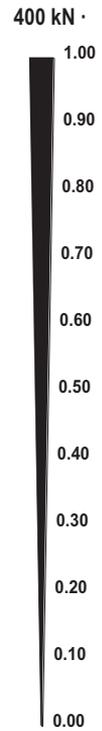
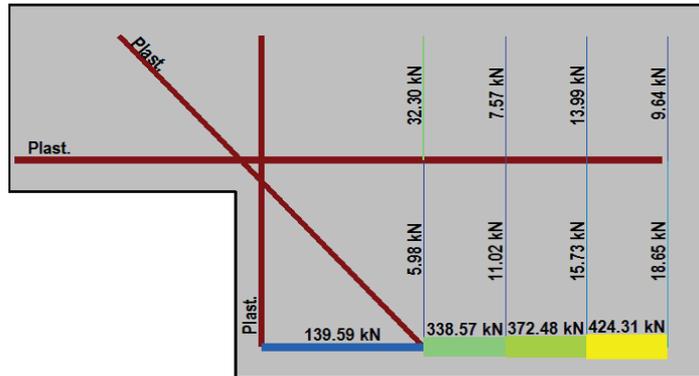
V (kN): 99,79
 $V/V_{\text{última}}$: 50%
 w (mm): 0,76



V (kN): 149,69
 $V/V_{\text{última}}$: 75%
 w (mm): 1,41



V (kN): 199,58
 $V/V_{\text{última}}$: 100%
 w (mm): 6,52



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 12.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 013A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p3/HA30_A3_B3_C3_S1						AUTOR: Jaime Mata Falcón

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN EN SERVICIO



DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA. FISURAS FLEXIÓN



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura tiene una inclinación de unos 45°. Es la principal fisura, incluso en rotura, que se junta con la fisura a la altura de la armadura superior y produce el levantamiento del recubrimiento superior de hormigón.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica primeramente la armadura inclinada (C), bastante después la vertical (B) y ya cerca de la carga máxima plastifica la armadura horizontal (A). Cuando plastifica la armadura vertical y puesto que a la armadura horizontal todavía le queda resistencia, la biela se inclina más y se manda algo de carga a los estribos de cortante de la viga.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progreso de la fisura que parte de la esquina, que produce el desprendimiento del recubrimiento superior del hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar la carga máxima se produce un descenso súbito en el entorno del 10% de la carga. La carga permanece estabilizada en ese nivel de carga bastante rato.

A.13 Ensayo 014 (p1/HA30_A1_B1_C0_S3) – Apoyo 1

	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	 GOBIERNO DE ESPAÑA	 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	FICHA: 13.1 ENSAYO: 014A1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A1_B1_C0_S3		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

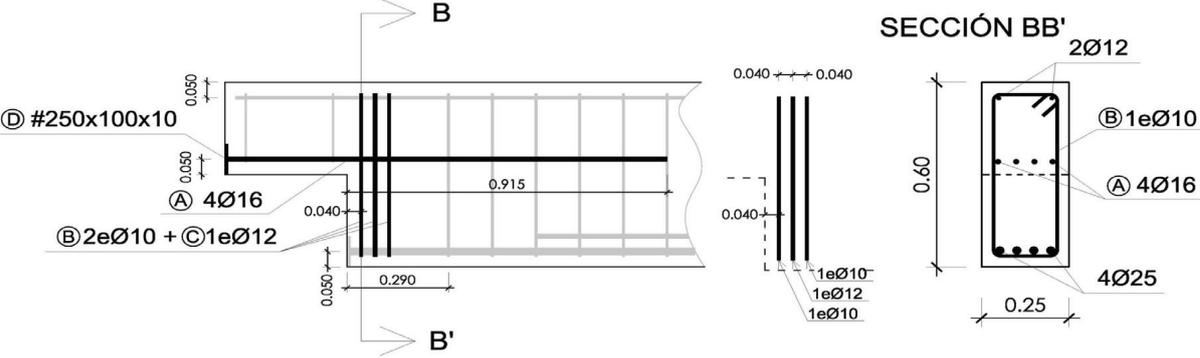
	NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 100%		
	TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-
Codificación: p1/HA30_A1_B1_C0_S3	Armado: 4 ϕ 16	Armado: 4 ϕ 10+2 ϕ 12	Armado: -
Fecha hom.: 29/10/2010	Cuantía (cm ²): 8,04	Cuantía (cm ²): 5,40	Cuantía (cm ²): 0,00
Fecha ensayo: 19/11/2010	(A_y/A_{max}) _{pi} : 100%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%
Edad (días): 21	Rec. mecán. (mm): 80		

Variante 1: -			
Variante 2: -			

	f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras
	31,1	3,19	0,00%
			$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)
			- -

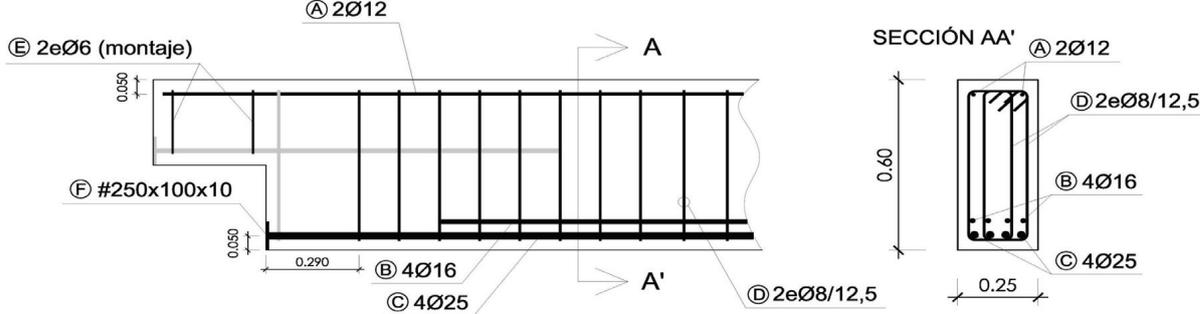
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

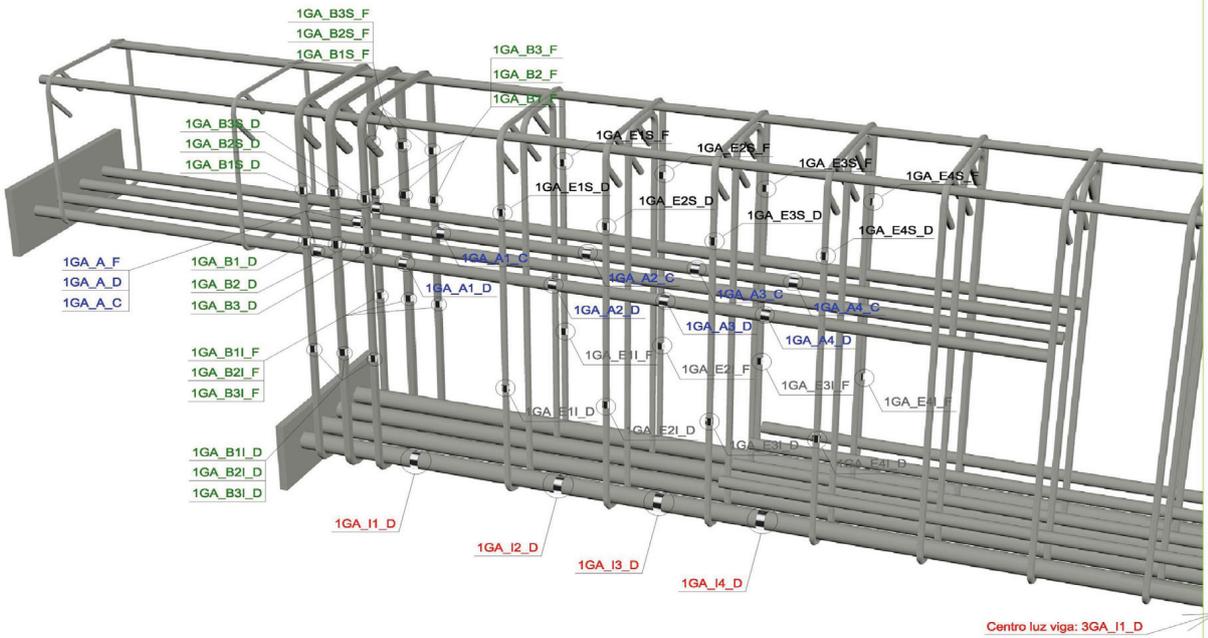
B2.- ARMADO DE LA VIGA



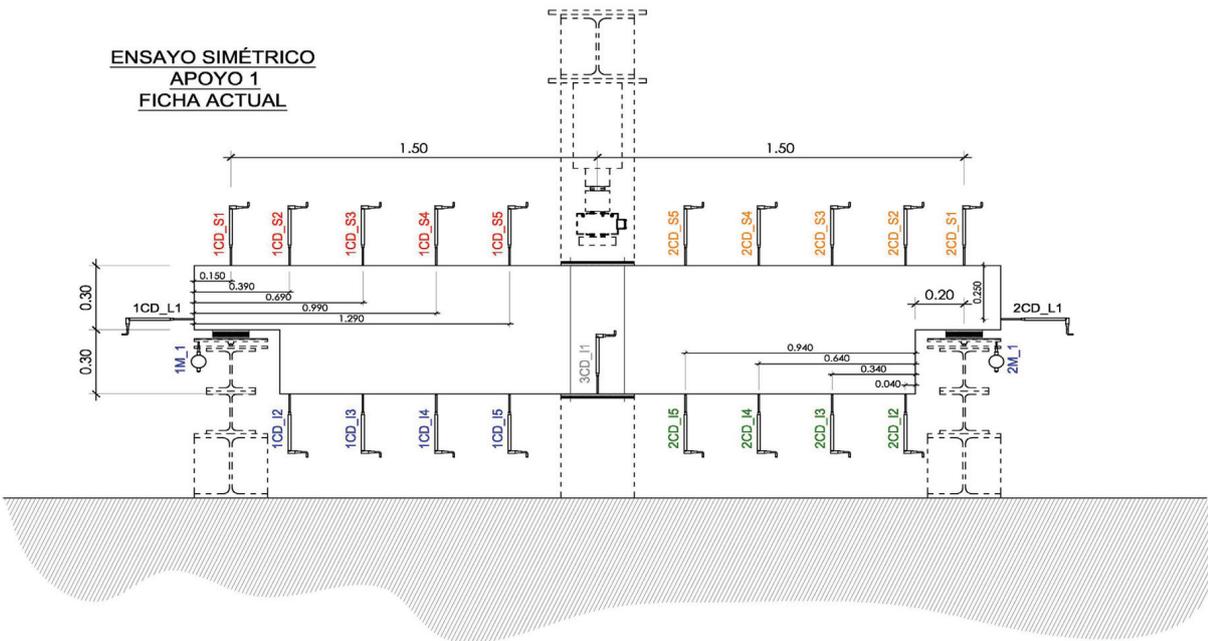
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



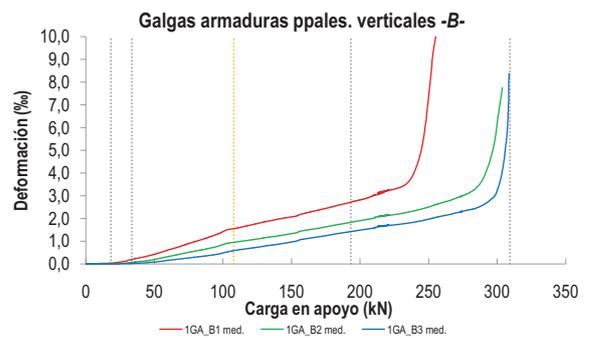
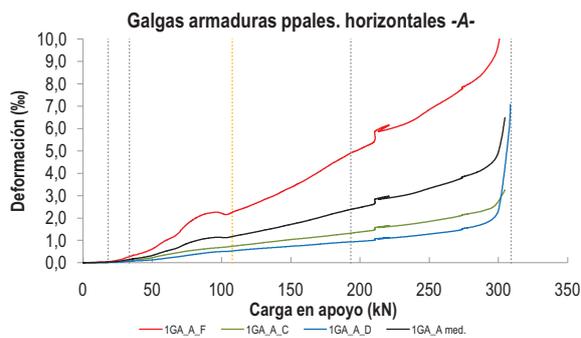
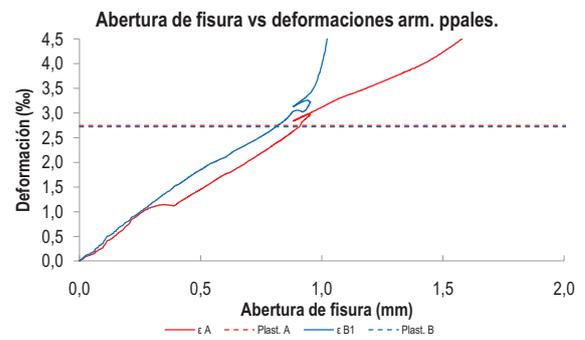
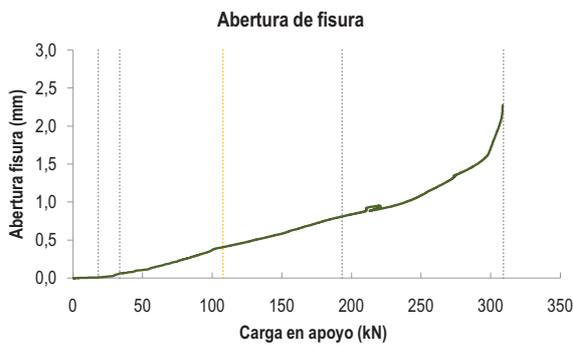
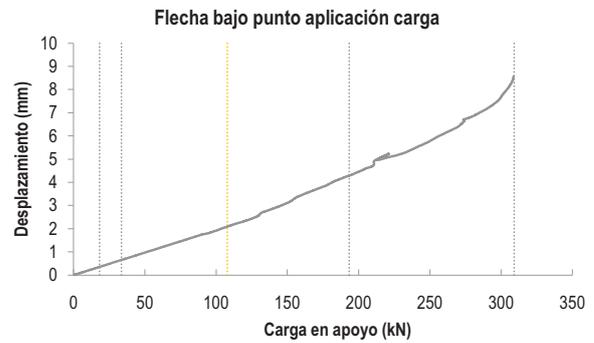
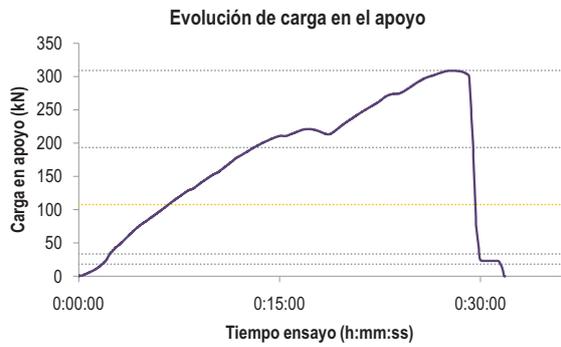
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 13.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO: 014A1	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A1_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

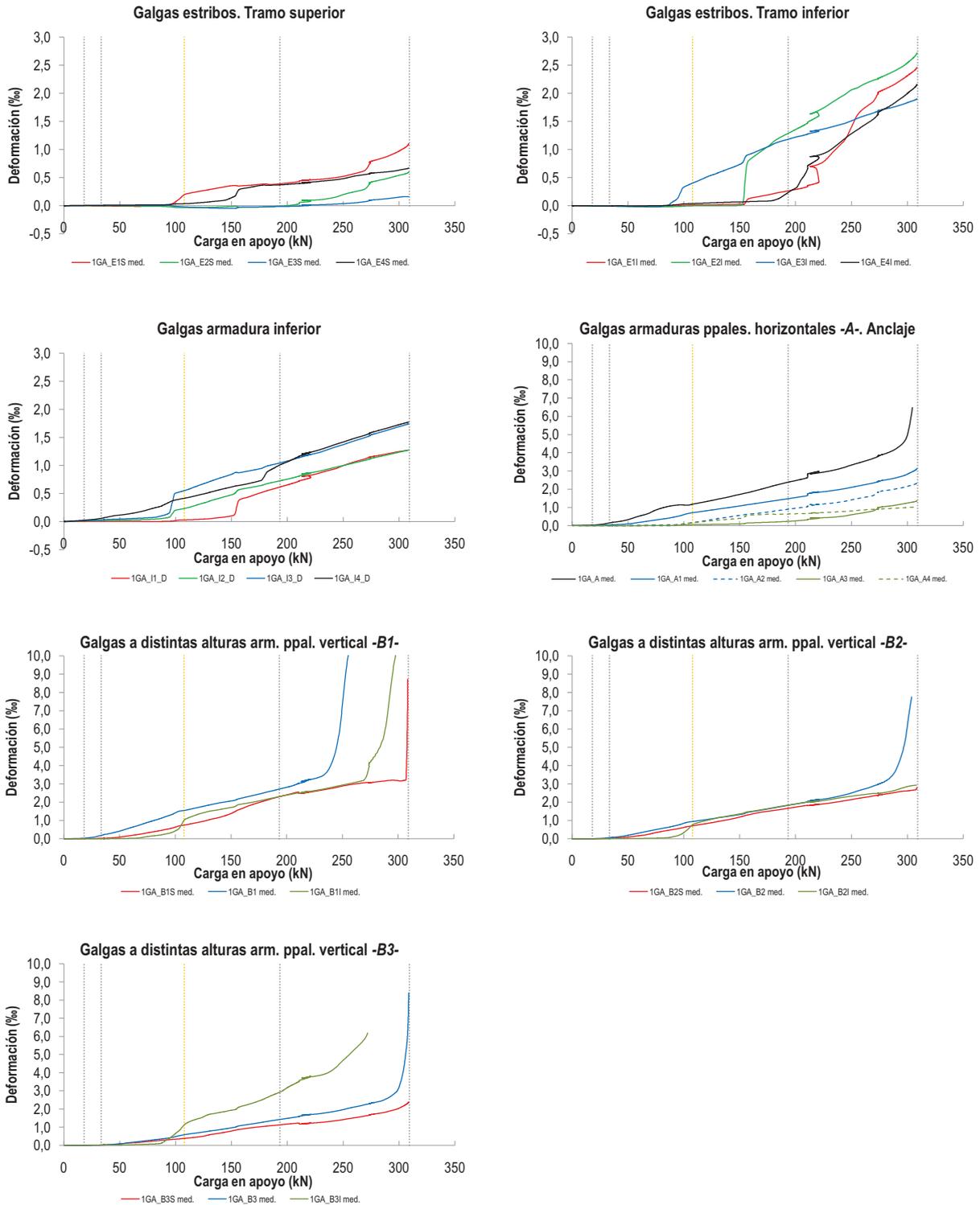
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO:	014A1
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p1/HA30_A1_B1_C0_S3	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 13.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 014A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A1_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
15,46	5%	0,00	0,30	0,02	0,03	0,01	0,00	-
30,92	10%	0,05	0,60	0,12	0,16	0,05	0,02	-
46,38	15%	-	0,90	0,28	0,37	0,16	0,06	-
61,84	20%	0,16	1,20	0,55	0,64	0,34	0,17	-
77,30	25%	0,24	1,50	0,90	0,94	0,53	0,28	-
92,76	30%	0,32	1,78	1,12	1,24	0,72	0,39	-
108,23	35%	0,41	2,10	1,18	1,55	0,95	0,59	-
123,69	40%	0,47	2,41	1,37	1,76	1,09	0,72	-
139,15	45%	0,54	2,85	1,56	1,96	1,23	0,86	-
154,61	50%	0,61	3,28	1,78	2,13	1,40	1,03	-
170,07	55%	0,69	3,69	2,01	2,37	1,58	1,20	-
185,53	60%	0,78	4,11	2,27	2,60	1,75	1,35	-
200,99	65%	0,84	4,49	2,49	2,83	1,92	1,50	-
216,45	70%	0,92	5,08	2,91	3,17	2,12	1,67	-
231,91	75%	0,96	5,28	3,02	3,47	2,24	1,77	-
247,37	80%	1,06	5,70	3,27	6,22	2,46	1,93	-
262,83	85%	1,21	6,17	3,55	-	2,74	2,14	-
278,29	90%	1,36	6,74	3,87	-	3,04	2,34	-
293,76	95%	1,57	7,37	4,47	-	4,62	2,81	-
309,22	100%	2,04	8,23	6,18	-	7,60	5,58	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	18,15	5,9%	0,00	0,35	0,03	0,04	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	33,50	10,8%	0,06	0,65	0,15	0,19	0,07	0,02	-
Abertura de fisura 0,20 mm	71,22	23,0%	0,20	1,39	0,76	0,82	0,46	0,24	-
Abertura de fisura 0,40 mm	107,79	34,9%	0,40	2,09	1,17	1,55	0,95	0,58	-
Abertura de fisura 0,60 mm	151,55	49,0%	0,60	3,17	1,74	2,09	1,35	0,98	-
Abertura de fisura 0,80 mm	194,26	62,8%	0,80	4,31	2,40	2,74	1,84	1,43	-
Primera plastificación	193,41	62,5%	0,81	4,30	2,39	2,72	1,83	1,43	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



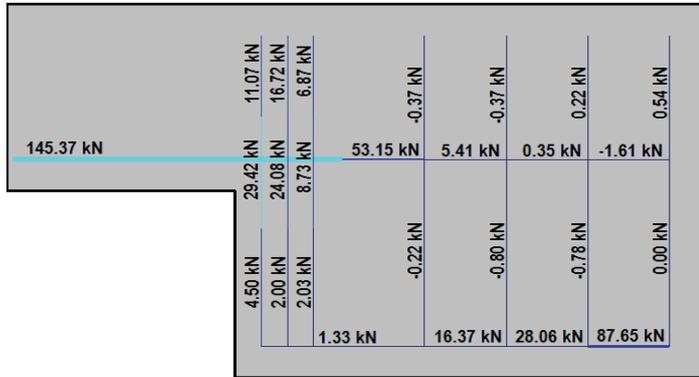
FICHA: 13.6

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p1/HA30_A1_B1_C0_S3
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

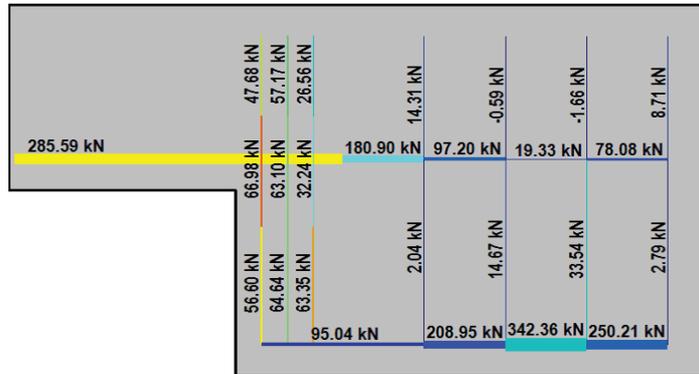
ENSAYO: 014A1

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

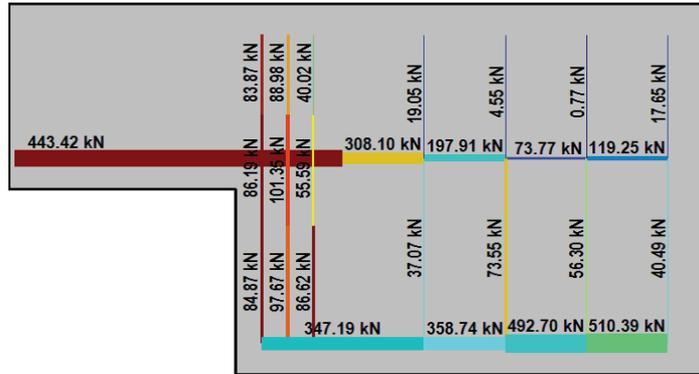
V (kN): 77,30
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,24



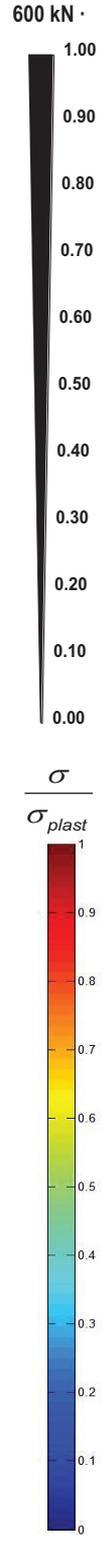
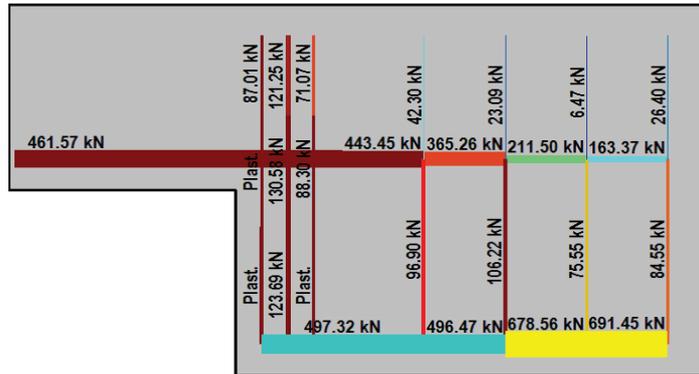
V (kN): 154,61
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,61



V (kN): 231,91
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 0,96



V (kN): 309,22
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 2,04



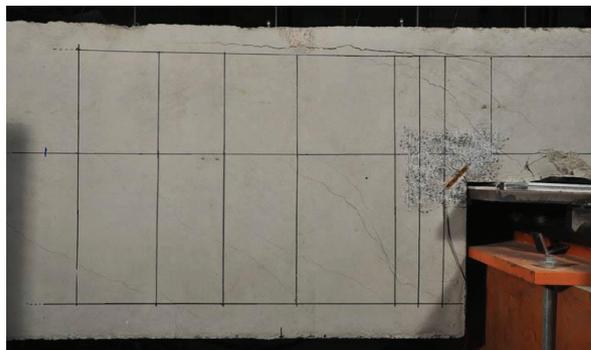
  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 13.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 014A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A1_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA. INSTANTE DE COLAPSO



VISTA DE DETALLE FALLO DE ANLAJE ESTRIBOS VERTICALES



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio
- INCIDENCIAS: Salta ligeramente el recubrimiento sobre el apoyo ensayado, pero no tiene consecuencias en la resistencia alcanzada. Parece que al saltar el recubrimiento superior del hormigón falla el anclaje de los estribos verticales y la pieza pierde toda la carga.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°. Al llegar a la armaduras principales se divide en varias.
 - Conforme aumenta la carga se producen distintas bielas desde el apoyo y la placa de anclaje de la armadura horizontal, que llevan la dirección de la biela. Estas fisuras buscan la parte superior de los estribos verticales y provocan el levantamiento del recubrimiento superior.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica primeramente el 1er estribo vertical (B1) y poco después la armadura horizontal. Ya cerca de la rotura se produce la plastificación de los otros dos estribos (B2-B3).
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: El progreso de las fisuras desde el apoyo produce el levantamiento del recubrimiento superior de hormigón, que se traduce en el colapso de la pieza.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Al alcanzar la carga máxima se produce el levantamiento del recubrimiento y la pieza colapsa de manera súbita.

A.14 Ensayo 014 (p1/HA30_A1_B1_C0_S3) – Apoyo 2

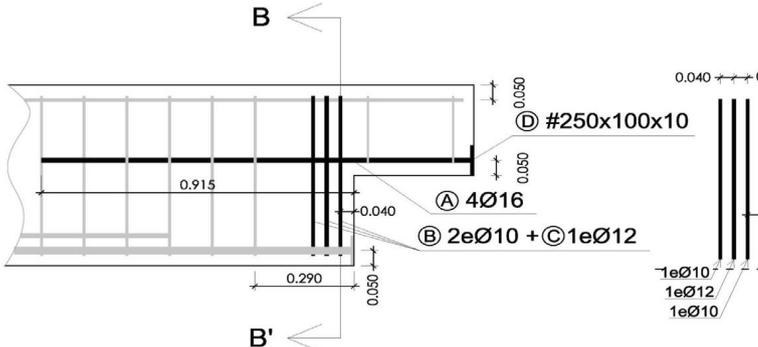
	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	 GOBIERNO DE ESPAÑA	 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	FICHA: 14.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera			ENSAYO: 014A2	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A1_B1_C0_S3		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p1/HA30_A1_B1_C0_S3 Fecha hom.: 29/10/2010 Fecha ensayo: 19/11/2010 Edad (días): 21 Secc. apoyo (mm): 250x300 Secc. viga (mm): 250x600 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio V última (kN): 250,90 V (w=0,4 mm) (kN): 80,03 32% Tipo rotura: Acero / B1-A-B2	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 100%</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">TIR. HORIZ. -A-</th> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">TIR. VERTICAL -B-</th> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">TIR. INCLIN. -C-</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Armado: 4ϕ16</td> <td style="text-align: center;">Armado: 4ϕ10+2ϕ12</td> <td style="text-align: center;">Armado: -</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 8,04</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 5,40</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 0,00</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(A_y/A_{max})_{pi}: 100%</td> <td style="text-align: center;">(B_y/B_{max})_{pi}: 100%</td> <td style="text-align: center;">(C_y/C_{max})_{pi}: 0%</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">Rec. mecán. (mm): 80</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="border-bottom: 1px dashed black;"> Variante 1: - Variante 2: - </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">f_c (Mpa)</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">f_{ct} (Mpa)</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">Vol. Fibras</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">31,1</td> <td style="text-align: center;">3,19</td> <td style="text-align: center;">0,00%</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="border-bottom: 1px dashed black;"> $f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa) </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">- -</td> </tr> </table>	NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 100%			TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	Armado: 4 ϕ 16	Armado: 4 ϕ 10+2 ϕ 12	Armado: -	Cuantía (cm ²): 8,04	Cuantía (cm ²): 5,40	Cuantía (cm ²): 0,00	(A_y/A_{max}) _{pi} : 100%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%	Rec. mecán. (mm): 80			Variante 1: - Variante 2: -			f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	31,1	3,19	0,00%	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)			- -		
NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 100%																																		
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-																																
Armado: 4 ϕ 16	Armado: 4 ϕ 10+2 ϕ 12	Armado: -																																
Cuantía (cm ²): 8,04	Cuantía (cm ²): 5,40	Cuantía (cm ²): 0,00																																
(A_y/A_{max}) _{pi} : 100%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%																																
Rec. mecán. (mm): 80																																		
Variante 1: - Variante 2: -																																		
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras																																
31,1	3,19	0,00%																																
$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)																																		
- -																																		

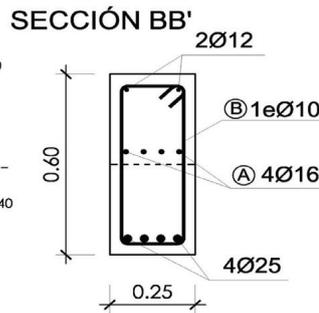
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



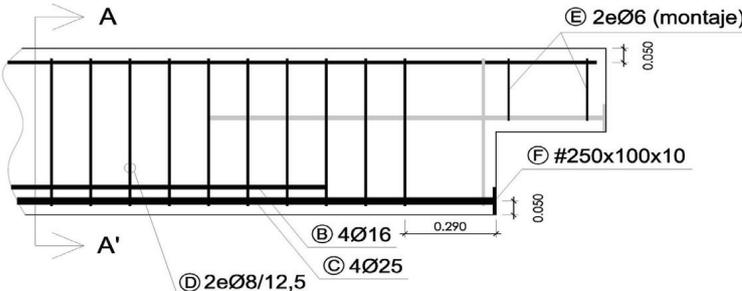
B
B'

SECCIÓN BB'



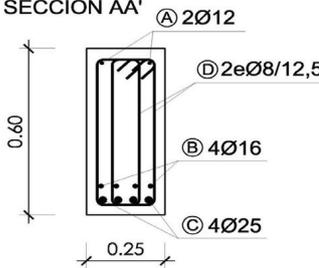
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA



A
A'

SECCIÓN AA'

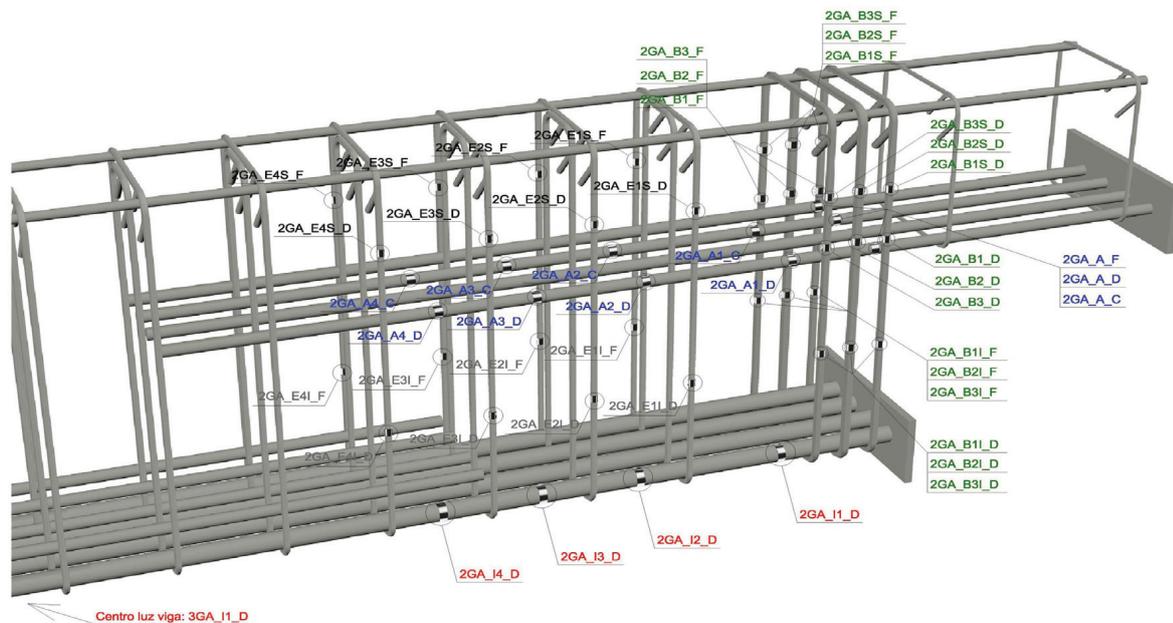


- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

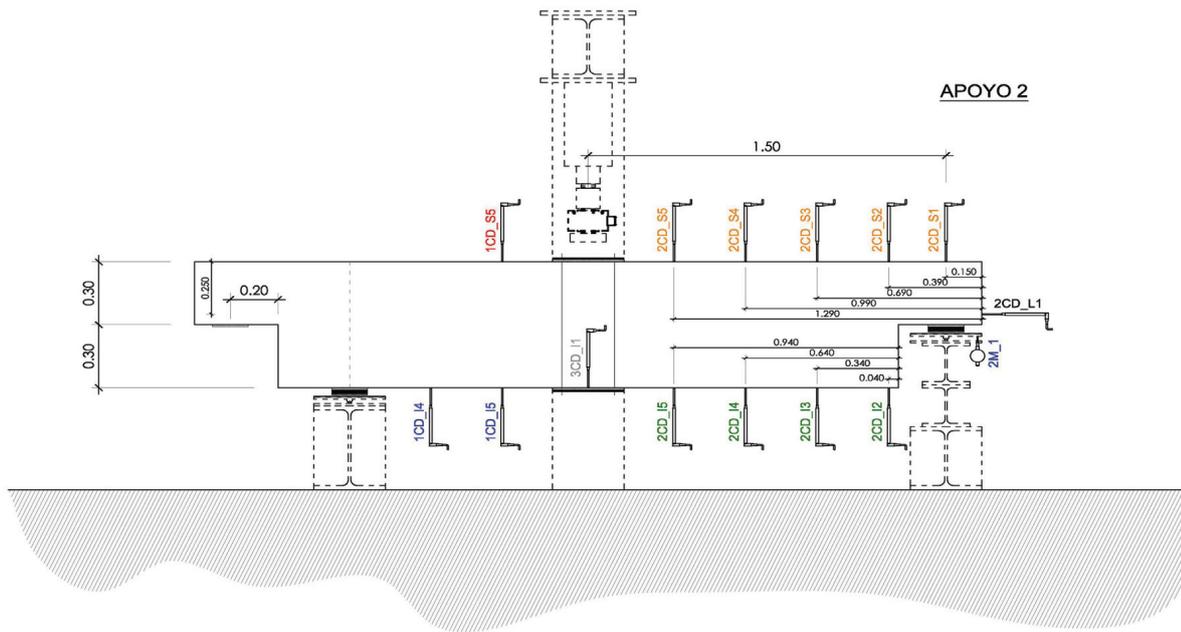
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p1/HA30_A1_B1_C0_S3
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



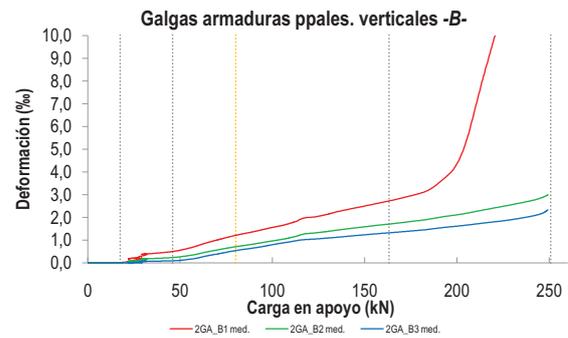
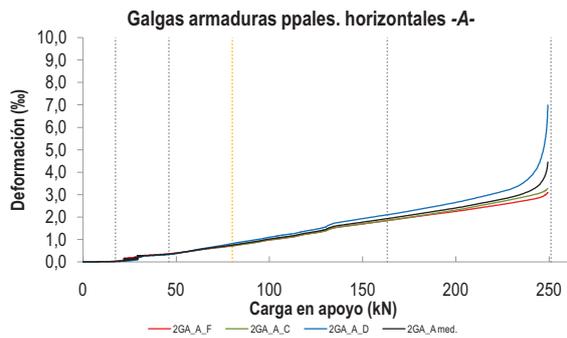
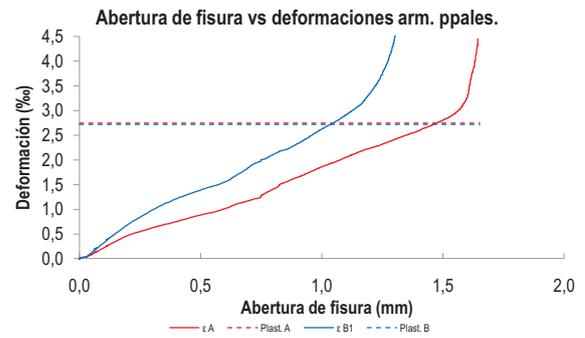
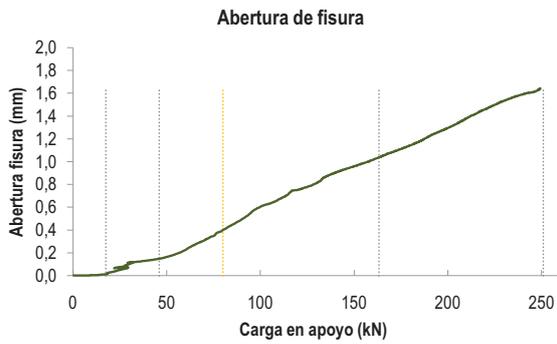
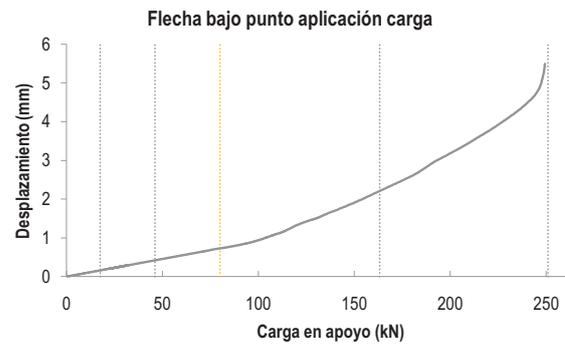
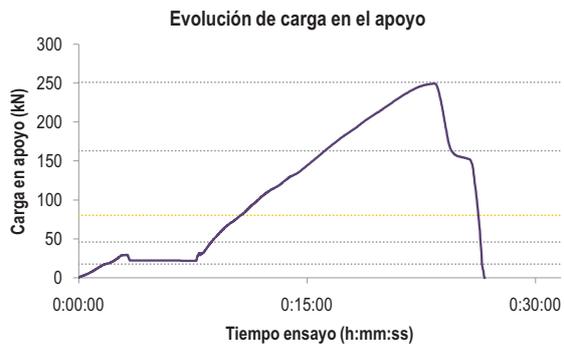
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 14.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 014A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A1_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

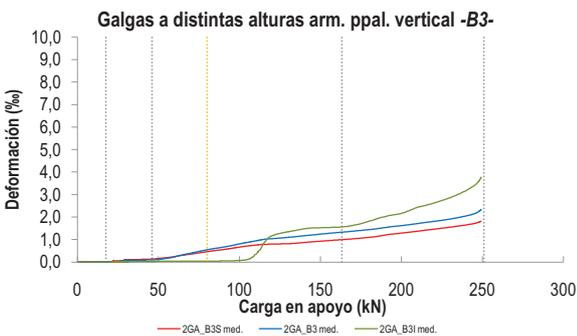
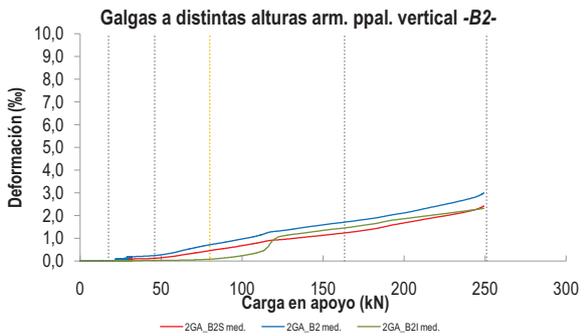
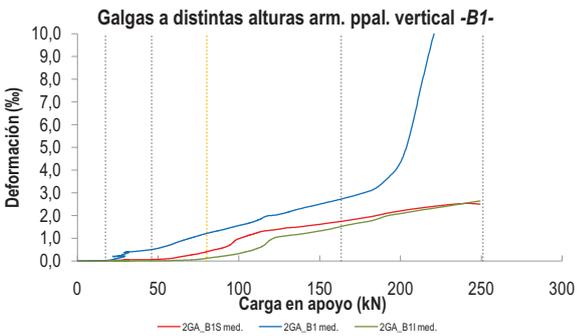
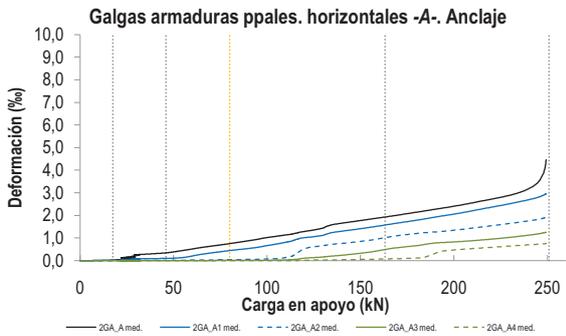
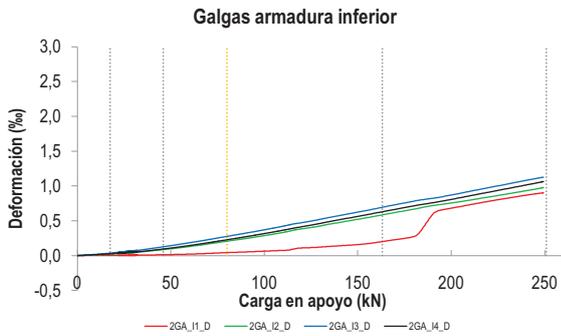
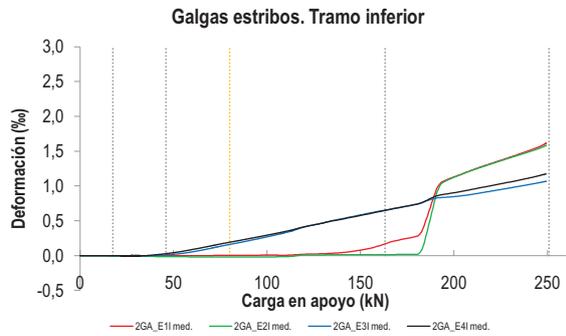
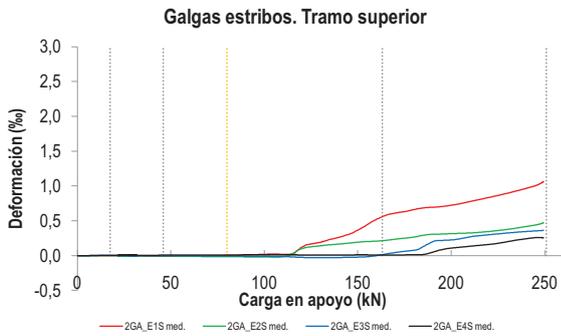


LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE
DE ARMADURA INCLINADA -C-

Estudio Experimental del comportamiento en servicio y rotura de las Regiones D generadas en el entorno de los Apoyos a Media Madera

   		FICHA: 14.4
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO: 014A2	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A1_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D2.- OTROS RESULTADOS



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 14.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 014A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A1_B1_C0_S3					AUTOR: Jaime Mata Falcón	

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
12,55	5%	0,00	0,11	0,01	0,01	0,00	0,00	-
25,09	10%	0,06	0,23	0,10	0,15	0,06	0,02	-
37,64	15%	0,13	0,34	0,30	0,43	0,20	0,08	-
50,18	20%	0,16	0,46	0,39	0,56	0,27	0,12	-
62,73	25%	0,25	0,57	0,55	0,84	0,45	0,28	-
75,27	30%	0,36	0,69	0,70	1,12	0,65	0,48	-
87,82	35%	0,47	0,79	0,85	1,34	0,81	0,64	-
100,36	40%	0,61	0,94	1,02	1,57	0,97	0,81	-
112,91	45%	0,70	1,16	1,17	1,83	1,17	0,98	-
125,45	50%	0,78	1,43	1,37	2,07	1,35	1,07	-
138,00	55%	0,89	1,67	1,63	2,30	1,47	1,15	-
150,54	60%	0,96	1,92	1,78	2,51	1,59	1,24	-
163,09	65%	1,04	2,21	1,93	2,73	1,71	1,33	-
175,63	70%	1,12	2,50	2,08	2,97	1,83	1,41	-
188,18	75%	1,21	2,85	2,25	3,40	1,97	1,51	-
200,72	80%	1,30	3,21	2,42	4,56	2,13	1,63	-
213,27	85%	1,41	3,56	2,61	7,82	2,31	1,74	-
225,81	90%	1,50	3,95	2,82	11,10	2,50	1,86	-
238,36	95%	1,58	4,42	3,13	-	2,71	2,03	-
250,90	100%	1,63	5,12	3,93	-	2,94	2,26	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	17,50	7,0%	0,00	0,16	0,02	0,02	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	46,00	18,3%	0,15	0,42	0,34	0,50	0,24	0,10	-
Abertura de fisura 0,20 mm	56,29	22,4%	0,20	0,51	0,46	0,68	0,34	0,18	-
Abertura de fisura 0,40 mm	80,03	31,9%	0,40	0,73	0,75	1,21	0,71	0,54	-
Abertura de fisura 0,60 mm	101,60	40,5%	0,60	0,97	1,04	1,59	0,99	0,83	-
Abertura de fisura 0,80 mm	126,15	50,3%	0,80	1,44	1,38	2,08	1,35	1,07	-
Primera plastificación	163,21	65,0%	1,04	2,21	1,93	2,73	1,71	1,33	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



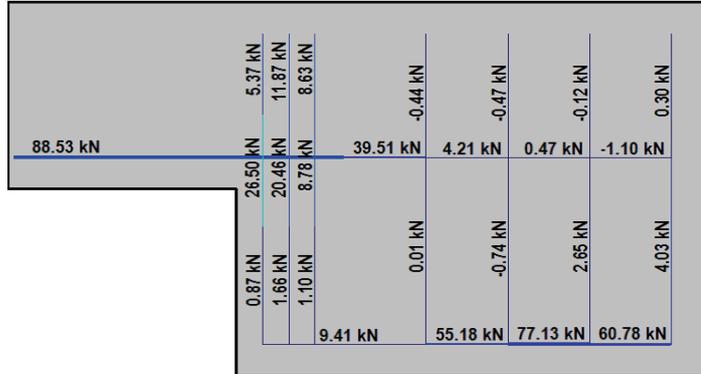
FICHA: **14.6**

PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A1_B1_C0_S3
 AUTOR: Jaime Mata Falcón

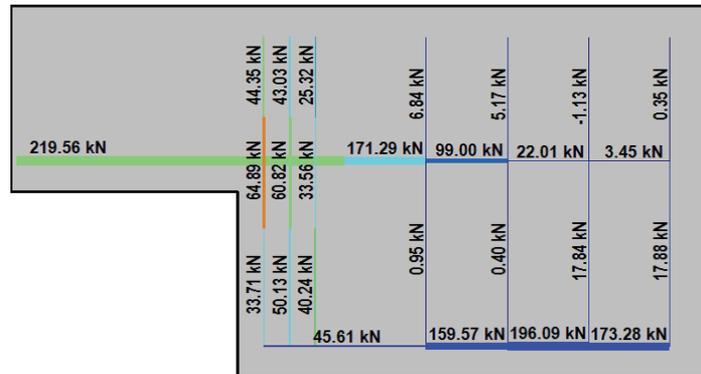
ENSAYO: **014A2**

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

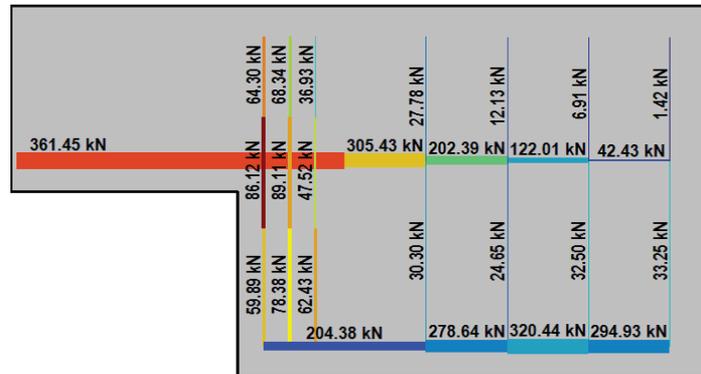
V (kN): 62,73
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,25



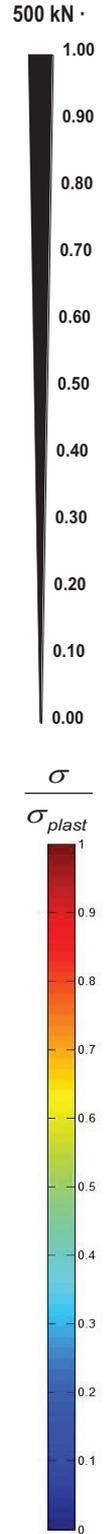
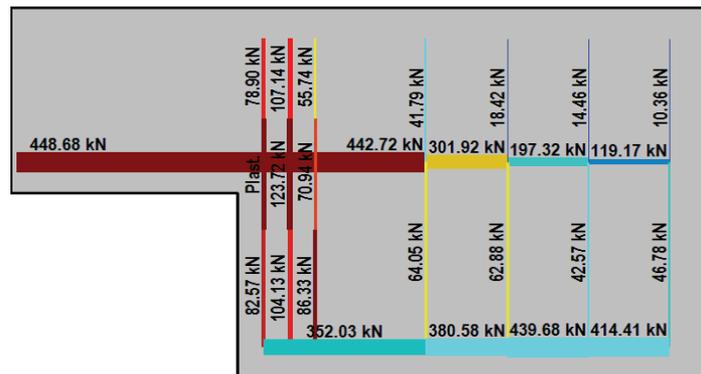
V (kN): 125,45
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,78



V (kN): 188,18
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 1,21



V (kN): 250,90
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 1,63



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 14.7
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 014A2	
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p1/HA30_A1_B1_C0_S3	AUTOR:		Jaime Mata Falcón		

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE ESQUINA PARA AB.FISURA=0,4 mm)



DETALLE DE FISURACIÓN DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio

- INCIDENCIAS: --

- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:

- La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
- La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°. Al llegar a la armaduras principales se divide en varias.
- Conforme aumenta la carga se produce fisuración desde el apoyo en dirección de la biela. Estas fisuras buscan la parte superior de los estribos verticales y provocan el levantamiento del recubrimiento superior.

- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica primeramente el 1er estribo vertical (B1) y después la armadura horizontal y el 2º estribo (B2).

- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: El agotamiento viene por la armadura horizontal. Pese a ser un diseño equilibrado entre los tirantes vertical y horizontal no llega a plastificar el 3º de los estribos.

- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se produce una pérdida progresiva de la carga a partir del punto de pico, sin llegar a estabilizarse en un valor concreto. El descenso de la carga es bastante rápido, sin llegar a ser súbito.

A.15 Ensayo 015 (p1/HA30_A3_B1_C0_S3) – Apoyo 1

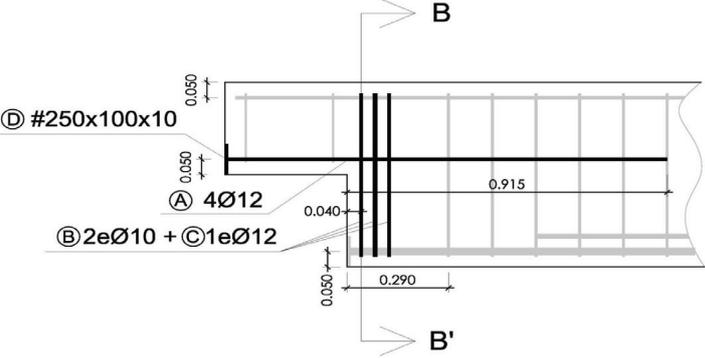
				FICHA: 15.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 015A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A3_B1_C0_S3		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

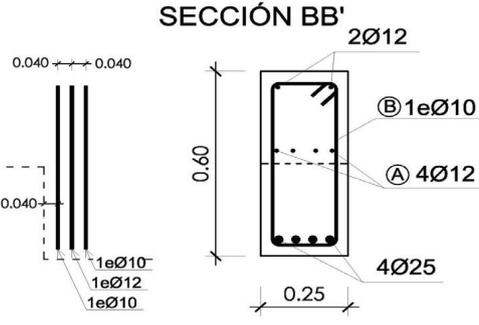
Codificación: p1/HA30_A3_B1_C0_S3 Fecha hom.: 29/10/2010 Fecha ensayo: 26/11/2010 Edad (días): 28 Secc. apoyo (mm): 250x300 Secc. viga (mm): 250x600 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio V última (kN): 194,39 V (w=0,4 mm) (kN): 80,72 42% Tipo rotura: Acero / B-A	NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 100% <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:33%; text-align: center;">TIR. HORIZ. -A-</td> <td style="width:33%; text-align: center;">TIR. VERTICAL -B-</td> <td style="width:33%; text-align: center;">TIR. INCLIN. -C-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Armado: 4ϕ12</td> <td style="text-align: center;">Armado: 4ϕ10+2ϕ12</td> <td style="text-align: center;">Armado: -</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 4,52</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 5,40</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 0,00</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(A_y/A_{max})_{pi}: 56%</td> <td style="text-align: center;">(B_y/B_{max})_{pi}: 100%</td> <td style="text-align: center;">(C_y/C_{max})_{pi}: 0%</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Rec. mecán. (mm): 80</td> </tr> </table>	TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	Armado: 4 ϕ 12	Armado: 4 ϕ 10+2 ϕ 12	Armado: -	Cuantía (cm ²): 4,52	Cuantía (cm ²): 5,40	Cuantía (cm ²): 0,00	(A_y/A_{max}) _{pi} : 56%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%	Rec. mecán. (mm): 80		
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-														
Armado: 4 ϕ 12	Armado: 4 ϕ 10+2 ϕ 12	Armado: -														
Cuantía (cm ²): 4,52	Cuantía (cm ²): 5,40	Cuantía (cm ²): 0,00														
(A_y/A_{max}) _{pi} : 56%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%														
Rec. mecán. (mm): 80																
Variante 1: - Variante 2: -																
<table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:25%; text-align: center;">f_c (Mpa)</td> <td style="width:25%; text-align: center;">f_{ct} (Mpa)</td> <td style="width:25%; text-align: center;">Vol. Fibras</td> <td style="width:25%; text-align: center;">$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">30,0</td> <td style="text-align: center;">2,84</td> <td style="text-align: center;">0,00%</td> <td style="text-align: center;">- -</td> </tr> </table>		f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)	30,0	2,84	0,00%	- -							
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)													
30,0	2,84	0,00%	- -													

B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

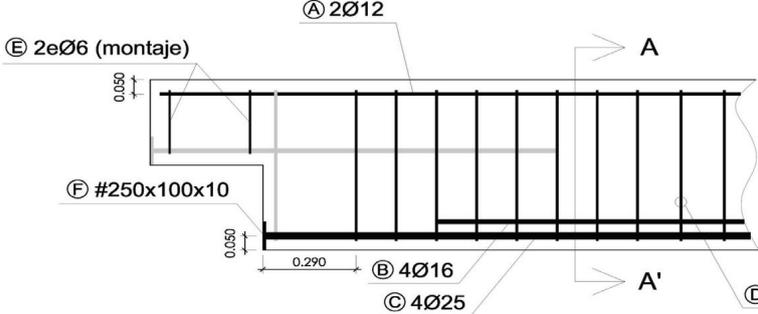


SECCIÓN BB'

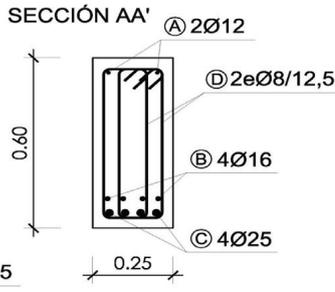


- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA



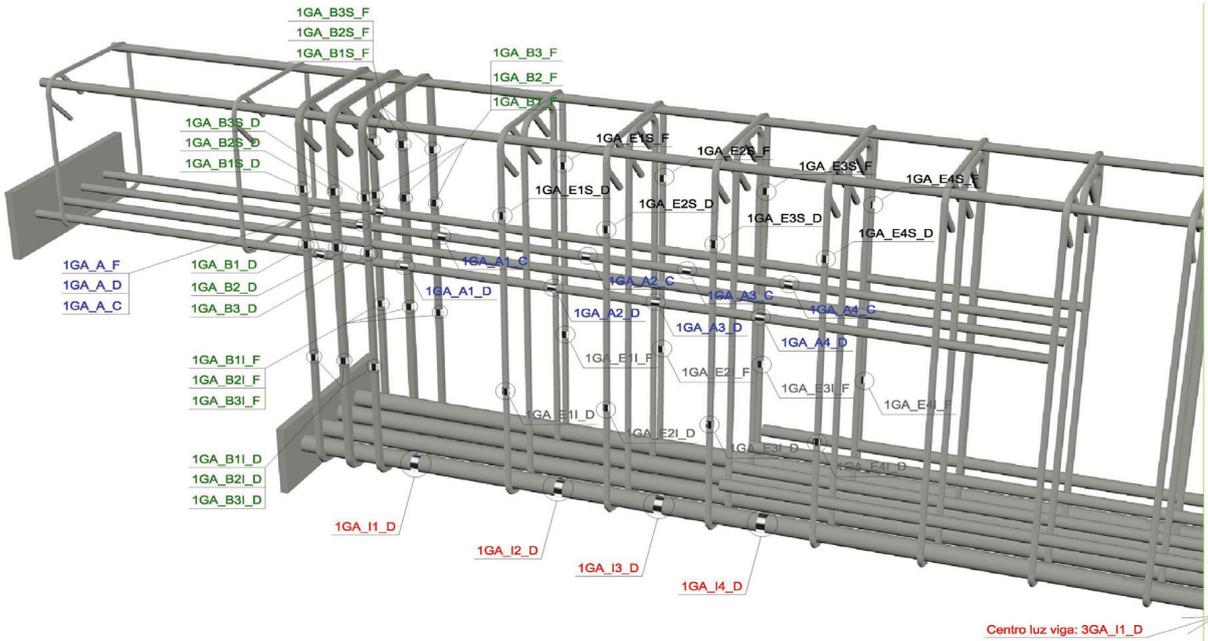
SECCIÓN AA'



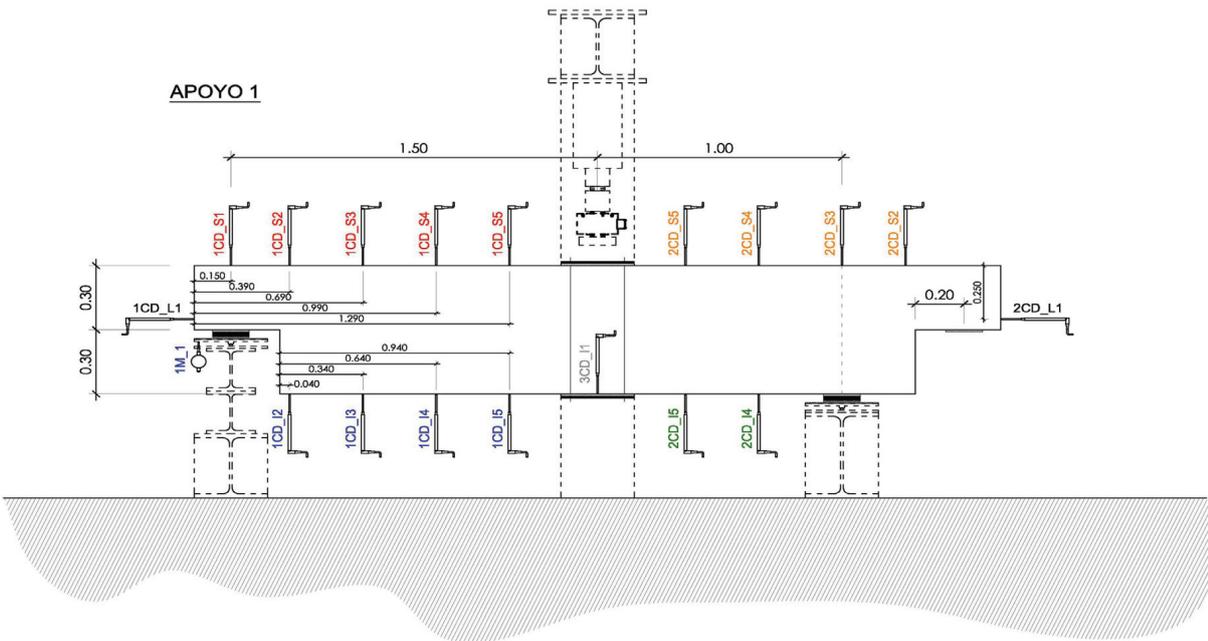
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



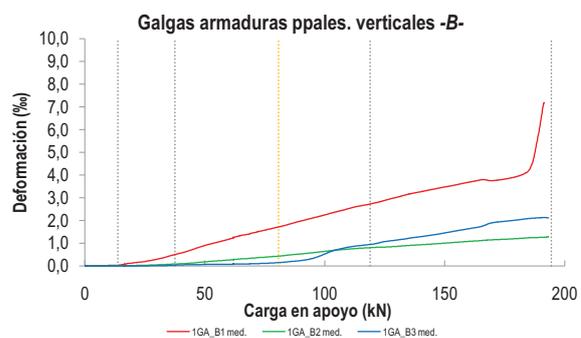
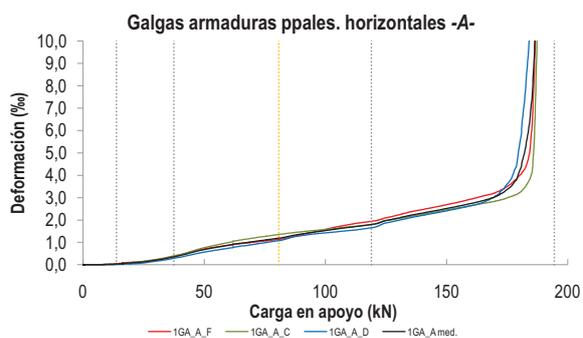
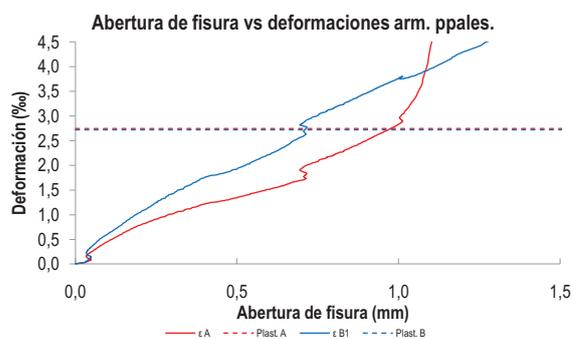
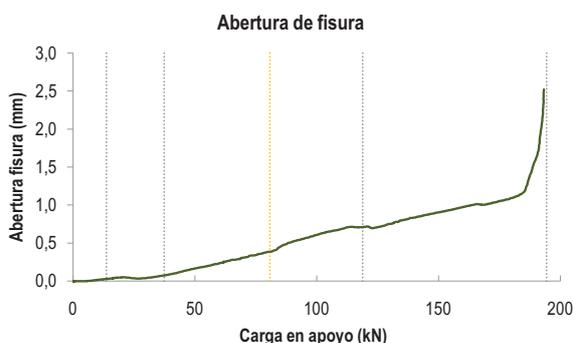
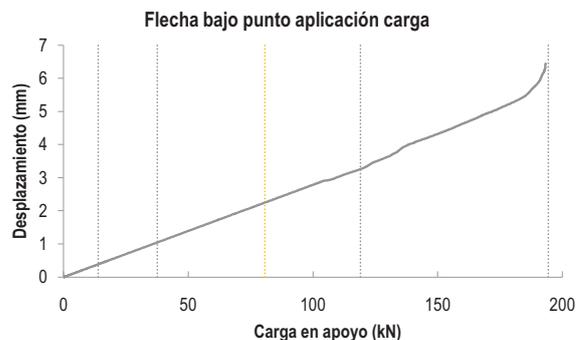
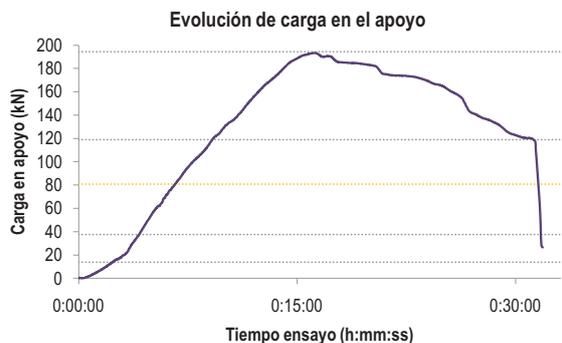
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 15.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO: 015A1	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A3_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-



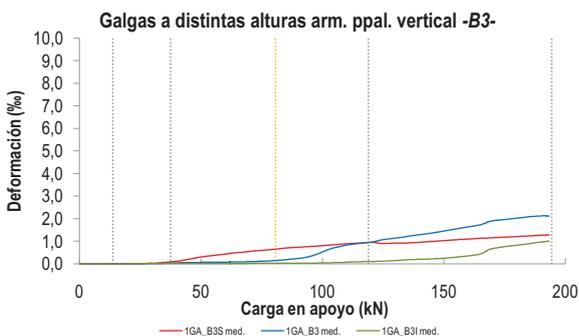
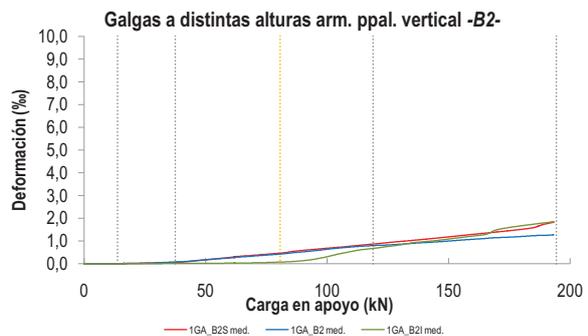
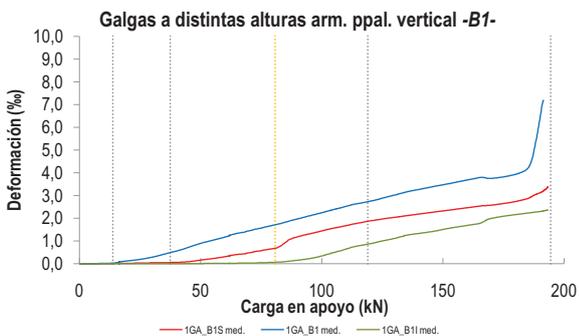
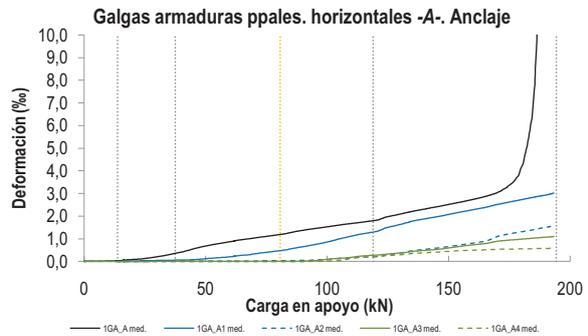
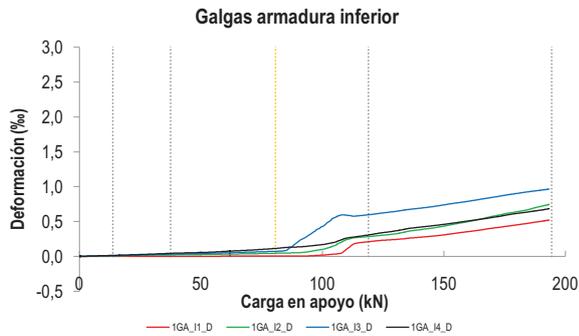
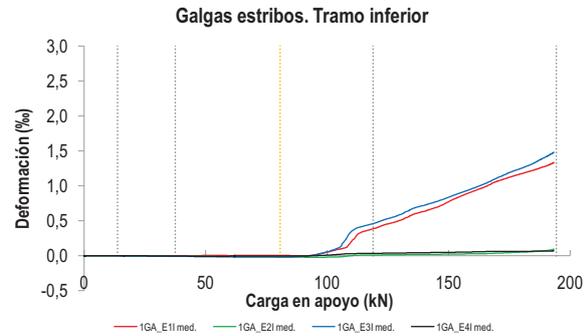
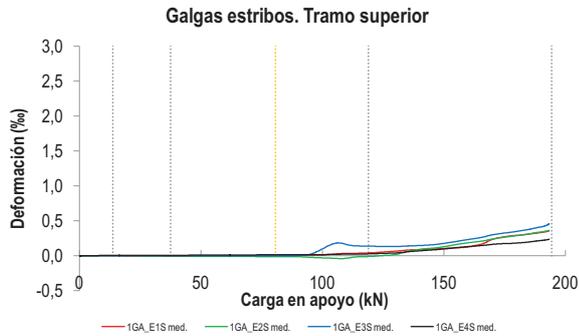
FICHA: **15.4**

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p1/HA30_A3_B1_C0_S3

ENSAYO: **015A1**

AUTOR: Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 15.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 015A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A3_B1_C0_S3					AUTOR: Jaime Mata Falcón	

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
9,72	5%	0,00	0,27	0,02	0,02	0,00	0,00	-
19,44	10%	0,05	0,55	0,08	0,12	0,02	0,00	-
29,16	15%	0,04	0,81	0,19	0,27	0,04	0,01	-
38,88	20%	0,08	1,08	0,39	0,53	0,09	0,04	-
48,60	25%	0,15	1,35	0,65	0,85	0,17	0,06	-
58,32	30%	0,22	1,63	0,84	1,12	0,25	0,07	-
68,04	35%	0,30	1,91	1,01	1,41	0,33	0,09	-
77,76	40%	0,37	2,17	1,15	1,64	0,41	0,13	-
87,48	45%	0,49	2,43	1,33	1,90	0,50	0,21	-
97,20	50%	0,58	2,71	1,49	2,17	0,61	0,41	-
106,92	55%	0,66	2,94	1,63	2,43	0,71	0,76	-
116,64	60%	0,71	3,20	1,77	2,68	0,79	0,92	-
126,36	65%	0,72	3,52	2,00	2,92	0,84	1,09	-
136,08	70%	0,80	3,89	2,22	3,18	0,90	1,23	-
145,80	75%	0,88	4,20	2,43	3,39	0,97	1,37	-
155,52	80%	0,94	4,49	2,64	3,59	1,05	1,55	-
165,24	85%	1,00	4,80	2,88	3,77	1,12	1,76	-
174,95	90%	1,05	5,09	3,36	3,82	1,17	1,96	-
184,67	95%	1,24	5,50	7,65	4,42	1,24	2,08	-
194,39	100%	2,08	6,17	-	7,04	1,27	2,12	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	13,80	7,1%	0,03	0,38	0,03	0,03	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	37,50	19,3%	0,07	1,05	0,36	0,50	0,08	0,03	-
Abertura de fisura 0,20 mm	55,22	28,4%	0,20	1,54	0,78	1,04	0,22	0,07	-
Abertura de fisura 0,40 mm	80,72	41,5%	0,40	2,25	1,19	1,71	0,43	0,14	-
Abertura de fisura 0,60 mm	99,80	51,3%	0,60	2,78	1,53	2,24	0,64	0,52	-
Abertura de fisura 0,80 mm	136,13	70,0%	0,80	3,89	2,22	3,18	0,90	1,23	-
Primera plastificación	118,95	61,2%	0,71	3,27	1,80	2,73	0,80	0,95	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



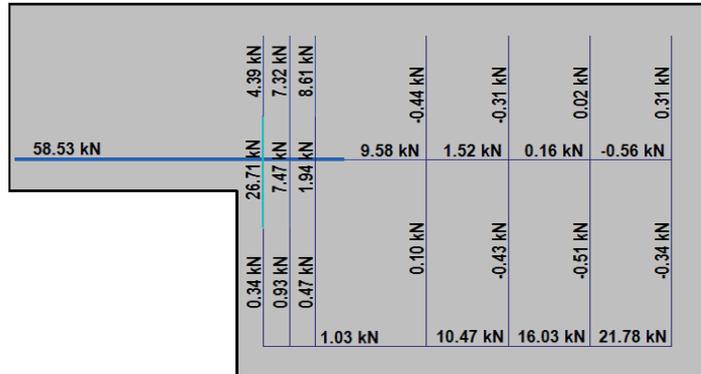
FICHA: **15.6**

PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A3_B1_C0_S3
 AUTOR: Jaime Mata Falcón

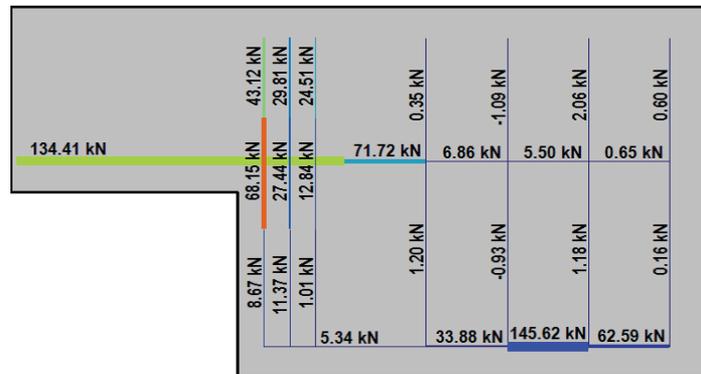
ENSAYO: **015A1**

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

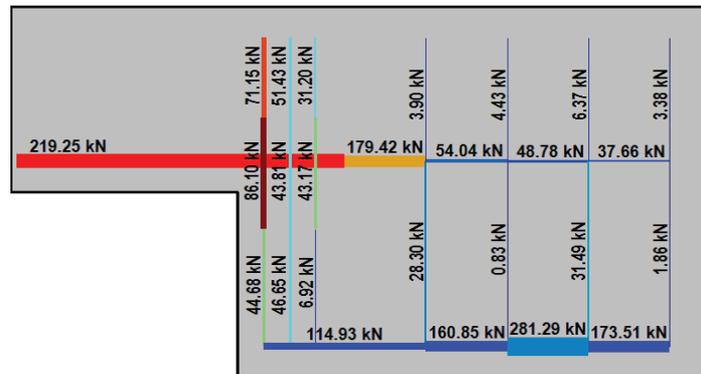
V (kN): 48,60
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,15



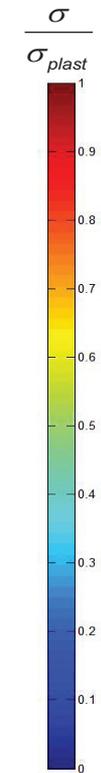
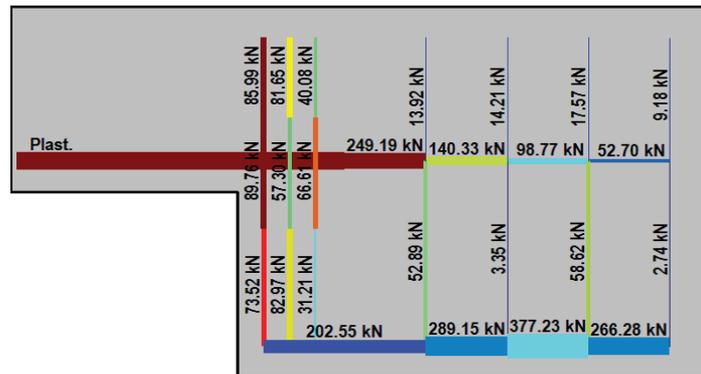
V (kN): 97,20
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,58



V (kN): 145,80
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 0,88



V (kN): 194,39
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 2,08



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 15.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera					ENSAYO: 015A1	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A3_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA



DETALLE DE FISURACIÓN BAJO EL APOYO



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio

- INCIDENCIAS: --

- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:

- La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
- La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°.
- La debilidad de la armadura horizontal hace que, cerca de la rotura se genere una fisura que parte muy cerca de la anterior, pero que es más vertical y va a buscar la parte superior de los estribos que componen el tirante vertical.

- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica primeramente el 1er estribo vertical (B1) y a continuación la armadura horizontal. Observando el tirante vertical (formado por tres estribos) como un conjunto, no se produciría su plastificación.

- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por agotamiento de la armadura horizontal (A); una vez plastifica el incremento de carga de la pieza es debido a la rama de endurecimiento de dicha armadura, hasta que alcanza su tensión máxima.

- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se produce una pérdida progresiva de la carga a partir del punto de pico. La caída de la carga es análoga a la que se produciría en un ensayo de tracción del acero tras la carga máxima. Durante este proceso se va desprendiendo el recubrimiento superior de hormigón, debido a la elevada deformabilidad demandada, pero este desprendimiento no es súbito.

A.16 Ensayo 015 (p1/HA30_A3_B1_C0_S3) – Apoyo 2

				FICHA: 16.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 015A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A3_B1_C0_S3		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

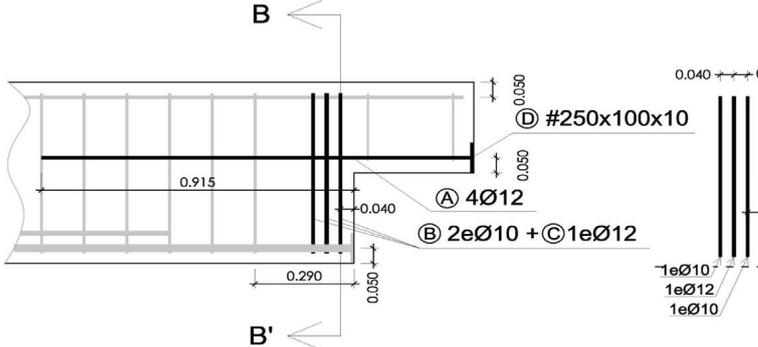
A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p1/HA30_A3_B1_C0_S3 Fecha hom.: 29/10/2010 Fecha ensayo: 26/11/2010 Edad (días): 28 Secc. apoyo (mm): 250x300 Secc. viga (mm): 250x600 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio V última (kN): 188,80 V (w=0,4 mm) (kN): 69,77 37% Tipo rotura: Acero / B-A	<table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 100%</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">TIR. HORIZ. -A-</th> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">TIR. VERTICAL -B-</th> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">TIR. INCLIN. -C-</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Armado: 4ϕ12</td> <td style="text-align: center;">Armado: 4ϕ10+2ϕ12</td> <td style="text-align: center;">Armado: -</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 4,52</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 5,40</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 0,00</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(A_j/A_{max})_{pi}: 56%</td> <td style="text-align: center;">(B_j/B_{max})_{pi}: 100%</td> <td style="text-align: center;">(C_j/C_{max})_{pi}: 0%</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Rec. mecán. (mm): 80</td> </tr> </table>	NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 100%			TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	Armado: 4 ϕ 12	Armado: 4 ϕ 10+2 ϕ 12	Armado: -	Cuantía (cm ²): 4,52	Cuantía (cm ²): 5,40	Cuantía (cm ²): 0,00	(A_j/A_{max}) _{pi} : 56%	(B_j/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_j/C_{max}) _{pi} : 0%	Rec. mecán. (mm): 80		
NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 100%																			
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-																	
Armado: 4 ϕ 12	Armado: 4 ϕ 10+2 ϕ 12	Armado: -																	
Cuantía (cm ²): 4,52	Cuantía (cm ²): 5,40	Cuantía (cm ²): 0,00																	
(A_j/A_{max}) _{pi} : 56%	(B_j/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_j/C_{max}) _{pi} : 0%																	
Rec. mecán. (mm): 80																			

Variante 1: -	<table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">f_c (Mpa)</th> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">f_{ct} (Mpa)</th> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">Vol. Fibras</th> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">30,0</td> <td style="text-align: center;">2,84</td> <td style="text-align: center;">0,00%</td> <td style="text-align: center;">- -</td> </tr> </table>	f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)	30,0	2,84	0,00%	- -
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)						
30,0	2,84	0,00%	- -						
Variante 2: -									

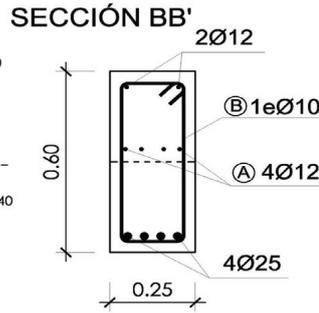
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

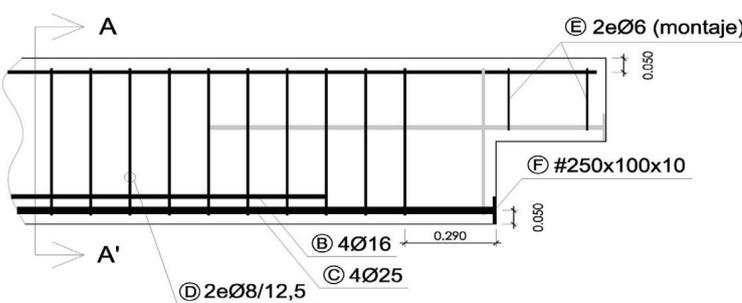


- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

SECCIÓN BB'

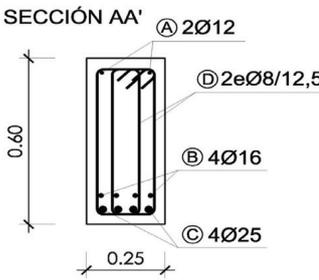


B2.- ARMADO DE LA VIGA



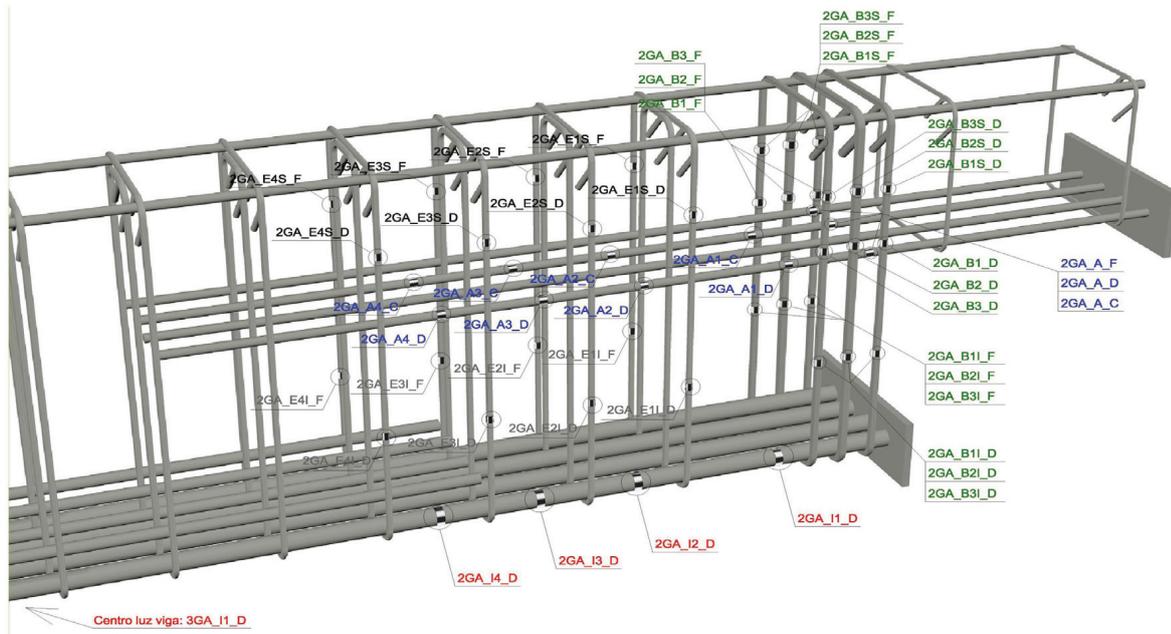
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

SECCIÓN AA'

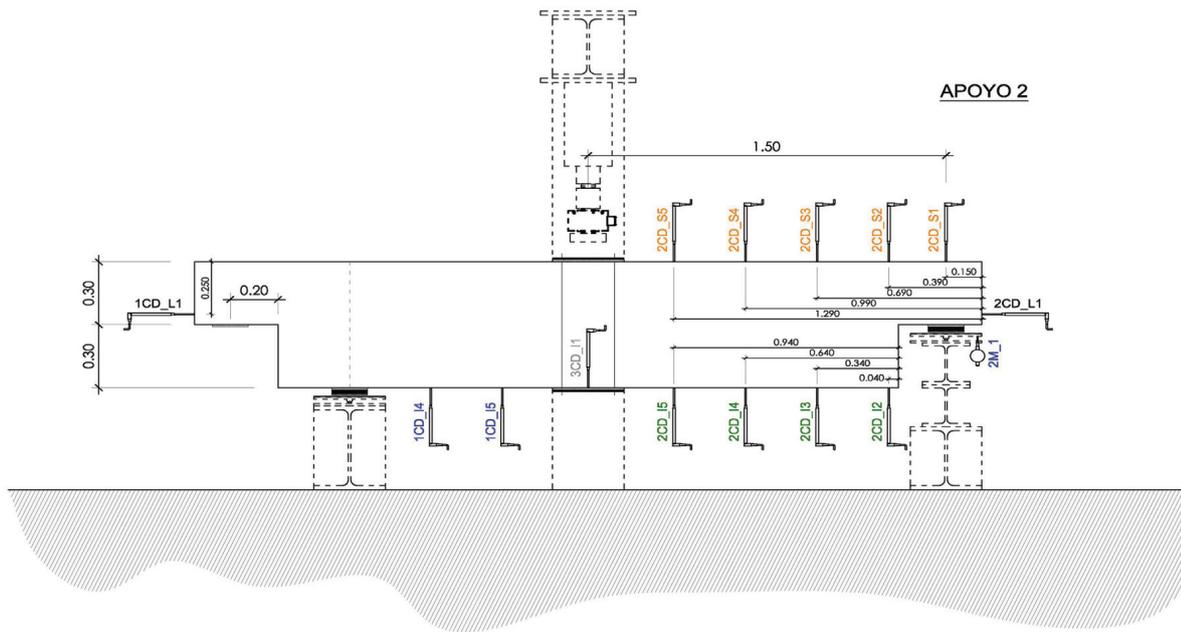


C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



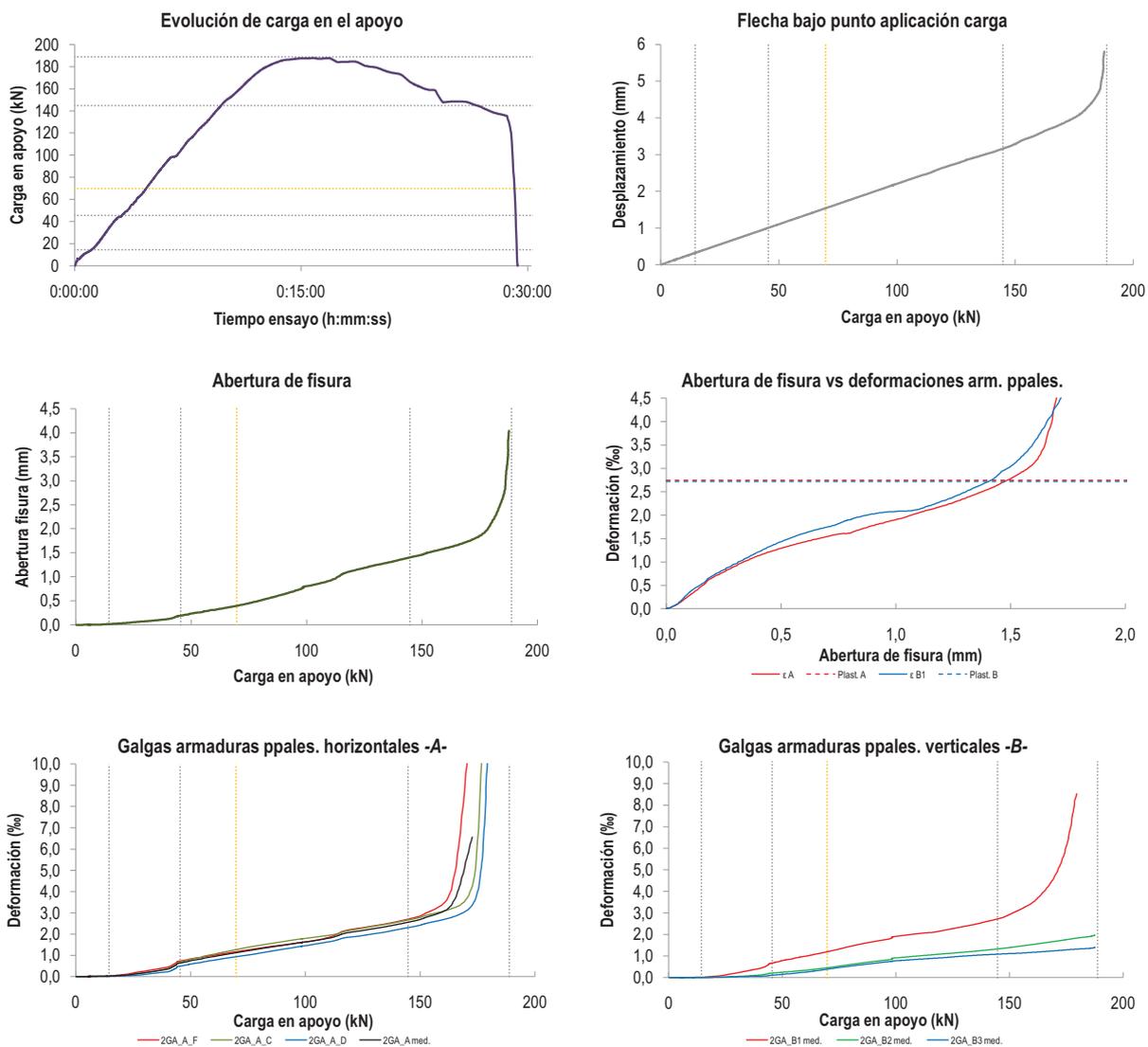
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 16.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO: 015A2	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A3_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

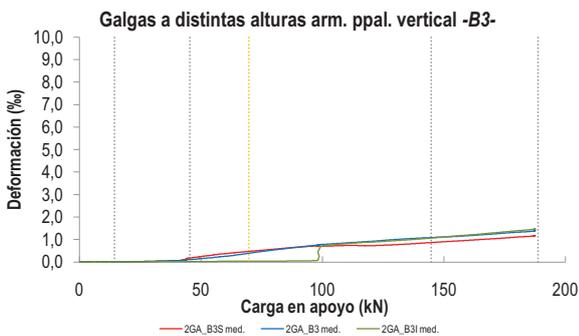
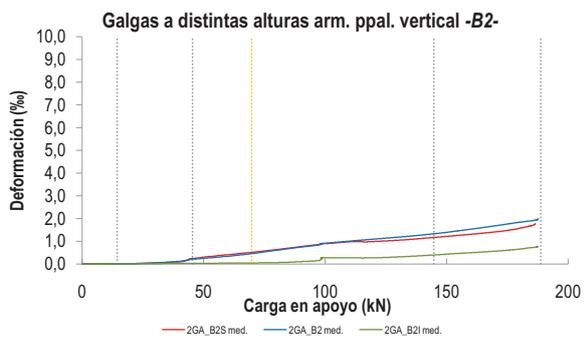
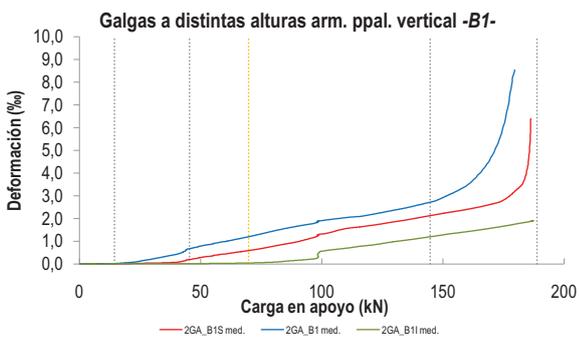
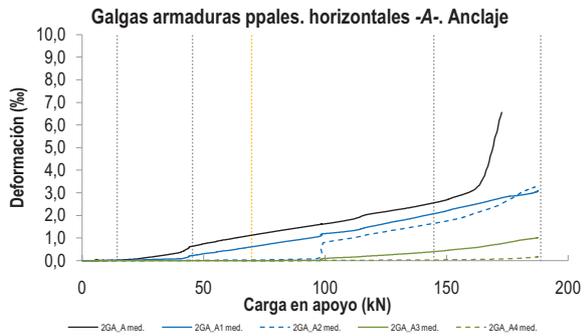
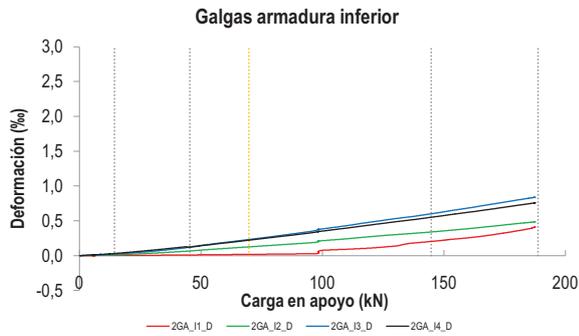
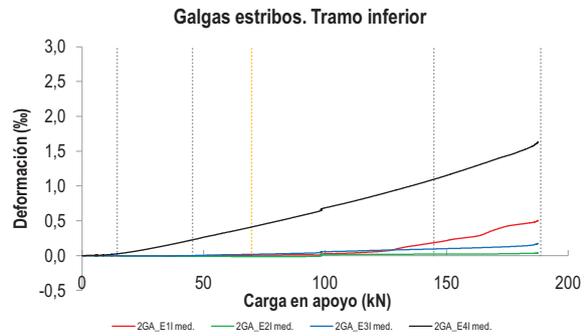
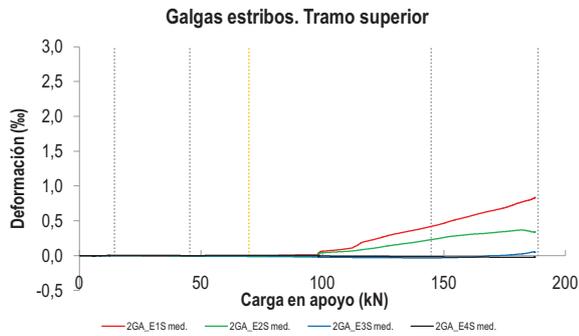


LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

Estudio Experimental del comportamiento en servicio y rotura de las Regiones D generadas en el entorno de los Apoyos a Media Madera

  		FICHA: 16.4
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO: 015A2	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A3_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D2.- OTROS RESULTADOS



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 16.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 015A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A3_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
9,44	5%	0,00	0,21	0,01	0,01	0,00	0,00	-
18,88	10%	0,03	0,42	0,05	0,05	0,01	0,01	-
28,32	15%	0,07	0,62	0,16	0,19	0,05	0,03	-
37,76	20%	0,11	0,83	0,31	0,38	0,10	0,06	-
47,20	25%	0,20	1,04	0,67	0,71	0,22	0,12	-
56,64	30%	0,29	1,25	0,89	0,93	0,31	0,22	-
66,08	35%	0,36	1,46	1,06	1,12	0,41	0,34	-
75,52	40%	0,46	1,67	1,23	1,34	0,54	0,48	-
84,96	45%	0,57	1,87	1,39	1,56	0,68	0,60	-
94,40	50%	0,70	2,08	1,54	1,74	0,80	0,71	-
103,84	55%	0,84	2,29	1,69	1,96	0,95	0,81	-
113,28	60%	1,00	2,49	1,90	2,08	1,04	0,88	-
122,72	65%	1,16	2,71	2,14	2,23	1,12	0,94	-
132,16	70%	1,27	2,91	2,30	2,42	1,20	1,02	-
141,60	75%	1,37	3,09	2,49	2,64	1,30	1,07	-
151,04	80%	1,48	3,32	2,73	2,97	1,41	1,12	-
160,48	85%	1,60	3,58	3,10	3,52	1,54	1,17	-
169,92	90%	1,74	3,85	5,29	4,77	1,68	1,25	-
179,36	95%	2,11	4,23	-	7,54	1,83	1,32	-
188,80	100%	3,38	5,22	-	-	1,94	1,38	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	14,46	7,7%	0,02	0,32	0,02	0,02	0,01	0,01	-
Punto de cambio de rigidez	45,50	24,1%	0,19	1,00	0,64	0,67	0,21	0,11	-
Abertura de fisura 0,20 mm	46,38	24,6%	0,20	1,03	0,66	0,70	0,22	0,12	-
Abertura de fisura 0,40 mm	69,77	37,0%	0,40	1,54	1,12	1,20	0,46	0,39	-
Abertura de fisura 0,60 mm	87,15	46,2%	0,60	1,92	1,42	1,61	0,71	0,62	-
Abertura de fisura 0,80 mm	100,50	53,2%	0,80	2,20	1,62	1,90	0,91	0,78	-
Primera plastificación	144,79	76,7%	1,40	3,16	2,56	2,72	1,33	1,09	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



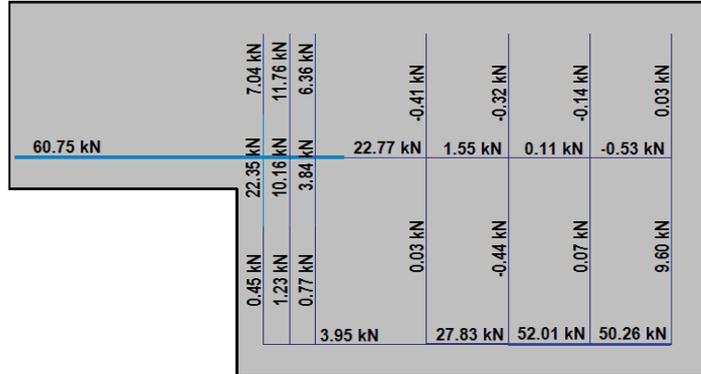
FICHA: **16.6**

PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A3_B1_C0_S3
 AUTOR: Jaime Mata Falcón

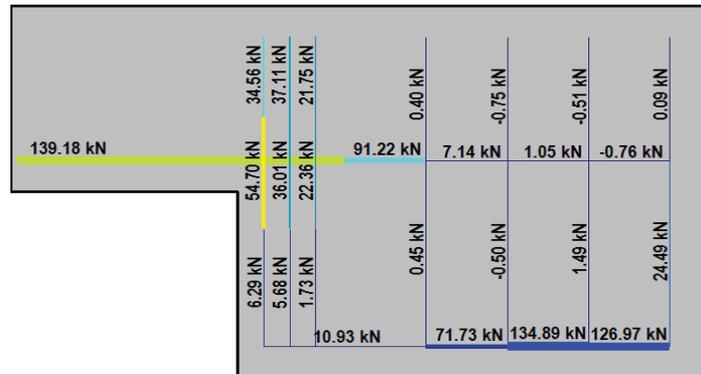
ENSAYO: **015A2**

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

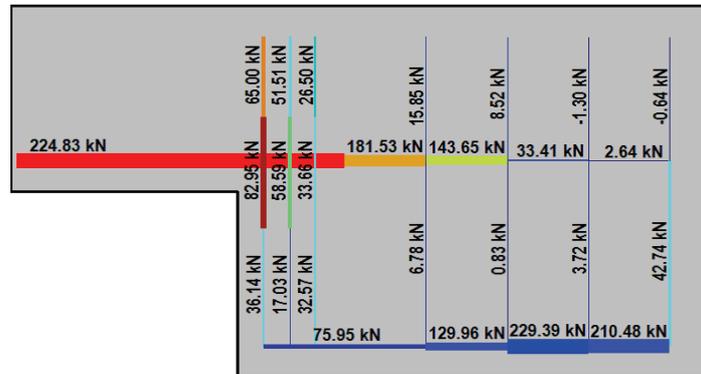
V (kN): 47,20
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,20



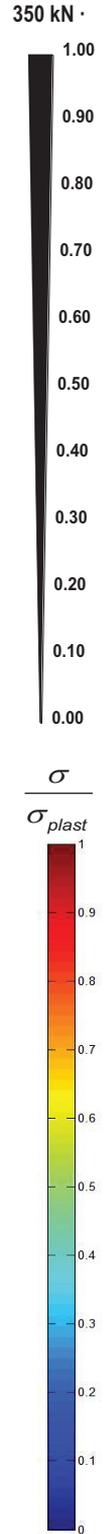
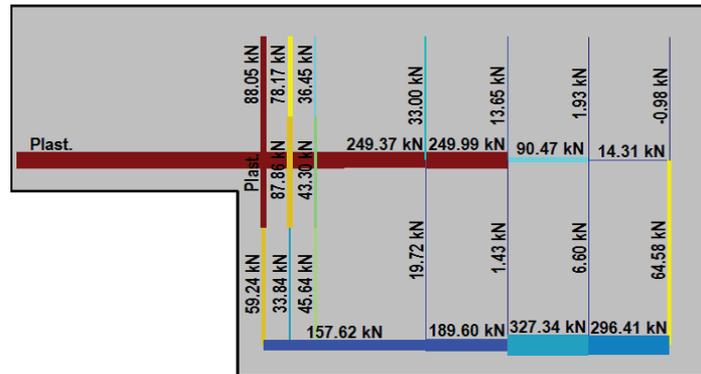
V (kN): 94,40
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,70



V (kN): 141,60
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 1,37



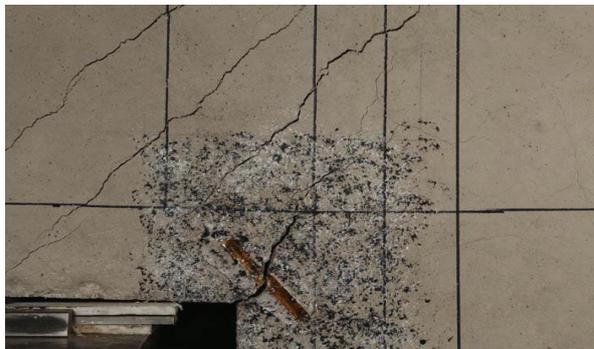
V (kN): 188,80
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 3,38



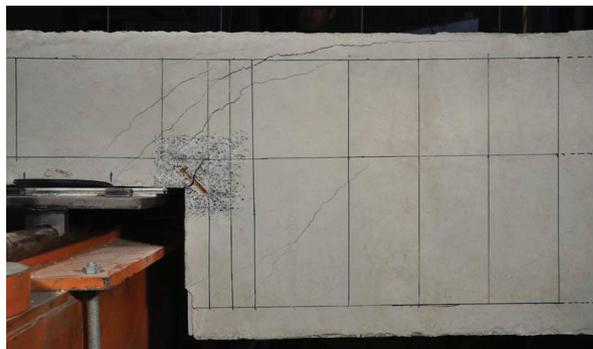
  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 16.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera					ENSAYO: 015A2	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A3_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

FISURACIÓN DEL APOYO AL 92% DE LA CARGA ÚLTIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA



DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN TRAS LA ROTURA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

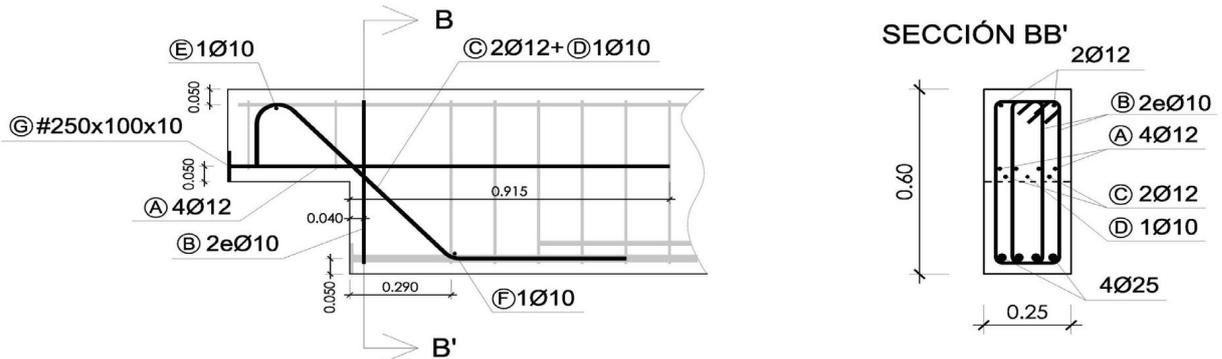
- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura de la esquina forma una inclinación con la horizontal de unos 60°. Es bastante vertical debido a la debilidad de la armadura horizontal
 - Se genera fisuración paralela en la biela que parte del apoyo, que busca la parte superior de los estribos del armado vertical.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica primeramente el 1er estribo vertical (B1) y a continuación la armadura horizontal. Observando el tirante vertical (formado por tres estribos) como un conjunto, no se produciría su plastificación.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por agotamiento de la armadura horizontal (A); una vez plastifica el incremento de carga de la pieza es debido a la rama de endurecimiento de dicha armadura, hasta que alcanza su tensión máxima.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se produce una pérdida progresiva de la carga a partir del punto de pico. La caída de la carga es análoga a la que se produciría en un ensayo de tracción del acero tras la carga máxima. Durante este proceso se va desprendiendo el recubrimiento superior de hormigón, debido a la elevada deformabilidad demandada, pero este desprendimiento no es súbito.

A.17 Ensayo 016 (p1/HA30_A3_B3_C3_S1) – Apoyo 1

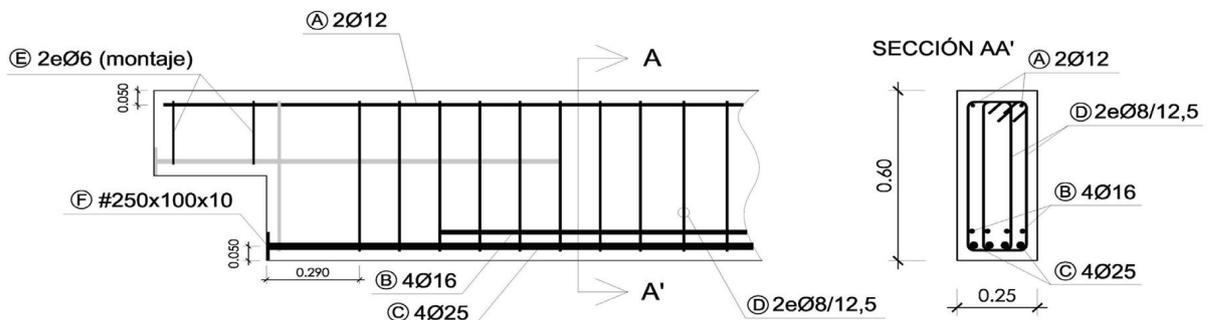
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO:	016A1
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p1/HA30_A3_B3_C3_S1	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

		NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 100%		
		TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-
Codificación:	p1/HA30_A3_B3_C3_S1	Armado: 4 ϕ 12	Armado: 4 ϕ 10	Armado: 2 ϕ 12+1 ϕ 10
Fecha horm.:	29/10/2010	Cuantía (cm ²): 4,52	Cuantía (cm ²): 3,14	Cuantía (cm ²): 3,05
Fecha ensayo:	21/12/2010	(A _y /A _{max}) _{pi} : 56%	(B _y /B _{max}) _{pi} : 58%	(C _y /C _{max}) _{pi} : 51%
Edad (días):	53	Rec. mecán. (mm): 40		
Secc. apoyo (mm): 250x300		Variante 1: -		
Secc. viga (mm): 250x600		Variante 2: -		
Tipo ensayo: Apoyo Intermedio				
V última (kN): 321,82		f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras
V (w=0,4 mm) (kN): 126,61 39%		33,3	2,98	0,00%
Tipo rotura: Acero / C-B-A		f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)		-

B.- ESQUEMAS DE ARMADO
B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA


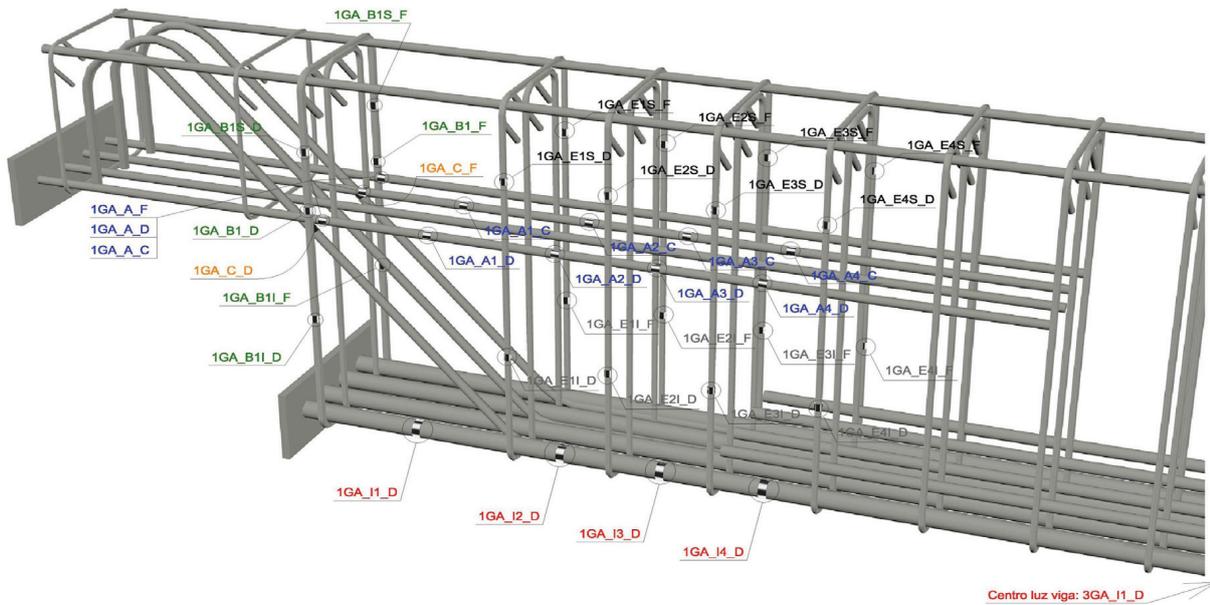
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA


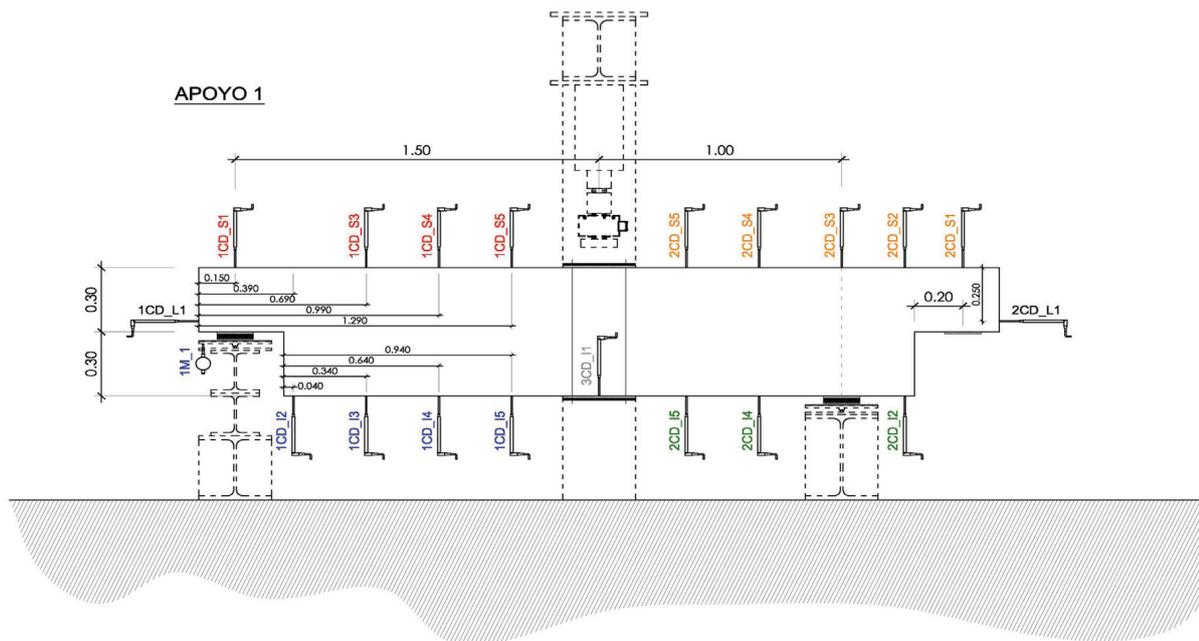
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

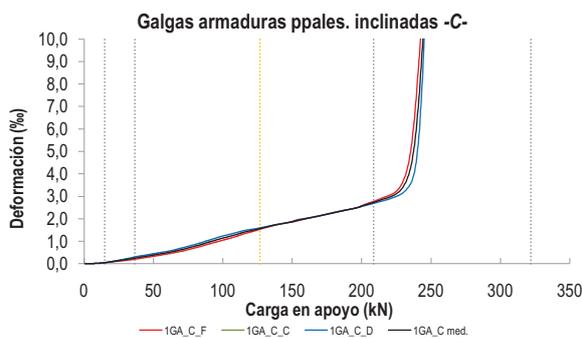
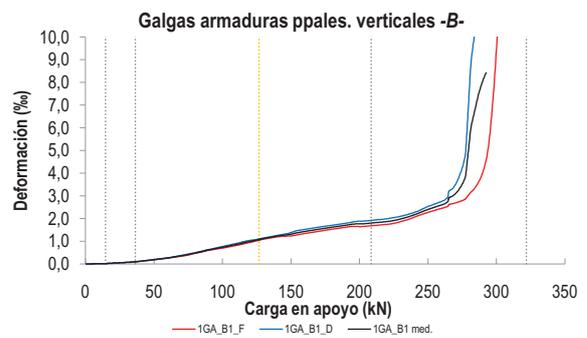
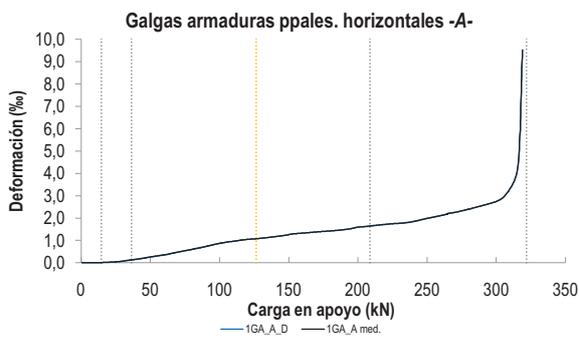
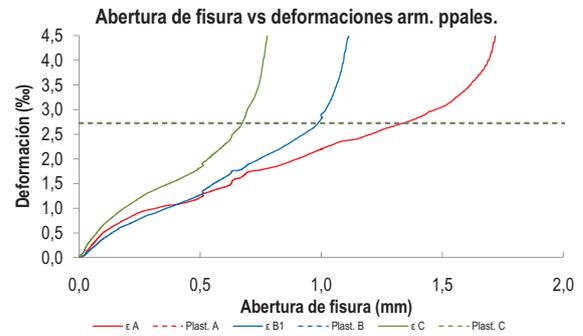
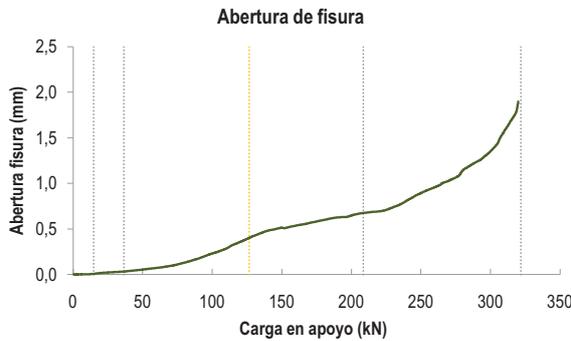
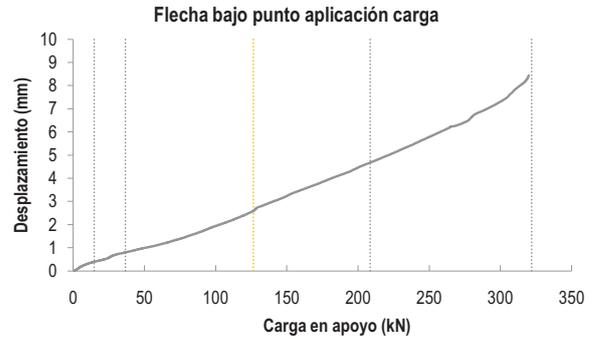
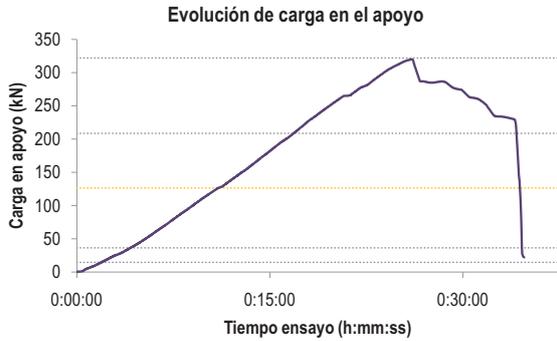
C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA

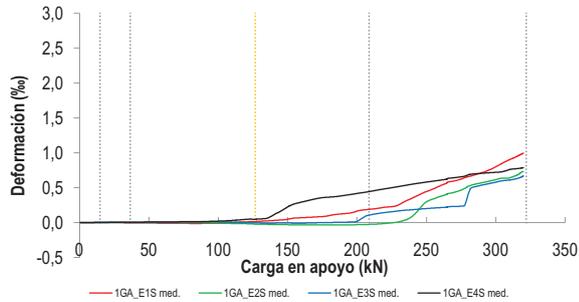


PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p1/HA30_A3_B3_C3_S1
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

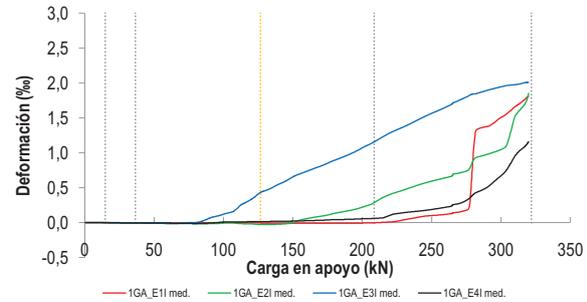
ENSAYO: 016A1
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES


D2.- OTROS RESULTADOS

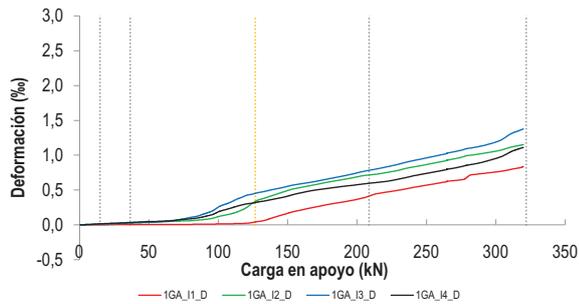
Galgas estribos. Tramo superior



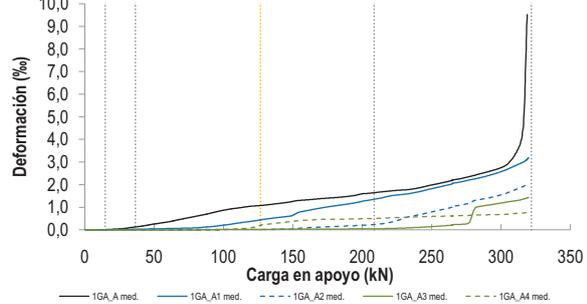
Galgas estribos. Tramo inferior



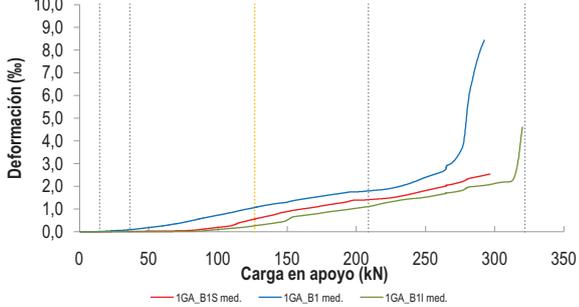
Galgas armadura inferior



Galgas armaduras ppales. horizontales -A-. Anclaje



Galgas a distintas alturas arm. ppal. vertical -B1-



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO
DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO
DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

E.- RESULTADOS. TABLAS
E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00
16,09	5%	0,00	0,42	0,02	0,02	-	-	0,06
32,18	10%	0,03	0,74	0,10	0,07	-	-	0,21
48,27	15%	0,05	0,97	0,24	0,17	-	-	0,37
64,36	20%	0,08	1,20	0,41	0,30	-	-	0,55
80,46	25%	0,13	1,50	0,61	0,49	-	-	0,79
96,55	30%	0,21	1,86	0,82	0,69	-	-	1,08
112,64	35%	0,31	2,22	0,99	0,89	-	-	1,36
128,73	40%	0,41	2,68	1,09	1,10	-	-	1,59
144,82	45%	0,50	3,10	1,21	1,26	-	-	1,81
160,91	50%	0,54	3,51	1,33	1,44	-	-	2,02
177,00	55%	0,59	3,89	1,41	1,59	-	-	2,23
193,09	60%	0,63	4,27	1,51	1,73	-	-	2,45
209,18	65%	0,68	4,69	1,65	1,80	-	-	2,74
225,27	70%	0,71	5,10	1,75	1,92	-	-	3,15
241,37	75%	0,82	5,54	1,87	2,20	-	-	7,86
257,46	80%	0,94	5,99	2,08	2,55	-	-	15,85
273,55	85%	1,06	6,41	2,31	3,55	-	-	-
289,64	90%	1,24	6,98	2,56	7,69	-	-	-
305,73	95%	1,48	7,60	3,05	-	-	-	-
321,82	100%	1,78	8,25	6,87	-	-	-	-

Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

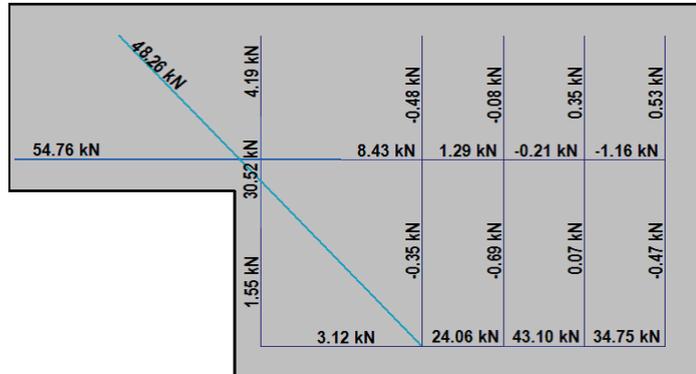
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	14,70	4,6%	0,00	0,40	0,01	0,02	-	-	0,05
Punto de cambio de rigidez	36,50	11,3%	0,03	0,80	0,13	0,10	-	-	0,25
Abertura de fisura 0,20 mm	94,44	29,3%	0,20	1,81	0,79	0,67	-	-	1,05
Abertura de fisura 0,40 mm	126,61	39,3%	0,40	2,62	1,08	1,07	-	-	1,57
Abertura de fisura 0,60 mm	182,63	56,7%	0,60	4,03	1,44	1,64	-	-	2,31
Abertura de fisura 0,80 mm	237,49	73,8%	0,80	5,43	1,82	2,11	-	-	5,30
Primera plastificación	208,59	64,8%	0,67	4,68	1,64	1,80	-	-	2,73

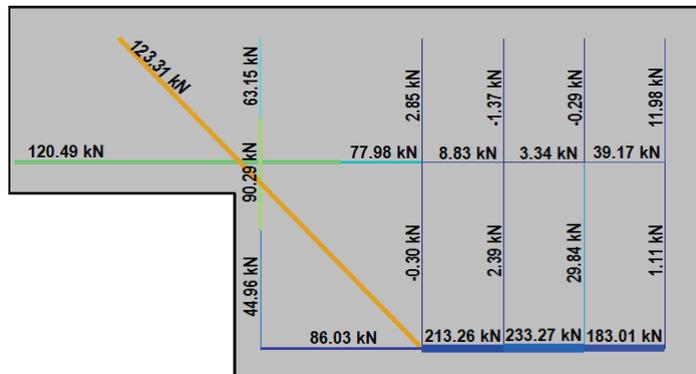
Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

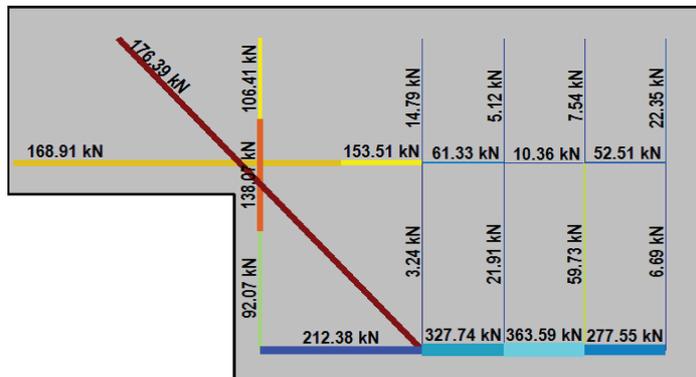
V (kN): 80,46
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,13



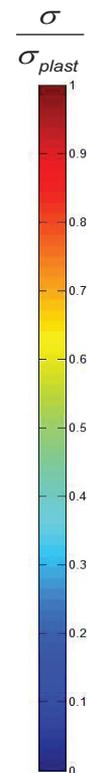
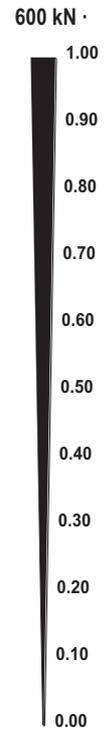
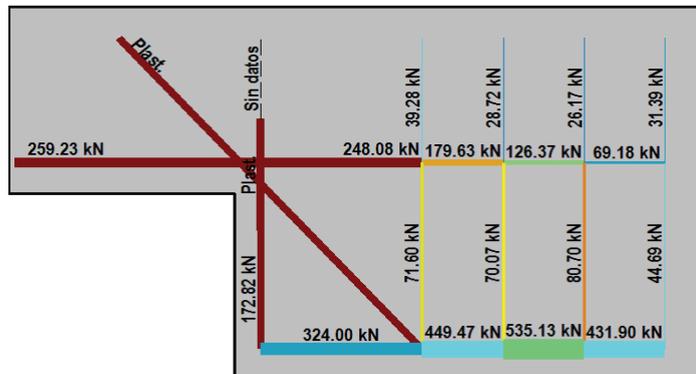
V (kN): 160,91
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,54



V (kN): 241,37
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 0,82



V (kN): 321,82
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 1,78



PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p1/HA30_A3_B3_C3_S1

ENSAYO: 016A1

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

VISTA APOYO. CARGA MÁXIMA



VISTA APOYO. INSTANTE POSTERIOR A CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



HORMIGÓN DESPRENDIDO EN EXTERIOR ZONA DE CONFINAM.



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: Se produce un desconchamiento superficial sobre el neopreno del apoyo, pero no afecta a la resistencia del elemento. También se desconcha el apoyo intermedio.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°. Al llegar al tirante vertical se divide en fisuras de abertura más reducida.
 - La fisura horizontal a la altura de la armadura superior de la viga se abre súbitamente al alcanzar la carga máxima. En la fase post-pico la fisura más destacada es la que parte de entre la esquina y el borde del neopreno.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales. Lo hace bastante antes el tirante inclinado, después el tirante vertical, y por último, ya cerca de la carga máxima, plastifica el tirante horizontal.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: El fallo bajo la carga máxima se produce por desprendimiento del recubrimiento superior de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Al saltar el recubrimiento la carga baja un 12% y se estabiliza en ella. Al seguir deformando la pieza va cayendo la carga, hasta que al perder el 35% se produce un colapso súbito debido a un fallo por cortante (véanse fotografías).

A.18 Ensayo 016 (p1/HA30_A3_B3_C3_S1) – Apoyo 2

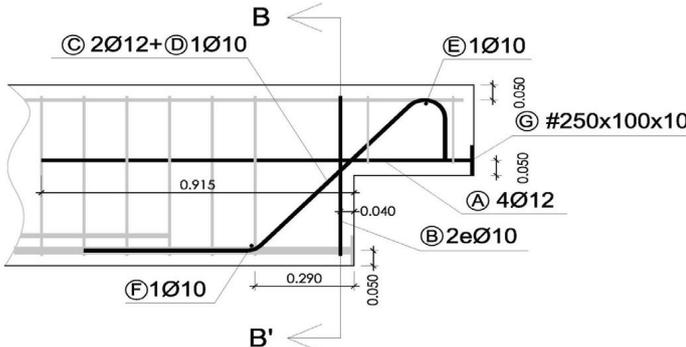
	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	 GOBIERNO DE ESPAÑA	 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	FICHA: 18.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 016A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A3_B3_C3_S1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

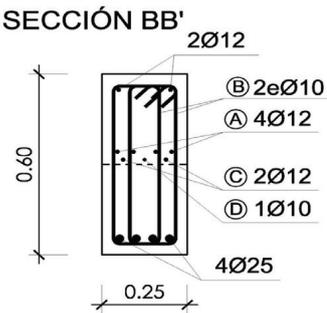
A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p1/HA30_A3_B3_C3_S1 Fecha horm.: 29/10/2010 Fecha ensayo: 22/12/2010 Edad (días): 54	NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 100%															
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 33%;">TIR. HORIZ. -A-</th> <th style="width: 33%;">TIR. VERTICAL -B-</th> <th style="width: 33%;">TIR. INCLIN. -C-</th> </tr> <tr> <td>Armado: 4ϕ12</td> <td>Armado: 4ϕ10</td> <td>Armado: 2ϕ12+1ϕ10</td> </tr> <tr> <td>Cuantía (cm²): 4,52</td> <td>Cuantía (cm²): 3,14</td> <td>Cuantía (cm²): 3,05</td> </tr> <tr> <td>(A_y/A_{max})_{pi}: 56%</td> <td>(B_y/B_{max})_{pi}: 58%</td> <td>(C_y/C_{max})_{pi}: 51%</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Rec. mecán. (mm): 40</td> </tr> </table>	TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	Armado: 4 ϕ 12	Armado: 4 ϕ 10	Armado: 2 ϕ 12+1 ϕ 10	Cuantía (cm ²): 4,52	Cuantía (cm ²): 3,14	Cuantía (cm ²): 3,05	(A _y /A _{max}) _{pi} : 56%	(B _y /B _{max}) _{pi} : 58%	(C _y /C _{max}) _{pi} : 51%	Rec. mecán. (mm): 40		
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-														
Armado: 4 ϕ 12	Armado: 4 ϕ 10	Armado: 2 ϕ 12+1 ϕ 10														
Cuantía (cm ²): 4,52	Cuantía (cm ²): 3,14	Cuantía (cm ²): 3,05														
(A _y /A _{max}) _{pi} : 56%	(B _y /B _{max}) _{pi} : 58%	(C _y /C _{max}) _{pi} : 51%														
Rec. mecán. (mm): 40																
Secc. apoyo (mm): 250x300 Secc. viga (mm): 250x600 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio	Variante 1: - Variante 2: -															
V última (kN): 329,76 V (w=0,4 mm) (kN): 138,13 42% Tipo rotura: Acero / C-B-A	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 25%;">f_c (Mpa)</th> <th style="width: 25%;">f_{ct} (Mpa)</th> <th style="width: 25%;">Vol. Fibras</th> <th style="width: 25%;">f_{1,R} (Mpa) f_{3,R} (Mpa)</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">33,3</td> <td style="text-align: center;">2,98</td> <td style="text-align: center;">0,00%</td> <td style="text-align: center;">- -</td> </tr> </table>	f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)	33,3	2,98	0,00%	- -							
f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)													
33,3	2,98	0,00%	- -													

B.- ESQUEMAS DE ARMADO

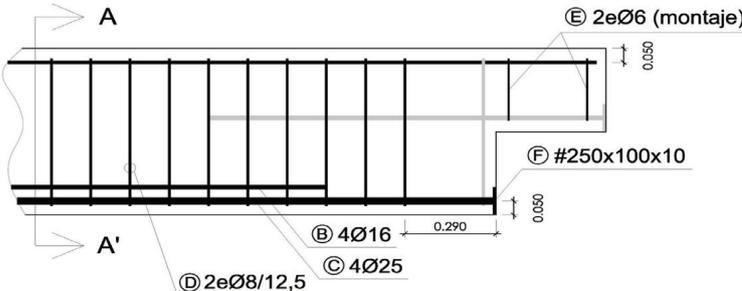
B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

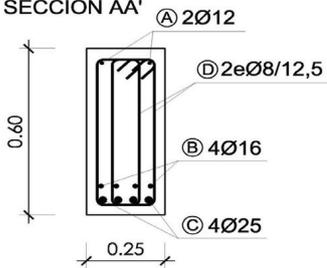




- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA





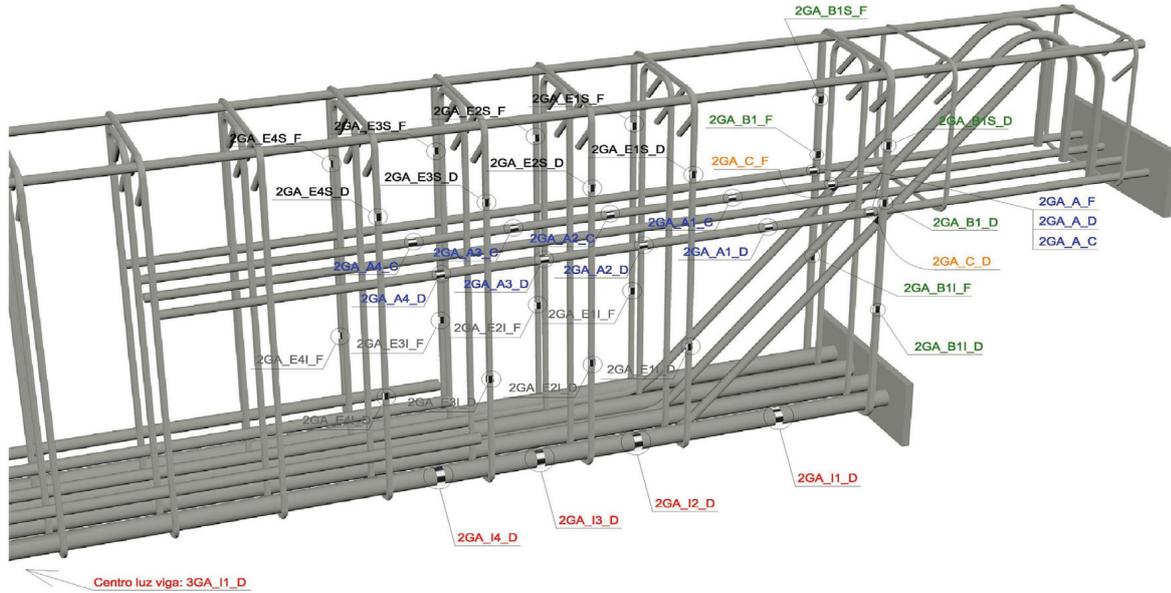
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p1/HA30_A3_B3_C3_S1
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

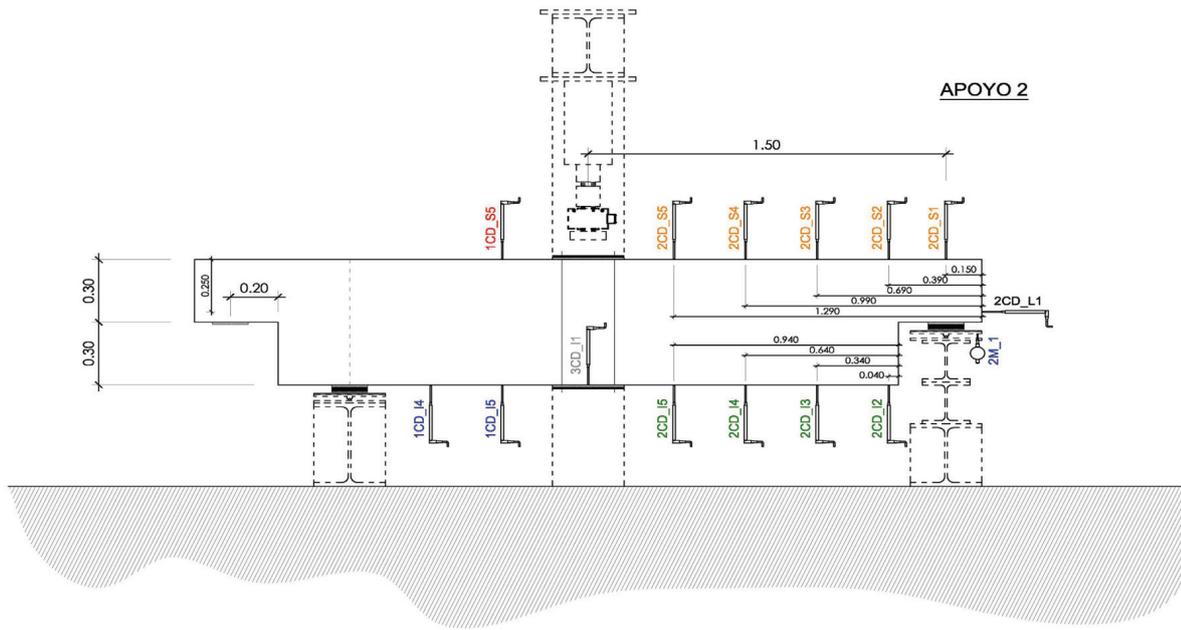
ENSAYO:	016A2
---------	-------

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



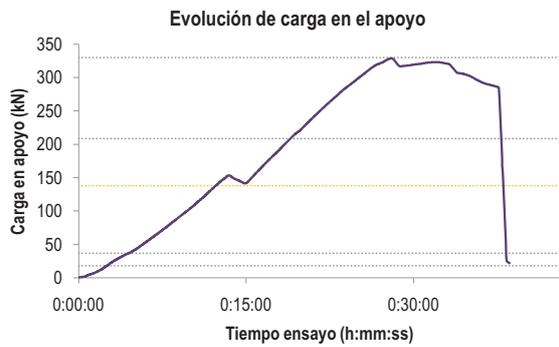
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



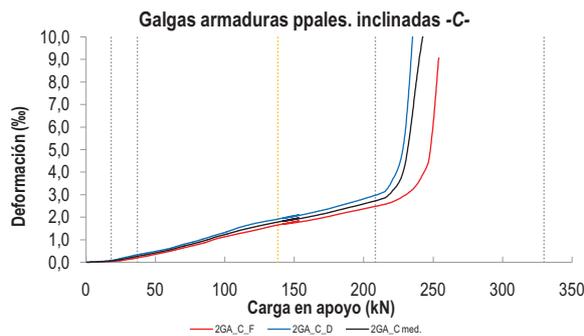
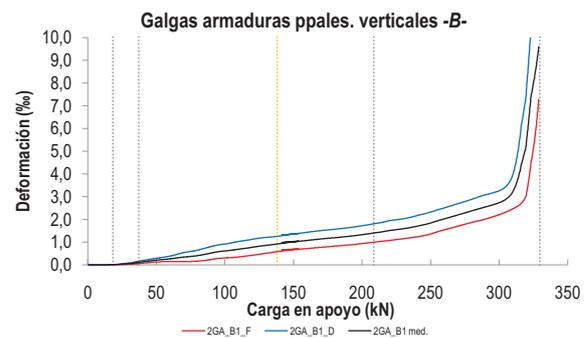
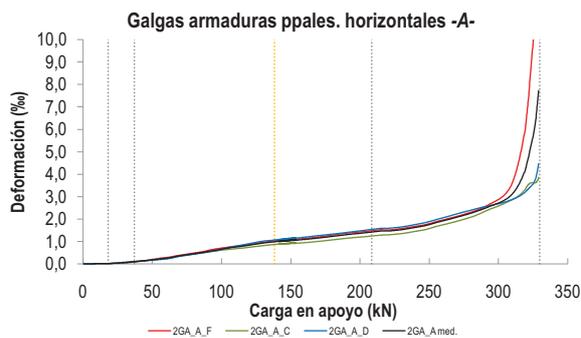
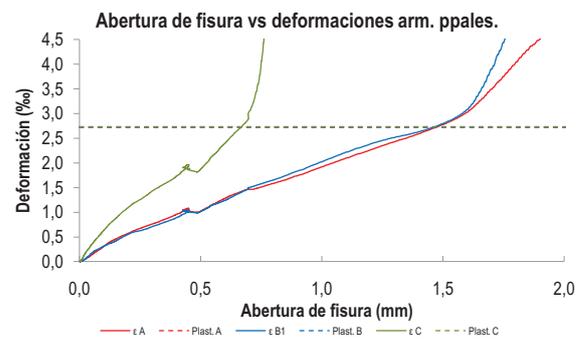
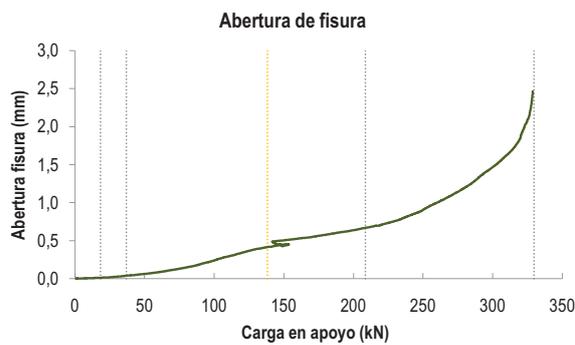
  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA	 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	FICHA: 18.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 016A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A3_B3_C3_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE CAPTADOR DE DESPLAZAMIENTO SOBRE EL APOYO CONTRARIO AL ENSAYADO. NO PUEDE OBTENERSE LA FLECHA



Estudio Experimental del comportamiento en servicio y rotura de las Regiones D generadas en el entorno de los Apoyos a Media Madera



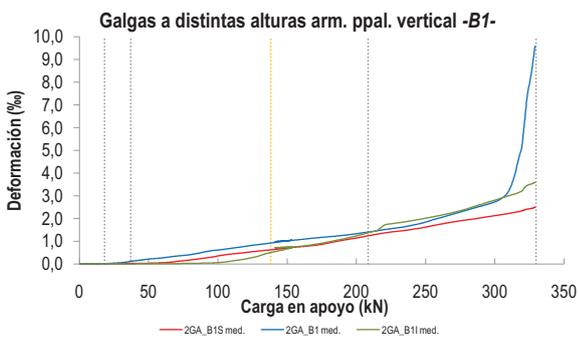
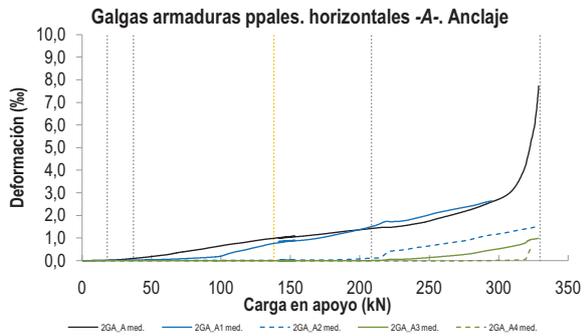
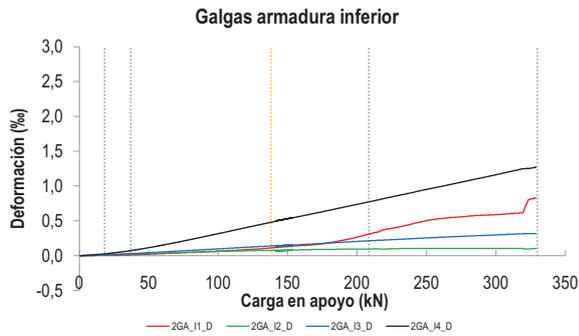
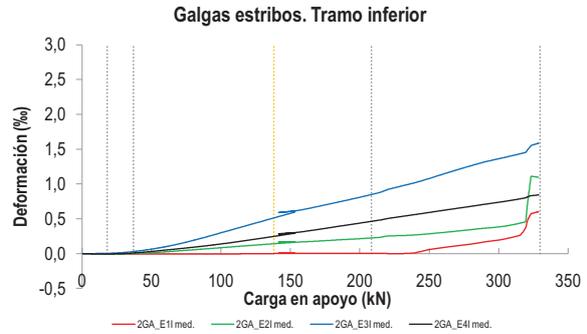
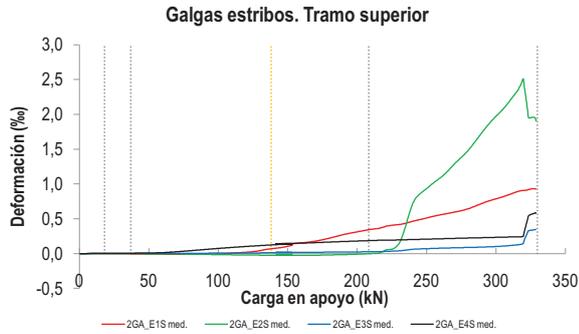
FICHA: **18.4**

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p1/HA30_A3_B3_C3_S1

ENSAYO: **016A2**

AUTOR: Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 18.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 016A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A3_B3_C3_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	-	0,00	0,00	-	-	0,00
16,49	5%	0,00	-	0,02	0,01	-	-	0,05
32,98	10%	0,03	-	0,07	0,08	-	-	0,21
49,46	15%	0,06	-	0,17	0,21	-	-	0,41
65,95	20%	0,10	-	0,32	0,32	-	-	0,64
82,44	25%	0,16	-	0,47	0,43	-	-	0,90
98,93	30%	0,23	-	0,64	0,61	-	-	1,21
115,42	35%	0,32	-	0,79	0,74	-	-	1,48
131,91	40%	0,39	-	0,94	0,88	-	-	1,71
148,39	45%	0,46	-	1,04	1,01	-	-	1,90
164,88	50%	0,54	-	1,12	1,11	-	-	2,07
181,37	55%	0,58	-	1,24	1,21	-	-	2,31
197,86	60%	0,63	-	1,35	1,31	-	-	2,56
214,35	65%	0,69	-	1,46	1,46	-	-	2,86
230,83	70%	0,77	-	1,53	1,60	-	-	4,90
247,32	75%	0,88	-	1,71	1,80	-	-	11,01
263,81	80%	1,03	-	1,98	2,09	-	-	-
280,30	85%	1,20	-	2,27	2,39	-	-	-
296,79	90%	1,42	-	2,64	2,67	-	-	-
313,28	95%	1,70	-	3,50	3,92	-	-	-
329,76	100%	2,21	-	6,42	8,56	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

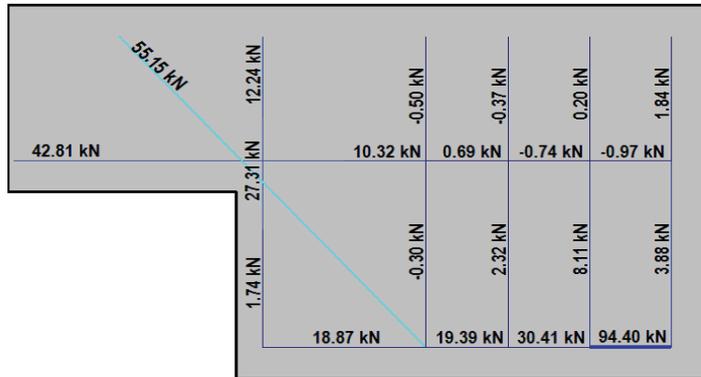
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	18,20	5,5%	0,00	-	0,02	0,01	-	-	0,06
Punto de cambio de rigidez	37,00	11,2%	0,04	-	0,09	0,11	-	-	0,26
Abertura de fisura 0,20 mm	92,40	28,0%	0,20	-	0,58	0,56	-	-	1,10
Abertura de fisura 0,40 mm	138,13	41,9%	0,40	-	0,99	0,92	-	-	1,78
Abertura de fisura 0,60 mm	186,67	56,6%	0,60	-	1,28	1,24	-	-	2,39
Abertura de fisura 0,80 mm	235,01	71,3%	0,80	-	1,57	1,64	-	-	6,57
Primera plastificación	208,51	63,2%	0,67	-	1,42	1,40	-	-	2,73

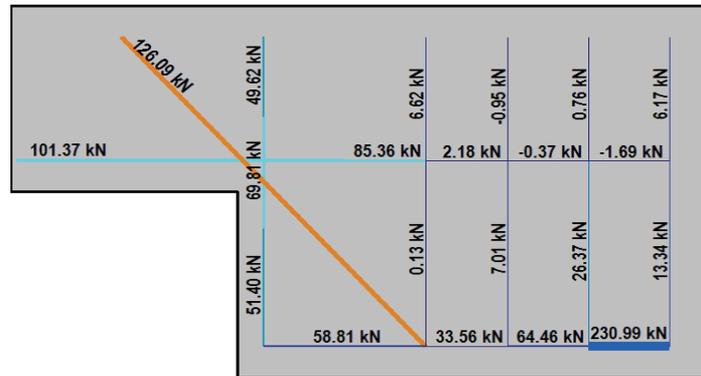
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

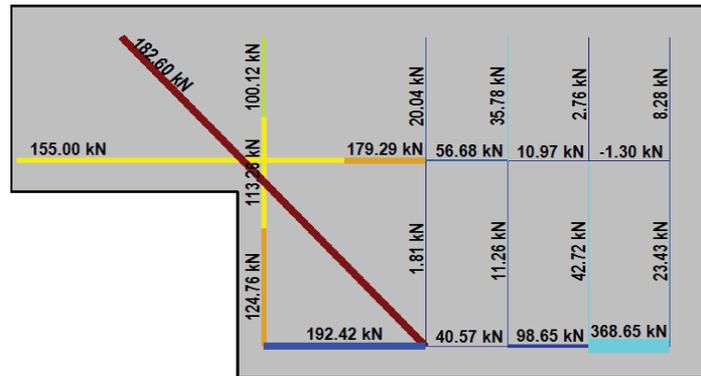
V (kN): 82,44
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,16



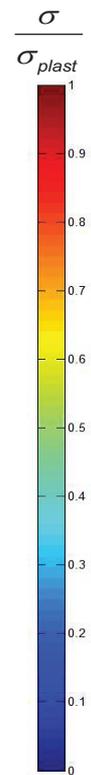
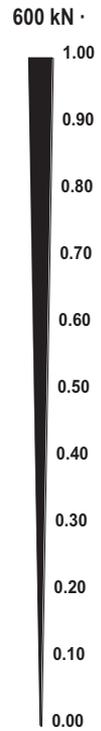
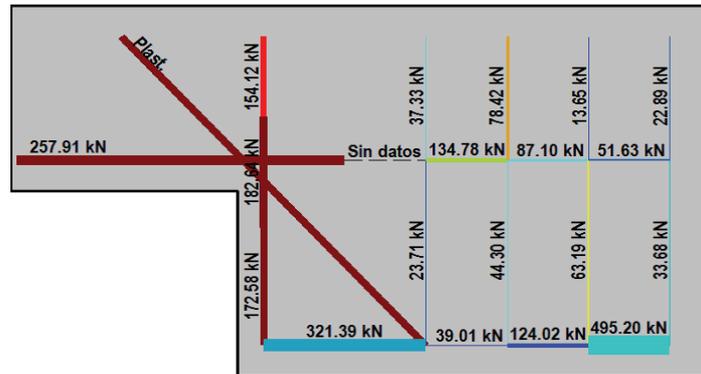
V (kN): 164,88
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,54



V (kN): 247,32
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 0,88



V (kN): 329,76
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 2,21



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 18.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 016A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p1/HA30_A3_B3_C3_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA ÚLTIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



VISTA DORSAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: En el apoyo intermedio había un desconchamiento del ensayo del otro apoyo, pero parece no influir en la resistencia de la pieza. Se observa además un elevado deslizamiento de la probeta, que hace que el apoyo ensayado gire de manera contraria a la esperada.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°, para al encontrarse con el tirante vertical se difunde en varias y se verticaliza para juntarse con la fisura que se describe a continuación.
 - Ya bajo la carga máxima es pareciabla un fisura entre la esquina y el borde del neopreno. La fisura se abre muy apreciablemente durante la fase post-pico.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales. Lo hace mucho antes el tirante inclinado, y ya cerca de la carga máxima plastifican simultáneamente los tirantes que componen el esquema de armado otrogonal.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura horizontal que parte de la placa de anclaje de la armadura horizontal y que se abre produciendo el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Al alcanzarse la carga máxima se pierde rápidamente el 4% de la carga. Llegados a ese punto la carga se estabiliza o incluso aumenta durante un periodo apreciable, para a continuación descender de manera apreciable.

A.19 Ensayo 017 (p2/HA30_A1_B1_C0_S3) – Apoyo 1

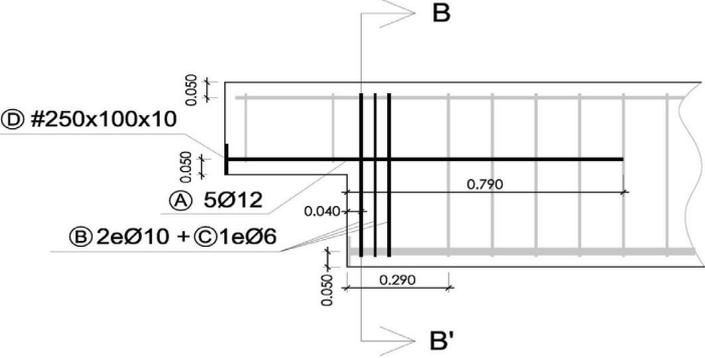
	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	 GOBIERNO DE ESPAÑA	 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	FICHA: 19.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 017A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A1_B1_C0_S3		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

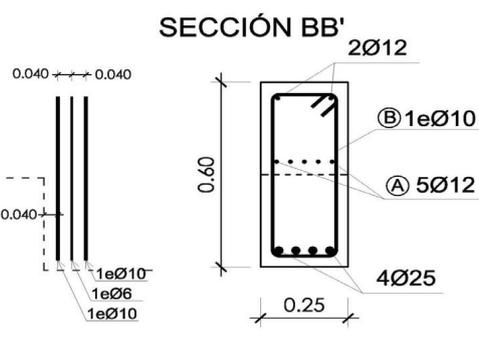
Codificación: p2/HA30_A1_B1_C0_S3 Fecha hom.: 29/10/2010 Fecha ensayo: 01/12/2010 Edad (días): 33 Secc. apoyo (mm): 250x300 Secc. viga (mm): 250x600 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio V última (kN): 195,25 V (w=0,4 mm) (kN): 74,08 38% Tipo rotura: Acero / B1-A-B2-B3	NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 71% <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">TIR. HORIZ. -A-</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">TIR. VERTICAL -B-</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">TIR. INCLIN. -C-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Armado: 5ϕ12</td> <td style="text-align: center;">Armado: 4ϕ10+2ϕ6</td> <td style="text-align: center;">Armado: -</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 5,65</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 3,71</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 0,00</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(A_y/A_{max})_{pi}: 100%</td> <td style="text-align: center;">(B_y/B_{max})_{pi}: 100%</td> <td style="text-align: center;">(C_y/C_{max})_{pi}: 0%</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Rec. mecán. (mm): 80</td> </tr> </table>	TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	Armado: 5 ϕ 12	Armado: 4 ϕ 10+2 ϕ 6	Armado: -	Cuantía (cm ²): 5,65	Cuantía (cm ²): 3,71	Cuantía (cm ²): 0,00	(A_y/A_{max}) _{pi} : 100%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%	Rec. mecán. (mm): 80		
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-														
Armado: 5 ϕ 12	Armado: 4 ϕ 10+2 ϕ 6	Armado: -														
Cuantía (cm ²): 5,65	Cuantía (cm ²): 3,71	Cuantía (cm ²): 0,00														
(A_y/A_{max}) _{pi} : 100%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%														
Rec. mecán. (mm): 80																
	Variante 1: - Variante 2: -															
	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; text-align: center;">f_c (Mpa)</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">f_{ct} (Mpa)</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">Vol. Fibras</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">32,2</td> <td style="text-align: center;">2,77</td> <td style="text-align: center;">0,00%</td> <td style="text-align: center;">- -</td> </tr> </table>	f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)	32,2	2,77	0,00%	- -							
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)													
32,2	2,77	0,00%	- -													

B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



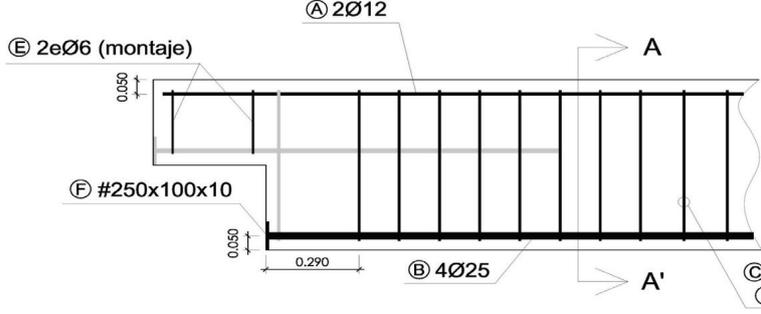
Plan view showing reinforcement layout with dimensions: 0.050, 0.050, 0.040, 0.290, 0.790, 0.040, 0.050. Reinforcement includes #250x100x10, 5 ϕ 12, and 2e ϕ 10 + 1e ϕ 6.



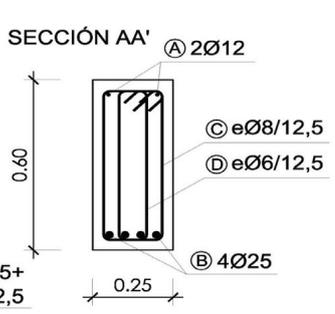
SECCIÓN BB' showing reinforcement layout with dimensions: 0.040, 0.040, 0.040, 0.60, 0.25. Reinforcement includes 2 ϕ 12, 1e ϕ 10, 5 ϕ 12, and 4 ϕ 25.

- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA



Plan view showing reinforcement layout with dimensions: 0.050, 0.290, 0.050. Reinforcement includes 2 ϕ 12, 2e ϕ 6 (montaje), #250x100x10, 4 ϕ 25, 1e ϕ 8/12,5+, and 1e ϕ 6/12,5.

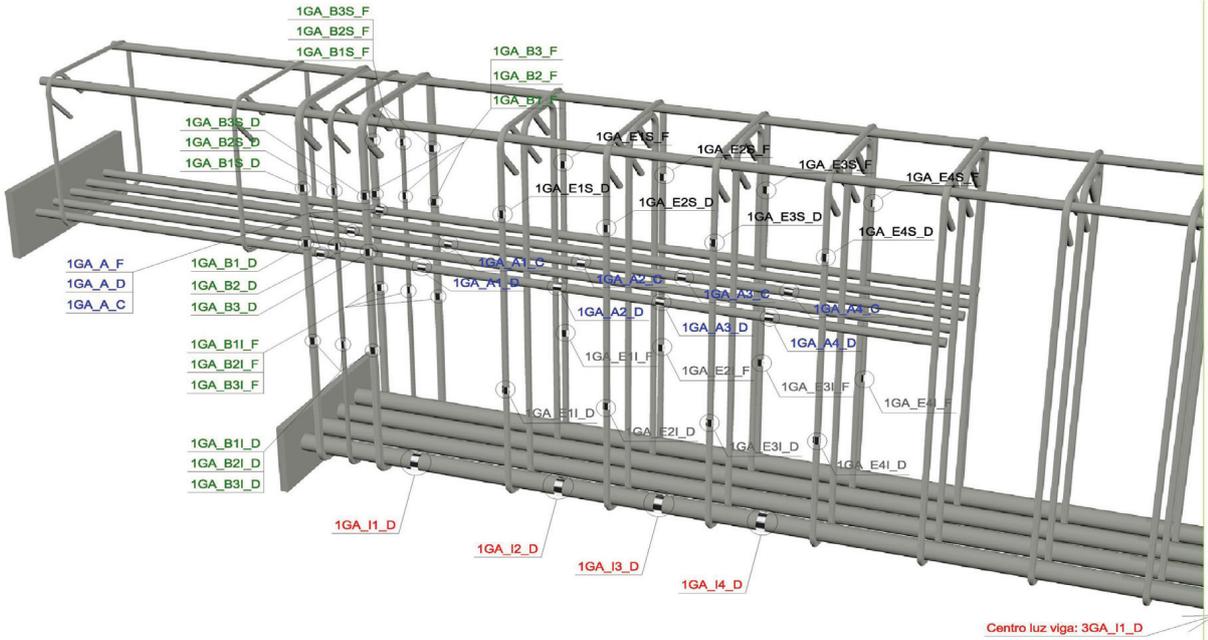


SECCIÓN AA' showing reinforcement layout with dimensions: 0.60, 0.25. Reinforcement includes 2 ϕ 12, e ϕ 8/12,5, e ϕ 6/12,5, and 4 ϕ 25.

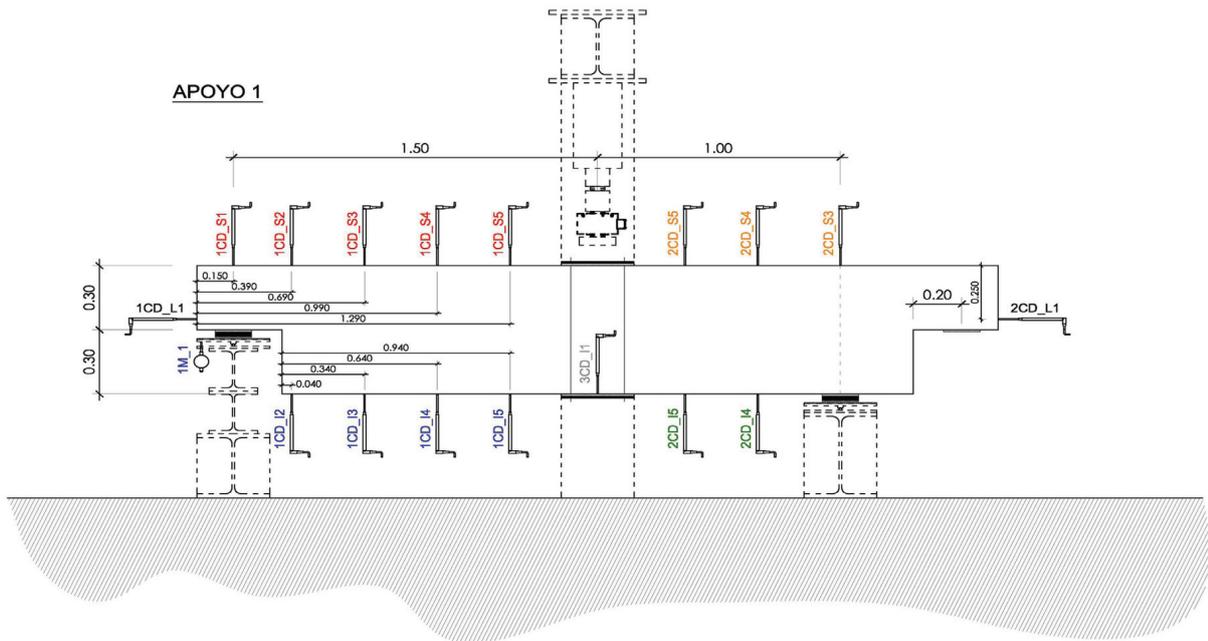
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



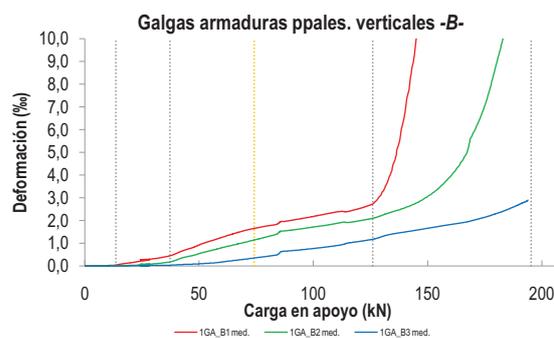
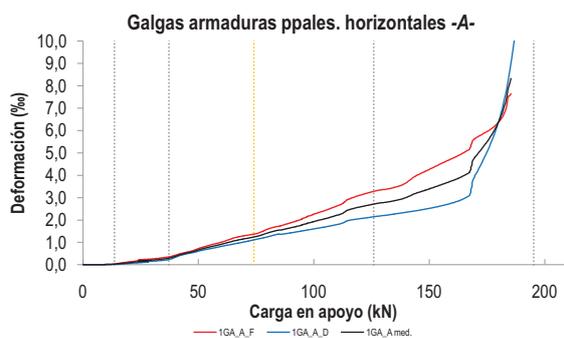
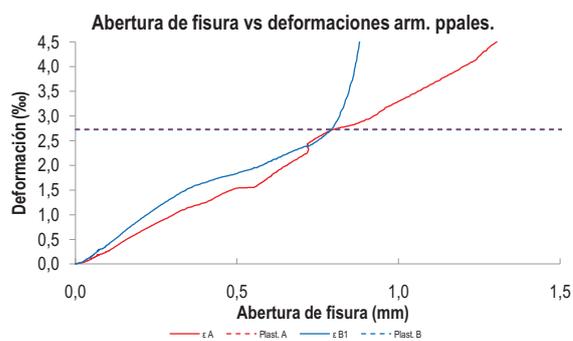
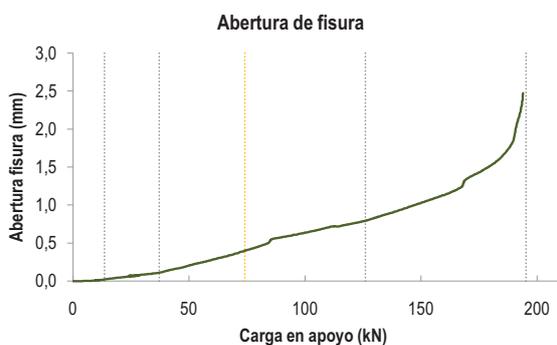
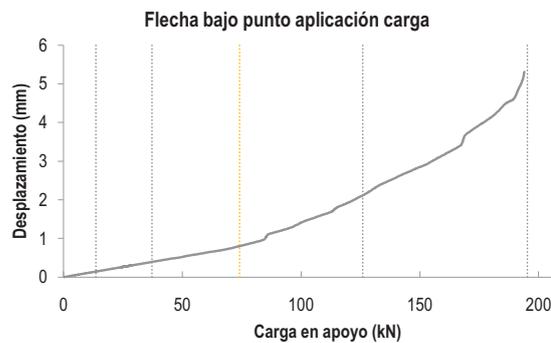
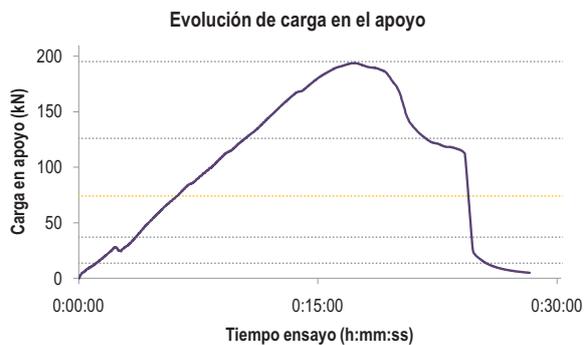
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 19.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO: 017A1	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A1_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE
DE ARMADURA INCLINADA -C-

Estudio Experimental del comportamiento en servicio y rotura de las Regiones D generadas en el entorno de los Apoyos a Media Madera

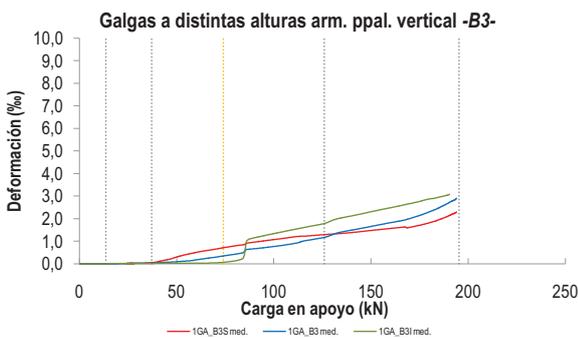
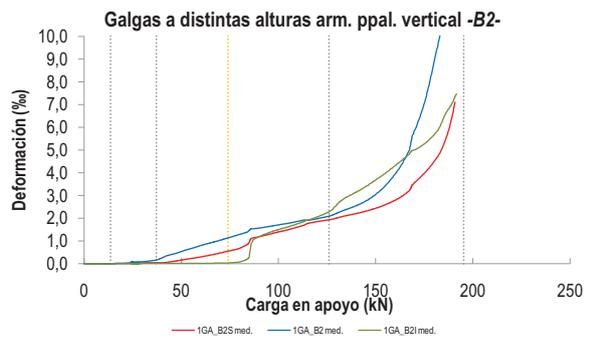
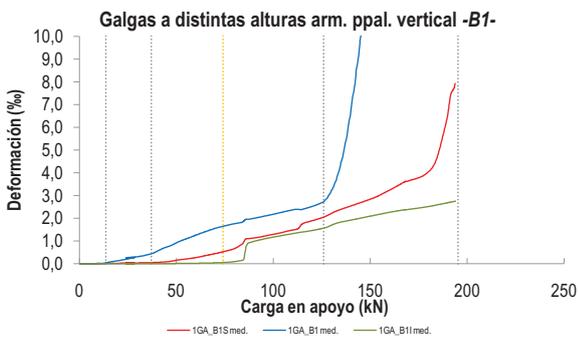
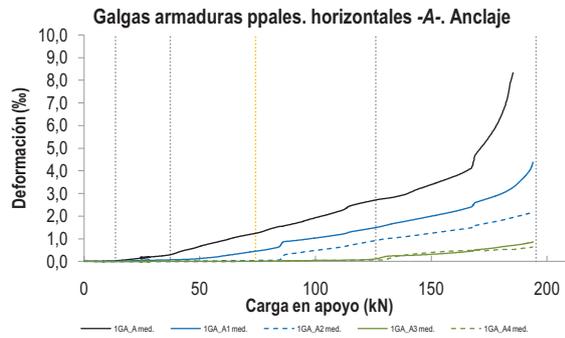
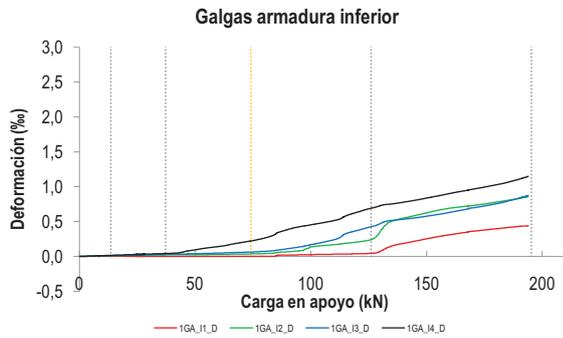
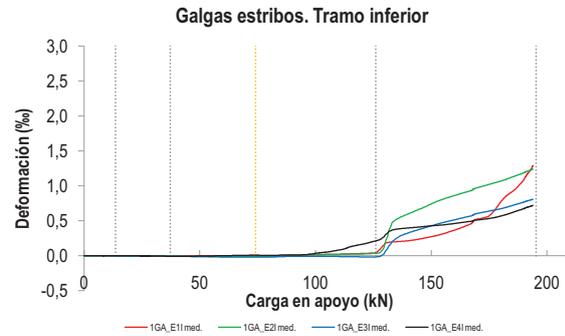
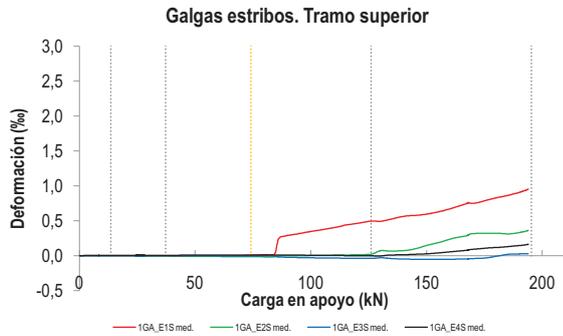


FICHA: **19.4**

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p2/HA30_A1_B1_C0_S3
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

ENSAYO: **017A1**

D2.- OTROS RESULTADOS



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 19.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 017A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A1_B1_C0_S3					AUTOR: Jaime Mata Falcón	

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
9,76	5%	0,00	0,10	0,01	0,02	0,00	0,00	-
19,53	10%	0,05	0,21	0,09	0,13	0,02	0,00	-
29,29	15%	0,08	0,31	0,20	0,31	0,09	0,02	-
39,05	20%	0,12	0,41	0,35	0,51	0,22	0,04	-
48,81	25%	0,19	0,51	0,63	0,87	0,50	0,08	-
58,58	30%	0,27	0,62	0,88	1,21	0,76	0,15	-
68,34	35%	0,35	0,72	1,13	1,52	1,00	0,27	-
78,10	40%	0,44	0,86	1,36	1,73	1,24	0,40	-
87,86	45%	0,57	1,14	1,60	1,97	1,55	0,65	-
97,63	50%	0,62	1,34	1,87	2,14	1,68	0,74	-
107,39	55%	0,69	1,58	2,13	2,32	1,82	0,86	-
117,15	60%	0,73	1,85	2,51	2,44	1,94	1,03	-
126,91	65%	0,80	2,15	2,73	2,83	2,12	1,19	-
136,68	70%	0,89	2,48	2,90	5,07	2,44	1,44	-
146,44	75%	0,99	2,76	3,27	10,97	2,85	1,60	-
156,20	80%	1,10	3,04	3,62	15,91	3,56	1,76	-
165,96	85%	1,24	3,44	4,19	-	4,99	1,93	-
175,73	90%	1,44	3,96	5,62	-	7,34	2,17	-
185,49	95%	1,67	4,44	7,57	-	10,48	2,51	-
195,25	100%	2,25	5,06	-	-	-	2,83	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	13,60	7,0%	0,02	0,14	0,03	0,04	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	37,20	19,1%	0,11	0,39	0,29	0,44	0,17	0,03	-
Abertura de fisura 0,20 mm	49,61	25,4%	0,20	0,52	0,66	0,91	0,53	0,09	-
Abertura de fisura 0,40 mm	74,08	37,9%	0,40	0,80	1,24	1,65	1,14	0,35	-
Abertura de fisura 0,60 mm	94,05	48,2%	0,60	1,25	1,76	2,07	1,62	0,70	-
Abertura de fisura 0,80 mm	124,49	63,8%	0,80	2,07	2,68	2,67	2,06	1,14	-
Primera plastificación	125,98	64,5%	0,79	2,12	2,71	2,76	2,10	1,17	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



FICHA: 19.6

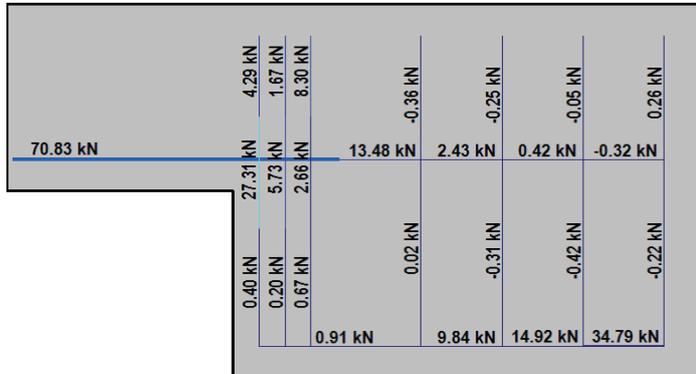
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A1_B1_C0_S3

ENSAYO: 017A1

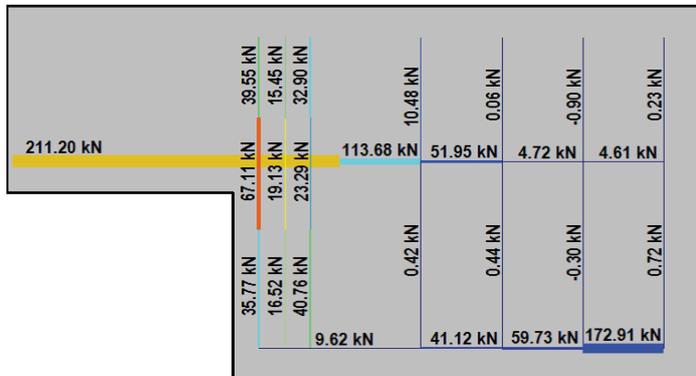
AUTOR: Jaime Mata Falcón

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

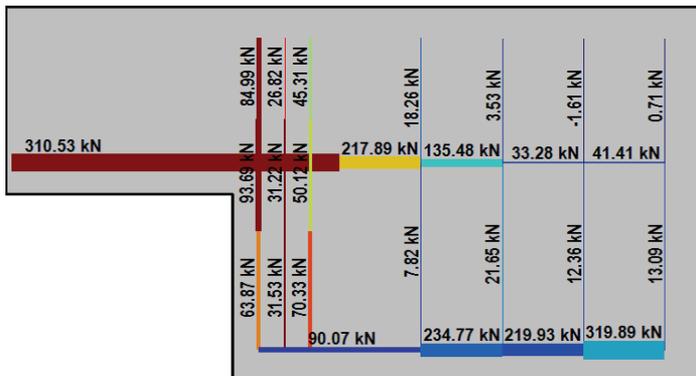
V (kN): 48,81
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,19



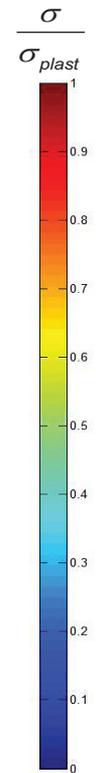
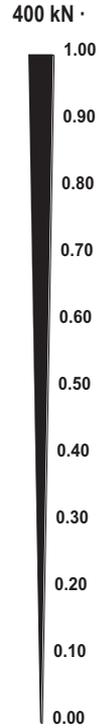
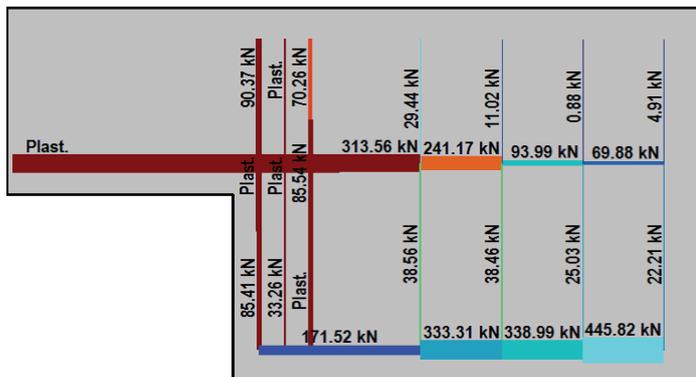
V (kN): 97,63
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,62



V (kN): 146,44
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 0,99



V (kN): 195,25
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 2,25



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 19.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 017A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A1_B1_C0_S3						AUTOR: Jaime Mata Falcón

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



DETALLE DEL APOYO TRAS RETIRAR ELEMENTOS DESPRENDIDOS



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: Se produce un desconchamiento superficial sobre el neopreno del apoyo, pero no afecta a la resistencia del elemento.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°. Al encontrarse con el primer estribo del tirante vertical para al encontrarse con el tirante vertical se divide en varias fisuras de abertura más reducida.
 - Antes de alcanzarse la carga máxima comienza a generarse una fisuración paralela en la biela que parte del apoyo. Dichas fisuras buscan la parte superior de los estribos del tirante vertical, donde se horizontalizan.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: De manera prácticamente simultánea el tirante horizontal y el primer estribo vertical (B1); posteriormente plastifican los otros dos estribos (B2-B3)
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisuración diagonal en la bielas, que se concentra en la cabeza de los estribos que forman el tirante vertical y produce el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar la carga máxima, se va perdiendo hasta un 45% de la carga, sin haber ningún tramo apreciable de estabilización. En ese instante se finaliza el ensayo.

A.20 Ensayo 017 (p2/HA30_A1_B1_C0_S3) – Apoyo 2

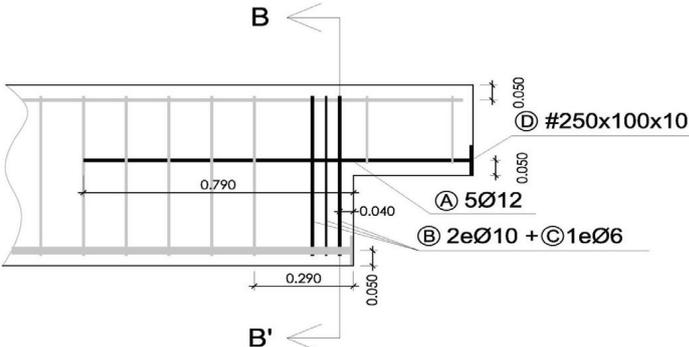
		UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		GOBIERNO DE ESPAÑA		MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	FICHA: 20.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 017A2	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A1_B1_C0_S3			AUTOR: Jaime Mata Falcón				

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p2/HA30_A1_B1_C0_S3 Fecha horm.: 29/10/2010 Fecha ensayo: 01/12/2010 Edad (días): 33 Secc. apoyo (mm): 250x300 Secc. viga (mm): 250x600 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio V última (kN): 199,06 V (w=0,4 mm) (kN): 80,16 40% Tipo rotura: Acero / A-B1-B2-B3	NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 71%															
	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">TIR. HORIZ. -A-</td> <td style="width: 33%; text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">TIR. VERTICAL -B-</td> <td style="width: 33%; text-align: center; border-bottom: 1px dashed black;">TIR. INCLIN. -C-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Armado: 5ϕ12</td> <td style="text-align: center;">Armado: 4ϕ10+2ϕ6</td> <td style="text-align: center;">Armado: -</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 5,65</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 3,71</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 0,00</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(A_y/A_{max})_{pi}: 100%</td> <td style="text-align: center;">(B_y/B_{max})_{pi}: 100%</td> <td style="text-align: center;">(C_y/C_{max})_{pi}: 0%</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; border-top: 1px dashed black;">Rec. mecán. (mm): 80</td> </tr> </table>	TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	Armado: 5 ϕ 12	Armado: 4 ϕ 10+2 ϕ 6	Armado: -	Cuantía (cm ²): 5,65	Cuantía (cm ²): 3,71	Cuantía (cm ²): 0,00	(A _y /A _{max}) _{pi} : 100%	(B _y /B _{max}) _{pi} : 100%	(C _y /C _{max}) _{pi} : 0%	Rec. mecán. (mm): 80		
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-														
Armado: 5 ϕ 12	Armado: 4 ϕ 10+2 ϕ 6	Armado: -														
Cuantía (cm ²): 5,65	Cuantía (cm ²): 3,71	Cuantía (cm ²): 0,00														
(A _y /A _{max}) _{pi} : 100%	(B _y /B _{max}) _{pi} : 100%	(C _y /C _{max}) _{pi} : 0%														
Rec. mecán. (mm): 80																
	Variante 1: - Variante 2: -															
	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; text-align: center;">f_c (Mpa)</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">f_{ct} (Mpa)</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">Vol. Fibras</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">f_{1,R} (Mpa) f_{3,R} (Mpa)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">32,2</td> <td style="text-align: center;">2,77</td> <td style="text-align: center;">0,00%</td> <td style="text-align: center;">- -</td> </tr> </table>	f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)	32,2	2,77	0,00%	- -							
f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)													
32,2	2,77	0,00%	- -													

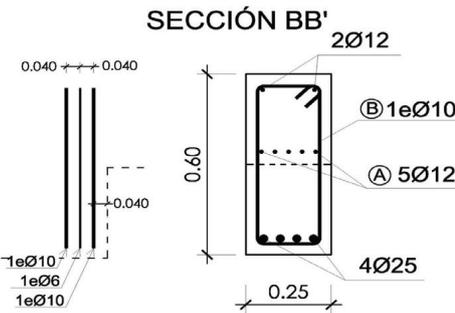
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

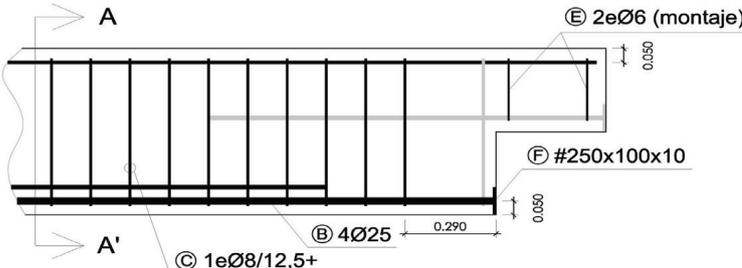


- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

SECCIÓN BB'

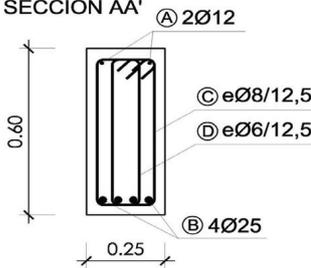


B2.- ARMADO DE LA VIGA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

SECCIÓN AA'

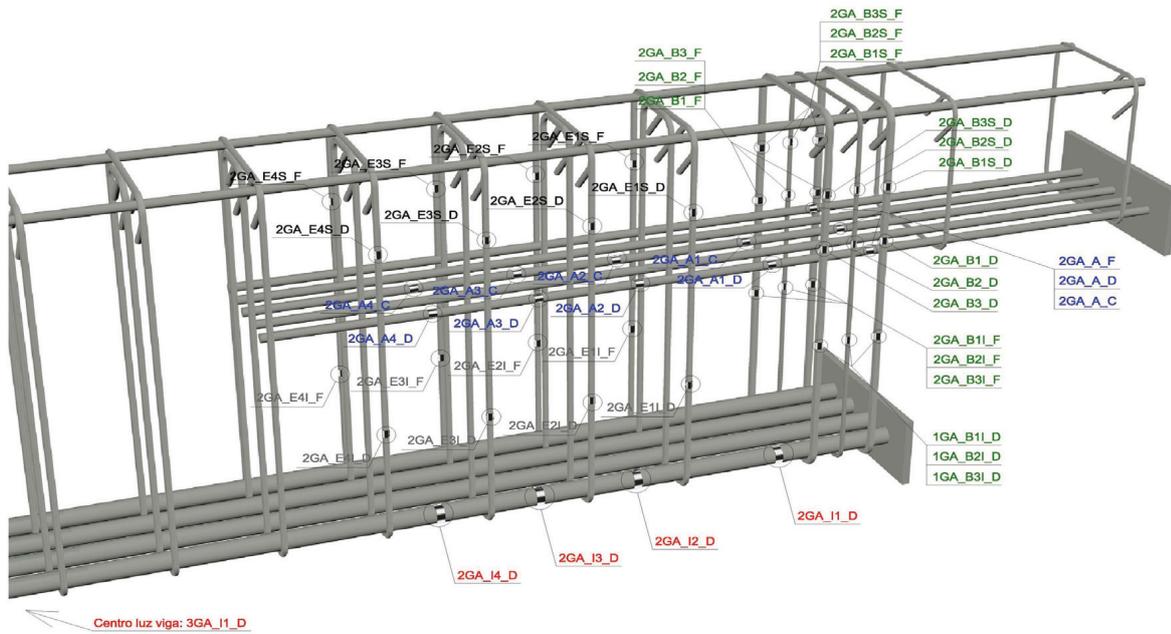


PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p2/HA30_A1_B1_C0_S3
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

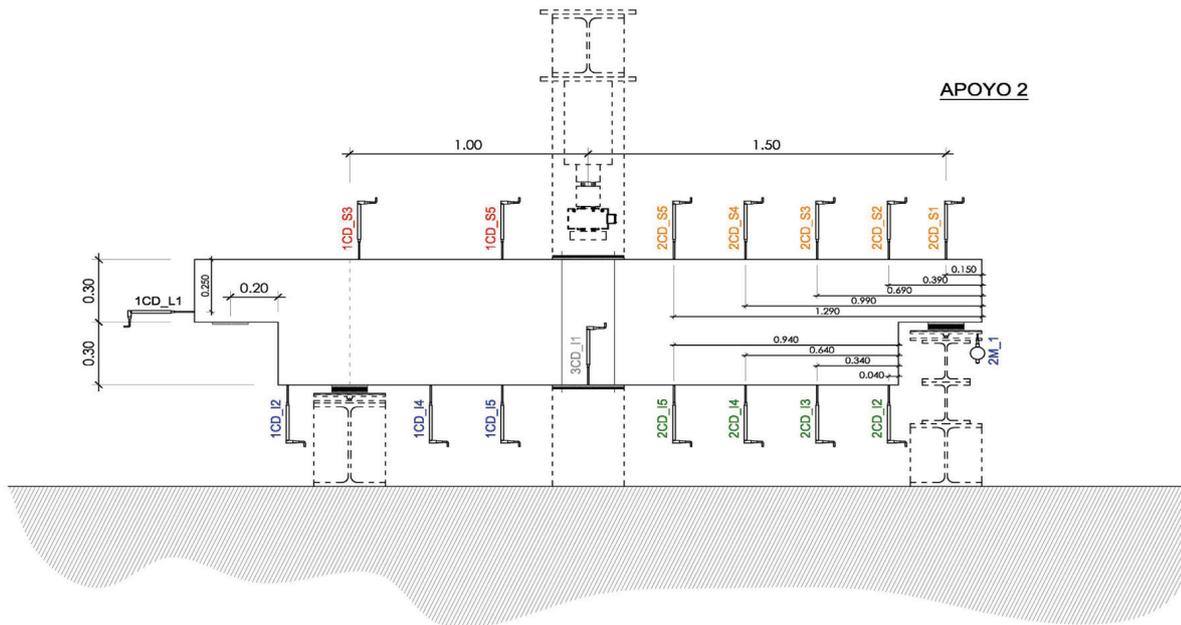
ENSAYO:	017A2
---------	-------

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



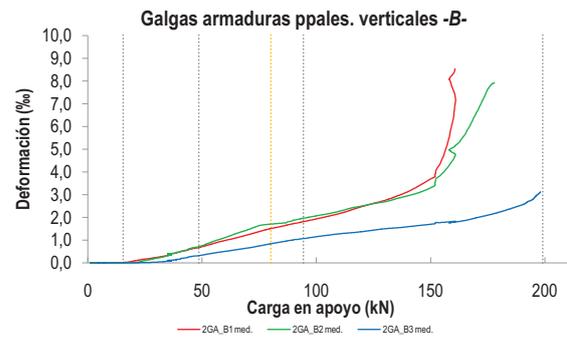
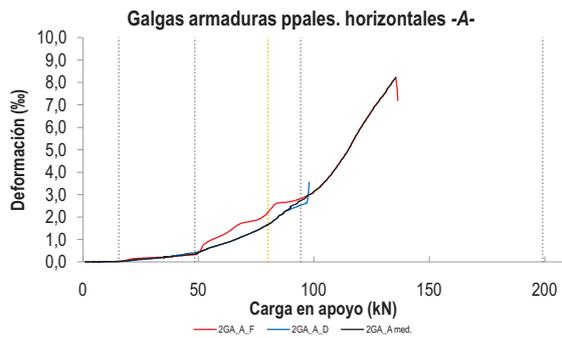
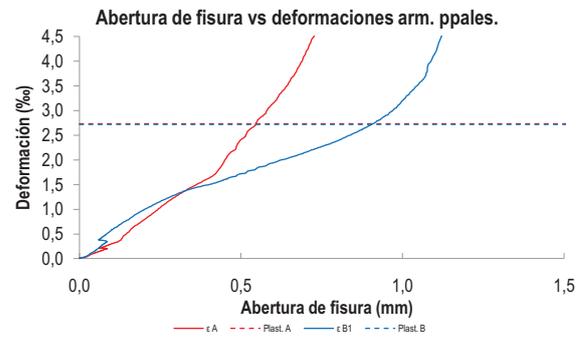
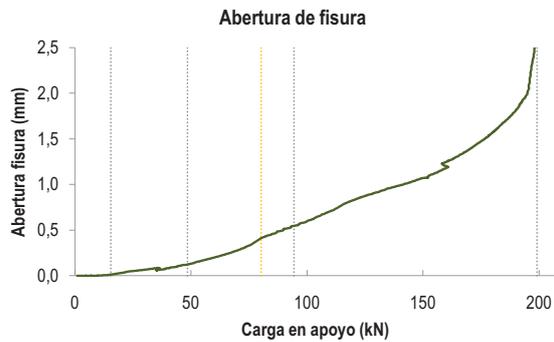
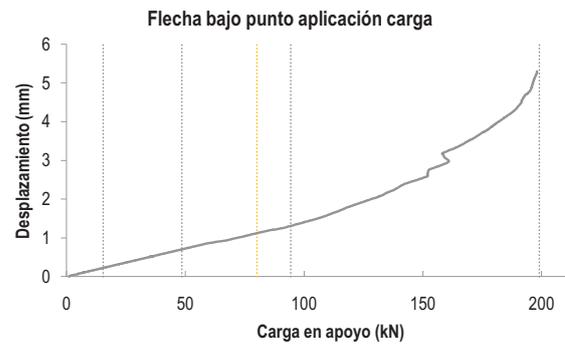
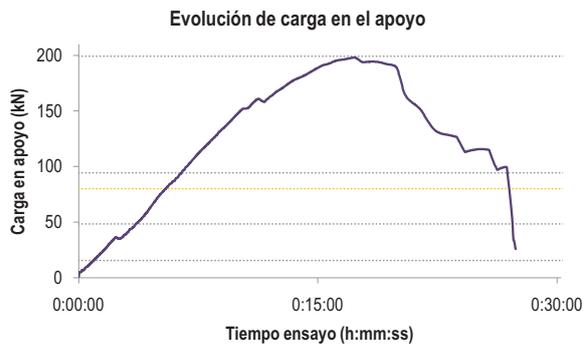
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 20.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 017A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A1_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

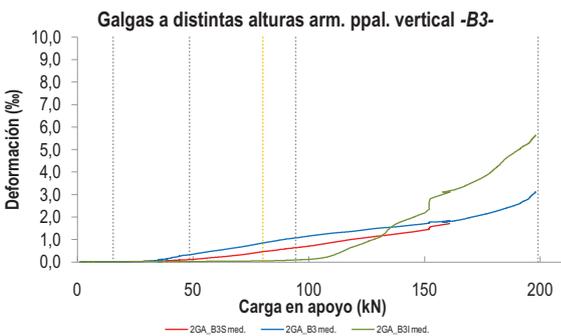
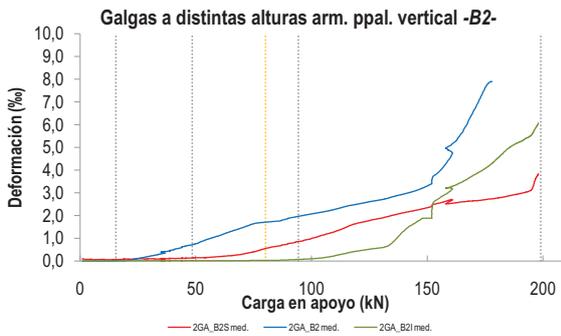
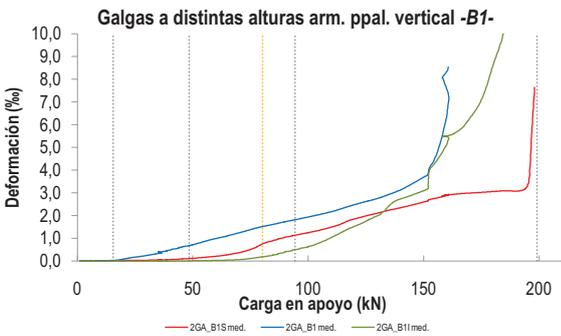
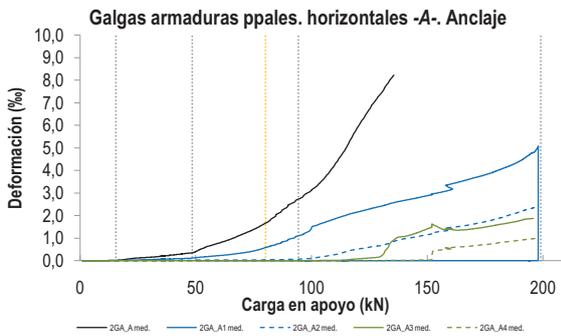
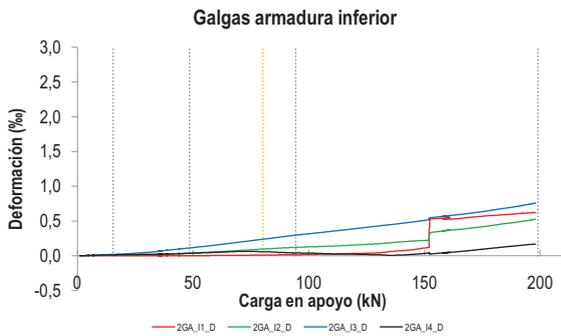
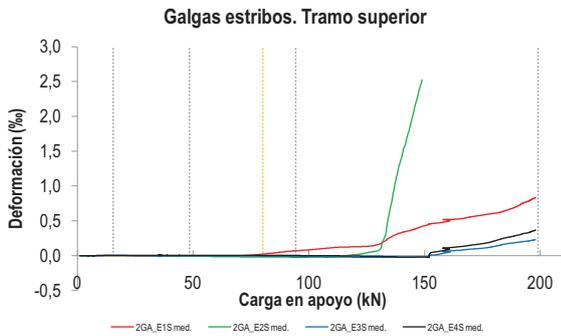


LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE
DE ARMADURA INCLINADA -C-

Estudio Experimental del comportamiento en servicio y rotura de las Regiones D generadas en el entorno de los Apoyos a Media Madera

   		FICHA: 20.4
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO: 017A2	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A1_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D2.- OTROS RESULTADOS



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 20.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 017A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A1_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
9,95	5%	0,00	0,14	0,01	0,01	0,00	0,00	-
19,91	10%	0,03	0,29	0,06	0,08	0,02	0,01	-
29,86	15%	0,06	0,43	0,15	0,24	0,21	0,04	-
39,81	20%	0,08	0,58	0,25	0,48	0,48	0,17	-
49,76	25%	0,13	0,72	0,39	0,71	0,75	0,34	-
59,72	30%	0,20	0,86	0,77	0,98	1,10	0,50	-
69,67	35%	0,27	0,97	1,15	1,23	1,45	0,65	-
79,62	40%	0,40	1,11	1,64	1,50	1,70	0,84	-
89,58	45%	0,50	1,24	2,42	1,72	1,87	1,01	-
99,53	50%	0,59	1,40	3,11	1,93	2,07	1,15	-
109,48	55%	0,70	1,58	4,17	2,15	2,26	1,27	-
119,43	60%	0,82	1,81	5,82	2,46	2,49	1,37	-
129,39	65%	0,91	2,03	7,36	2,74	2,69	1,50	-
139,34	70%	0,98	2,29	-	3,10	2,93	1,58	-
149,29	75%	1,07	2,58	-	3,74	3,38	1,72	-
159,24	80%	1,20	3,06	-	7,09	4,76	1,80	-
169,20	85%	1,38	3,50	-	-	6,43	1,96	-
179,15	90%	1,56	3,88	-	-	7,84	2,21	-
189,10	95%	1,81	4,39	-	-	-	2,55	-
199,06	100%	2,26	5,04	-	-	-	2,98	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	15,44	7,8%	0,00	0,22	0,02	0,02	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	48,50	24,4%	0,12	0,70	0,36	0,68	0,72	0,33	-
Abertura de fisura 0,20 mm	59,96	30,1%	0,20	0,86	0,78	0,99	1,11	0,51	-
Abertura de fisura 0,40 mm	80,16	40,3%	0,40	1,12	1,66	1,51	1,71	0,84	-
Abertura de fisura 0,60 mm	99,86	50,2%	0,60	1,40	3,12	1,94	2,07	1,15	-
Abertura de fisura 0,80 mm	118,56	59,6%	0,80	1,79	5,65	2,43	2,48	1,36	-
Primera plastificación	94,37	47,4%	0,54	1,30	2,69	1,81	1,96	1,07	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



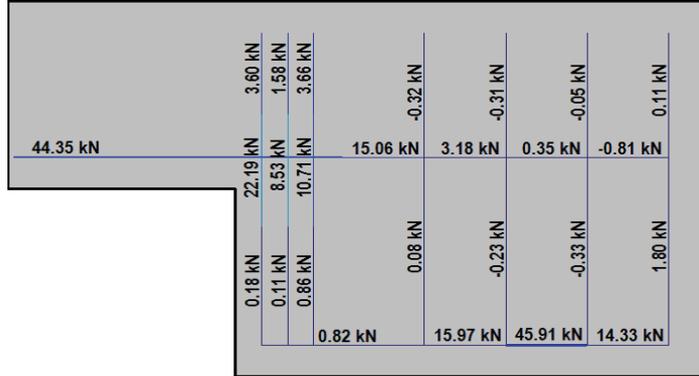
FICHA: **20.6**

PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A1_B1_C0_S3
 AUTOR: Jaime Mata Falcón

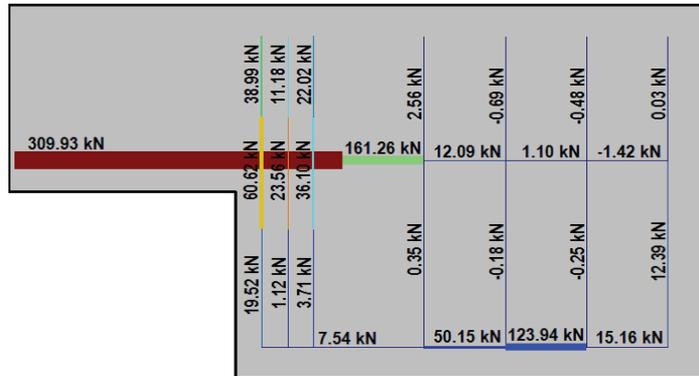
ENSAYO: **017A2**

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

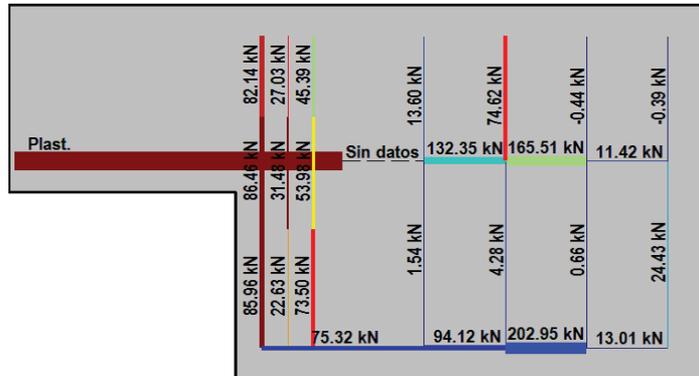
V (kN): 49,76
 V/V_{última}: **25%**
 w (mm): 0,13



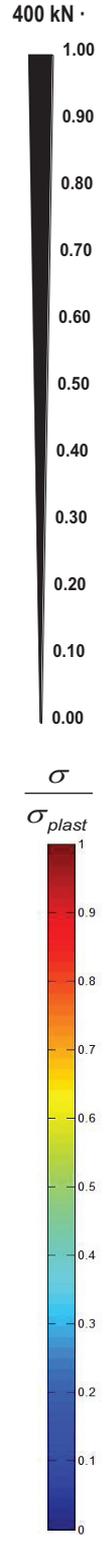
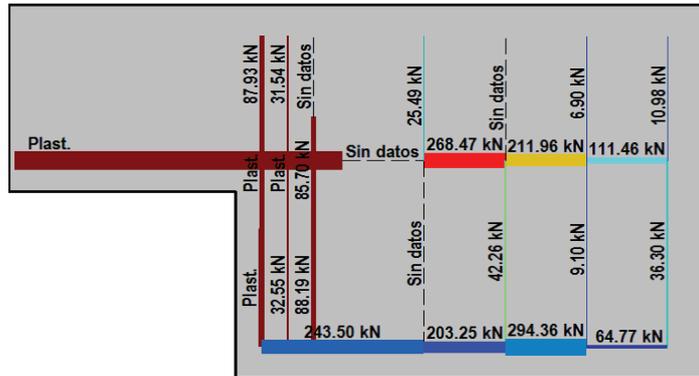
V (kN): 99,53
 V/V_{última}: **50%**
 w (mm): 0,59



V (kN): 149,29
 V/V_{última}: **75%**
 w (mm): 1,07



V (kN): 199,06
 V/V_{última}: **100%**
 w (mm): 2,26



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA	 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	FICHA: 20.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 017A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A1_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA ÚLTIMA



APOYO. ZONA POST-PICO (50% Vmax). INSTANTE PREVIO A COLAPSO



APOYO. ZONA POST-PICO (50% Vmax). INST. POST. A COLAPSO



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio
- INCIDENCIAS: Se produce un desconchamiento superficial sobre el neopreno del apoyo, pero no afecta a la resistencia del elemento.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°, pero no es muy larga, ya que hay varias fisuras paralelas.
 - Al alcanzar la carga máxima comienza a generarse una fisuración paralela en la biela que parte del apoyo. No se trata de una fisura concentrada.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º horizontal - 2º vertical por orden lógico de plastificación (B1-B2-B3)
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisuración diagonal en la bielas, que se concentra en la cabeza de los estribos que forman el tirante vertical y produce el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se mantiene la carga hasta que baja al 50% de la carga última, instante en el cual salta de manera muy brusca el recubrimiento superior.

A.21 Ensayo 018 (p2/HA30_A3_B1_C0_S3) – Apoyo 1

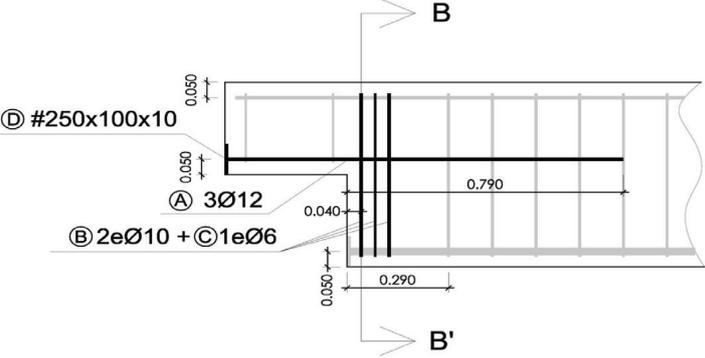
	 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>	 <p>GOBIERNO DE ESPAÑA</p>	 <p>MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN</p>	<p>FICHA: 21.1</p>
<p>PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera</p>				<p>ENSAYO: 018A1</p>
<p>CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A3_B1_C0_S3</p>		<p>AUTOR: Jaime Mata Falcón</p>		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

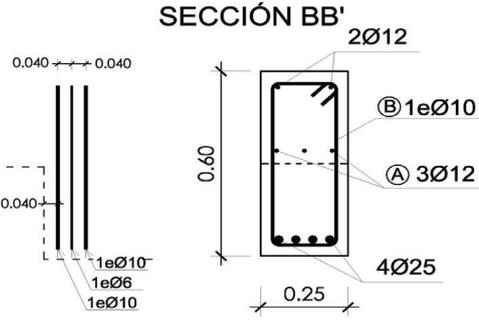
<p>Codificación: p2/HA30_A3_B1_C0_S3 Fecha hom.: 29/10/2010 Fecha ensayo: 03/12/2010 Edad (días): 35</p> <p>Secc. apoyo (mm): 250x300 Secc. viga (mm): 250x600 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio</p> <p>V última (kN): 141,75 V (w=0,4 mm) (kN): 67,46 48% Tipo rotura: Acero / B1-A-B2</p>	<p style="text-align: center;">NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 71%</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">TIR. HORIZ. -A-</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">TIR. VERTICAL -B-</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">TIR. INCLIN. -C-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Armado: 3ϕ12</td> <td style="text-align: center;">Armado: 4ϕ10+2ϕ6</td> <td style="text-align: center;">Armado: -</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 3,39</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 3,71</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 0,00</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(A_y/A_{max})_{pi}: 60%</td> <td style="text-align: center;">(B_y/B_{max})_{pi}: 100%</td> <td style="text-align: center;">(C_y/C_{max})_{pi}: 0%</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Rec. mecán. (mm): 80</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">-----</p> <p style="text-align: center;">Variante 1: - Variante 2: -</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; text-align: center;">f_c (Mpa)</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">f_{ct} (Mpa)</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">Vol. Fibras</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">31,9</td> <td style="text-align: center;">3,19</td> <td style="text-align: center;">0,00%</td> <td style="text-align: center;">- -</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">-----</p>	TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	Armado: 3 ϕ 12	Armado: 4 ϕ 10+2 ϕ 6	Armado: -	Cuantía (cm ²): 3,39	Cuantía (cm ²): 3,71	Cuantía (cm ²): 0,00	(A_y/A_{max}) _{pi} : 60%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%	Rec. mecán. (mm): 80			f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)	31,9	3,19	0,00%	- -
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-																						
Armado: 3 ϕ 12	Armado: 4 ϕ 10+2 ϕ 6	Armado: -																						
Cuantía (cm ²): 3,39	Cuantía (cm ²): 3,71	Cuantía (cm ²): 0,00																						
(A_y/A_{max}) _{pi} : 60%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%																						
Rec. mecán. (mm): 80																								
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)																					
31,9	3,19	0,00%	- -																					

B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



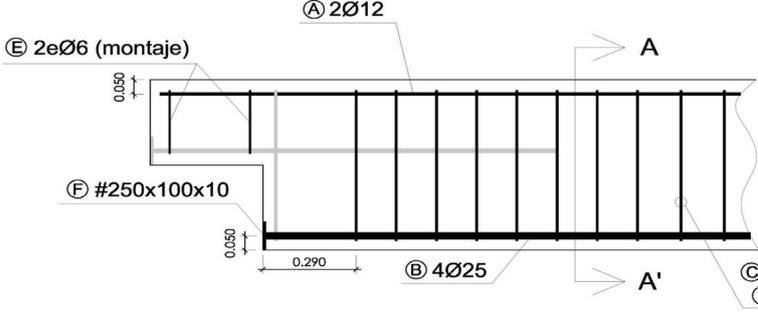
Plan view showing reinforcement layout with dimensions: 0.050, 0.040, 0.290, 0.790. Reinforcement includes 3 ϕ 12 (A), 2e ϕ 10 + 1e ϕ 6 (B), and #250x100x10 (D).



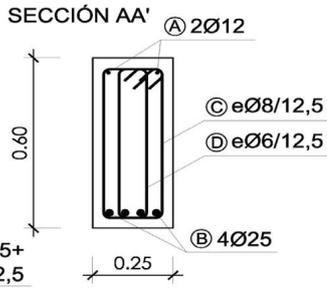
SECCIÓN BB' showing 2 ϕ 12 (A), 1e ϕ 10 (B), 3 ϕ 12 (A), and 4 ϕ 25 (B).

- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA



Plan view showing reinforcement layout with dimensions: 0.050, 0.290. Reinforcement includes 2 ϕ 12 (A), 2e ϕ 6 (montaje) (E), #250x100x10 (F), 4 ϕ 25 (B), 1e ϕ 8/12,5+ (C), and 1e ϕ 6/12,5 (D).



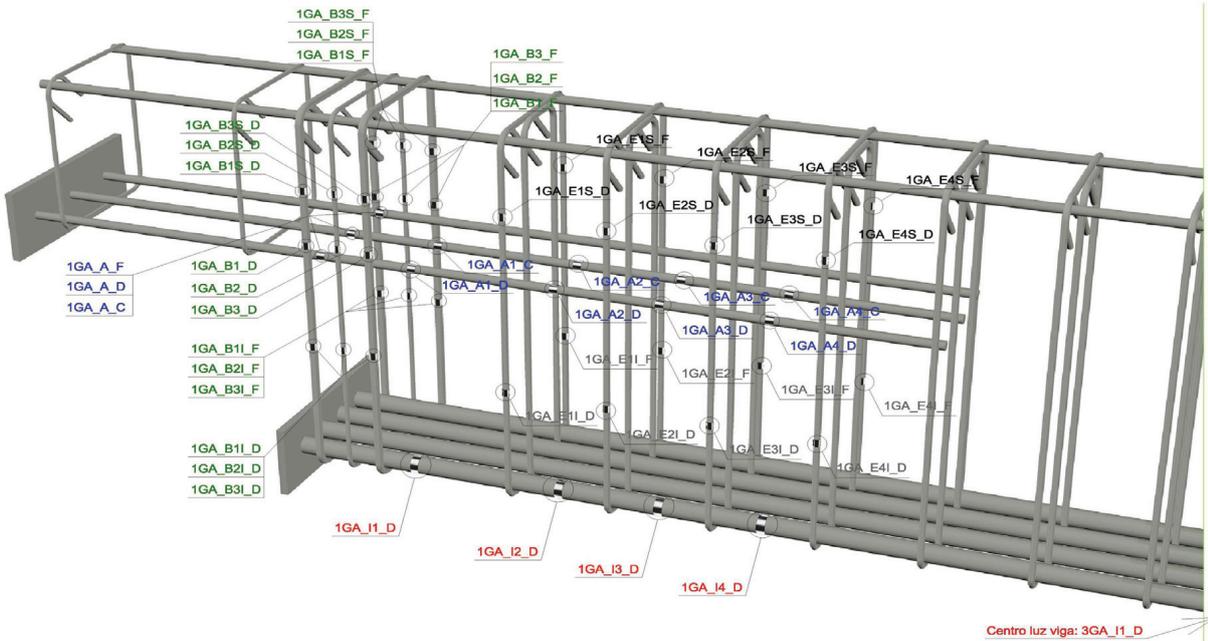
SECCIÓN AA' showing 2 ϕ 12 (A), e ϕ 8/12,5 (C), e ϕ 6/12,5 (D), and 4 ϕ 25 (B).

- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

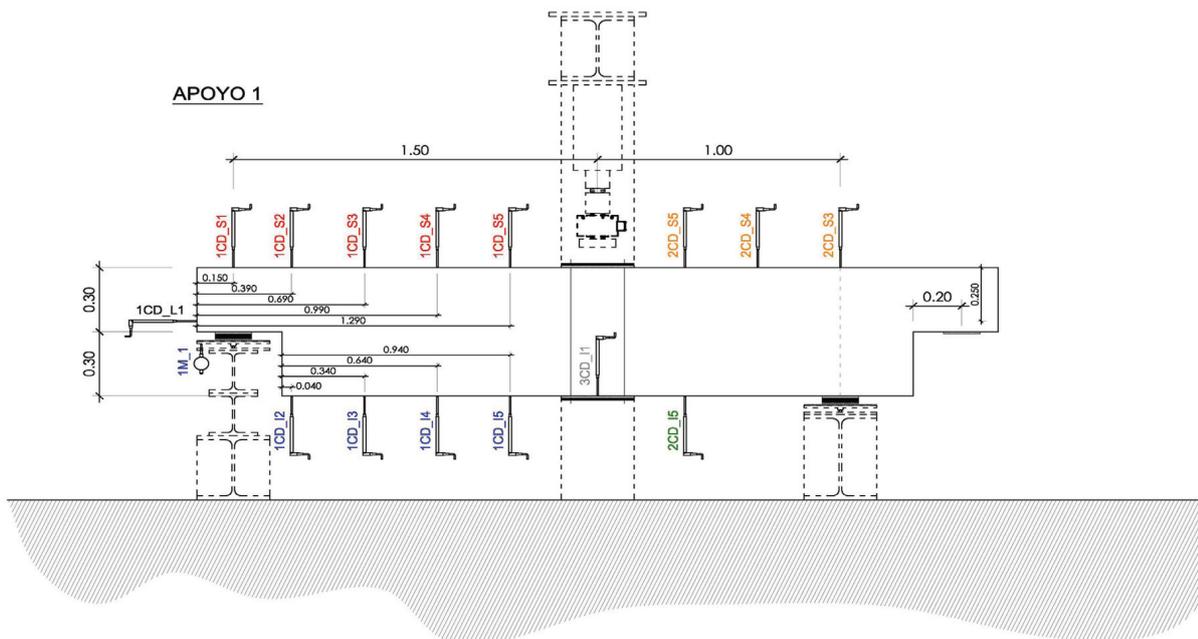
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p2/HA30_A3_B1_C0_S3
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



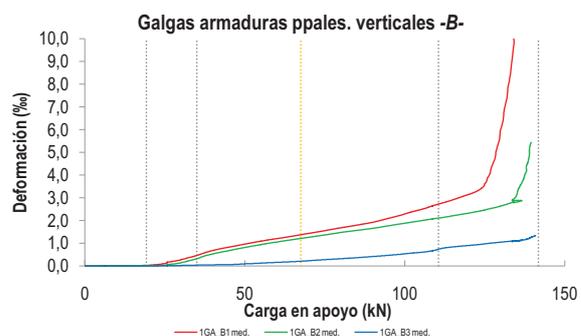
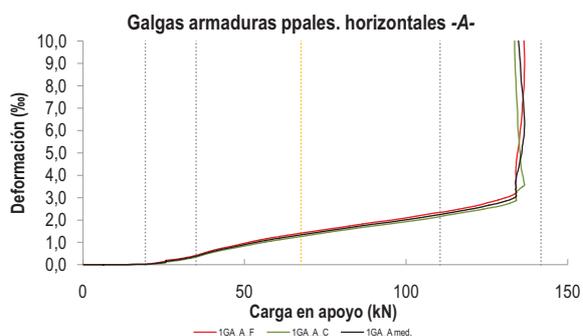
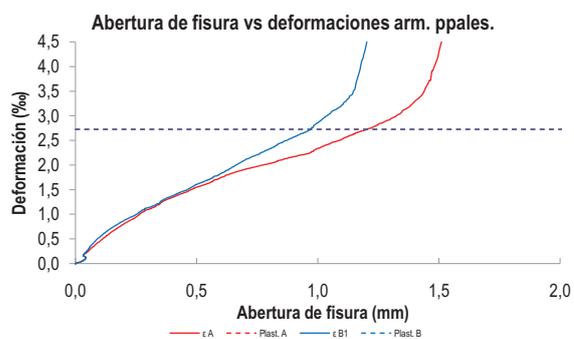
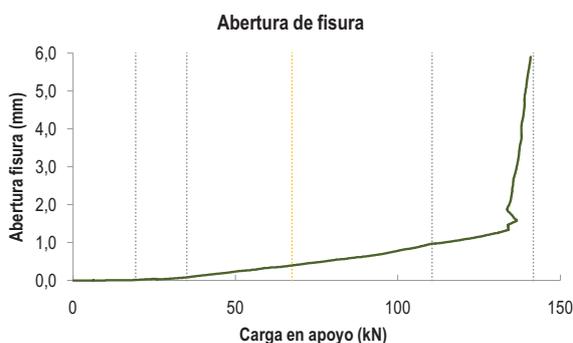
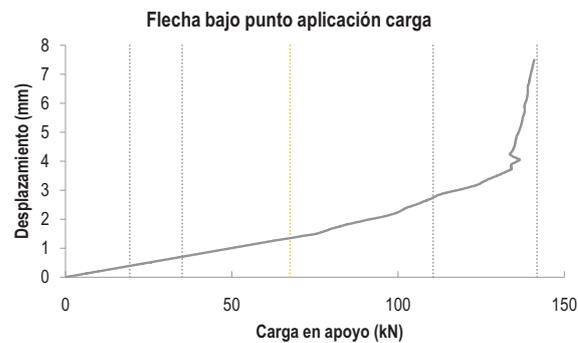
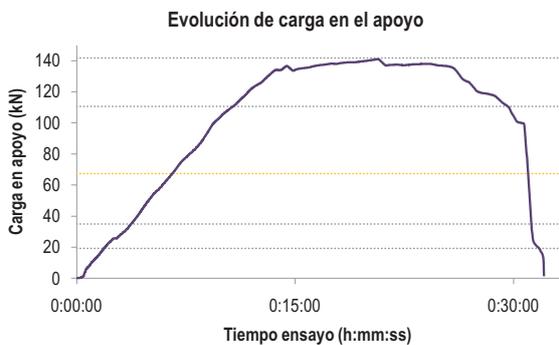
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 21.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO: 018A1	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A3_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

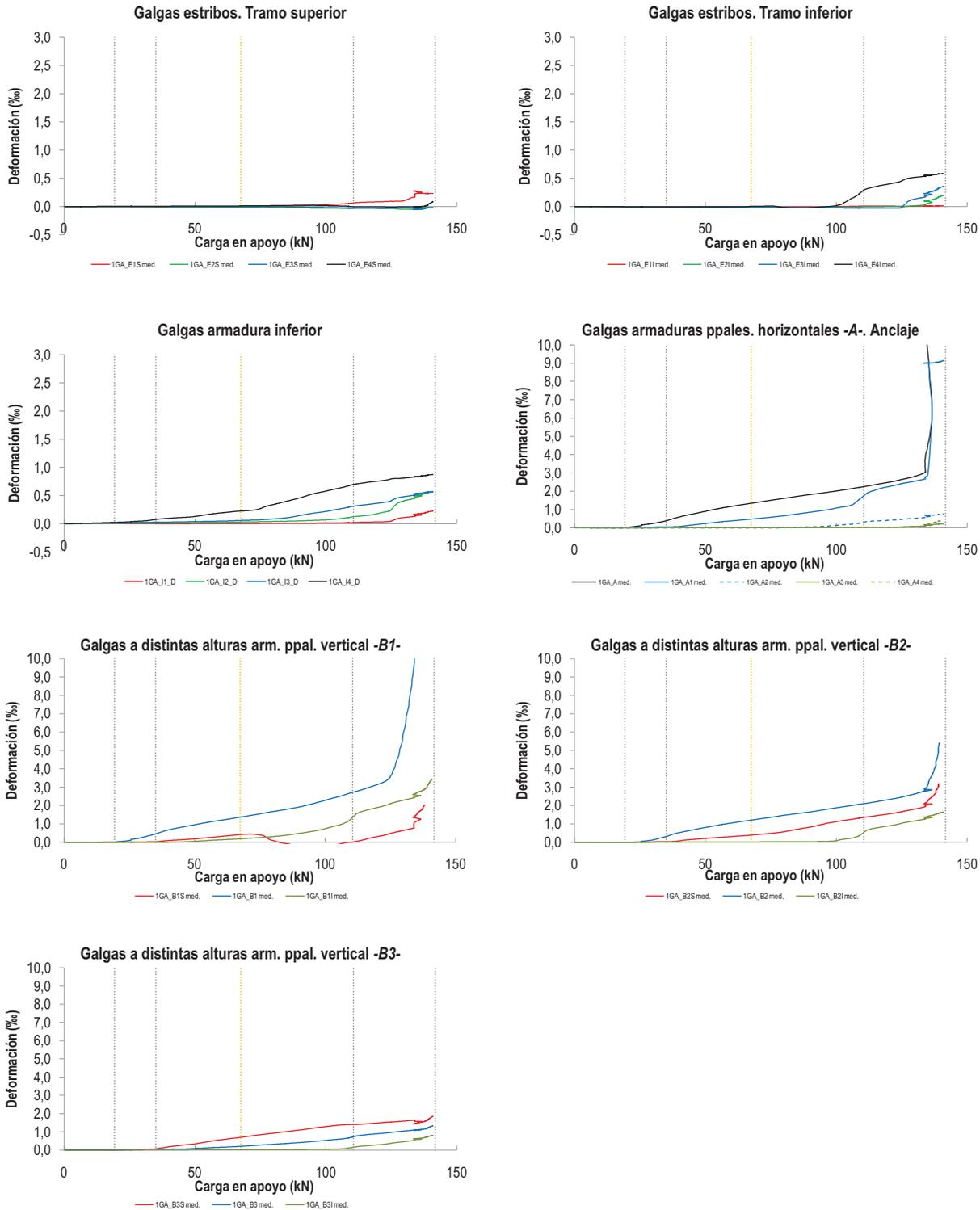
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE
DE ARMADURA INCLINADA -C-

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO:	018A1
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p2/HA30_A3_B1_C0_S3	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 21.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 018A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A3_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
7,09	5%	0,00	0,14	0,01	0,01	0,00	0,00	-
14,17	10%	0,00	0,29	0,01	0,01	0,00	0,00	-
21,26	15%	0,03	0,43	0,04	0,04	0,01	0,00	-
28,35	20%	0,04	0,57	0,21	0,22	0,10	0,01	-
35,44	25%	0,09	0,71	0,40	0,48	0,34	0,04	-
42,52	30%	0,16	0,85	0,68	0,76	0,61	0,05	-
49,61	35%	0,23	0,99	0,89	0,95	0,80	0,09	-
56,70	40%	0,30	1,14	1,09	1,13	0,98	0,13	-
63,79	45%	0,36	1,28	1,26	1,28	1,13	0,18	-
70,87	50%	0,43	1,41	1,41	1,45	1,28	0,24	-
77,96	55%	0,51	1,59	1,57	1,63	1,43	0,30	-
85,05	60%	0,59	1,83	1,72	1,79	1,56	0,36	-
92,14	65%	0,66	2,00	1,85	1,99	1,70	0,43	-
99,22	70%	0,77	2,22	2,00	2,26	1,87	0,52	-
106,31	75%	0,89	2,55	2,15	2,54	2,02	0,62	-
113,40	80%	0,99	2,87	2,32	2,84	2,17	0,81	-
120,48	85%	1,09	3,08	2,50	3,18	2,34	0,91	-
127,57	90%	1,20	3,39	2,72	4,57	2,55	1,01	-
134,66	95%	2,16	4,41	5,48	10,80	3,14	1,11	-
141,75	100%	5,18	6,86	-	-	5,14	1,26	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	19,25	13,6%	0,02	0,39	0,02	0,02	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	35,00	24,7%	0,08	0,70	0,38	0,46	0,32	0,03	-
Abertura de fisura 0,20 mm	46,57	32,9%	0,20	0,93	0,80	0,87	0,72	0,06	-
Abertura de fisura 0,40 mm	67,46	47,6%	0,40	1,34	1,34	1,37	1,21	0,20	-
Abertura de fisura 0,60 mm	85,55	60,4%	0,60	1,84	1,73	1,81	1,57	0,37	-
Abertura de fisura 0,80 mm	101,79	71,8%	0,80	2,34	2,05	2,36	1,92	0,56	-
Primera plastificación	110,52	78,0%	0,96	2,74	2,25	2,71	2,10	0,73	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

FICHA:

21.6

PROYECTO:

Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera

ENSAYO:

018A1

CÓDIGO DE LA PIEZA:

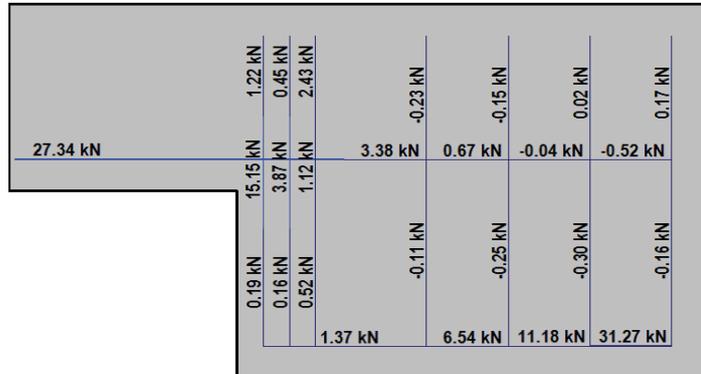
p2/HA30_A3_B1_C0_S3

AUTOR:

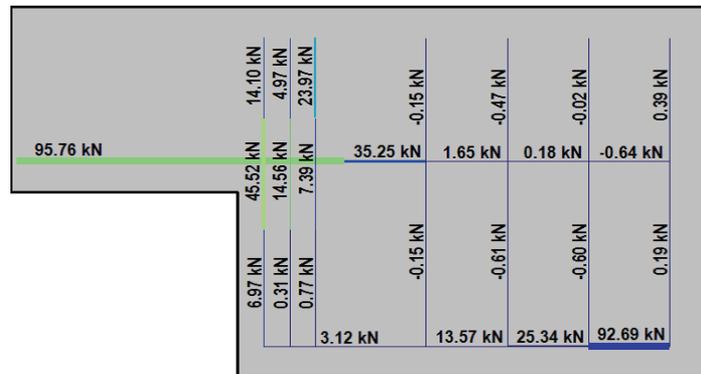
Jaime Mata Falcón

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

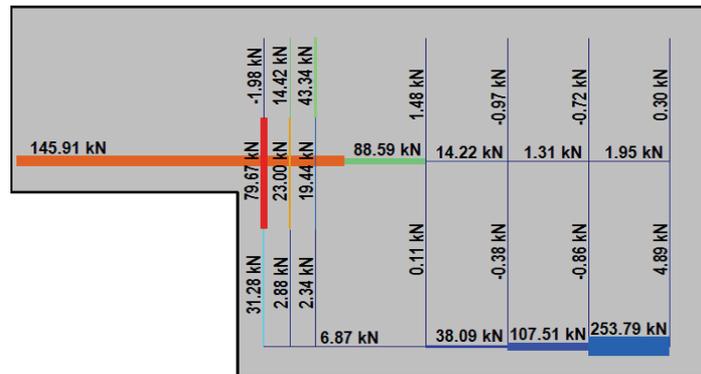
V (kN): 35,44
V/V_{última}: 25%
w (mm): 0,09



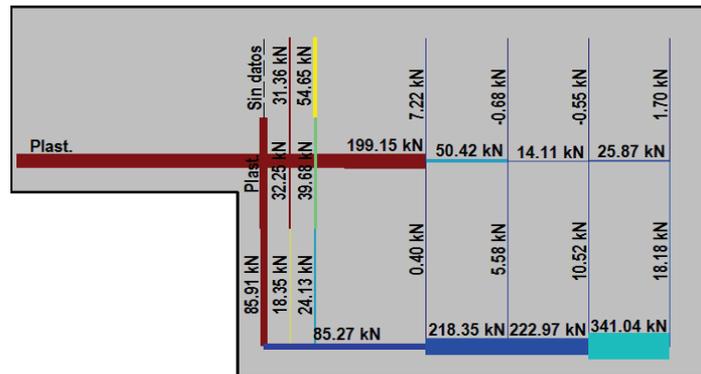
V (kN): 70,87
V/V_{última}: 50%
w (mm): 0,43



V (kN): 106,31
V/V_{última}: 75%
w (mm): 0,89



V (kN): 141,75
V/V_{última}: 100%
w (mm): 5,18



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 21.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera					ENSAYO: 018A1	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A3_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



DETALLE DE FISURA EN ZONA POST-PICO



DETALLE DEL APOYO TRAS LA ROTURA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Apoyo intermedio

- INCIDENCIAS: No hay

- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:

- La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
- La fisura tiene una inclinación aproximada de 45° en su arranque y posteriormente se va verticalizando, hasta seguir el tercer estribo que compone el tirante vertical. Se orienta verticalmente a causa de la debilidad del tirante horizontal.
- Tras alcanzar la carga máxima comienzan a generarse fisuras desde el borde del neopreno y entre éste y la esquina.

- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica la armadura horizontal y sólo los 2 primeros planos del tirante vertical. Primero plastifica el primer estribo vertical, pero casi a la misma carga la armadura horizontal; en cuanto plastifica la armadura horizontal aumenta mucho su deformación, puesto que no hay ninguna armadura que pueda soportar la fuerza en su dirección. Esa elevada deformación también se traduce en una elevada abertura de fisura.

- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte de la esquina, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.

- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar el pico máximo, la carga se estabiliza. La armadura horizontal se encuentra totalmente plastificada y no hay ningún otro mecanismo que permita resistir incrementos de tracción, por lo que la carga se bloquea. Finalmente la carga empieza a bajar, cuando la región ha experimentado una elevada deformabilidad.

A.22 Ensayo 018 (p2/HA30_A3_B1_C0_S3) – Apoyo 2

				FICHA: 22.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 018A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A3_B1_C0_S3		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 71%

TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-
Armado: 3 ϕ 12	Armado: 4 ϕ 10+2 ϕ 6	Armado: -
Cuantía (cm ²): 3,39	Cuantía (cm ²): 3,71	Cuantía (cm ²): 0,00
(A_y/A_{max}) _{pi} : 60%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 100%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

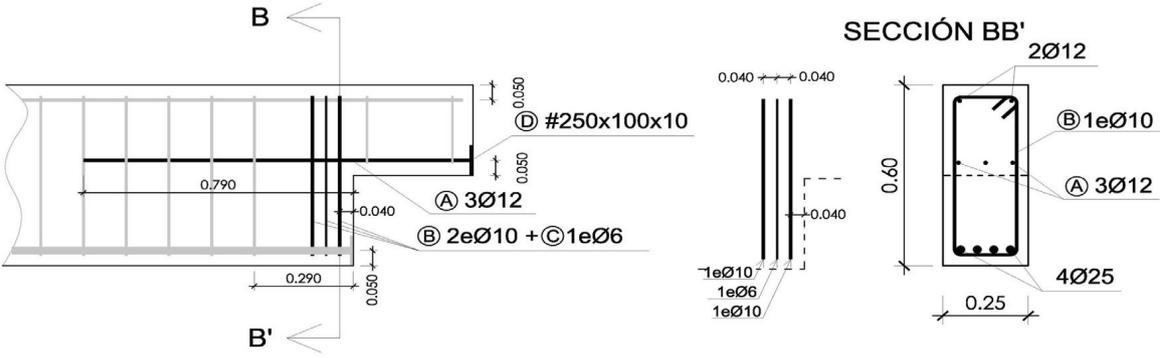
Codificación: p2/HA30_A3_B1_C0_S3	Fecha horm.: 29/10/2010	Fecha ensayo: 03/12/2010
Edad (días): 35		

Secc. apoyo (mm): 250x300	Secc. viga (mm): 250x600	Tipo ensayo: Apoyo Intermedio
---------------------------	--------------------------	-------------------------------

V última (kN): 145,48	V (w=0,4 mm) (kN): 66,40	46%
Tipo rotura: Acero / B1-A-B2		

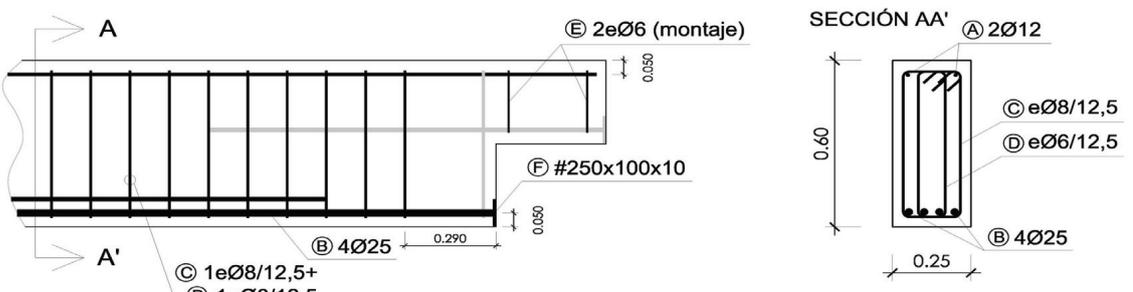
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA

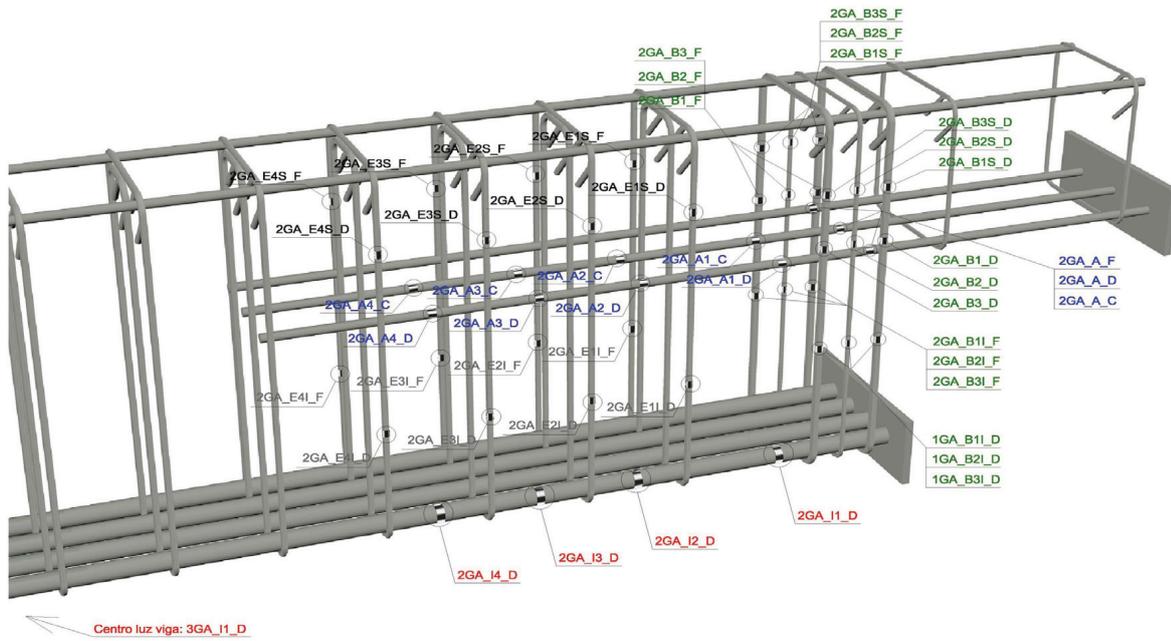


- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

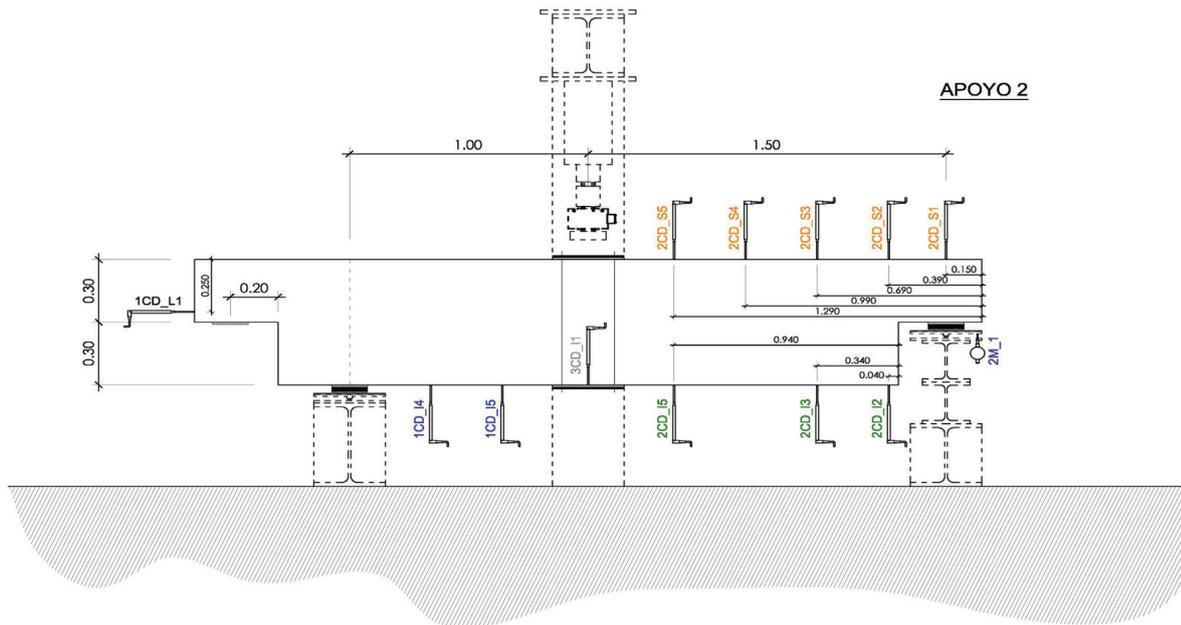
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p2/HA30_A3_B1_C0_S3
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

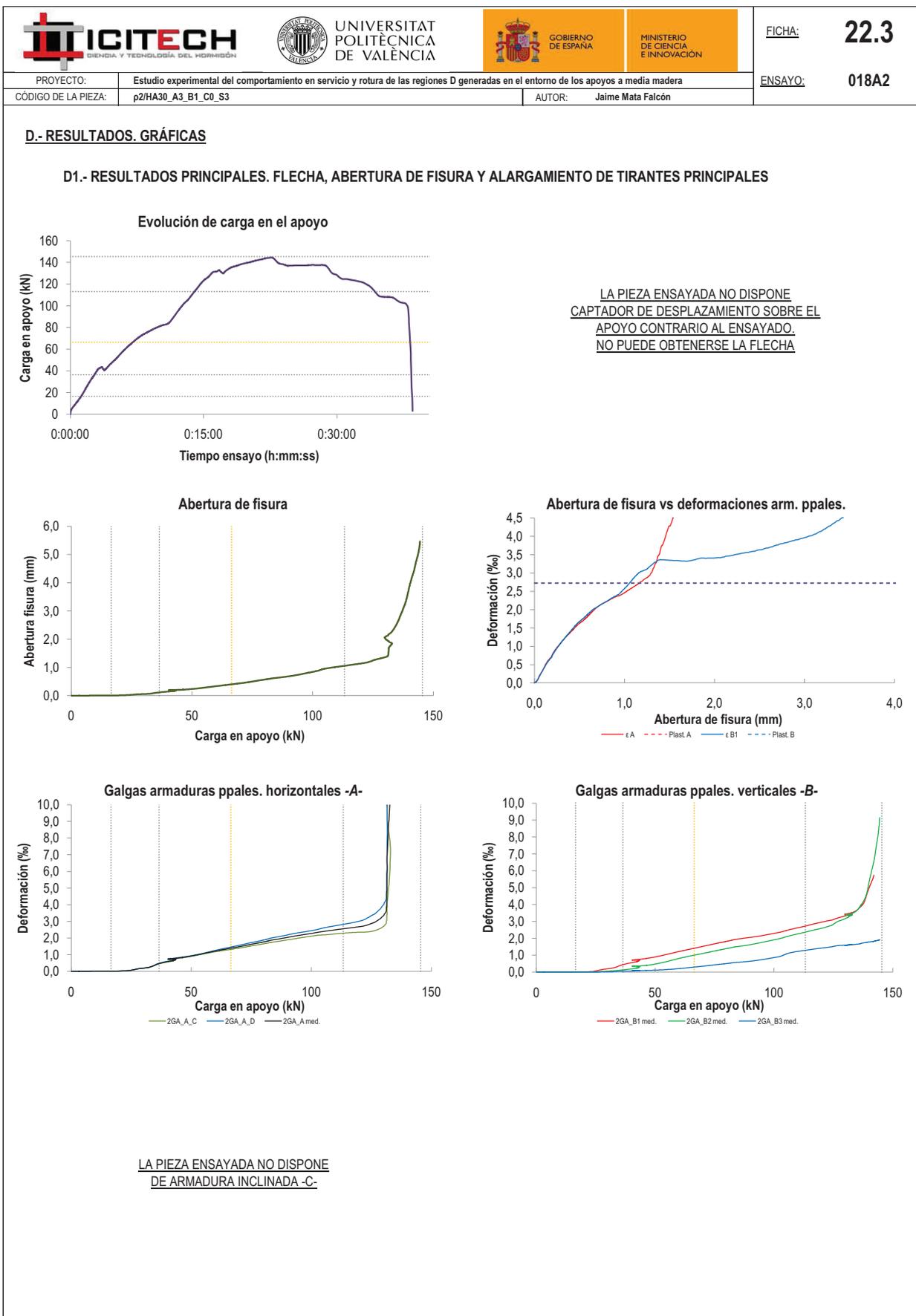
C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA







FICHA: **22.4**

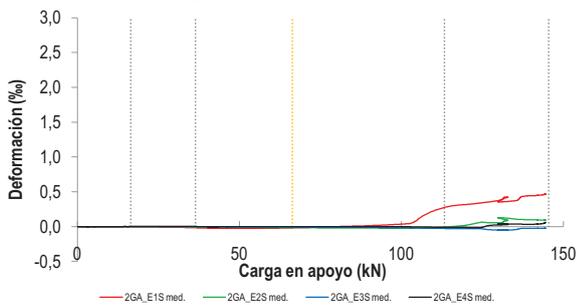
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p2/HA30_A3_B1_C0_S3

ENSAYO: **018A2**

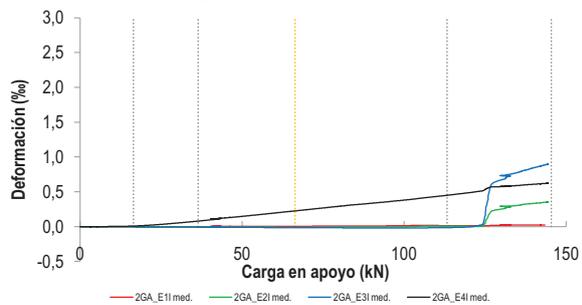
AUTOR: Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS

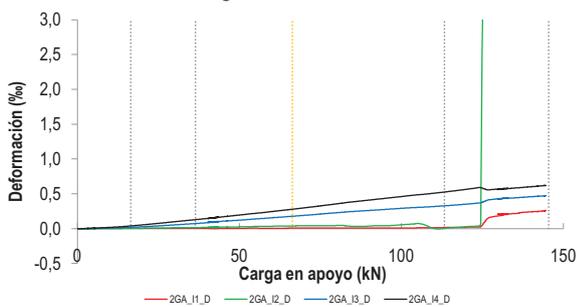
Galgas estribos. Tramo superior



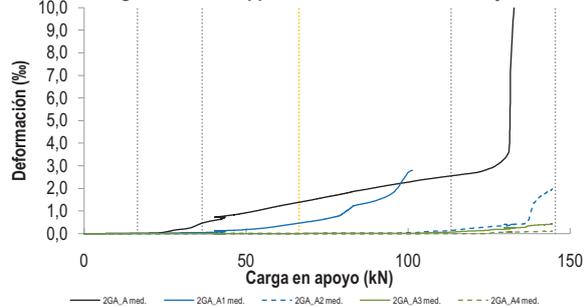
Galgas estribos. Tramo inferior



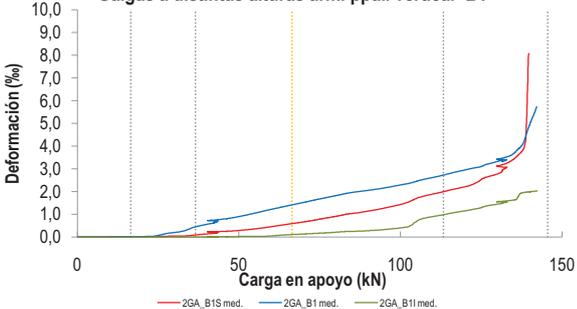
Galgas armadura inferior



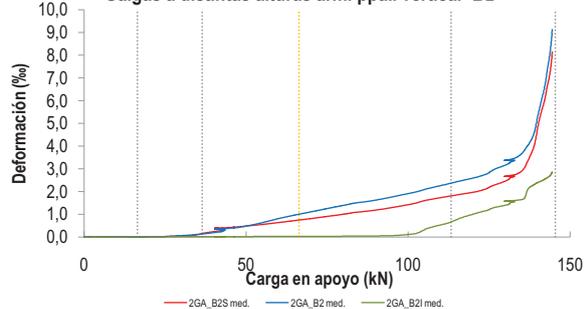
Galgas armaduras ppales. horizontales -A-. Anclaje



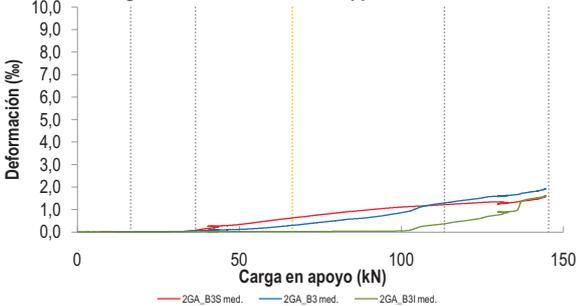
Galgas a distintas alturas arm. ppal. vertical -B1-



Galgas a distintas alturas arm. ppal. vertical -B2-



Galgas a distintas alturas arm. ppal. vertical -B3-



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 22.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 018A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A3_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-
7,27	5%	0,00	-	0,01	0,00	0,00	0,00	-
14,55	10%	0,00	-	0,01	0,01	0,00	0,00	-
21,82	15%	0,02	-	0,03	0,02	0,01	0,00	-
29,10	20%	0,05	-	0,17	0,18	0,05	0,02	-
36,37	25%	0,12	-	0,46	0,44	0,13	0,06	-
43,64	30%	0,19	-	0,73	0,72	0,32	0,09	-
50,92	35%	0,24	-	0,94	0,92	0,50	0,12	-
58,19	40%	0,31	-	1,16	1,16	0,74	0,19	-
65,46	45%	0,39	-	1,36	1,39	0,98	0,29	-
72,74	50%	0,47	-	1,56	1,61	1,18	0,39	-
80,01	55%	0,57	-	1,77	1,82	1,39	0,51	-
87,29	60%	0,65	-	1,96	2,00	1,56	0,61	-
94,56	65%	0,75	-	2,15	2,15	1,75	0,73	-
101,83	70%	0,88	-	2,32	2,35	1,97	0,92	-
109,11	75%	1,01	-	2,47	2,59	2,23	1,21	-
116,38	80%	1,09	-	2,61	2,84	2,47	1,35	-
123,66	85%	1,22	-	2,82	3,08	2,78	1,50	-
130,93	90%	1,80	-	6,57	3,39	3,32	1,61	-
138,20	95%	3,36	-	-	4,41	4,58	1,74	-
145,48	100%	5,05	-	-	-	8,06	1,88	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	16,50	11,3%	0,00	-	0,01	0,01	0,00	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	36,50	25,1%	0,12	-	0,46	0,44	0,13	0,06	-
Abertura de fisura 0,20 mm	43,59	30,0%	0,20	-	0,73	0,71	0,32	0,09	-
Abertura de fisura 0,40 mm	66,40	45,6%	0,40	-	1,39	1,41	1,01	0,30	-
Abertura de fisura 0,60 mm	81,96	56,3%	0,60	-	1,83	1,88	1,45	0,54	-
Abertura de fisura 0,80 mm	97,56	67,1%	0,80	-	2,22	2,23	1,84	0,80	-
Primera plastificación	113,24	77,8%	1,06	-	2,55	2,73	2,37	1,29	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 22.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera					ENSAYO: 018A2	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A3_B1_C0_S3	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA



DETALLE DE ROTURA. ELEVADA DEFORMACIÓN ARMADURA HOR.



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Apoyo intermedio

- INCIDENCIAS: No hay

- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:

- La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
- La fisura tiene una inclinación aproximada de 45° en su arranque y posteriormente se verticaliza debido a la debilidad del tirante horizontal.
- Como suele suceder en todos los casos, la rotura se produce por la fisura que aparece desde el borde del neopreno y la placa de anclaje de la armadura horizontal.

- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica la armadura horizontal y sólo los 2 primeros planos del tirante vertical. Primero plastifica el primer estribo vertical, pero casi a la misma carga la armadura horizontal; en cuanto plastifica la armadura horizontal aumenta mucho su deformación, puesto que no hay ninguna armadura que pueda soportar la fuerza en su dirección. Esa elevada deformación también se traduce en una elevada abertura de fisura.

- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte de la esquina, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.

- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar el pico máximo, la carga pierde un 5% de su carga. Tras estabilizarse la carga en este valor durante un par de minutos comienza a descender gradualmente, hasta que tras perder el 30% de la carga se finaliza el ensayo.

A.23 Ensayo 019 (p2/HA30_A3_B3_C3_S1) – Apoyo 1

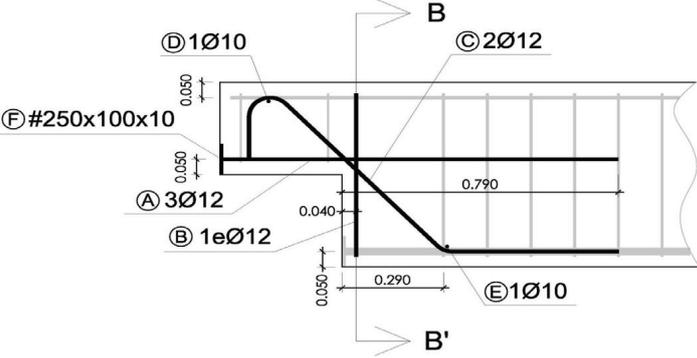
	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	 GOBIERNO DE ESPAÑA	 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	FICHA: 23.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera			ENSAYO: 019A1	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A3_B3_C3_S1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

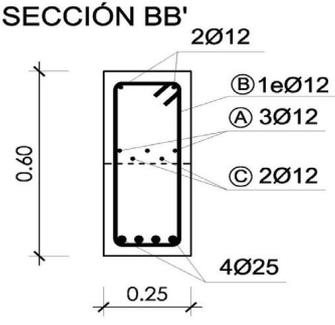
Codificación: p2/HA30_A3_B3_C3_S1 Fecha horm.: 29/10/2010 Fecha ensayo: 16/12/2010 Edad (días): 48 Secc. apoyo (mm): 250x300 Secc. viga (mm): 250x600 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio V última (kN): 240,49 V (w=0,4 mm) (kN): 107,98 45% Tipo rotura: Acero / C-A-B	NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 71% <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:33%; text-align: center;">TIR. HORIZ. -A-</td> <td style="width:33%; text-align: center;">TIR. VERTICAL -B-</td> <td style="width:33%; text-align: center;">TIR. INCLIN. -C-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Armado: 3ϕ12</td> <td style="text-align: center;">Armado: 2ϕ12</td> <td style="text-align: center;">Armado: 2ϕ12</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 3,39</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 2,26</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 2,26</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(A_y/A_{max})_{pi}: 60%</td> <td style="text-align: center;">(B_y/B_{max})_{pi}: 61%</td> <td style="text-align: center;">(C_y/C_{max})_{pi}: 47%</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Rec. mecán. (mm): 40</td> </tr> </table>	TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	Armado: 3 ϕ 12	Armado: 2 ϕ 12	Armado: 2 ϕ 12	Cuantía (cm ²): 3,39	Cuantía (cm ²): 2,26	Cuantía (cm ²): 2,26	(A_y/A_{max}) _{pi} : 60%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 61%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 47%	Rec. mecán. (mm): 40		
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-														
Armado: 3 ϕ 12	Armado: 2 ϕ 12	Armado: 2 ϕ 12														
Cuantía (cm ²): 3,39	Cuantía (cm ²): 2,26	Cuantía (cm ²): 2,26														
(A_y/A_{max}) _{pi} : 60%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 61%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 47%														
Rec. mecán. (mm): 40																
	Variante 1: - Variante 2: -															
	<table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:25%; text-align: center;">f_c (Mpa)</td> <td style="width:25%; text-align: center;">f_{ct} (Mpa)</td> <td style="width:25%; text-align: center;">Vol. Fibras</td> <td style="width:25%; text-align: center;">$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">33,3</td> <td style="text-align: center;">2,98</td> <td style="text-align: center;">0,00%</td> <td style="text-align: center;">- -</td> </tr> </table>	f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)	33,3	2,98	0,00%	- -							
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)													
33,3	2,98	0,00%	- -													

B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

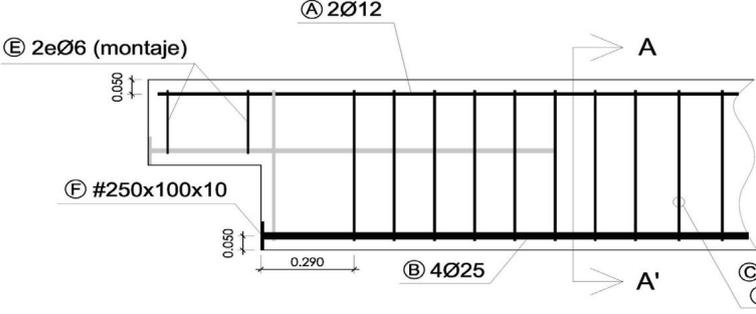


SECCIÓN BB'

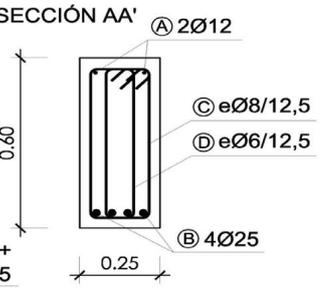


- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA



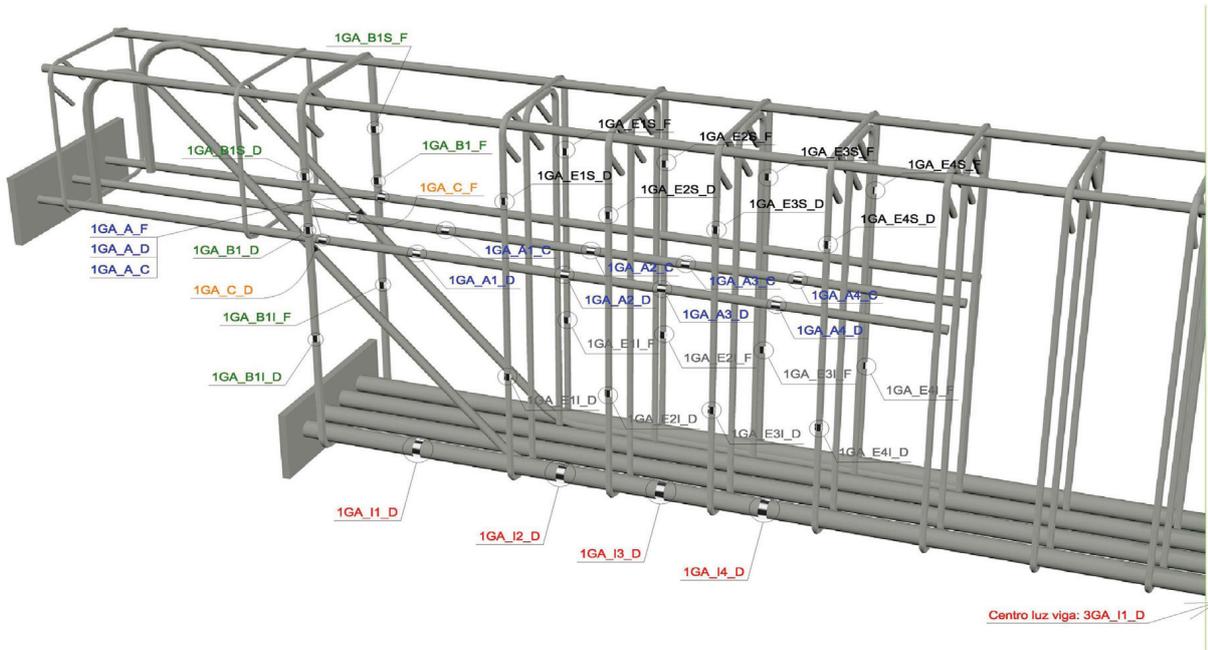
SECCIÓN AA'



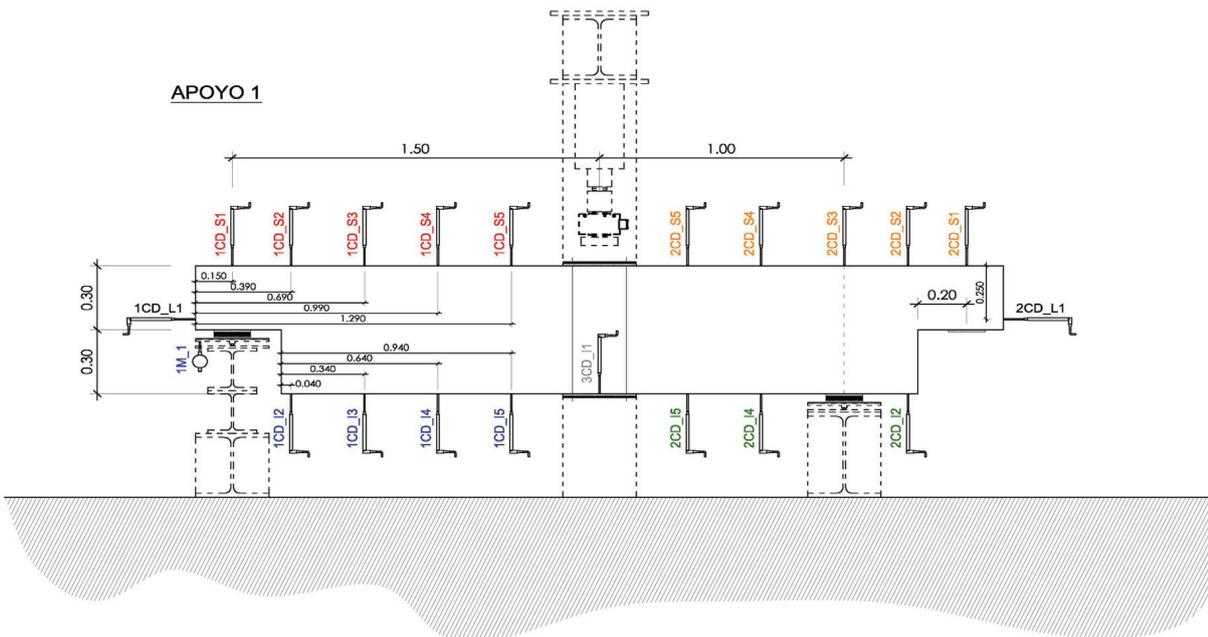
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



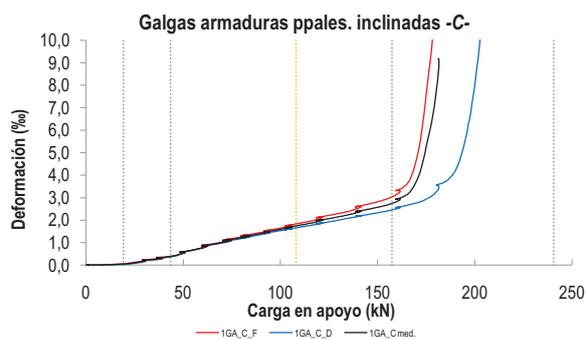
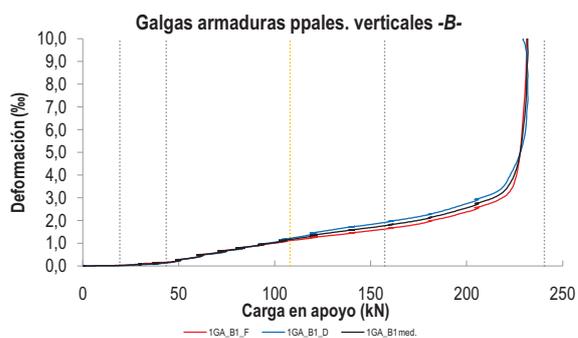
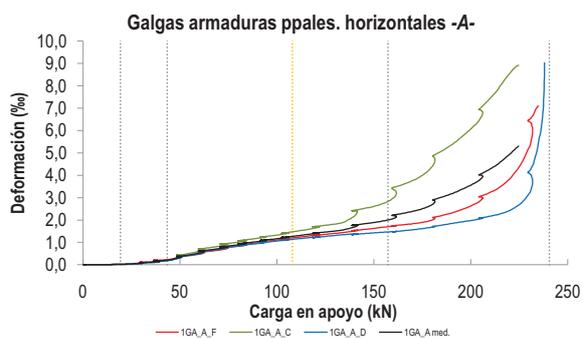
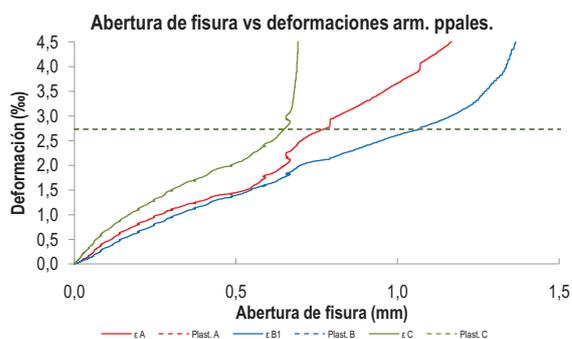
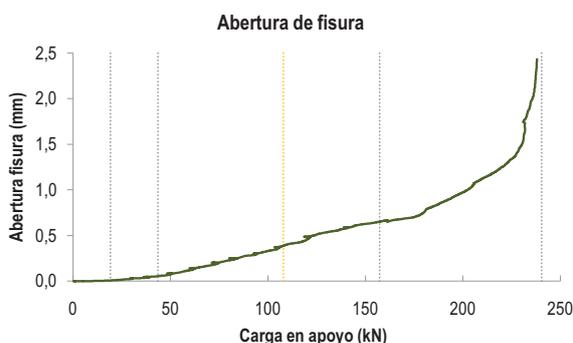
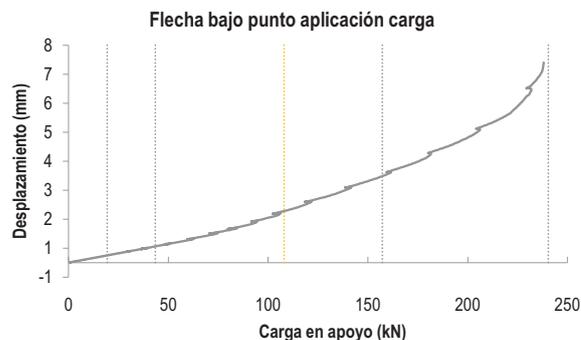
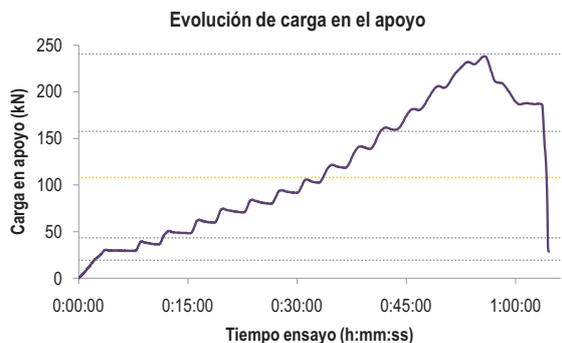
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 23.3
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 019A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A3_B3_C3_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



Estudio Experimental del comportamiento en servicio y rotura de las Regiones D generadas en el entorno de los Apoyos a Media Madera

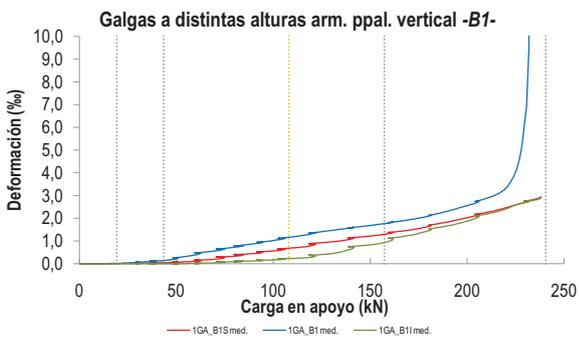
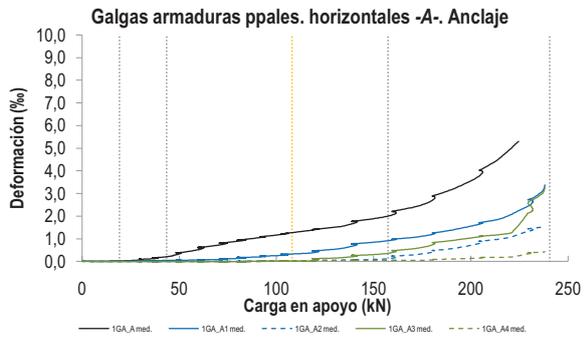
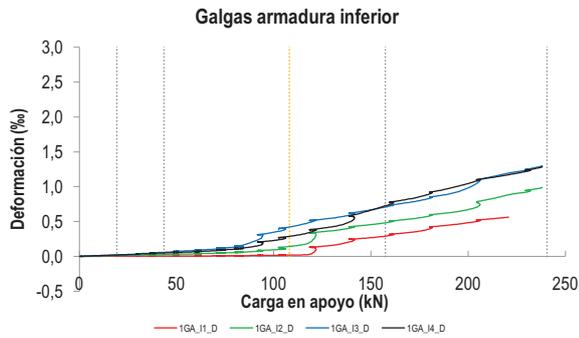
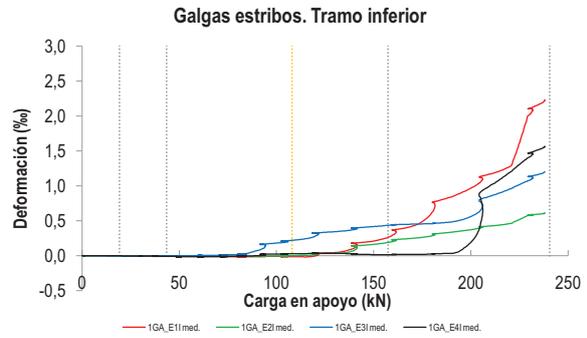
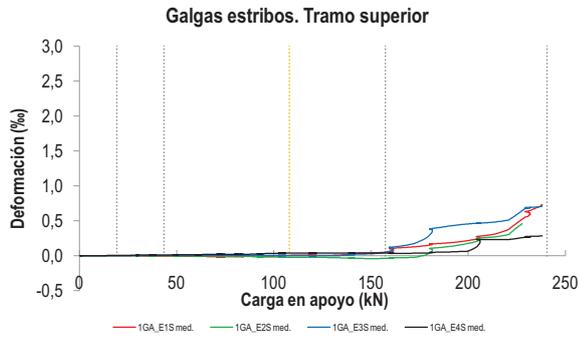


FICHA: **23.4**

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p2/HA30_A3_B3_C3_S1

ENSAYO:	019A1
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 23.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 019A1
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A3_B3_C3_S1					AUTOR: Jaime Mata Falcón	

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00
12,02	5%	0,00	0,15	0,01	0,01	-	-	0,02
24,05	10%	0,00	0,31	0,03	0,03	-	-	0,09
36,07	15%	0,04	0,47	0,16	0,11	-	-	0,32
48,10	20%	0,08	0,63	0,37	0,26	-	-	0,57
60,12	25%	0,14	0,80	0,61	0,48	-	-	0,86
72,15	30%	0,20	1,00	0,81	0,65	-	-	1,10
84,17	35%	0,25	1,19	0,96	0,80	-	-	1,30
96,19	40%	0,30	1,45	1,11	0,96	-	-	1,51
108,22	45%	0,39	1,78	1,27	1,17	-	-	1,75
120,24	50%	0,48	2,09	1,41	1,35	-	-	1,98
132,27	55%	0,54	2,35	1,54	1,50	-	-	2,20
144,29	60%	0,60	2,66	1,80	1,61	-	-	2,44
156,32	65%	0,65	3,04	2,10	1,79	-	-	2,84
168,34	70%	0,68	3,32	2,36	1,91	-	-	3,52
180,36	75%	0,77	3,74	2,82	2,12	-	-	8,07
192,39	80%	0,89	4,08	3,27	2,38	-	-	-
204,41	85%	1,04	4,57	3,94	2,72	-	-	-
216,44	90%	1,20	4,96	4,68	3,12	-	-	-
228,46	95%	1,55	5,86	5,29	8,19	-	-	-
240,49	100%	2,23	6,65	-	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	19,24	8,0%	0,00	0,25	0,02	0,02	-	-	0,05
Punto de cambio de rigidez	43,50	18,1%	0,05	0,56	0,21	0,14	-	-	0,38
Abertura de fisura 0,20 mm	73,35	30,5%	0,20	1,01	0,81	0,65	-	-	1,11
Abertura de fisura 0,40 mm	107,98	44,9%	0,40	1,74	1,25	1,14	-	-	1,72
Abertura de fisura 0,60 mm	147,22	61,2%	0,60	2,75	1,85	1,66	-	-	2,52
Abertura de fisura 0,80 mm	183,51	76,3%	0,80	3,78	2,88	2,15	-	-	8,64
Primera plastificación	157,32	65,4%	0,65	3,08	2,14	1,80	-	-	2,88

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



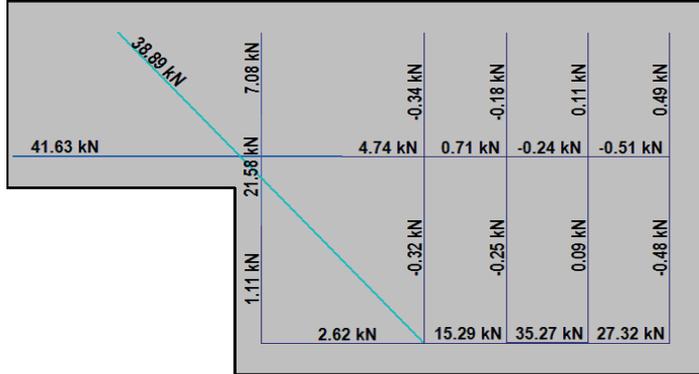
FICHA: **23.6**

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p2/HA30_A3_B3_C3_S1
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

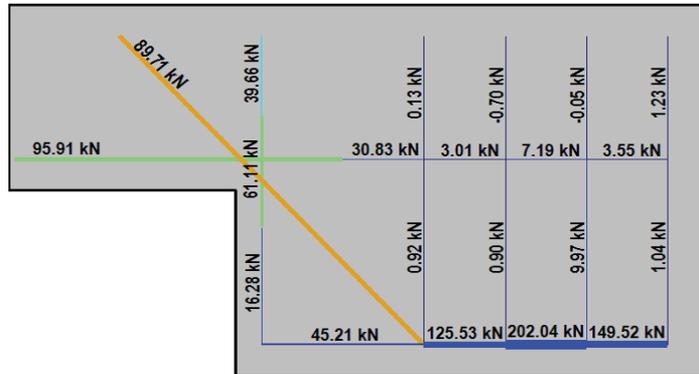
ENSAYO: **019A1**

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

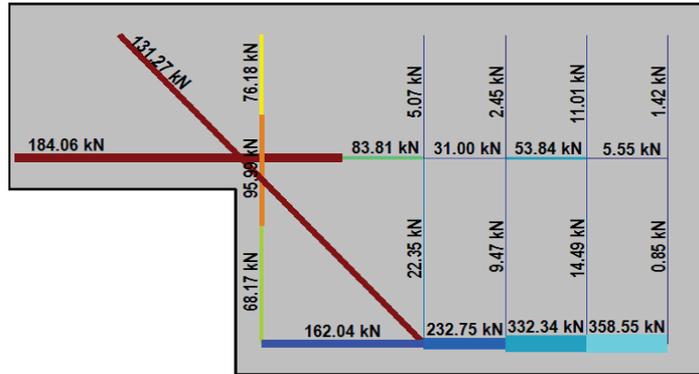
V (kN): 60,12
 $V/V_{\text{última}}$: 25%
 w (mm): 0,14



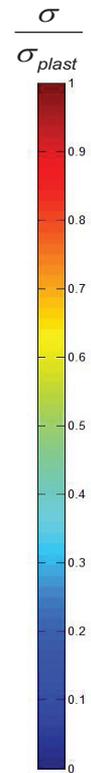
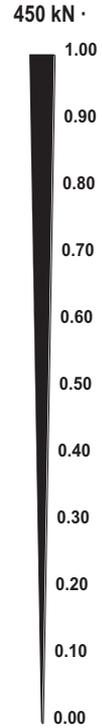
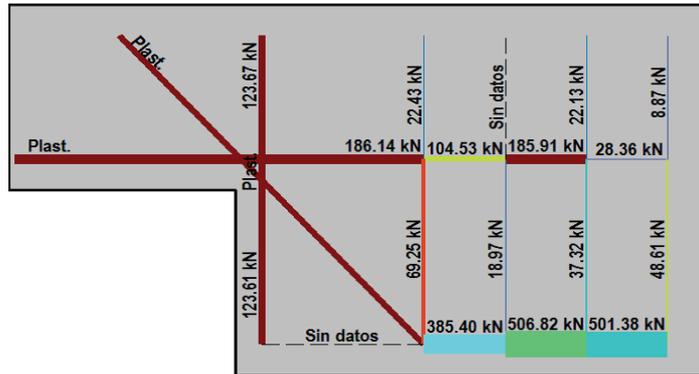
V (kN): 120,24
 $V/V_{\text{última}}$: 50%
 w (mm): 0,48



V (kN): 180,36
 $V/V_{\text{última}}$: 75%
 w (mm): 0,77



V (kN): 240,49
 $V/V_{\text{última}}$: 100%
 w (mm): 2,23



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 23.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera					ENSAYO: 019A1	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A3_B3_C3_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA



DESCONCHAMIENTO EN APOYO INTERMEDIO



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: Se produce un desconchamiento superficial sobre el neopreno del apoyo intermedio. Las paradas en el proceso de carga son necesarias para tomar medidas de contrate de la abertura de fisura con microscopio.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°, atraviesa al tirante vertical y al encontrarse con el tirante vertical se vuelve vertical durante unos 5 cm, para volver a progresar a 45° y arquearse posteriormente.
 - Durante la fase post-pico la que arranca desde el borde del neopreno, que parte a unos 60° respecto a la horizontal y que por el efecto del tirante horizontal se inclina más y atraviesa perp. a la armadura inclinada.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º/ inclinado - 2º/ horizontal - 3º/ vertical
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde de neopreno, al juntarse a la altura de la armadura superior con otras fisuras que parten de la placa de anclaje de la armadura horizontal, y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Una vez alcanzada la carga máxima, ésta va descendiendo de forma no brusca, hasta caer un 22% respecto de la carga máxima. En este valor se estabiliza la carga y finalmente se descarga finalmente la pieza. El levantamiento del recubrimiento no produce una caída brusca de la carga.

A.24 Ensayo 019 (p2/HA30_A3_B3_C3_S1) – Apoyo 2

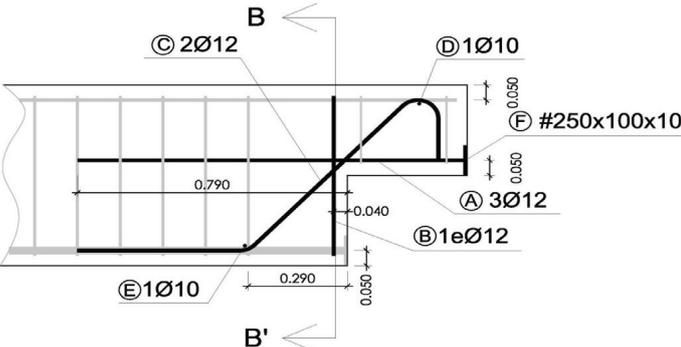
				FICHA: 24.1
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera				ENSAYO: 019A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A3_B3_C3_S1			AUTOR: Jaime Mata Falcón	

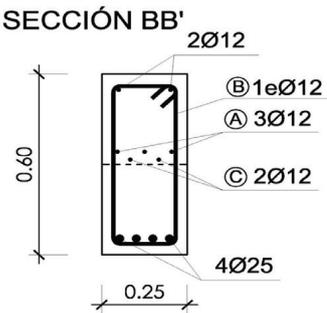
A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p2/HA30_A3_B3_C3_S1 Fecha horm.: 29/10/2010 Fecha ensayo: 17/12/2010 Edad (días): 49 Secc. apoyo (mm): 250x300 Secc. viga (mm): 250x600 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio V última (kN): 196,91 V (w=0,4 mm) (kN): 85,87 44% Tipo rotura: Acero / C-A	NIVEL DE CUANTÍA DE ARMADO (ρ/ρ_{max}): 71% <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:33%; text-align: center;">TIR. HORIZ. -A-</td> <td style="width:33%; text-align: center;">TIR. VERTICAL -B-</td> <td style="width:33%; text-align: center;">TIR. INCLIN. -C-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Armado: 3ϕ12</td> <td style="text-align: center;">Armado: 2ϕ12</td> <td style="text-align: center;">Armado: 2ϕ12</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 3,39</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 2,26</td> <td style="text-align: center;">Cuantía (cm²): 2,26</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(A_y/A_{max})_{pi}: 60%</td> <td style="text-align: center;">(B_y/B_{max})_{pi}: 61%</td> <td style="text-align: center;">(C_y/C_{max})_{pi}: 47%</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Rec. mecán. (mm): 40</td> </tr> </table>	TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-	Armado: 3 ϕ 12	Armado: 2 ϕ 12	Armado: 2 ϕ 12	Cuantía (cm ²): 3,39	Cuantía (cm ²): 2,26	Cuantía (cm ²): 2,26	(A_y/A_{max}) _{pi} : 60%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 61%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 47%	Rec. mecán. (mm): 40		
TIR. HORIZ. -A-	TIR. VERTICAL -B-	TIR. INCLIN. -C-														
Armado: 3 ϕ 12	Armado: 2 ϕ 12	Armado: 2 ϕ 12														
Cuantía (cm ²): 3,39	Cuantía (cm ²): 2,26	Cuantía (cm ²): 2,26														
(A_y/A_{max}) _{pi} : 60%	(B_y/B_{max}) _{pi} : 61%	(C_y/C_{max}) _{pi} : 47%														
Rec. mecán. (mm): 40																
	Variante 1: - Variante 2: -															
	<table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:25%; text-align: center;">f_c (Mpa)</td> <td style="width:25%; text-align: center;">f_{ct} (Mpa)</td> <td style="width:25%; text-align: center;">Vol. Fibras</td> <td style="width:25%; text-align: center;">$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">33,3</td> <td style="text-align: center;">2,98</td> <td style="text-align: center;">0,00%</td> <td style="text-align: center;">- -</td> </tr> </table>	f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)	33,3	2,98	0,00%	- -							
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)													
33,3	2,98	0,00%	- -													

B.- ESQUEMAS DE ARMADO

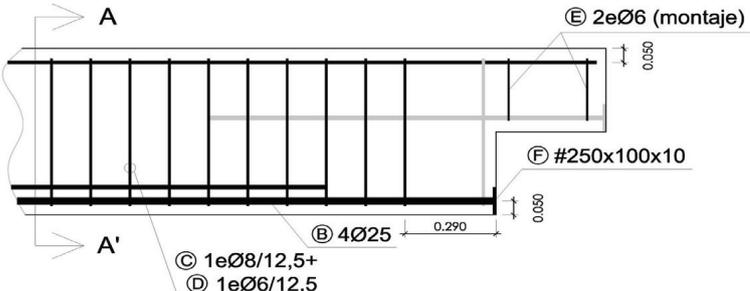
B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

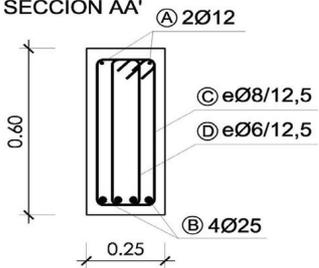




- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA



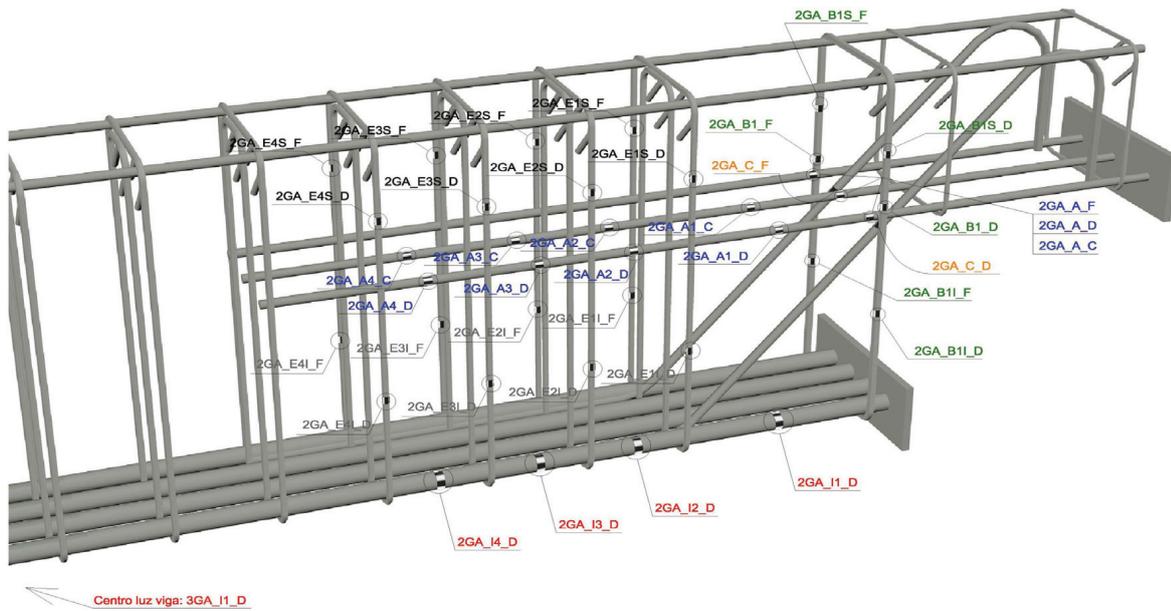


- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

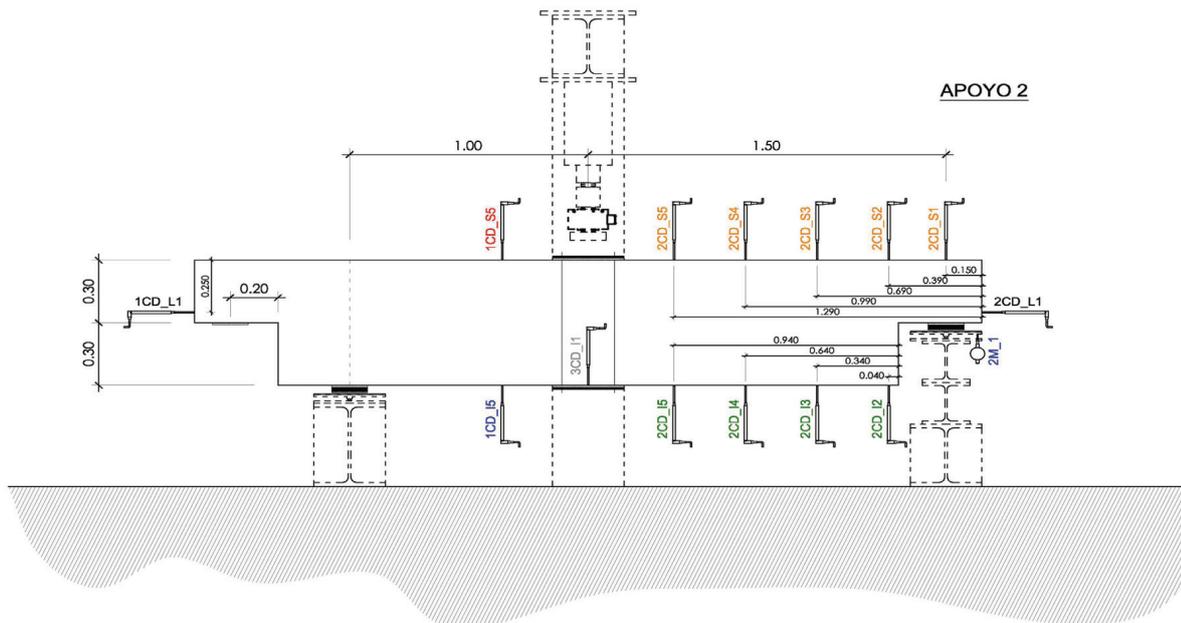
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	ENSAYO:	019A2
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p2/HA30_A3_B3_C3_S1	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

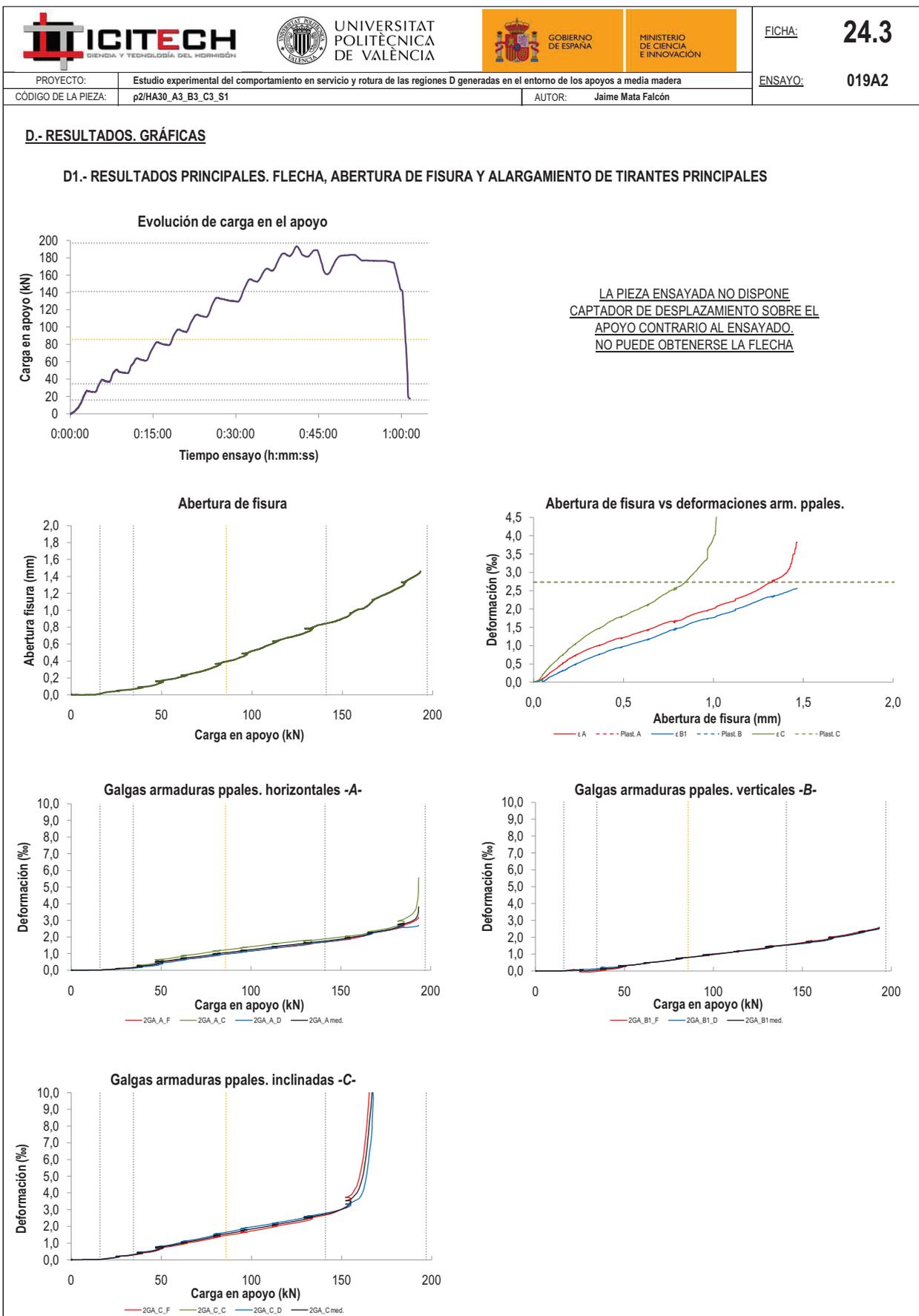
C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA







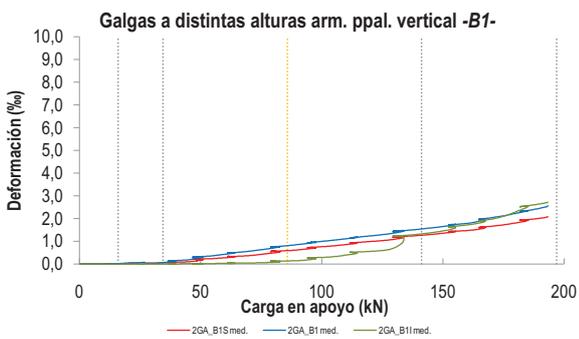
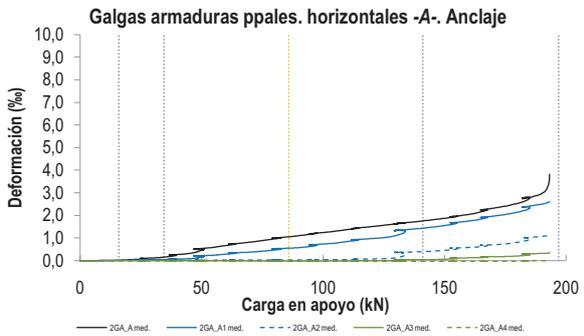
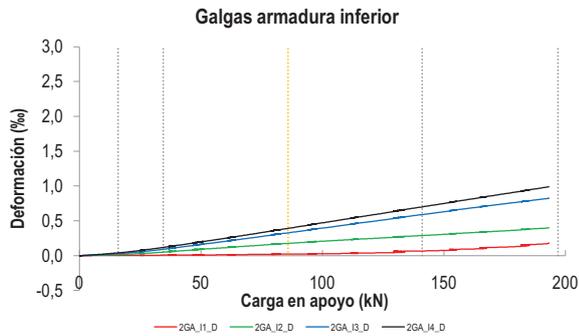
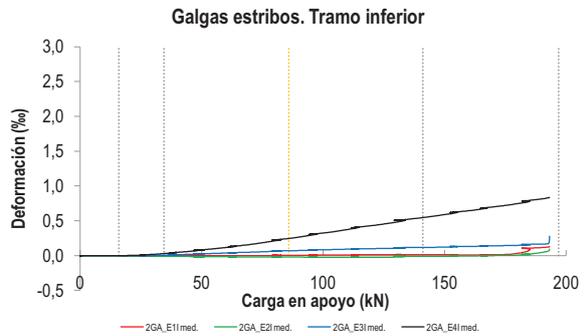
FICHA: **24.4**

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p2/HA30_A3_B3_C3_S1

ENSAYO: **019A2**

AUTOR: Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 24.5
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera						ENSAYO: 019A2
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A3_B3_C3_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	-	0,00	0,00	-	-	0,00
9,85	5%	0,00	-	0,01	0,00	-	-	0,01
19,69	10%	0,03	-	0,04	0,04	-	-	0,07
29,54	15%	0,06	-	0,11	0,03	-	-	0,24
39,38	20%	0,09	-	0,24	0,13	-	-	0,41
49,23	25%	0,15	-	0,49	0,30	-	-	0,72
59,07	30%	0,20	-	0,65	0,42	-	-	0,93
68,92	35%	0,26	-	0,80	0,55	-	-	1,15
78,76	40%	0,34	-	0,98	0,74	-	-	1,44
88,61	45%	0,41	-	1,08	0,84	-	-	1,60
98,45	50%	0,49	-	1,21	0,96	-	-	1,79
108,30	55%	0,58	-	1,35	1,09	-	-	1,99
118,15	60%	0,67	-	1,48	1,22	-	-	2,20
127,99	65%	0,74	-	1,63	1,41	-	-	2,50
137,84	70%	0,83	-	1,72	1,51	-	-	2,67
147,68	75%	0,88	-	1,84	1,62	-	-	2,93
157,53	80%	0,98	-	1,98	1,75	-	-	3,67
167,37	85%	1,11	-	2,24	1,97	-	-	12,45
177,22	90%	1,22	-	2,47	2,17	-	-	15,89
187,06	95%	1,34	-	2,80	2,36	-	-	-
196,91	100%	1,45	-	3,58	2,54	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	15,93	8,1%	0,00	-	0,02	0,02	-	-	0,03
Punto de cambio de rigidez	34,50	17,5%	0,07	-	0,15	0,06	-	-	0,30
Abertura de fisura 0,20 mm	57,91	29,4%	0,20	-	0,63	0,40	-	-	0,91
Abertura de fisura 0,40 mm	85,87	43,6%	0,40	-	1,05	0,81	-	-	1,55
Abertura de fisura 0,60 mm	111,52	56,6%	0,60	-	1,41	1,15	-	-	2,09
Abertura de fisura 0,80 mm	135,30	68,7%	0,80	-	1,67	1,47	-	-	2,57
Primera plastificación	141,11	71,7%	0,84	-	1,76	1,54	-	-	2,74

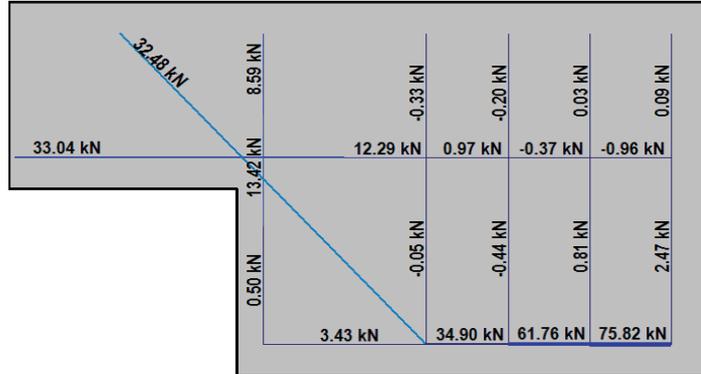
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera	
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p2/HA30_A3_B3_C3_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

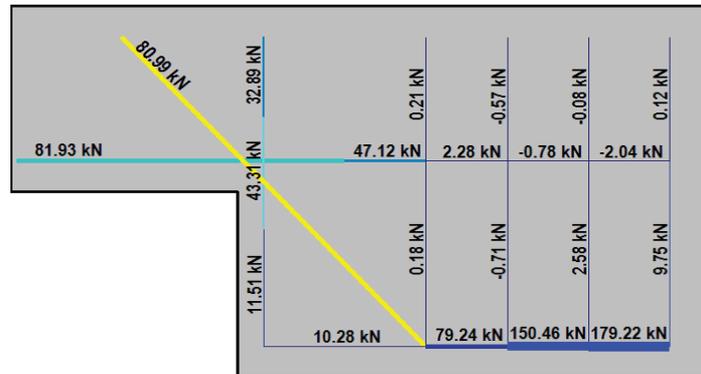
ENSAYO: **019A2**

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

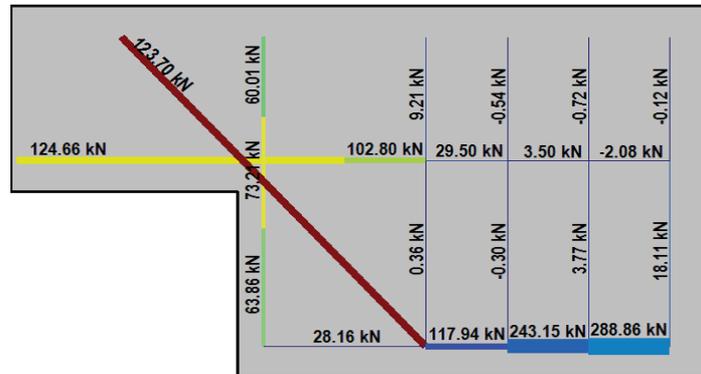
V (kN): 49,23
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,15



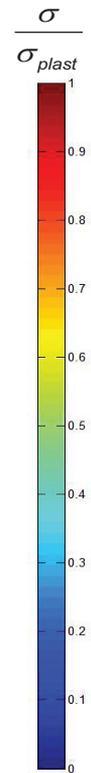
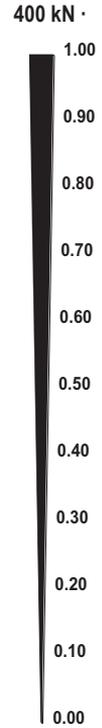
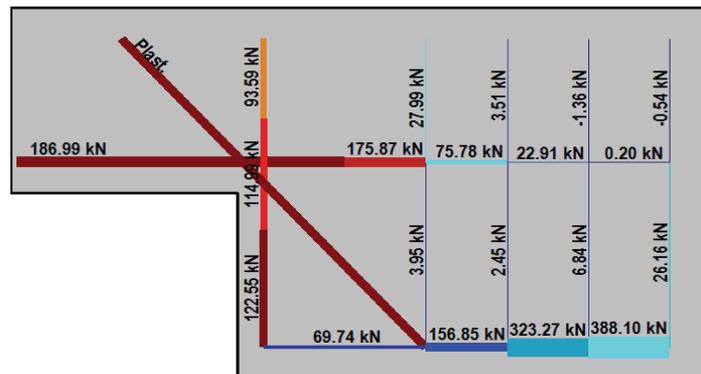
V (kN): 98,45
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,49



V (kN): 147,68
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 0,88



V (kN): 196,91
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 1,45



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 24.7
PROYECTO: Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los apoyos a media madera					ENSAYO: 019A2	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p2/HA30_A3_B3_C3_S1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA ÚLTIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA ÚLTIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA



LEVANTAMIENTO DEL LEVANTAM. DE RECUBRIMIENTO TRAS ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: En el ensayo del otro apoyo se produjo un desconchamiento sobre el neopreno del apoyo intermedio. En este apoyo el desconchamiento cae en el arranque del tirante inclinado y parece ser el causante de la bastante menor carga que alcanza este apoyo respecto al contrario. Las paradas en el proceso de carga son para medir la fisura con microscopio.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°, para al encontrarse con el tirante vertical verticalizarse ligeramente hasta los 60° respecto a la horizontal y acabar finalmente arqueándose hasta horizontalizarse situándose de manera paralela a la armadura superior.
 - Al aproximarse a la carga de rotura aparece una fisura relevante desde el borde del neopreno, que parte a unos 60° respecto a la horizontal y que por el efecto del tirante horizontal se inclina más y atraviesa perp. a la armadura inclinada.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plast. del acero. Plástica inicialmente el tirante inclinado y cerca de rotura el horizontal
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde de neopreno, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: La pieza presenta, tras alcanzar la carga máxima, un pequeño valle en la carga. Posteriormente se estabiliza la carga aproximadamente un 10% por debajo de la carga última hasta que se descarga completamente la pieza.

Anejo B

Protocolo de ensayo

Para la correcta realización de los ensayos resulta imprescindible una correcta planificación de los mismos y un control de todos los pasos necesarios para su realización. Por este motivo se ha confeccionado un protocolo de ensayo compuesto por las tareas principales que es necesario realizar. De esta forma este documento sirve de hoja de control para la realización secuencial de todas las tareas. En el protocolo de ensayo, existe una casilla para registrar la fecha en la que se realiza cada una de las tareas y un espacio en el que se indican las posibles incidencias surgidas.

Pese a que el proceso de ensayo suele considerarse la fase concreta de carga de las probetas, en el presente anejo, se considera el ensayo como el proceso completo que va desde la definición de las piezas hasta el análisis de los resultados obtenidos, comprendiendo las siguientes fases:

- Definición y planificación de ensayos
- Fabricación de piezas
- Preparación del ensayo
- Ensayo
- Post-proceso y análisis de resultados

Las principales tareas que componen estas fases se relacionan en el protocolo de ensayo que se adjunta a continuación.

   		PROTOCOLO DE ENSAYO 1/6		
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los Apoyos a Media Madera	AUTOR:	Jaime Mata Falcón	PIEZA: _____
FASE 1 – Definición y planificación de ensayos. Operaciones previas				
A. Definición de las piezas				
<i>Determinación de las características de las piezas a ensayar</i>		<input type="text"/>		
<i>Cálculo de armados y detalles de armado</i>		<input type="text"/>		
<i>Confección de planos de armado</i>		<input type="text"/>		
B. Definición de instrumentación				
<i>Confección de planos de galgas extensométricas de acero y hormigón</i>		<input type="text"/>		
<i>Confección de planos de ubicación de captadores de desplazamiento</i>		<input type="text"/>		
<i>Definición de configuración de canales del equipo de adquisición (galgas extensométricas, captadores de desplazamiento y transductores de fuerza y presión)</i>		<input type="text"/>		
<i>Impresión de etiquetas para galgas extensométricas</i>		<input type="text"/>		
C. Definición de fotogrametría				
<i>Selección de parámetros para medición fotogramétrica</i>		<input type="text"/>		
<i>Calibración de distorsiones del sistema para los parámetros empleados</i>		<input type="text"/>		
D. Materiales necesarios				
<i>Listado de los materiales necesarios para los ensayos (galgas, adhesivos de galgas, punteras...)</i>		<input type="text"/>		
<i>Revisar el stock de los materiales y encargar los necesarios</i>		<input type="text"/>		
E. Suministro de ferralla				
<i>Encargar a taller especializado la realización de las ferrallas según planos de armado</i>		<input type="text"/>		

  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		PROTOCOLO DE ENSAYO 2/6	
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los Apoyos a Media Madera			AUTOR:	Jaime Mata Falcón		PIEZA: _____
FASE 2 – Fabricación de piezas							
A. Preparación de la ferralla							
Recepción de ferralla							
<i>Revisión de geometría</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Modificación de ferralla para ajustarla a las tolerancias deseables</i>				<input type="checkbox"/>			
Instrumentación de ferrallas según planos de galgas							
<i>Disposición de galgas. Registrar el factor de galga empleado.</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Etiquetado de galgas</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Protección de cables mediante bolsas</i>				<input type="checkbox"/>			
B. Preparación de piezas para el hormigonado							
<i>Disposición de separadores según las indicaciones de los planos de armado</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Encofrado de piezas</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Preparación de moldes para fabricación de probetas de control del hormigón (3 pr. cilíndr. por pieza para ens. de acompañamiento + 4 pr. cilíndr. para ens. de control)</i>				<input type="checkbox"/>			
Revisión final de ferrallas							
<i>Medición y registro de recubrimientos reales finales</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Fotografiado de ferrallas listas para hormigonar</i>				<input type="checkbox"/>			
C. Hormigonado							
<i>A las 2h → Alisado de la zona de instalación de galgas de hormigón</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>A las 2h → Colocación de ganchos de acero para maniobrar probetas</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>A las 4h → Riego con agua y cubrición con plásticos para el curado</i>				<input type="checkbox"/>			
D. Desencofrado							
Desmoldeado de probetas control (a las 24 h del hormigonado)							
<i>Desmoldeado de probetas y limpieza de moldes</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Guardar prob. de acompañamiento en mismas condiciones que las piezas a ensayar. Riego y cubrición con plásticos</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Guardar probetas de control en cámara húmeda</i>				<input type="checkbox"/>			
Desencofrado de probetas (a los 7 días del hormigonado)							
<i>Desencofrado de piezas y acopio en zona apropiada</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Limpieza de encofrados y plancha de hormigonado</i>				<input type="checkbox"/>			

   		PROTOCOLO DE ENSAYO 3/6		
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los Apoyos a Media Madera	AUTOR:	Jaime Mata Falcón	PIEZA: _____
FASE 3 – Preparación del ensayo				
A. Colocación de la pieza				
<i>Limpieza y revisión de las placas de teflón y acero inoxidable del apoyo deslizante</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Colocación de la probeta en el pórtico a ensayar</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B. Preparación de instrumentación				
<i>Pegado de galgas extensométricas en la superficie del hormigón. Registrar el factor de galga empleado.</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Replanteo de ubicación de captadores de desplaz. según planos correspondientes</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Colocación de chapas de acero para captadores de desplazamiento de fibra inferior</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Pelado de cables y colocación de punteras</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Colocación de captadores de desplazamiento</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Atornillado de galgas extensométricas a las regletas del equipo de adquisición, según la configuración de canales prevista</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Conexión de captadores de desplazamiento y transductores de fuerza y presión al equipo de adquisición, según la configuración de canales prevista</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Configuración del equipo de adquisición (canales y nombres de sensores) y revisión del funcionamiento de toda la instrumentación</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C. Preparación de fotogrametría				
<i>Moteado en blanco y negro de la zona de medición</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Conexión del equipo de disparo automático de fotos a la red eléctrica y al equipo de adquisición</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Ubicación y conexión de focos halógenos</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Ubicación de trípodes en posición predefinida</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D. Operaciones previas generales				
<i>Refrentado de probetas de control</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Acercamiento del actuador a la pieza de ensayo</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Liberar la coacción lateral de los apoyos deslizantes</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Pintado de eje de armaduras sobre la superficie de hormigón</i>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		PROTOCOLO DE ENSAYO 4/6	
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los Apoyos a Media Madera			AUTOR:	Jaime Mata Falcón		PIEZA: _____
FASE 4 – Ensayo (1/2)							
A. Operaciones de laboratorio							
Operaciones previas							
<i>Configuración de cámaras de fotos según parámetros predefinidos (velocidad, apertura, balance de blancos, sensibilidad, enfoque...)</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Sincronización horaria entre cámaras de fotos y equipo de adquisición</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Ubicación de cámaras de fotos en trípodes y conexión a equipo disparo automático</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Ubicación de cámara de video sobre trípode y conexión a red eléctrica</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Preparación de fórmulas y gráficos en software de adquisición de datos</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Encendido de equipo de disparo de fotos y focos halógenos</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Fotografiado de rejillas para ubicación espacial de las cámaras respecto a la probeta</i>				<input type="checkbox"/>			
Proceso de ensayo							
<i>Inicio grabación de video y disparo con cadencia de fotos</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Inicio de la adquisición de datos</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Inicio del proceso de carga</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Fotografiado de cara dorsal durante el ensayo</i>				<input type="checkbox"/>			
Post-ensayo							
<i>Finalización de grabación video y disparo de fotos</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Fotografiado en detalle de la zona de rotura</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Grabación de los archivos de datos del ensayo en dispositivo de memoria externa</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Retirada de equipos, trípodes y desconexión de instrumentación</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Retirada de la pieza ensayada</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Limpieza de la zona de ensayo</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Rotura de probetas control</i>				<input type="checkbox"/>			
B. Operaciones posteriores de laboratorio							
<i>Ensayo de barras corrugadas a tracción</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Ensayo de probetas de control del hormigón a 28 días</i>				<input type="checkbox"/>			
C. Operaciones iniciales de oficina							
<i>Descarga de archivos de datos del equipo de adquisición</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Descarga de tarjetas de memoria de cámaras de fotos</i>				<input type="checkbox"/>			
<i>Extracción de hora de captura de fotos a partir de metadatos</i>				<input type="checkbox"/>			Continúa...

   		PROTOCOLO DE ENSAYO 5/6		
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los Apoyos a Media Madera	AUTOR:	Jaime Mata Falcón	PIEZA: _____
FASE 4 – Ensayo (2/2)				
C. Operaciones iniciales de oficina (continuación)				
<i>Paso a doc's electrónicos correspondientes incidencias, comentarios de los ensayos y resultados de los ensayos de las probetas de control tomados manualmente.</i>				
<i>Organización de archivos del ensayo según el sistema de directorios preestablecido</i>				
<i>Copia de seguridad de archivos</i>				
Continúa...				

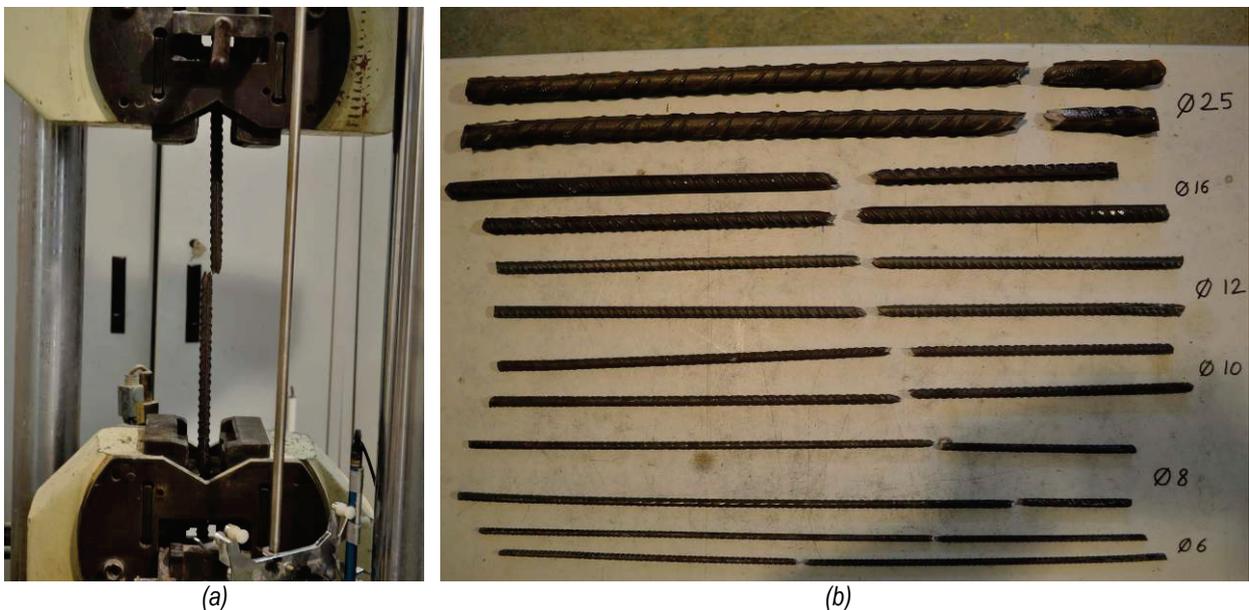
  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		PROTOCOLO DE ENSAYO 6/6	
PROYECTO:	Estudio experimental del comportamiento en servicio y rotura de las regiones D generadas en el entorno de los Apoyos a Media Madera			AUTOR:	Jaime Mata Falcón		PIEZA: _____
FASE 5 – Post-proceso y análisis de resultados							
A. Post-proceso de resultados							
<i>Extracción de información de fotos iniciales de rejillas</i>							
<i>Selección de puntos de medición fotogramétrica en la foto patrón</i>							
<i>Seguimiento de movimientos de puntos de medición respecto a la foto patrón</i>							
<i>Digitalización de cintas de video</i>							
Ensamblaje de la hoja de cálculo “Datos Base” (reúne los datos del equipo de adquisición, los resultados del análisis fotogramétrico, las horas de captura de las fotos y los datos del ensayo)							
<i>Aplicación de media móvil para suavizado de resultados</i>							
<i>Condensar la información a un total de 2.000 medidas dentro de la zona de interés</i>							
<i>Eliminar los resultados fotogramétricos fuera de la zona de ensayo deseada</i>							
<i>Incorporación de datos del ensayo, resultados de ensayos de barras de acero y probetas de control del hormigón</i>							
Procesado de resultados con la hoja de cálculo modelo (reordena los distintos sensores y combina los datos del equipo de adquisición con los resultados del análisis fotogramétrico)							
<i>Incorporación de los “Datos Base” procesados a la hoja de cálculo modelo</i>							
<i>Selección de galgas para el promedio en tirantes</i>							
<i>Ajustar fila final para cada una de las series</i>							
<i>Obtención de la flecha bajo punto de aplicación de la carga</i>							
<i>Selección de fisuras más representativas entre las calculadas</i>							
...							
Confección de gráficos sintéticos de tensiones y tracciones para distintos escalones de carga							
<i>Extracción de resultados de la hoja de cálculo modelo para los distintos escalones</i>							
<i>Confección automatizada de gráficos</i>							
Confección de fichas de ensayo							
<i>Confección de gráficas</i>							
<i>Incorporación de esquemas de armado</i>							
<i>Incorporación de esquemas de instrumentación</i>							
<i>Incorporación de imágenes más representativas</i>							
B. Análisis de resultados							
C. Planificación de siguientes series de ensayos a partir de la experiencia obtenida							

Anejo C

Ensayos de tracción para las barras de acero corrugado

En este anejo se presenta el procedimiento para la obtención del límite elástico y de la tensión máxima mediante el ensayo de tracción realizado según la norma UNE-EN ISO 6892-1:2009 [52], así como los resultados detallados de los ensayos.

Se dispone un transductor de desplazamiento potenciométrico con la finalidad de poder obtener la deformación del acero. En la Fotografía C.1 se muestra cómo se realiza el ensayo.



Fotografía C.1: Ensayo de tracción de acero - (a) Proceso de ensayo - (b) Barras tras la rotura. Serie 2

Para la obtención del límite elástico se procede como se indica en la norma UNE-EN ISO 6892-1:2009 [52]: se ajusta linealmente el tramo recto de la curva carga-deformación y se decala hacia la izquierda un 0,2%; el corte de dicha recta decalada con la curva carga-deformación define el punto del límite elástico. El procedimiento para uno de los ensayos se muestra en la Figura C.1.

Ensayo a tracción $\phi 10A$ - Serie 1

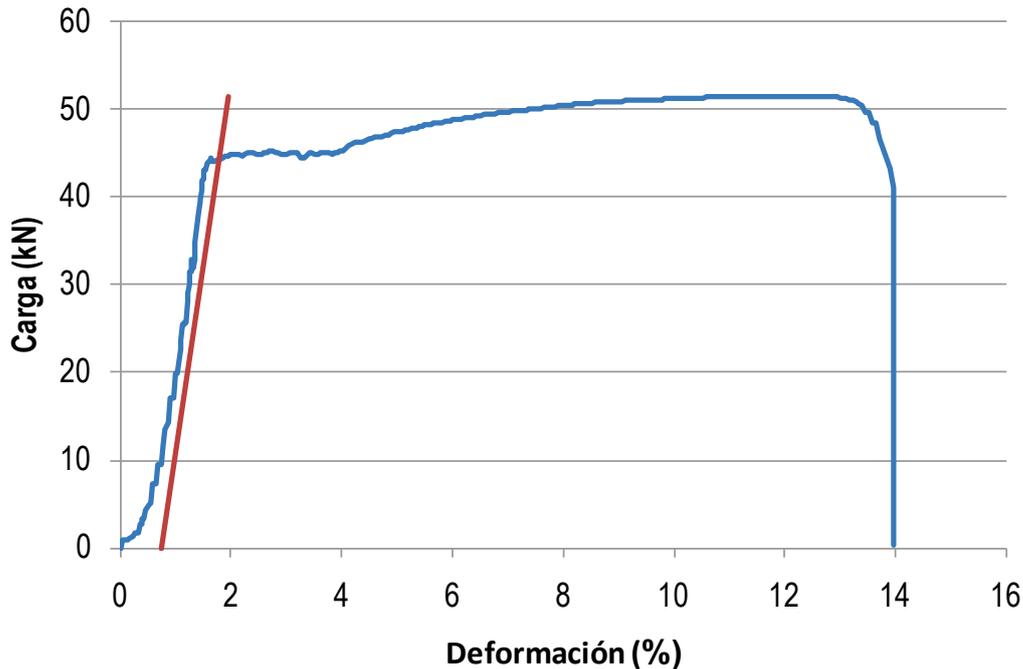


Figura C.1: Ejemplo de cálculo del límite elástico

Los resultados completos de los ensayos se muestran en la Tabla C.1 y en la Tabla C.2, para cada uno de los dos lotes de acero empleados, según lo que se indicaba en el apartado IV.4.2 del documento.

Tabla C.1: Resultados de ensayos de tracción de acero. Serie 1

Fecha ensayos	07/09/2010											
	$\phi 8$			$\phi 10$			$\phi 12$			$\phi 20$		
	8-A	8-B	Media	10-A	10-B	Media	12-A	12-B	Media	20-A	20-B	Media
Diámetro (mm)	8	8	8	10	10	10	12	12	12	20	20	20
Longitud (mm)	587	614	⊗	608	606	⊗	610	603	⊗	610	617	⊗
Peso (kg)	0,239	0,248	⊗	0,372	0,371	⊗	0,541	0,535	⊗	1,479	1,493	⊗
R_p - Carga límite elástico (kN)	31,84	30,39	⊗	44,65	44,34	⊗	66,07	66,25	⊗	170,84	166,07	⊗
R_M - Carga máxima (kN)	36,31	34,95	⊗	51,35	51,53	⊗	76,32	75,78	⊗	205,32	206,55	⊗
Límite elástico (MPa)	633,4	604,6	619,0	568,5	564,6	566,5	584,2	585,8	585,0	543,8	528,6	536,2
Tensión carga máxima (MPa)	722,4	695,4	708,9	653,9	656,2	655,0	674,8	670,1	672,5	653,6	657,5	655,5

Tabla C.2: Resultados de ensayos de tracción de acero. Serie 2

Fecha ensayos	05/11/2010
---------------	------------

	$\phi 6$			$\phi 8$			$\phi 10$			$\phi 12$		
	6-A	6-B	Media	8-A	8-B	Media	10-A	10-B	Media	12-A	12-B	Media
Diámetro (mm)	6	6	6	8	8	8	10	10	10	12	12	12
Longitud (mm)	598	602		596	599		602	611		612	617	
Peso (kg)	0,132	0,133		0,228	0,23		0,363	365		0,532	0,537	
R_p - Carga límite elástico (kN)	15,59	15,36		26,63	26,88		43,44	42,04		60,97	62,55	
R_m - Carga máxima (kN)	19,42	19,04		33,61	33,96		51,80	50,97		73,93	75,01	
Límite elástico (MPa)	551,4	543,2	547,3	529,8	534,8	532,3	553,1	535,3	544,2	539,1	553,1	546,1
Tensión carga máxima (MPa)	686,8	673,4	680,1	668,6	675,7	672,1	659,6	649,0	654,3	653,7	663,3	658,5

	$\phi 16$			$\phi 25$		
	16-A	16-B	Media	25-A	25-B	Media
Diámetro (mm)	16	16	16	25	25	25
Longitud (mm)	605	595		610	625	
Peso (kg)	0,929	0,912		2,311	2,374	
R_p - Carga límite elástico (kN)	108,71	112,29		279,25	280,20	
R_m - Carga máxima (kN)	134,28	136,27		339,70	343,53	
Límite elástico (MPa)	540,7	558,5	549,6	568,9	570,8	569,9
Tensión carga máxima (MPa)	667,8	677,8	672,8	692,0	699,8	695,9

Anejo D

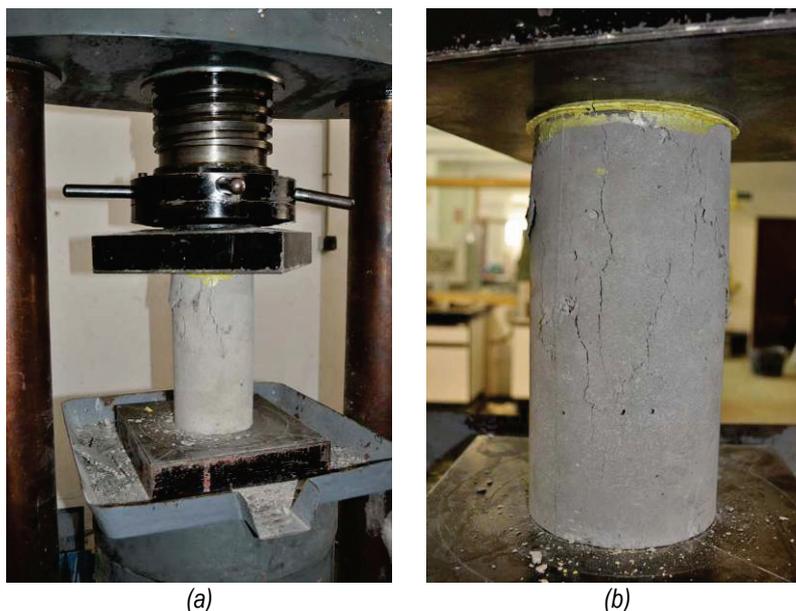
Ensayos de control del hormigón

En este anejo se presentan los ensayos para la obtención tanto de la resistencia a compresión simple, como de la resistencia a tracción indirecta del hormigón.

D.1 Compresión simple

La determinación de la resistencia a compresión simple se realiza mediante el ensayo de probetas cilíndricas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, de acuerdo a las prescripciones de la norma UNE-EN 12390-3:2003 [53].

Las superficies destinadas a cargarse, son preparadas por refrentado mediante mezcla de azufre. Por emplearse un hormigón con una resistencia inferior a 50 N/mm^2 , este procedimiento es adecuado, según las indicaciones del Anexo A de la citada norma.



Fotografía D.1: Ensayo de compresión simple del hormigón - (a) Vista general de ensayo - (b) Detalle de probeta tras rotura

Los resultados completos de los ensayos se muestran en la Tabla D.1 para el hormigón de la primera serie de vigas, y en la Tabla D.2 para la segunda serie.

Tabla D.1: Resultados de ensayos de compresión simple del hormigón. Serie 1

Fecha hormigonado	Fecha ensayo	Cemento	Tipo de ensayo	Edad probeta (días)	Carga máxima (Tn)	Resistencia a compresión - f_c - (Mpa)	Resis. media a compresión - f_{cm} -
16/06/2010	14/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Control	28	74,00	41,00	41,0
16/06/2010	14/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Control	28	54,00	29,90	
16/06/2010	15/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E001	29	71,25	39,50	41,1
16/06/2010	15/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E001	29	77,00	42,70	
16/06/2010	19/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E003	33	67,00	37,20	39,3
16/06/2010	19/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E003	33	74,50	41,30	
16/06/2010	22/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E006	36	74,50	41,30	39,9
16/06/2010	22/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E006	36	69,50	38,50	
16/06/2010	23/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E010	37	73,50	40,80	40,4
16/06/2010	23/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E010	37	72,00	39,90	
16/06/2010	27/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E011	41	73,50	40,80	40,8
16/06/2010	27/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E011	41	66,50	36,90	
16/06/2010	29/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E013	43	74,50	41,30	40,2
16/06/2010	29/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E013	43	70,50	39,10	

*El curado de las probetas en los ensayos de control se realiza a partir del desmoldado a las 24 horas en cámara húmeda a una temperatura de 20 °C y con una humedad relativa superior al 95%

**El curado de las probetas en los ensayos de acompañamiento se realiza de manera idéntica a las piezas a ensayar

***En los resultados resaltados se han observado anomalías en el ensayo que justifican las menores resistencias obtenidas.

En dichos casos se desechan los valores para el cálculo de la resistencia media

Tabla D.2: Resultados de ensayos de compresión simple del hormigón. Serie 2

Fecha hormigonado	Fecha ensayo	Cemento	Tipo de ensayo	Edad probeta (días)	Carga máxima (Tn)	Resistencia a compresión - f_c - (Mpa)	Resis. media a compresión - f_{cm} -
29/10/2010	26/11/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Control	28	65,00	36,00	34,9
29/10/2010	26/11/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Control	28	61,00	33,80	
29/10/2010	19/11/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E014	21	55,00	30,50	31,1
29/10/2010	19/11/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E014	21	57,00	31,60	
29/10/2010	26/11/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E015	28	52,00	28,80	30,0
29/10/2010	26/11/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E015	28	56,00	31,10	
29/10/2010	01/12/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E017	33	60,00	33,30	33,3
29/10/2010	01/12/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E017	33	45,00	25,00	
29/10/2010	03/12/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E018	35	57,50	31,90	32,2
29/10/2010	03/12/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E018	35	58,25	32,40	
29/10/2010	16/12/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E019	48	55,50	30,80	31,9
29/10/2010	16/12/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E019	48	59,50	33,00	
29/10/2010	22/12/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E016	54	61,00	33,80	33,3
29/10/2010	22/12/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E016	54	59,00	32,70	

*El curado de las probetas en los ensayos de control se realiza a partir del desmoldado a las 24 horas en cámara húmeda a una temperatura de 20 °C y con una humedad relativa superior al 95%

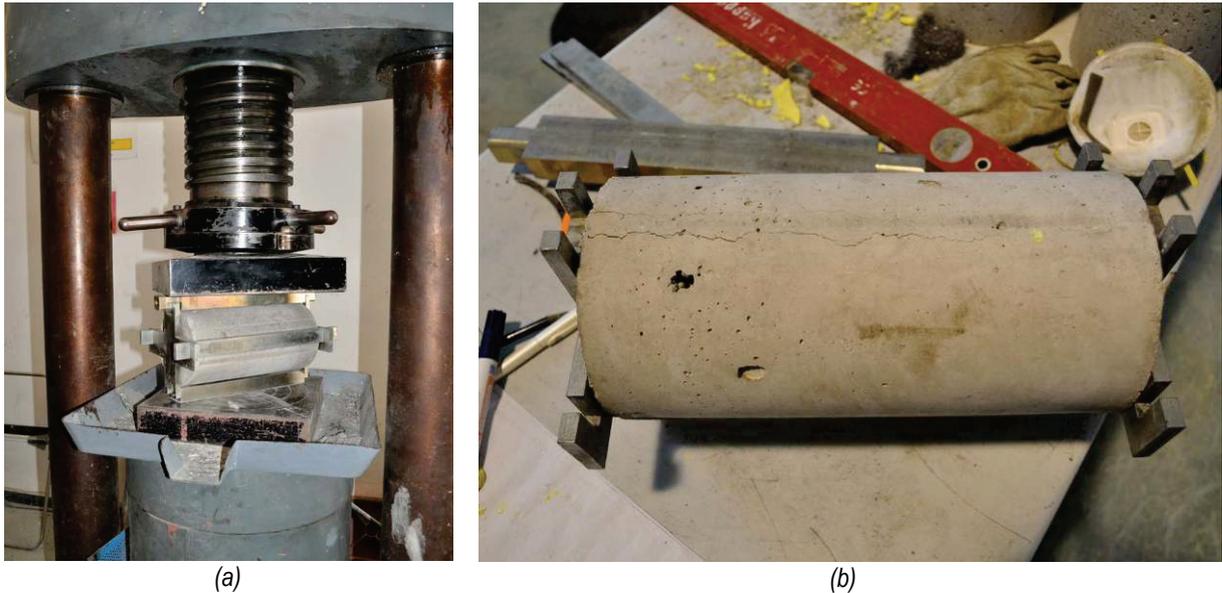
**El curado de las probetas en los ensayos de acompañamiento se realiza de manera idéntica a las piezas a ensayar

***En los resultados resaltados se han observado anomalías en el ensayo que justifican las menores resistencias obtenidas.

En dichos casos se desechan los valores para el cálculo de la resistencia media

D.2 Tracción indirecta

Para caracterizar la resistencia a tracción del hormigón se realizan ensayos de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, de acuerdo a las prescripciones de la norma UNE-EN 12390-6:2001 [54].



Fotografía D.2: Ensayo de tracción indirecta del hormigón - (a) Vista general de ensayo - (b) Detalle de probeta tras rotura

A continuación se adjuntan las tablas completas de los resultados de estos ensayos:

Tabla D.3: Resultados de ensayos de tracción indirecta del hormigón. Serie 1

Fecha hormigonado	Fecha ensayo	Tipo hormigón	Tipo de ensayo	Edad probeta (días)	Carga máxima (Tn)	Resistencia a tracción indirecta - f_{ct} - (Mpa)
16/06/2010	14/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Control	28	22,25	3,08
16/06/2010	14/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Control	28	21,50	2,98
16/06/2010	15/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E001	29	22,75	3,15
16/06/2010	19/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E003	33	18,50	2,56
16/06/2010	22/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E006	36	22,50	2,98
16/06/2010	23/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E010	37	23,00	3,19
16/06/2010	27/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E011	41	22,00	3,05
16/06/2010	29/07/2010	CEM II B-V 42,5 R	Acompañamiento E013	43	22,00	3,05

*El curado de las probetas en los ensayos de control se realiza a partir del desmoldado a las 24 horas en cámara húmeda a una temperatura de 20 °C y con una humedad relativa superior al 95%

**El curado de las probetas en los ensayos de acompañamiento se realiza de manera idéntica a las piezas a ensayar

Tabla D.4: Resultados de ensayos de tracción indirecta del hormigón. Serie 2

Fecha hormigonado	Fecha ensayo	Tipo hormigón	Tipo de ensayo	Edad probeta (días)	Carga máxima (Tn)	Resistencia a tracción indirecta - f_{ct} - (Mpa)
29/10/2010	26/11/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Control	28	21,50	2,98
29/10/2010	26/11/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Control	28	25,50	3,54
29/10/2010	19/11/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E014	21	23,00	3,19
29/10/2010	26/11/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E015	28	20,50	2,84
29/10/2010	01/12/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E017	33	21,75	2,98
29/10/2010	03/12/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E018	35	20,00	2,77
29/10/2010	16/12/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E019	48	23,00	3,19
29/10/2010	22/12/2010	CEM II A-LL 42,5 R	Acompañamiento E016	54	21,75	2,98

*El curado de las probetas en los ensayos de control se realiza a partir del desmoldado a las 24 horas en cámara húmeda a una temperatura de 20 °C y con una humedad relativa superior al 95%

**El curado de las probetas en los ensayos de acompañamiento se realiza de manera idéntica a las piezas a ensayar

Anejo E

Cálculos de armados

E.1 Introducción

En el apartado IV.1 se describía la forma mediante la que se procedió al diseño de los armados de las piezas. A continuación se muestra el proceso de cálculo, dividido en tres partes:

- Nivel bajo de cuantía de armado (ρ_3). Se detalla el proceso de cálculo del armado de flexión y cortante de la viga. También se adjunta un cálculo inicial de las armaduras de la región D, que sirve de tanteo inicial para un cálculo más refinado mediante el modelo numérico del que dispone el grupo de investigación.
- Nivel medio de cuantía de armado (ρ_2). Se muestra el proceso de cálculo del armado de flexión y cortante de la viga.
- Nivel alto de cuantía de armado (ρ_1). Se muestra el proceso de cálculo del armado de flexión y cortante de la viga.

E.2 Listados de cálculo – Nivel bajo de cuantía de armado (ρ_3)

Región B de la viga - dimensionamiento en E.L.U. y esfuerzos en sección de continuidad (HORMIGÓN CONVENCIONAL)

Datos

Se trata de dimensionar el armado de la región central (región B) de la viga en cuyos extremos se pretenden ensayar los apoyos a media madera. Las características geométricas de la viga son las siguientes:

$$b := 0.25\text{m} \quad h := 0.60\text{m} \quad l_v := 3.00\text{m} \quad r_{\text{nom}} := 30\cdot\text{mm}$$

Se emplea acero B500S, que tiene un límite elástico de 500MPa (se emplean los límites elásticos que usualmente se obtienen en estas barras):

$$f_y := 558\text{MPa} \quad \gamma_s := 1.00 \quad f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_s} = 558\cdot\text{MPa}$$

El hormigón que se empleará es HA-30:

$$f_{ck} := 30\text{MPa}$$

Por tratarse de un ensayo de laboratorio se realizarán los cálculos con la resistencia media a compresión y sin coeficientes de seguridad de los materiales:

$$f_{cm} := f_{ck} + 8\cdot\text{MPa} = 38\cdot\text{MPa} \quad \gamma_c := 1.0$$

$$f_{cd} := \frac{f_{cm}}{\gamma_c} = 38\cdot\text{MPa}$$

Las distintas resistencias a tracción especificadas en la EHE-08 serán:

$$f_{ct_m} := \begin{cases} 0.30 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{2}{3}} \text{MPa} & \text{if } f_{ck} \leq 50\cdot\text{MPa} \\ 0.58 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} \text{MPa} & \text{otherwise} \end{cases} \quad f_{ct_m} = 2.896\cdot\text{MPa}$$

$$f_{ct_k} := 0.70 \cdot f_{ct_m} = 2.028\cdot\text{MPa}$$

$$f_{ct_m_fl} := \max \left[\left(1.6 - \frac{h}{1000\cdot\text{mm}} \right) \cdot f_{ct_m}, f_{ct_m} \right] = 2.896\cdot\text{MPa}$$

El peso específico del hormigón es: $\gamma_{\text{concr}} := 25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

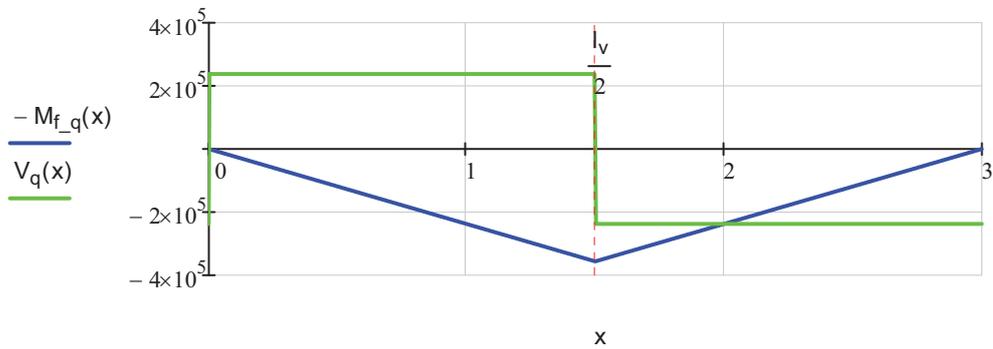
- ESFUERZOS DEBIDOS AL ACTUADOR:

La carga para la que se dimensionará la viga será ligeramente inferior a la carga máxima soportada por el

Dicha carga se encuentra actuando en la sección de centro de luz de la viga. Puesto que la viga se encuentra apoyada en sus extremos, los esfuerzos a lo largo de la misma serán:

$$M_{f_q}(x) := \begin{cases} \frac{P_{\max}}{2} \cdot x & \text{if } 0 \leq x < \frac{l_v}{2} \\ \frac{P_{\max}}{2} \cdot x - P_{\max} \cdot \left(x - \frac{l_v}{2}\right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$V_q(x) := \frac{d}{dx} M_{f_q}(x)$$



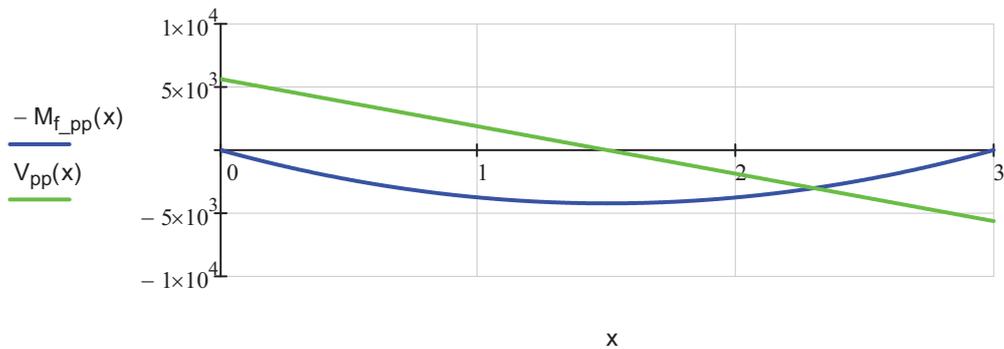
- ESFUERZOS DEBIDOS AL PESO PROPIO:

La carga repartida debida al peso propio es: $q := h \cdot b \cdot \gamma_{\text{concr}} = 3.75 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Dicha carga repartida genera los siguientes esfuerzos:

$$M_{f_{pp}}(x) := \frac{q \cdot l_v}{2} \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2}$$

$$V_{pp}(x) := \frac{d}{dx} M_{f_{pp}}(x)$$



- ESFUERZOS TOTALES:

$$M_f(x) := M_{f_q}(x) + M_{f_{pp}}(x) \quad V(x) := V_q(x) + V_{pp}(x)$$

Los esfuerzos máximos, que serán los que se empleen para el dimensionamiento de la viga, se dan en la sección de centro luz de la viga:

$$V_d := V(0.0001 \cdot m) \quad V_d = 243.125 \cdot kN$$

$$M_d := M_f\left(\frac{l_v}{2}\right) \quad M_d = 360.469 \cdot m \cdot kN$$

Para el dimensionamiento de la región B de la viga se emplean estos esfuerzos (sin mayorar) y con las resistencias de los materiales también sin minorar. Puesto que queremos asegurarnos que la rotura se producirá en la región D, la carga para la que se dimensionará ésta será suficientemente inferior a la que se emplea para dimensionar la región B.

A) Dimensionamiento a flexión

- ARMADURA MÍNIMA MECÁNICA (Art. 42.3.2 EHE-08):

$$A_{S_inf_min_mec} := \frac{0.04 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}}{f_{yd}} \quad A_{S_inf_min_mec} = 4.086 \cdot cm^2$$

- ARMADURA MÍNIMA GEOMÉTRICA (Tabla 42.3.5 EHE-08):

Para acero de 500 MPa:

$$A_{S_inf_min_geo} := \frac{2.8}{1000} \cdot b \cdot h \quad A_{S_inf_min_geo} = 4.2 \cdot cm^2$$

$$A_{S_sup_min_geo} := 30\% \cdot A_{S_inf_min_geo} \quad A_{S_sup_min_geo} = 1.26 \cdot cm^2$$

DIMENSIONAMIENTO EN CENTRO DE LUZ:

$$M_d := M_d = 360.469 \cdot m \cdot kN \quad N_d := 0kN$$

Suponiendo que los diámetros de la armadura dispuesta fuesen los siguientes:

$$\phi_{trans} := 8 \cdot mm \quad \phi_{long} := 20 \cdot mm$$

El recubrimiento mecánico queda:

$$r_{mec} := r_{nom} + \phi_{trans} + \frac{\phi_{long}}{2} \quad r_{mec} = 48 \cdot mm$$

El brazo mecánico de las armaduras será (en relación con la fibra superior de hormigon):

$$\text{armado superior} \quad d' := r_{mec} \quad d' = 0.048 \text{ m}$$

$$\text{armado inferior} \quad d := h - r_{mec} \quad d = 0.552 \text{ m}$$

La profundidad límite a partir de la cual la armadura inferior está plastificada será:

Se determina el axil del hormigón en función de la profundidad de la fibra neutra, así como el momento del hormigón a la altura de la armadura inferior, será:

$$N_c(x) := f_{cd} \cdot (b \cdot 0.8 \cdot x)$$

$$M_{1c}(x) := N_c(x) \cdot (d - 0.4 \cdot x)$$

El momento del hormigón a la altura de la armadura inferior, para $x=x_{lim}$, será:

$$M_{1c_xlim} := M_{1c}(x_{lim_s})$$

Al no haber axil aplicado el momento actuante a la altura de la armadura inferior es igual al momento actuante en el centro de gravedad de la sección:

$$M_{1d} := M_d \quad M_{1d} = 360.469 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \leq M_{1c_xlim} = 1.002 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{Zona C} \rightarrow A_S' = 0$$

$$x_1 := \text{root}(M_{1d} - M_{1c}(x), x, -1 \cdot 10^{-50} \text{m}, x_{lim_s}) \quad x_1 = 0.092 \text{ m} \quad \text{Prof. de la fibra neutra}$$

Conocida la profundidad de la fibra neutra se determina la armadura inferior necesaria a partir de la ecuación de equilibrio de axiles:

$$A_S(x) := \frac{N_c(x)}{f_{yd}}$$

$$A_{S_inf_calc} := A_S(x_1) \quad A_{S_inf_calc} = 12.539 \cdot \text{cm}^2 \quad A_{S_sup_calc} := 0 \text{cm}^2$$

La armadura a disponer será la obtenida por cálculo para el armado inferior y la armadura mínima geométrica para el armado superior:

$$A_{S_inf} := \max(A_{S_inf_calc}, A_{S_inf_min_mec}, A_{S_inf_min_geo}) \quad A_{S_inf} = 12.54 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{S_sup} := \max(A_{S_sup_calc}, A_{S_sup_min_geo}) \quad A_{S_sup} = 1.26 \cdot \text{cm}^2$$

DISPOSICIONES DE ARMADO:

Dada la reducida longitud de la viga a ensayar se dispondrá el armado constante a lo largo de toda su longitud. Las armaduras que realmente se dispondrán serán:

$$\text{Inferior (4}\phi\text{20): } \phi_{inf} := 20 \cdot \text{mm} \quad n_{inf} := 4 \quad A_{S_inf_real} := \frac{n_{inf} \pi \cdot \phi_{inf}^2}{4} \quad A_{S_inf_real} = 12.57 \cdot \text{cm}^2$$

$$\text{Superior (2}\phi\text{12): } \phi_{sup} := 12 \cdot \text{mm} \quad n_{sup} := 2 \quad A_{S_sup_real} := \frac{n_{sup} \pi \cdot \phi_{sup}^2}{4} \quad A_{S_sup_real} = 2.26 \cdot \text{cm}^2$$

La separación libre entre barras longitudinales será:

$$s_{inf} := \frac{b - 2r_{mec} - (n_{inf} - 1) \cdot \phi_{inf}}{(n_{inf} - 1)} \quad s_{inf} = 31 \cdot \text{mm} \quad \text{Valor admisible (superior al mínimo)}$$

Y los valores mínimos de la separación serán, considerando $TMA := 20 \cdot \text{mm}$:

$$s_{\text{inf_min}} := \max(20 \cdot \text{mm}, \phi_{\text{inf}}, 1.25 \cdot TMA) \quad s_{\text{inf_min}} = 25 \cdot \text{mm}$$

$$s_{\text{sup_min}} := \max(20 \cdot \text{mm}, \phi_{\text{sup}}, 1.25 \cdot TMA) \quad s_{\text{sup_min}} = 25 \cdot \text{mm}$$

B) Dimensionamiento a cortante

- AGOTAMIENTO POR COMPRESIÓN OBLICUA DEL ALMA:

$$V_{u1} := 0.30 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d = 1.573 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Los cortantes actuantes son en todos los casos inferiores al cortante de agotamiento por compresión oblicua del alma que acabamos de calcular, por lo que RESISTE

- AGOTAMIENTO POR TRACCIÓN EN EL ALMA:

La resistencia de cálculo de la armadura transversal será:

$$f_{yd_90} := \min(f_{yd}, 400 \cdot \text{MPa}) = 400 \cdot \text{MPa}$$

El esfuerzo cortante efectivo se debe de medir a una distancia de un canto útil del borde del apoyo. En este caso es igual al esfuerzo cortante máximo puesto que no hay cargas repartidas:

$$V_{rd} := V_d = 243.125 \cdot \text{kN}$$

La cuantía geométrica de la armadura de tracción eficazmente anclada a más de un canto útil:

$$\rho_l := \min\left(0.02, \frac{A_{S_inf_real}}{b \cdot d}\right) = 9.106 \times 10^{-3}$$

$$\xi := \min\left(2, 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot \text{mm}}{d}}\right) = 1.602$$

La contribución del hormigón al agotamiento por tracción será:

$$V_{cu} := \frac{0.15}{\gamma_c} \cdot \xi \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{\frac{N}{\text{mm}^2}}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{b}{\text{mm}} \cdot \frac{d}{\text{mm}} \cdot N = 99.869 \cdot \text{kN}$$

El armado transversal en toda la longitud de la viga debe de tener la siguiente capacidad mínima:

$$V_{su_min} := V_{rd} - V_{cu} = 143.256 \cdot \text{kN}$$

Lo cual se corresponde con la siguiente cantidad de armadura:

Se aproxima: $z := 0.9 \cdot d$

Estribos verticales: $\alpha := 90^\circ$

Ángulo de las bielas: $\theta := 45^\circ$

La disposición del armado anterior será:

Nº de ramas, $n_{\text{trans}} := 2$

Separación, $s_{\text{trans}} := 12.5 \cdot \text{cm}$

Diámetro, $\phi_{\text{trans}} := 8 \cdot \text{mm}$

$$A_{\alpha_{\text{real}}} := n_{\text{trans}} \cdot \frac{\pi \cdot \left(\frac{\phi_{\text{trans}}}{2}\right)^2}{s_{\text{trans}}} = 8.042 \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Superior al armado mínimo que se necesitaba para resistir el cortante actuante

Luego el armado a cortante serán estribos $\phi 8 / 12,5 \text{ cm}$ (2 ramas)

C) Sección de continuidad de la región D

Para el dimensionamiento de la región D no se empleará la carga con la que se ha dimensionado la viga puesto que, en virtud del teorema del límite inferior de la plasticidad, es previsible que el modelo real resista más que la carga para la que se dimensiona. Por ello se dimensiona para una carga suficientemente alejada de la carga máxima soportada por el pórtico, para poder así alcanzar la rotura del apoyo a media madera antes de alcanzar la carga máxima del pórtico:

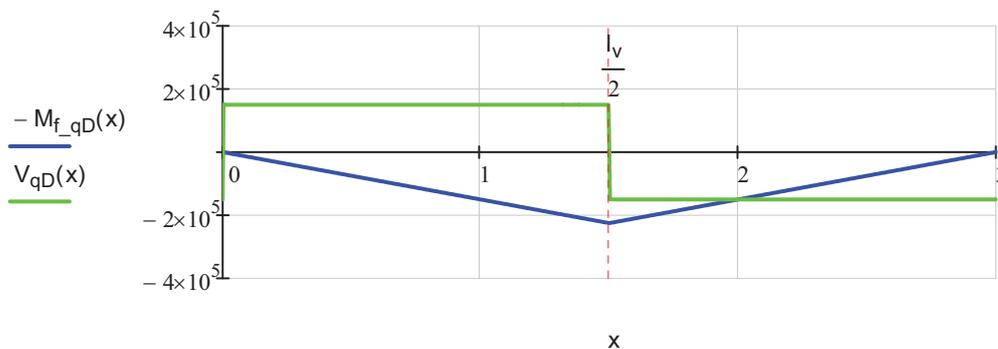
$$P_{\text{max}_D} := 300 \cdot \text{kN} \quad \frac{P_{\text{max}_D}}{P_{\text{max}}} = 63.158\% \quad \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{max}_D}} = 158.333\%$$

Después se ajustará la carga realmente resistida para el armado realmente dispuesto.

Dicha carga se encuentra actuando en la sección de centro de luz de la viga. Generará los siguientes esfuerzos:

$$M_{f_{qD}}(x) := \begin{cases} \frac{P_{\text{max}_D}}{2} \cdot x & \text{if } 0 \leq x < \frac{l_v}{2} \\ \frac{P_{\text{max}_D}}{2} \cdot x - P_{\text{max}_D} \cdot \left(x - \frac{l_v}{2}\right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$V_{qD}(x) := \frac{d}{dx} M_{f_{qD}}(x)$$



- ESFUERZOS EN LA SECCIÓN DE CONTINUIDAD

El apoyo se encuentra a la siguiente distancia del cambio de canto del apoyo a media madera:

$$l_1 := 0.20 \cdot \text{m}$$

La región de discontinuidad finaliza a un canto de la sección de cambio de canto:

$$l_2 := h + l_1 = 0.8 \text{ m}$$

Los esfuerzos en la sección de continuidad de la región D serán:

$$M_{\text{cont}} := M_{fD}(l_2) = 123.3 \cdot \text{m} \cdot \text{kN}$$

$$V_{\text{cont}} := V_D(l_2) = 152.625 \cdot \text{kN}$$

Pero puesto que no se trabaja en el modelo de bielas y tirantes con el peso propio de la viga en la región D, se tomarán los siguientes esfuerzos:

$$V_{\text{cont}} := V_D(0.0001 \cdot \text{m}) = 155.625 \cdot \text{kN}$$

$$M_{\text{cont}} := V_{\text{cont}} \cdot l_2 = 124.5 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Y el cociente entre los esfuerzos para los que se ha diseñado el armado y los esfuerzos en la sección de continuidad son:

$$\frac{M_{\text{cont}}}{M_d} = 34.538 \cdot \% \qquad \frac{V_{\text{cont}}}{V_d} = 64.01 \cdot \%$$

La sección está muy alejada de su agotamiento por flexión.

- SISTEMA DE FUERZAS EQUIVALENTE EN LA SECCIÓN DE CONTINUIDAD

Según lo indicado en "Proyecto de estructuras de hormigón mediante el método de bielas y tirantes" de P. Miguel et ál. de 2008, *"cuando la sección de continuidad está sometida exclusivamente a un esfuerzo de flexión, y la armadura está dimensionada para que en rotura la profundidad de la fibra neutra sea inferior o igual a la profundidad límite, basta que el momento flector actuante sea ligeramente inferior al de rotura para que la distribución sea lineal"*. Al estar muy alejados del agotamiento se realiza un cálculo en servicio.

Comprobamos si el momento en la sección de continuidad es superior al momento de fisuración:

La inercia bruta es: $I_b := \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = 4.5 \times 10^{-3} \text{ m}^4$

El momento de fisuración será: $M_{\text{cr}} := \frac{f_{\text{ct_m_fl}} \cdot I_b}{\frac{h}{2}} = 43.447 \cdot \text{m} \cdot \text{kN}$

Luego la sección de continuidad se encontrará fisurada al siguiente porcentaje de la carga de diseño de la región D:

$$\frac{M_{\text{cr}}}{M_{\text{cont}}} = 35 \cdot \%$$

Los diámetros de la armadura dispuesta son los siguientes:

$$\phi_{\text{trans}} = 8 \cdot \text{mm} \qquad \phi_{\text{inf}} = 20 \cdot \text{mm} \qquad \phi_{\text{sup}} = 12 \cdot \text{mm}$$

El brazo mecánico de las armaduras (en relación con la fibra superior de hormigón), así como el área de las armaduras son:

$$d := h - r_{\text{mec_inf}} = 0.552 \text{ m} \quad A_S := A_{S_inf_real} = 12.566 \cdot \text{cm}^2$$

$$d' := r_{\text{mec_sup}} = 0.044 \text{ m} \quad A'_S := A_{S_sup_real} = 2.262 \cdot \text{cm}^2$$

Los módulos de elasticidad de los materiales son:

$$E_s := 200000 \cdot \text{MPa} \quad E_c := \left(8500 \cdot \sqrt[3]{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} + 8 \right) \text{MPa} = 2.858 \times 10^4 \cdot \text{MPa}$$

$$n := \frac{E_s}{E_c} = 6.999$$

El área, el momento estático y la inercia de la sección eficaz respecto a la fibra superior del hormigón, en función de la profundidad de la fibra neutra, serán:

$$A_{\text{ef}}(x) := b \cdot x + n \cdot (A_S + A'_S)$$

$$S_{\text{ef}}(x) := \frac{b \cdot x^2}{2} + n \cdot (d \cdot A_S + d' \cdot A'_S)$$

$$I_{\text{ef}}(x) := \frac{1}{12} \cdot b \cdot x^3 + (b \cdot x) \cdot \left(\frac{x}{2} \right)^2 + n \cdot (d^2 \cdot A_S + d'^2 \cdot A'_S)$$

El centro de gravedad de la sección homogeneizada, medido desde la fibra superior, será:

$$v_1 := \frac{S_{\text{ef}}(h)}{A_{\text{ef}}(h)} = 0.311 \text{ m}$$

Al estar en flexión simple la profundidad de la fibra neutra es independiente del flector actuante. Será:

$$x_{\text{fn}}(\text{aux}) := \text{root}(-A_{\text{ef}}(\text{aux}) \cdot \text{aux} + S_{\text{ef}}(\text{aux}), \text{aux}) \quad x_{\text{fn}} := x_{\text{fn}}(0 \cdot \text{m}) = 0.1613 \text{ m}$$

El alargamiento en la fibra superior de la sección y la curvatura de la misma serán:

$$\varepsilon_0 := \frac{1}{E_c \cdot (A_{\text{ef}}(x_{\text{fn}}) \cdot I_{\text{ef}}(x_{\text{fn}}) - S_{\text{ef}}(x_{\text{fn}})^2)} \cdot (-S_{\text{ef}}(x_{\text{fn}}) \cdot -M_{\text{cont}}) = 4.099 \times 10^{-4}$$

$$c := \frac{1}{E_c \cdot (A_{\text{ef}}(x_{\text{fn}}) \cdot I_{\text{ef}}(x_{\text{fn}}) - S_{\text{ef}}(x_{\text{fn}})^2)} \cdot (A_{\text{ef}}(x_{\text{fn}}) \cdot -M_{\text{cont}}) = -2.542 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

La tensión en cualquier fibra de la sección queda:

$$\sigma(E, x) := E \cdot (\varepsilon_0 + c \cdot x)$$

Así para el hormigón, se tiene:

$$\text{Tensión máxima: } \sigma_{c_max} := \sigma(E_c, 0) = 11.714 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{Resultante hormigón: } C := \sigma_{c_max} \cdot b \cdot x_{\text{fn}} = 226.128 \text{ kN}$$

En la armadura superior:

$$\text{Tensión: } \sigma_{S_sup} := \sigma(E_s, d') = 59.613 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{Resultante armadura compresión: } C_S := \sigma_{S_sup} \cdot A'_S = 13.484 \cdot \text{kN}$$

En la armadura inferior:

$$\text{Tensión: } \sigma_{S_inf} := \sigma(E_s, d) = -198.635 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{Resultante armadura tracción: } T := \sigma_{S_inf} \cdot A_S = -249.612 \cdot \text{kN}$$

Comprobamos que se cumple el equilibrio de momentos respecto a la fibra superior:

$$M := -(T \cdot d + C_S \cdot d' + C_C \cdot x_C) = 124.5 \cdot \text{m} \cdot \text{kN} \quad M_{cont} = 124.5 \cdot \text{m} \cdot \text{kN}$$

La resultante de compresiones del bloque comprimido (incluyendo hormigón y acero) y su profundidad respecto a la fibra superior serán:

$$C := C_C + C_S = 249.612 \cdot \text{kN} \quad \text{Idéntica a la fuerza en la armadura inferior}$$

$$x_C := \frac{C_C \cdot x_C + C_S \cdot d'}{C_C + C_S} = 0.053 \text{ m}$$

El brazo mecánico resulta:

$$z := d - x_C = 0.499 \text{ m}$$

La fuerza de compresión diagonal debida al cortante es:

$$F_c := \frac{V_{cont}}{\sin(\theta)} \cdot \frac{\cot(\theta)}{\cot(\alpha) + \cot(\theta)} = 220.086 \cdot \text{kN} \quad \sqrt{2} V_{cont} = 220.086 \cdot \text{kN}$$

$$\Delta T := \frac{V_{cont}}{2} = 77.812 \cdot \text{kN}$$

Las reacciones finalmente resultantes, teniendo en cuenta el efecto del cortante, así como su posición respecto a la cara superior de la viga, serán:

$$T_{cont} := -T + \Delta T = 327.42 \cdot \text{kN}$$

$$x_T := d = 552 \cdot \text{mm}$$

$$C_{cont} := C - \Delta T = 171.8 \cdot \text{kN}$$

$$x_C = 53 \cdot \text{mm}$$

$$F_{c_cont} := F_c = 220.09 \cdot \text{kN}$$

$$x_{F_c} := d - \frac{z}{2} = 303 \cdot \text{mm} \quad \theta = 45^\circ$$

El cortante en el alma se descompone en:

Región D - E01 (HC-AO)

A) Placas de apoyo

Primeramente se determina el área de aplicación de las cargas. Para el apoyo de la carga del pórtico se supondrá que el apoyo tiene la siguiente área:

$$b_{\text{portico}} := 0.15 \cdot \text{m} \quad A_{\text{placa_portico}} := b_{\text{portico}} \cdot b = 0.038 \cdot \text{m}^2$$

La capacidad resistente del nudo será, según la EHE-08:

$$f_{2cd} := 0.70 \cdot f_{cd} = 26.6 \cdot \text{MPa}$$

La tensión actuante será: $\sigma_{\text{max}} := \frac{P_{\text{max_D}}}{A_{\text{placa_portico}}} = 8 \cdot \text{MPa}$ Inferior a la admisible

Para los apoyos de los apoyos se tiene:

$$b_{\text{apoyos}} := 0.15 \cdot \text{m} \quad A_{\text{placa_apoyos}} := b_{\text{apoyos}} \cdot b = 0.038 \cdot \text{m}^2$$

$$\sigma_{\text{max}} := \frac{V_{\text{cont}}}{A_{\text{placa_apoyos}}} = 4.15 \cdot \text{MPa} \quad \text{Inferior a la admisible}$$

En ambos casos la capacidad resistente de los nudos es muy superior a las cargas que va a haber actuando. Las dimensiones de las placas de apoyos son las mínimas que se consideran aceptables constructivamente.

B) Esfuerzos en bielas y tirantes

Las dimensiones que definen el modelo de bielas y tirantes son las siguientes:

$$d_1 := x_C = 0.053 \text{ m} \quad d_2 := x_{F_c} = 0.303 \text{ m} \quad d_3 := x_T = 0.552 \text{ m}$$

$$d_4 := 0.05 \cdot \text{m} \quad d_5 := l_2 - l_1 - d_4 - (d_3 - d_2) \tan(\theta) = 0.301 \text{ m} \quad d_6 := 0.042 \cdot \text{m}$$

Los ángulos que definen la inclinación de las barras inclinadas son:

$$\alpha_{13} := \text{atan} \left(\frac{\frac{h}{2} - d_1 - d_6}{l_1 + d_4} \right) = 39.32^\circ \quad \alpha_{43} := \text{atan} \left(\frac{\frac{h}{2} - d_1 - d_6}{d_5} \right) = 34.262^\circ$$

$$\alpha_{54} := \text{atan} \left[\frac{d_3 - \left(\frac{h}{2} - d_6 \right)}{d_5} \right] = 44.363^\circ$$

$$F_{14} := -F_{13} \cdot \cos(\alpha_{13}) = -190 \cdot \text{kN}$$

$$F_{52} := -T_{\text{cont}} + F_{c_cont_x} = -171.8 \cdot \text{kN}$$

$$F_{42} := -F_{c_cont_y} = -155.62 \cdot \text{kN}$$

$$F_{54} := \frac{-F_{52}}{\cos(\alpha_{54})} = 240.3 \cdot \text{kN}$$

$$F_{53} := -F_{54} \cdot \sin(\alpha_{54}) = -168.02 \cdot \text{kN}$$

$$F_{34_x} := -(F_{14} + F_{54} \cdot \cos(\alpha_{54})) = 18.197 \cdot \text{kN} \quad F_{34} := \frac{F_{34_x}}{\cos(\alpha_{43})} = 22.018 \cdot \text{kN}$$

Verificamos el equilibrio en el nodo 3:

$$F_{34_x} + C_{\text{cont}} - F_{13} \cdot \cos(\alpha_{13}) = -2.91 \times 10^{-14} \cdot \text{kN}$$

$$F_{34} \cdot \sin(\alpha_{43}) + F_{13} \cdot \sin(\alpha_{13}) + F_{53} = -8.731 \times 10^{-14} \cdot \text{kN}$$

C) Dimensionamiento de tirantes

Los tirantes nos dan el área de armadura necesaria. La capacidad resistente que se toma para los tirantes será:

$$\sigma_{sd} := f_y = 558 \cdot \text{MPa}$$

No se limita a 400 MPa, puesto que dicha limitación es una comprobación indirecta de verificar la fisuración en la región D y no tiene sentido realizarla para un programa experimental.

TIRANTE 1-4 (Tirante principal horizontal):

$$A_{S_14_calculo} := \frac{F_{14}}{-\sigma_{sd}} = 3.405 \cdot \text{cm}^2$$

OPCIÓN 1:

$$\phi_{14_1} := 10 \cdot \text{mm} \quad n_{14_1} := 4 \quad A_{S_14_1_real} := \frac{n_{14_1} \pi \cdot \phi_{14_1}^2}{4} = 3.142 \cdot \text{cm}^2$$

$$CS1_1 := \frac{A_{S_14_1_real}}{A_{S_14_calculo}} = 92.0\%$$

OPCIÓN 2:

$$\phi_{14_2} := 8 \cdot \text{mm} \quad n_{14_2} := 4 \quad A_{S_14_2_real} := \frac{n_{14_2} \pi \cdot \phi_{14_2}^2}{4} = 2.011 \cdot \text{cm}^2$$

$$CS1_2 := \frac{A_{S_14_2_real}}{A_{S_14_calculo}} = 59.0\%$$

OPCIÓN 3:

$$\phi_{14_3} := 10 \cdot \text{mm} \quad n_{14_3} := 4 \quad A_{S_14_3_real} := \frac{n_{14_3} \pi \cdot \phi_{14_3}^2}{4} = 3.142 \cdot \text{cm}^2$$

$$CS1_3 := \frac{A_{S_14_3_real}}{A_{S_14_calculo}} = 92.0\%$$

OPCIÓN 1:

$$\phi_{35_1} := 8 \cdot \text{mm} \quad n_{35_1} := 4 \quad A_{S_35_1_real} := \frac{n_{35_1} \pi \cdot \phi_{35_1}^2}{4} = 2.011 \cdot \text{cm}^2$$

$$CS2_1 := \frac{A_{S_35_1_real}}{A_{S_35_calculo}} = 67 \cdot \%$$

OPCIÓN 2:

$$\phi_{35_2} := 10 \cdot \text{mm} \quad n_{35_2} := 4 \quad A_{S_35_2_real} := \frac{n_{35_2} \pi \cdot \phi_{35_2}^2}{4} = 3.142 \cdot \text{cm}^2$$

$$CS2_2 := \frac{A_{S_35_2_real}}{A_{S_35_calculo}} = 104 \cdot \%$$

OPCIÓN 3:

$$\phi_{35_3} := 10 \cdot \text{mm} \quad n_{35_3} := 4 \quad A_{S_35_3_real} := \frac{n_{35_3} \pi \cdot \phi_{35_3}^2}{4} = 3.142 \cdot \text{cm}^2$$

$$CS2_3 := \frac{A_{S_35_3_real}}{A_{S_35_calculo}} = 104 \cdot \%$$

Se dispondrán un estribo doble con 4 ramas, con su centro de gravedad a 5 cm del exterior del paramento.

TIRANTE 2-4:

$$A_{S_24_calculo} := \frac{F_{42}}{-\sigma_{sd}} = 2.789 \cdot \text{cm}^2$$

$$\phi_{24} := 8 \cdot \text{mm} \quad n_{24} := 6 \quad A_{S_24_real} := \frac{n_{24} \pi \cdot \phi_{24}^2}{4} = 3.016 \cdot \text{cm}^2$$

$$CS3 := \frac{A_{S_24_real}}{A_{S_24_calculo}} = 108 \cdot \%$$

El tirante 2-4 representa una armadura distribuida; en la región D caben por lo menos 3 estribos, separados a unos 12,5 cm. Por lo que esta armadura no será más que la continuación del armado de cortante dispuesto en la viga.

D) Comprobación de nudos, anclajes y bielas

Se elimina la comprobación de los anclajes del armado inferior de la viga en el nudo 5 y del armado del tirante horizontal en el nudo 1 (si se quiere recuperar en versión _05)

Definición de las expresiones de la longitud de anclaje de la EHE-08:

$$m1(f_{ck}) := \begin{cases} 1.5 & \text{if } f_{ck} = 25 \cdot \text{MPa} \\ 1.3 & \text{if } f_{ck} = 30 \cdot \text{MPa} \\ 1.2 & \text{if } f_{ck} = 35 \cdot \text{MPa} \\ 1.1 & \text{if } f_{ck} = 40 \cdot \text{MPa} \\ 1.0 & \text{if } f_{ck} = 45 \cdot \text{MPa} \\ 1.0 & \text{if } f_{ck} \geq 50 \cdot \text{MPa} \end{cases}$$

$$l_{b_anclaje}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, \text{pos}) := \left[\max \left[m1(f_{ck}) \cdot \left(\frac{\phi}{\text{mm}} \right)^2, \frac{f_{yk}}{20 \cdot \text{MPa}} \cdot \frac{\phi}{\text{mm}} \right] \right] \cdot \text{mm} \quad \text{if } \text{pos} = 1$$

$$l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, pos, \beta, \alpha) := \max\left(l_{b_anclaje}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, pos) \cdot \beta \cdot \alpha, 10 \cdot \phi, 150 \cdot \text{mm}, \frac{l_{b_anclaje}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, pos)}{3}\right)$$

En caso de realizar anclaje con patilla la longitud de la patilla será:

$$l_{patilla}(\phi) := 5 \cdot \phi$$

Y el radio de doblado para la patilla será:

$$r_{doblado_patilla}(\phi) := \begin{cases} 2 \cdot \phi & \text{if } \phi < 20 \cdot \text{mm} \\ 3.5 \cdot \phi & \text{otherwise} \end{cases}$$

NUDO 4:

Debe de comprobarse que el nudo 4 está situado al menos a la mitad de la longitud de anclaje de la posición del tirante 3-5. Aquí se tiene la barra en posición II y con anclaje en prolongación recta.

OPCIÓN 1:

$$\phi := \phi_{14_1} = 10 \cdot \text{mm} \quad f_{yk} := f_y = 558 \cdot \text{MPa} \quad f_{ck} = 30 \cdot \text{MPa}$$

$$\beta := 1.00 \quad \text{Prolongación recta}$$

$$pos := 2$$

$$\alpha_{14_1} := \min\left(1, \frac{CS2_1}{CS1_1}\right) = 0.724 \quad \text{Coeficiente reductor por exceso de armadura dispuesta}$$

$$d_{5_1_minimo} := \frac{l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, pos, \beta, \alpha_{14_1})}{2} = 0.14 \text{ m}$$

$$CS4_1 := \frac{d_5}{d_{5_1_minimo}} = 208 \cdot \%$$

OPCIÓN 2:

$$\phi := \phi_{14_2} = 8 \cdot \text{mm} \quad f_{yk} := f_y = 558 \cdot \text{MPa} \quad f_{ck} = 30 \cdot \text{MPa}$$

$$\beta := 1.00 \quad \text{Prolongación recta}$$

$$pos := 2$$

$$\alpha_{14_2} := \min\left(1, \frac{CS2_2}{CS1_2}\right) = 1 \quad \text{Coeficiente reductor por exceso de armadura dispuesta}$$

$$d_{5_2_minimo} := \frac{l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, pos, \beta, \alpha_{14_2})}{2} = 0.16 \text{ m}$$

$$CS4_2 := \frac{d_5}{d_{5_2_minimo}} = 189 \cdot \%$$

OPCIÓN 3:

$$\phi := \phi_{14_3} = 10 \cdot \text{mm} \quad f_{yk} := f_y = 558 \cdot \text{MPa} \quad f_{ck} = 30 \cdot \text{MPa}$$

$$\alpha_{14_3} := \min\left(1, \frac{CS_{2_3}}{CS_{1_3}}\right) = 1 \quad \text{Coeficiente reductor por exceso de armadura dispuesta}$$

$$d_{5_3_minimo} := \frac{l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, \rho_{OS}, \beta, \alpha_{14_3})}{2} = 0.2 \text{ m}$$

$$CS_{4_3} := \frac{d_5}{d_{5_3_minimo}} = 151. \%$$

E) Carga de rotura estimada

OPCIÓN 1 (Fallo tirante vertical):

El coeficiente de seguridad existente es: $CS_1 := \min(CS_{1_1}, CS_{2_1}, CS_3, CS_{4_1}) = 67. \%$

La carga en el pórtico a aplicar para producir la rotura será: $P_{max_1} := P_{max_D} \cdot CS_1 = 200.32 \cdot \text{kN}$

OPCIÓN 2 (Fallo tirante horizontal):

El coeficiente de seguridad existente es: $CS_2 := \min(CS_{1_2}, CS_{2_2}, CS_3, CS_{4_2}) = 59. \%$

La carga en el pórtico a aplicar para producir la rotura será: $P_{max_2} := P_{max_D} \cdot CS_2 = 177.15 \cdot \text{kN}$

OPCIÓN 3 (Fallo equilibrado):

El coeficiente de seguridad existente es: $CS_3 := \min(CS_{1_3}, CS_{2_3}, CS_3, CS_{4_3}) = 92. \%$

La carga en el pórtico a aplicar para producir la rotura será: $P_{max_3} := P_{max_D} \cdot CS_3 = 276.79 \cdot \text{kN}$

Región D - E02 (HC-AI)

A) Esfuerzos en bielas y tirantes

Las dimensiones que definen el modelo de bielas y tirantes son las siguientes:

$$d_1 := x_C = 0.053 \text{ m} \quad d_2 := x_{F_c} = 0.303 \text{ m} \quad d_3 := x_T = 0.552 \text{ m}$$

$$d_4 := l_2 - l_1 - (d_3 - d_2)\tan(\theta) = 0.351 \text{ m}$$

El ángulo del tirante inclinado es:

$$\alpha_{12} := \text{atan}\left(\frac{d_3 - d_1}{l_1 + d_4}\right) = 42.172^\circ$$

Y la fuerza a la que está sometido el tirante inclinado será:

$$F_{12} := \frac{-V_{\text{cont}}}{\sin(\alpha_{12})} = -231.81 \cdot \text{kN}$$

Verificamos el equilibrio de fuerzas en el nodo 1:

$$C_{\text{cont}} + F_{12} \cdot \cos(\alpha_{12}) = 0 \cdot \text{kN}$$

$$V_{\text{cont}} + F_{12} \cdot \sin(\alpha_{12}) = 0 \cdot \text{kN}$$

Y en el nodo 2:

$$F_{c_cont_y} + F_{12} \cdot \sin(\alpha_{12}) = 2.91 \times 10^{-14} \cdot \text{kN}$$

$$T_{\text{cont}} - F_{c_cont_x} + F_{12} \cdot \cos(\alpha_{12}) = 2.91 \times 10^{-14} \cdot \text{kN}$$

B) Dimensionamiento de tirantes

Los tirantes nos dan el área de armadura necesaria. La capacidad resistente que se toma para los tirantes será:

$$\sigma_{sd} := f_y = 558 \cdot \text{MPa}$$

No se limita a 400 MPa, puesto que dicha limitación es una comprobación indirecta de verificar la fisuración en la región D y no tiene sentido realizarla para un programa experimental.

TIRANTE 1-2 (Tirante inclinado):

$$A_{S_12_calculo} := \frac{F_{12}}{-\sigma_{sd}} = 4.154 \cdot \text{cm}^2$$

OPCIÓN 1 (Doblado de armado inferior):

OPCIÓN 2 (Barras de refuerzo):

$$\phi_{12_2} := 10 \cdot \text{mm} \quad n_{12_2} := 4 \quad A_{S_12_real_2} := \frac{n_{12_2} \pi \cdot \phi_{12_2}^2}{4} = 3.142 \cdot \text{cm}^2$$

$$CS1_2 := \frac{A_{S_12_real_2}}{A_{S_12_calculo}} = 76. \%$$

C) Comprobación de nudos, anclajes y bielas

NUDO 2:

Se dispone como armado del tirante inclinado la mitad de la armadura inferior de la viga. El radio de doblado de dicha armadura será:

$$r_{\text{doblado}}(\phi) := \begin{cases} 6 \cdot \phi & \text{if } \phi \leq 25 \cdot \text{mm} \\ 7 \cdot \phi & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$r_{\text{doblado}}(\phi_{12_1}) = 0.12 \text{ m} \quad r_{\text{doblado}}(\phi_{12_2}) = 0.06 \text{ m}$$

Y la anchura de la biela que apoya en dicho nudo queda determinada por la geometría del modelo y por el radio de doblado de la armadura inclinada.

$$\text{Ancho biela:} \quad a_{\text{CTT}}(\alpha, \theta, R) := \min\left(2 \cdot R \cdot \sin(\theta) \cdot \frac{1 + \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)}, 2 \cdot R \cdot \sin(\alpha - \theta) \cdot \frac{1 + \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)}\right)$$

$$\text{Ángulo de doblado de la barra:} \quad \alpha := 180^\circ - \alpha_{12} = 137.828^\circ$$

$$\text{Ángulo de apoyo de la biela:} \quad \theta = 45^\circ$$

$$a_{\text{biela_V_1}} := a_{\text{CTT}}(\alpha, \theta, r_{\text{doblado}}(\phi_{12_1})) = 0.065 \text{ m}$$

$$a_{\text{biela_V_2}} := a_{\text{CTT}}(\alpha, \theta, r_{\text{doblado}}(\phi_{12_2})) = 0.033 \text{ m}$$

La capacidad resistente de esa biela es:

$$F_{\text{max_biela_V_1}} := 0.6 \cdot f_{\text{cd}} \cdot a_{\text{biela_V_1}} \cdot b = 372.985 \cdot \text{kN}$$

$$CS2_1 := \frac{F_{\text{max_biela_V_1}}}{F_{\text{c_cont}}} = 169. \%$$

$$F_{\text{max_biela_V_2}} := 0.6 \cdot f_{\text{cd}} \cdot a_{\text{biela_V_2}} \cdot b = 186.492 \cdot \text{kN}$$

$$CS2_2 := \frac{F_{\text{max_biela_V_2}}}{F_{\text{c_cont}}} = 85. \%$$

Será recomendable en caso de emplear la opción de armado tipo 2 ($\phi 10$), emplear un radio de doblado superior al que indica la norma, de forma que la biela que apoya no vaya tan ajustada. Radio mínimo de doblado del armado inclinado en nudo 2 = 10 cm

Se debe disponer en el doblado de la barra una barra transversal que reparta la acción de la biela:

$$\phi_{\text{transv}} := 12 \cdot \text{mm}$$

El resto del armado inferior de la viga se ancla en prolongación recta a partir del nudo. La longitud básica de anclaje será:

El armado inferior por cálculo en la sección de continuidad es:

$$A_{S_inf_calculo} := \frac{T_{cont}}{\sigma_{sd}} = 5.868 \cdot \text{cm}^2$$

La longitud neta de anclaje será:

$$\alpha := \frac{A_{S_inf_calculo}}{A_{S_inf_real}} = 0.467 \quad \text{Cociente entre armadura necesaria y armadura dispuesta}$$

$$\beta := 1.00 \quad \text{Prolongación recta}$$

$$l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, pos, \beta, \alpha) = 0.26 \text{ m}$$

$$CS3 := \frac{d_4 - r_{nom}}{l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, pos, \beta, \alpha)} = 123 \cdot \%$$

NUDO 1:

OPCIÓN 1:

El tirante inclinado necesita la siguiente longitud de anclaje neta:

$$\phi := \phi_{12_1} = 20 \cdot \text{mm} \quad f_{yk} := f_y = 558 \cdot \text{MPa} \quad f_{ck} = 30 \cdot \text{MPa} \quad pos := 1$$

$$l_{b_anclaje}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, pos) = 0.56 \text{ m}$$

$$\alpha := \min\left(1, \frac{A_{S_12_calculo}}{A_{S_12_real_1}}\right) = 0.661 \quad \text{Coeficiente reductor por exceso de armadura dispuesta}$$

$$\beta := 1.00$$

$$l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, pos, \beta, \alpha) = 0.37 \text{ m}$$

Se dispone una longitud a partir del comienzo del borde de apoyo de la biela de 40 cm, por lo que debería ser necesaria para anclar correctamente, aunque se encuentre doblada dicha barra. Se deberá poner una armadura transversal para garantizar el anclaje.

$$CS4_1 := \frac{40 \cdot \text{cm}}{l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, pos, \beta, \alpha)} = 108 \cdot \%$$

OPCIÓN 2:

El tirante inclinado necesita la siguiente longitud de anclaje neta:

$$\phi := \phi_{12_2} = 10 \cdot \text{mm} \quad f_{yk} := f_y = 558 \cdot \text{MPa} \quad f_{ck} = 30 \cdot \text{MPa} \quad pos := 1$$

$$l_{b_anclaje}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, pos) = 0.28 \text{ m}$$

$$\beta := 1.00$$

$$l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, pos, \beta, \alpha) = 0.28 \text{ m}$$

Se dispone una longitud a partir del comienzo del borde de apoyo de la biela de 40 cm, por lo que debería ser necesaria para anclar correctamente, aunque se encuentre doblada dicha barra. Se deberá poner una armadura transversal para garantizar el anclaje.

$$CS4_2 := \frac{40 \cdot \text{cm}}{l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, pos, \beta, \alpha)} = 143 \cdot \%$$

E) Carga de rotura estimada

OPCIÓN 1 (Fallo por anclaje doblado de tirante inclinado):

El coeficiente de seguridad existente es: $CS_1 := \min(CS1_1, CS2_1, CS3, CS4_1) = 108 \cdot \%$

La carga en el pórtico a aplicar para producir la rotura será: $P_{max_1} := P_{max_D} \cdot CS_1 = 325.26 \cdot \text{kN}$

Suponiendo que los anclajes de las armaduras no acaben fallando la carga en el pórtico para producir la rotura sería de:

$$P_{max_1_tirante} := P_{max_D} \cdot CS1_1 = 453.74 \cdot \text{kN}$$

Parece una carga excesiva. Debe proponerse otra tipología del anclaje inferior de la viga que permita doblar barras con una cuantía menor o disponer un refuerzo

OPCIÓN 2 (Fallo tirante inclinado):

El coeficiente de seguridad existente es: $CS_2 := \min(CS1_2, CS2_2, CS3, CS4_2) = 76 \cdot \%$

La carga en el pórtico a aplicar para producir la rotura será: $P_{max_2} := P_{max_D} \cdot CS_2 = 226.87 \cdot \text{kN}$

Para esta tipología de armado pasamos a calcular la longitud de anclaje que debe tener el refuerzo en el nudo 2:

$$\phi := \phi_{12_2} = 10 \cdot \text{mm} \quad f_{yk} := f_y = 558 \cdot \text{MPa} \quad f_{ck} = 30 \cdot \text{MPa} \quad pos := 1$$

$$l_{b_anclaje}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, pos) = 0.28 \text{ m}$$

$$\alpha := 1$$

$$\beta := 1.00$$

$$l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, pos, \beta, \alpha) = 0.28 \text{ m}$$

Región D - E03 (HC-AM)

A) Placas de apoyo

Primeramente se determina el área de aplicación de las cargas. Para el apoyo de la carga del pórtico se supondrá que el apoyo tiene la siguiente área:

$$b_{\text{portico}} := 0.15 \cdot \text{m} \quad A_{\text{placa_portico}} := b_{\text{portico}} \cdot b = 0.038 \cdot \text{m}^2$$

La capacidad resistente del nudo será, según la EHE-08:

$$f_{2cd} := 0.70 \cdot f_{cd} = 26.6 \cdot \text{MPa}$$

La tensión actuante será: $\sigma_{\text{max}} := \frac{P_{\text{max_D}}}{A_{\text{placa_portico}}} = 8 \cdot \text{MPa}$ Inferior a la admisible

Para los apoyos de los apoyos se tiene:

$$b_{\text{apoyos}} := 0.15 \cdot \text{m} \quad A_{\text{placa_apoyos}} := b_{\text{apoyos}} \cdot b = 0.038 \cdot \text{m}^2$$

$$\sigma_{\text{max}} := \frac{V_{\text{cont}}}{A_{\text{placa_apoyos}}} = 4.15 \cdot \text{MPa} \quad \text{Inferior a la admisible}$$

En ambos casos la capacidad resistente de los nudos es muy superior a las cargas que va a haber actuando. Las dimensiones de las placas de apoyos son las mínimas que se consideran aceptables constructivamente.

B.1) Esfuerzos en bielas y tirantes (Armado Ortogonal -AO-)

Porcentaje de la carga exterior que se asigna al armado ortogonal:

$$\text{reparto}_1 := 50\%$$

Las dimensiones que definen el modelo de bielas y tirantes son las siguientes:

$$d_1 := x_C = 0.053 \text{ m} \quad d_2 := x_{F_C} = 0.303 \text{ m} \quad d_3 := x_T = 0.552 \text{ m}$$

$$d_4 := 0.05 \cdot \text{m} \quad d_5 := 0.150 \cdot \text{m} \quad d_6 := l_2 - l_1 - d_4 - d_5 - (d_3 - d_2) \tan(\theta) = 0.151 \text{ m} \quad d_7 := 0.042 \cdot \text{m}$$

Los ángulos que definen la inclinación de las barras inclinadas son:

$$\alpha_{13} := \text{atan} \left(\frac{\frac{h}{2} - d_1 - d_7}{l_1 + d_4} \right) = 39.32^\circ \quad \alpha_{43} := \text{atan} \left(\frac{\frac{h}{2} - d_1 - d_7}{d_5} \right) = 53.776^\circ$$

$$\left[\begin{array}{c} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array} \right]$$

$$\left(\begin{array}{c} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array} \right)$$

$$\alpha_{75} := \operatorname{atan}\left(\frac{d_3 - d_1}{d_5 + d_6}\right) = 58.922 \cdot ^\circ$$

Y las fuerzas en las distintas barras del modelo serán:

$$F_{13} := \frac{V_{\text{cont}} \cdot \text{reparto}_1}{\sin(\alpha_{13})} = 122.8 \cdot \text{kN}$$

$$F_{14} := -F_{13} \cdot \cos(\alpha_{13}) = -95 \cdot \text{kN}$$

$$F_{52} := -T_{\text{cont}} \cdot \text{reparto}_1 + F_{\text{c_cont_x}} \cdot \text{reparto}_1 = -85.9 \cdot \text{kN}$$

$$F_{72} := -F_{\text{c_cont_y}} \cdot \text{reparto}_1 = -77.81 \cdot \text{kN}$$

$$F_{74} := \begin{cases} 0 \cdot \text{kN} & \text{if } \alpha_{74} < \alpha_{75} \\ \frac{-F_{72}}{\sin(\alpha_{74})} & \text{otherwise} \end{cases} = 0 \text{ N}$$

$$F_{75} := \begin{cases} 0 \cdot \text{kN} & \text{if } \alpha_{75} \leq \alpha_{74} \\ \frac{-F_{72}}{\sin(\alpha_{75})} & \text{otherwise} \end{cases} = 90.853 \text{ kN}$$

$$F_{73} := C_{\text{cont}} \cdot \text{reparto}_1 - F_{74} \cdot \cos(\alpha_{74}) - F_{75} \cdot \cos(\alpha_{75}) = 39.002 \text{ kN}$$

$$F_{54} := \frac{-F_{52} - F_{75} \cdot \cos(\alpha_{75})}{\cos(\alpha_{54})} = 85.82 \cdot \text{kN}$$

$$F_{53} := -F_{54} \cdot \sin(\alpha_{54}) - F_{75} \cdot \sin(\alpha_{75}) = -154.26 \cdot \text{kN}$$

$$F_{34_x} := -(F_{14} + F_{54} \cdot \cos(\alpha_{54})) + F_{74} \cdot \cos(\alpha_{74}) = 55.997 \cdot \text{kN}$$

$$F_{34} := \frac{F_{34_x}}{\cos(\alpha_{43})} = 94.759 \cdot \text{kN}$$

Verificamos el equilibrio en el nodo 3:

$$F_{34_x} + F_{73} - F_{13} \cdot \cos(\alpha_{13}) = -1.455 \times 10^{-14} \cdot \text{kN}$$

$$F_{34} \cdot \sin(\alpha_{43}) + F_{13} \cdot \sin(\alpha_{13}) + F_{53} = -5.821 \times 10^{-14} \cdot \text{kN}$$

B.2) Dimensionamiento de tirantes (AO)

Los tirantes nos dan el área de armadura necesaria. La capacidad resistente que se toma para los tirantes será:

$$\sigma_{\text{sd}} := f_y = 558 \cdot \text{MPa}$$

TIRANTE 1-4 (Tirante principal horizontal):

$$A_{S_{14_calculo}} := \frac{F_{14}}{-\sigma_{sd}} = 1.702 \cdot \text{cm}^2$$

OPCIÓN 1:

$$\phi_{14_1} := 10 \cdot \text{mm} \quad n_{14_1} := 2 \quad A_{S_{14_1_real}} := \frac{n_{14_1} \pi \cdot \phi_{14_1}^2}{4} = 1.571 \cdot \text{cm}^2$$

$$CS1_1 := \frac{A_{S_{14_1_real}}}{A_{S_{14_calculo}}} = 92 \cdot \%$$

OPCIÓN 2:

$$\phi_{14_2} := 6 \cdot \text{mm} \quad n_{14_2} := 4 \quad A_{S_{14_2_real}} := \frac{n_{14_2} \pi \cdot \phi_{14_2}^2}{4} = 1.131 \cdot \text{cm}^2$$

$$CS1_2 := \frac{A_{S_{14_2_real}}}{A_{S_{14_calculo}}} = 66 \cdot \%$$

OPCIÓN 3:

$$\phi_{14_3} := 6 \cdot \text{mm} \quad n_{14_3} := 4 \quad A_{S_{14_3_real}} := \frac{n_{14_3} \pi \cdot \phi_{14_3}^2}{4} = 1.131 \cdot \text{cm}^2$$

$$CS1_3 := \frac{A_{S_{14_3_real}}}{A_{S_{14_calculo}}} = 66 \cdot \%$$

TIRANTE 3-5 (Tirante principal vertical):

$$A_{S_{35_calculo}} := \frac{F_{53}}{-\sigma_{sd}} = 2.764 \cdot \text{cm}^2$$

OPCIÓN 1:

$$\phi_{35_1} := 8 \cdot \text{mm} \quad n_{35_1} := 4 \quad A_{S_{35_1_real}} := \frac{n_{35_1} \pi \cdot \phi_{35_1}^2}{4} = 2.011 \cdot \text{cm}^2$$

$$CS2_1 := \frac{A_{S_{35_1_real}}}{A_{S_{35_calculo}}} = 73 \cdot \%$$

OPCIÓN 2:

$$\phi_{35_2} := 10 \cdot \text{mm} \quad n_{35_2} := 4 \quad A_{S_{35_2_real}} := \frac{n_{35_2} \pi \cdot \phi_{35_2}^2}{4} = 3.142 \cdot \text{cm}^2$$

$$CS2_2 := \frac{A_{S_{35_2_real}}}{A_{S_{35_calculo}}} = 114 \cdot \%$$

OPCIÓN 3:

$$\phi_{35_3} := 8 \cdot \text{mm} \quad n_{35_3} := 4 \quad A_{S_{35_3_real}} := \frac{n_{35_3} \pi \cdot \phi_{35_3}^2}{4} = 2.011 \cdot \text{cm}^2$$

$$CS2_3 := \frac{A_{S_{35_3_real}}}{A_{S_{35_calculo}}} = 73 \cdot \%$$

Se dispondrán un estribo doble con 4 ramas, con su centro de gravedad a 5 cm del exterior del paramento.

TIRANTE 2-4:

$$A_{S_{24_calculo}} := \frac{F_{42}}{-\sigma_{sd}} = 2.789 \cdot \text{cm}^2$$

$$\phi_{24} := 8 \cdot \text{mm} \quad n_{24} := 6 \quad A_{S_{24_real}} := \frac{n_{24} \pi \cdot \phi_{24}^2}{4} = 3.016 \cdot \text{cm}^2$$

$$CS3 := \frac{A_{S_{24_real}}}{A_{S_{24_calculo}}} = 108 \cdot \%$$

El tirante 2-4 representa una armadura distribuida en la sección D, cubren por la zona 2 estribos

B.3) Comprobación de nudos, anclajes y bielas (AO)

NUDO 4:

Debe de comprobarse que el nudo 4 está situado al menos a la mitad de la longitud de anclaje de la posición del tirante 3-5. Aquí se tiene la barra en posición II y con anclaje en prolongación recta.

OPCIÓN 1:

$$\phi := \phi_{14_1} = 10 \cdot \text{mm} \quad f_{yk} := f_y = 558 \cdot \text{MPa} \quad f_{ck} = 30 \cdot \text{MPa}$$

$$\beta := 1.00 \quad \text{Prolongación recta}$$

$$\text{pos} := 2$$

$$\alpha_{14_1} := \min\left(1, \frac{CS2_1}{CS1_1}\right) = 0.788 \quad \text{Coeficiente reductor por exceso de armadura dispuesta}$$

$$d_{5_1_minimo} := \frac{l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, \text{pos}, \beta, \alpha_{14_1})}{2} = 0.16 \text{ m}$$

$$CS4_1 := \frac{d_5}{d_{5_1_minimo}} = 95 \cdot \%$$

OPCIÓN 2:

$$\phi := \phi_{14_2} = 6 \cdot \text{mm} \quad f_{yk} := f_y = 558 \cdot \text{MPa} \quad f_{ck} = 30 \cdot \text{MPa}$$

$$\beta := 1.00 \quad \text{Prolongación recta}$$

$$\text{pos} := 2$$

$$\alpha_{14_2} := \min\left(1, \frac{CS2_2}{CS1_2}\right) = 1 \quad \text{Coeficiente reductor por exceso de armadura dispuesta}$$

$$d_{5_2_minimo} := \frac{l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, \text{pos}, \beta, \alpha_{14_2})}{2} = 0.12 \text{ m}$$

$$CS4_2 := \frac{d_5}{d_{5_2_minimo}} = 125 \cdot \%$$

OPCIÓN 3:

$$\phi := \phi_{14_3} = 6 \cdot \text{mm} \quad f_{yk} := f_y = 558 \cdot \text{MPa} \quad f_{ck} = 30 \cdot \text{MPa}$$

$$\beta := 1.00 \quad \text{Prolongación recta}$$

$$\text{pos} := 2$$

$$\alpha_{14_3} := \min\left(1, \frac{CS2_3}{CS1_3}\right) = 1 \quad \text{Coeficiente reductor por exceso de armadura dispuesta}$$

$$d_{5_3_minimo} := \frac{l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, \text{pos}, \beta, \alpha_{14_3})}{2} = 0.12 \text{ m}$$

$$CS4_3 := \frac{d_5}{d_{5_3_minimo}} = 125 \cdot \%$$

C.1) Esfuerzos en bielas y tirantes (Armado Inclinado -AI-)

Porcentaje de la carga exterior que se asigna al armado inclinado:

$$\text{reparto}_2 := 60\%$$

El ángulo del tirante inclinado es:

$$\alpha_{62} := \text{atan}\left(\frac{d_3 - d_1}{l_1 + d_4 + d_5 + d_6}\right) = 42.172^\circ$$

Y la fuerza a la que está sometido el tirante inclinado será:

$$F_{62} := \frac{-V_{\text{cont}} \cdot \text{reparto}_2}{\sin(\alpha_{62})} = -139.08 \cdot \text{kN}$$

Verificamos el equilibrio de fuerzas en el nodo 1:

$$C_{\text{cont}} \cdot \text{reparto}_2 + F_{62} \cdot \cos(\alpha_{12}) = 1.455 \times 10^{-14} \cdot \text{kN}$$

$$V_{\text{cont}} \cdot \text{reparto}_2 + F_{62} \cdot \sin(\alpha_{12}) = 1.455 \times 10^{-14} \cdot \text{kN}$$

Y en el nodo 2:

$$F_{c_cont_y} \cdot \text{reparto}_2 + F_{62} \cdot \sin(\alpha_{12}) = 2.91 \times 10^{-14} \cdot \text{kN}$$

$$T_{\text{cont}} \cdot \text{reparto}_2 - F_{c_cont_x} \cdot \text{reparto}_2 + F_{62} \cdot \cos(\alpha_{12}) = 4.366 \times 10^{-14} \cdot \text{kN}$$

C.2) Dimensionamiento de tirantes (AI)

TIRANTE 6-2 (Tirante inclinado):

$$A_{S_62_calculo} := \frac{F_{62}}{-\sigma_{sd}} = 2.493 \cdot \text{cm}^2$$

OPCIÓN 1 (Barras de refuerzo):

$$\phi_{62_1} := 12 \cdot \text{mm} \quad n_{62_1} := 2 \quad A_{S_62_real_1} := \frac{n_{62_1} \pi \cdot \phi_{62_1}^2}{4} = 2.262 \cdot \text{cm}^2$$

$$CS5_1 := \frac{A_{S_62_real_1}}{A_{S_62_calculo}} = 91\%$$

OPCIÓN 2 (Barras de refuerzo):

$$\phi_{62_2} := 12 \cdot \text{mm} \quad n_{62_2} := 2 \quad A_{S_62_real_2} := \frac{n_{62_2} \pi \cdot \phi_{62_2}^2}{4} = 2.262 \cdot \text{cm}^2$$

$$CS5_2 := \frac{A_{S_62_real_2}}{A_{S_62_calculo}} = 91\%$$

OPCIÓN 2 (Barras de refuerzo):

C.3) Comprobación de nudos, anclajes y bielas (AI)

NUDO 2:

Ángulo de doblado de la barra: $\alpha := 180^\circ - \alpha_{62} = 137.828^\circ$

Ángulo de apoyo de la biela: $\theta = 45^\circ$

OPCIÓN 1

$$a_{biela_V_1} := a_{CTT}(\alpha, \theta, r_{doblado}(\phi_{62_1})) = 0.039 \text{ m}$$

$$F_{\max_biela_V_1} := 0.6 \cdot f_{cd} \cdot a_{biela_V_1} \cdot b = 223.791 \cdot \text{kN}$$

$$CS6_1 := \frac{F_{\max_biela_V_1}}{F_{c_cont} \cdot reparto_2} = 169. \%$$

OPCIÓN 2

$$a_{biela_V_2} := a_{CTT}(\alpha, \theta, r_{doblado}(\phi_{62_2})) = 0.039 \text{ m}$$

$$F_{\max_biela_V_2} := 0.6 \cdot f_{cd} \cdot a_{biela_V_2} \cdot b = 223.791 \cdot \text{kN}$$

$$CS6_2 := \frac{F_{\max_biela_V_2}}{F_{c_cont} \cdot reparto_2} = 169. \%$$

OPCIÓN 3

$$a_{biela_V_3} := a_{CTT}(\alpha, \theta, r_{doblado}(\phi_{62_3})) = 0.033 \text{ m}$$

$$F_{\max_biela_V_3} := 0.6 \cdot f_{cd} \cdot a_{biela_V_3} \cdot b = 186.492 \cdot \text{kN}$$

$$CS6_3 := \frac{F_{\max_biela_V_3}}{F_{c_cont} \cdot reparto_2} = 141. \%$$

Debe disponerse en el doblado de la barra una barra transversal que reparta la acción de la biela:

$$\phi_{transv} := 12 \cdot \text{mm}$$

NUDO 1:

OPCIÓN 1:

El tirante inclinado necesita la siguiente longitud de anclaje neta:

$$\phi := \phi_{62_1} = 12 \cdot \text{mm} \quad f_{yk} := f_y = 558 \cdot \text{MPa} \quad f_{ck} = 30 \cdot \text{MPa} \quad pos := 1$$

$$l_{b_anclaje}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, pos) = 0.33 \text{ m}$$

$$\alpha := \min\left(1, \frac{A_{S_62_calculo}}{A_{S_62_real_1}}\right) = 1 \quad \text{Coeficiente reductor por exceso de armadura dispuesta}$$

$$\beta := 1.00$$

$$l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, pos, \beta, \alpha) = 0.33 \text{ m}$$

$$CS7_1 := \frac{40 \cdot \text{cm}}{l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, \text{pos}, \beta, \alpha)} = 119 \cdot \%$$

OPCIÓN 2:

El tirante inclinado necesita la siguiente longitud de anclaje neta:

$$\phi := \phi_{62_2} = 12 \cdot \text{mm} \quad f_{yk} := f_y = 558 \cdot \text{MPa} \quad f_{ck} = 30 \cdot \text{MPa} \quad \text{pos} := 1$$

$$l_{b_anclaje}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, \text{pos}) = 0.33 \text{ m}$$

$$\alpha := \min\left(1, \frac{A_{S_62_calculo}}{A_{S_62_real_2}}\right) = 1 \quad \text{Cociente entre armadura necesaria y armadura dispuesta}$$

$$\beta := 1.00$$

$$l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, \text{pos}, \beta, \alpha) = 0.33 \text{ m}$$

Se dispone una longitud a partir del comienzo del borde de apoyo de la biela de 40 cm, por lo que debería ser necesaria para anclar correctamente, aunque se encuentre doblada dicha barra. Se deberá poner una armadura transversal para garantizar el anclaje.

$$CS7_2 := \frac{40 \cdot \text{cm}}{l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, \text{pos}, \beta, \alpha)} = 119 \cdot \%$$

OPCIÓN 3:

El tirante inclinado necesita la siguiente longitud de anclaje neta:

$$\phi := \phi_{62_3} = 10 \cdot \text{mm} \quad f_{yk} := f_y = 558 \cdot \text{MPa} \quad f_{ck} = 30 \cdot \text{MPa} \quad \text{pos} := 1$$

$$l_{b_anclaje}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, \text{pos}) = 0.28 \text{ m}$$

$$\alpha := \min\left(1, \frac{A_{S_62_calculo}}{A_{S_62_real_3}}\right) = 1 \quad \text{Cociente entre armadura necesaria y armadura dispuesta}$$

$$\beta := 1.00$$

$$l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, \text{pos}, \beta, \alpha) = 0.28 \text{ m}$$

Se dispone una longitud a partir del comienzo del borde de apoyo de la biela de 40 cm, por lo que debería ser necesaria para anclar correctamente, aunque se encuentre doblada dicha barra. Se deberá poner una armadura transversal para garantizar el anclaje.

$$CS7_3 := \frac{40 \cdot \text{cm}}{l_{b_neta}(\phi, f_{yk}, f_{ck}, \text{pos}, \beta, \alpha)} = 143 \cdot \%$$

E) Carga de rotura estimada

OPCIÓN 1 (Fallo tirante vertical):

El coeficiente de seguridad existente es:

$$CS_1 := \min(CS1_1, CS2_1, CS3, CS4_1, CS5_1, CS6_1, CS7_1) = 73.0\%$$

La carga en el pórtico a aplicar para producir la rotura será:

$$P_{\max_1} := P_{\max_D} \cdot CS_1 = 218.19 \cdot \text{kN}$$

Se estima de manera simplificada el exceso de carga que puede absorberse suponiendo que el armado inclinado se lleve mayor cantidad de carga al estar sobredimensionado respecto al sistema ortogonal:

$$\zeta_1 := \frac{2CS5_1}{CS5_1 + \min(CS1_1, CS2_1)} = 1.11 \quad P_{\max_1_red} := \zeta_1 \cdot P_{\max_1} = 242.24 \cdot \text{kN}$$

OPCIÓN 2 (Fallo tirante horizontal):

El coeficiente de seguridad existente es:

$$CS_2 := \min(CS1_2, CS2_2, CS3, CS4_2, CS5_2, CS6_2, CS7_2) = 66.0\%$$

La carga en el pórtico a aplicar para producir la rotura será:

$$P_{\max_2} := P_{\max_D} \cdot CS_2 = 199.29 \cdot \text{kN}$$

Se estima de manera simplificada el exceso de carga que puede absorberse suponiendo que el armado inclinado se lleve mayor cantidad de carga al estar sobredimensionado respecto al sistema ortogonal:

$$\zeta_2 := \frac{2CS5_2}{CS5_2 + \min(CS1_2, CS2_2)} = 1.155 \quad P_{\max_2_red} := \zeta_2 \cdot P_{\max_2} = 230.13 \cdot \text{kN}$$

OPCIÓN 3 (Fallo equilibrado):

El coeficiente de seguridad existente es:

$$CS_3 := \min(CS1_3, CS2_3, CS3, CS4_3, CS5_3, CS6_3, CS7_3) = 63.0\%$$

La carga en el pórtico a aplicar para producir la rotura será:

$$P_{\max_3} := P_{\max_D} \cdot CS_3 = 189.06 \cdot \text{kN}$$

Se estima de manera simplificada el exceso de carga que puede absorberse suponiendo que el armado ortogonal se lleve mayor cantidad de carga al estar sobredimensionado respecto al sistema inclinado:

$$\zeta_3 := \frac{CS5_3 + \min(CS1_3, CS2_3)}{2CS5_3} = 1.027 \quad P_{\max_3_red} := \zeta_3 \cdot P_{\max_3} = 194.18 \cdot \text{kN}$$

E.3 Listados de cálculo – Nivel medio de cuantía de armado (ρ_2)

Región B de la viga (serie 2 - ρ_2) - dimensionam. E.L.U. y esfuerzos en secc. de continuidad (HORMIGÓN CONVENCIONAL)

Datos

Se trata de dimensionar el armado de la región central (región B) de la viga en cuyos extremos se pretenden ensayar los apoyos a media madera. Las características geométricas de la viga son las siguientes:

$$b := 0.25\text{m} \quad h := 0.60\text{m} \quad l_v := 3.00\text{m} \quad r_{\text{nom}} := 30 \cdot \text{mm}$$

Se emplea acero B500S, que tiene un límite elástico de 500MPa (se emplean los límites elásticos que usualmente se obtienen en estas barras):

$$f_y := 558\text{MPa} \quad \gamma_s := 1.00 \quad f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_s} = 558 \cdot \text{MPa}$$

El hormigón que se empleará es HA-30:

$$f_{ck} := 30\text{MPa}$$

Por tratarse de un ensayo de laboratorio se realizarán los cálculos con la resistencia media a compresión y sin coeficientes de seguridad de los materiales:

$$f_{cm} := f_{ck} + 8 \cdot \text{MPa} = 38 \cdot \text{MPa} \quad \gamma_c := 1.0$$

$$f_{cd} := \frac{f_{cm}}{\gamma_c} = 38 \cdot \text{MPa}$$

Las distintas resistencias a tracción especificadas en la EHE-08 serán:

$$f_{ct_m} := \begin{cases} 0.30 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{2}{3}} \text{MPa} & \text{if } f_{ck} \leq 50 \cdot \text{MPa} \\ 0.58 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} \text{MPa} & \text{otherwise} \end{cases} \quad f_{ct_m} = 2.896 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{ct_k} := 0.70 \cdot f_{ct_m} = 2.028 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{ct_m_fl} := \max \left[\left(1.6 - \frac{h}{1000 \cdot \text{mm}} \right) \cdot f_{ct_m}, f_{ct_m} \right] = 2.896 \cdot \text{MPa}$$

El peso específico del hormigón es: $\gamma_{\text{concr}} := 25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

- ESFUERZOS DEBIDOS AL ACTUADOR:

La carga para la que se dimensionará la viga será la carga máxima prevista en el apoyo a media madera

La carga prevista en el apoyo a media madera para la probeta más resistente de la segunda tanda de ensayos es:

$$V_{\max} := 300 \cdot \text{kN} \quad \text{Mayorándola para el cálculo en la viga: } V_{\max_d} := V_{\max} \cdot CS_{\text{viga}} = 330 \cdot \text{kN}$$

El ensayo se realiza disponiendo un apoyo intermedio en el lado de la viga que no se ensaya. La luz de dicho vano corto es la siguiente:

$$l_{ai} := 1.00 \cdot \text{m}$$

Los esfuerzos generados a lo largo de la viga serán:

$$M_{f_q}(x) := \begin{cases} V_{\max_d} \cdot x & \text{if } 0 \leq x < \frac{l_v}{2} \\ V_{\max_d} \cdot x - V_{\max_d} \cdot \left(1 + \frac{l_v}{2 \cdot l_{ai}}\right) \cdot \left(x - \frac{l_v}{2}\right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$V_q(x) := \frac{d}{dx} M_{f_q}(x)$$

$$l_{aux} := \frac{l_v}{2} + l_{ai}$$

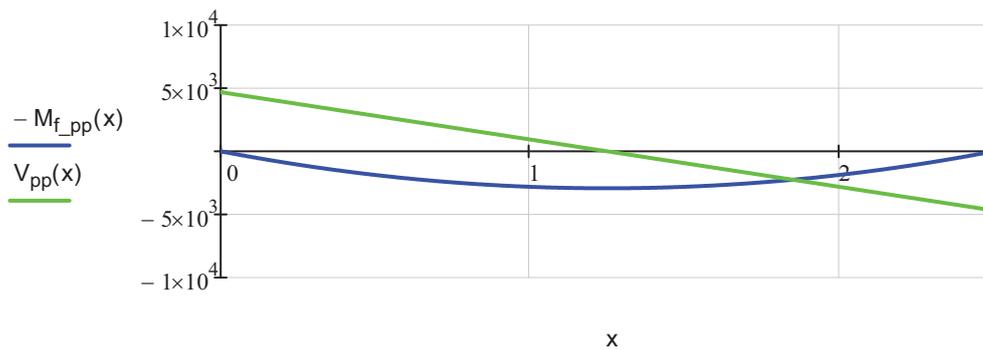


- ESFUERZOS DEBIDOS AL PESO PROPIO:

La carga repartida debida al peso propio es: $q := h \cdot b \cdot \gamma_{\text{concr}} = 3.75 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Dicha carga repartida genera los siguientes esfuerzos:

$$M_{f_pp}(x) := \frac{q \cdot l_{aux}}{2} \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2}$$



Como cabía esperar los esfuerzos debidos al peso propio son despreciables frente a la carga del actuador.

- ESFUERZOS TOTALES:

$$M_f(x) := M_{f_q}(x) + M_{f_pp}(x) \quad V(x) := V_q(x) + V_{pp}(x)$$

Los esfuerzos máximos, que serán los que se empleen para el dimensionamiento de la viga, se dan en la sección de aplicación de la carga:

$$V_d := \left| V \left(\frac{l_v}{2} - 0.1 \cdot m \right) \right| \quad V_d = 329.437 \cdot \text{kN} \quad \text{Cortante se toma en lado largo, ya que en lado corto hay descarga directa y no es válido el cálculo a cortante}$$

$$M_d := M_f \left(\frac{l_v}{2} \right) \quad M_d = 497.813 \cdot \text{m} \cdot \text{kN}$$

A) Dimensionamiento a flexión

- ARMADURA MÍNIMA MECÁNICA (Art. 42.3.2 EHE-08):

$$A_{S_inf_min_mec} := \frac{0.04 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}}{f_{yd}} \quad A_{S_inf_min_mec} = 4.086 \cdot \text{cm}^2$$

- ARMADURA MÍNIMA GEOMÉTRICA (Tabla 42.3.5 EHE-08):

Para acero de 500 MPa:

$$A_{S_inf_min_geo} := \frac{2.8}{1000} \cdot b \cdot h \quad A_{S_inf_min_geo} = 4.2 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{S_sup_min_geo} := 30\% \cdot A_{S_inf_min_geo} \quad A_{S_sup_min_geo} = 1.26 \cdot \text{cm}^2$$

DIMENSIONAMIENTO EN CENTRO DE LUZ:

$$M_d := M_d = 497.813 \cdot \text{m} \cdot \text{kN} \quad N_d := 0 \text{ kN}$$

Suponiendo que los diámetros de la armadura dispuesta fuesen los siguientes:

$$\phi_{trans} := 10 \cdot \text{mm} \quad \phi_{long} := 25 \cdot \text{mm}$$

El brazo mecánico de las armaduras será (en relación con la fibra superior de hormigón):

$$\text{armado superior } d' := r_{\text{mec}} \quad d' = 0.053 \text{ m}$$

$$\text{armado inferior } d := h - r_{\text{mec}} \quad d = 0.547 \text{ m}$$

La profundidad límite a partir de la cual la armadura inferior está plastificada será:

$$x_{\text{lim}_s} := \frac{d}{1 + \frac{f_{yd}}{700\text{MPa}}} \quad x_{\text{lim}_s} = 0.305 \text{ m}$$

Se determina el axil del hormigón en función de la profundidad de la fibra neutra, así como el momento del hormigón a la altura de la armadura inferior, será:

$$N_c(x) := f_{cd} \cdot (b \cdot 0.8 \cdot x)$$

$$M_{1c}(x) := N_c(x) \cdot (d - 0.4 \cdot x)$$

El momento del hormigón a la altura de la armadura inferior, para $x=x_{\text{lim}}$, será:

$$M_{1c_xlim} := M_{1c}(x_{\text{lim}_s})$$

Al no haber axil aplicado el momento actuante a la altura de la armadura inferior es igual al momento actuante en el centro de gravedad de la sección:

$$M_{1d} := M_d \quad M_{1d} = 497.813 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \leq M_{1c_xlim} = 985.502 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \rightarrow \text{Zona C} \rightarrow A_s' = 0$$

$$x_1 := \text{root}(M_{1d} - M_{1c}(x), x, -1 \cdot 10^{50} \text{ m}, x_{\text{lim}_s}) \quad x_1 = 0.132 \text{ m} \quad \text{Prof. de la fibra neutra}$$

Conocida la profundidad de la fibra neutra se determina la armadura inferior necesaria a partir de la ecuación de equilibrio de axiles:

$$A_s(x) := \frac{N_c(x)}{f_{yd}}$$

$$A_{s_inf_calc} := A_s(x_1) \quad A_{s_inf_calc} = 18.041 \cdot \text{cm}^2 \quad A_{s_sup_calc} := 0 \text{ cm}^2$$

La armadura a disponer será la obtenida por cálculo para el armado inferior y la armadura mínima geométrica para el armado superior:

$$A_{s_inf} := \max(A_{s_inf_calc}, A_{s_inf_min_mec}, A_{s_inf_min_geo}) \quad A_{s_inf} = 18.04 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s_sup} := \max(A_{s_sup_calc}, A_{s_sup_min_geo}) \quad A_{s_sup} = 1.26 \cdot \text{cm}^2$$

DISPOSICIONES DE ARMADO (Armadura base):

Dada la elevada cuantía de armadura inferior se dispone la siguiente armadura continua en toda la longitud de la viga:

$$\text{Inferior (4}\phi\text{25): } \phi_{inf} := 25 \cdot \text{mm} \quad n_{inf} := 4 \quad A_{s_inf_disponer} := \frac{n_{inf} \pi \cdot \phi_{inf}^2}{4} \quad A_{s_inf_disponer} = 19.63 \cdot \text{cm}^2$$

$$\text{Superior (2}\phi_{12}\text{): } \phi_{\text{sup}} := 12 \cdot \text{mm} \quad n_{\text{sup}} := 2 \quad A_{S_{\text{sup_base}}} := \frac{n_{\text{sup}} \pi \cdot \phi_{\text{sup}}^2}{4} \quad A_{S_{\text{sup_base}}} = 2.26 \cdot \text{cm}^2$$

La separación libre entre barras longitudinales será:

$$s_{\text{inf}} := \frac{b - 2r_{\text{mec}} - (n_{\text{inf}} - 1) \cdot \phi_{\text{inf}}}{(n_{\text{inf}} - 1)} \quad s_{\text{inf}} = 23 \cdot \text{mm} \quad \text{Valor ligeramente inferior al admisible}$$

$$s_{\text{sup}} := \frac{b - 2r_{\text{mec}} - (n_{\text{sup}} - 1) \cdot \phi_{\text{sup}}}{(n_{\text{sup}} - 1)} \quad s_{\text{sup}} = 133 \cdot \text{mm} \quad \text{Valor admisible (no requiere dos filas)}$$

Y los valores mínimos de la separación serán, considerando TMA := 20·mm :

$$s_{\text{inf_min}} := \max(20 \cdot \text{mm}, \phi_{\text{inf}}, 1.25 \cdot \text{TMA}) \quad s_{\text{inf_min}} = 25 \cdot \text{mm}$$

$$s_{\text{sup_min}} := \max(20 \cdot \text{mm}, \phi_{\text{sup}}, 1.25 \cdot \text{TMA}) \quad s_{\text{sup_min}} = 25 \cdot \text{mm}$$

No se requiere armadura de refuerzo a flexión

B) Dimensionamiento a cortante

- AGOTAMIENTO POR COMPRESIÓN OBLICUA DEL ALMA:

$$V_{u1} := 0.30 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d = 1.56 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Los cortantes actuantes son en todos los casos inferiores al cortante de agotamiento por compresión oblicua del alma que acabamos de calcular, por lo que RESISTE

- AGOTAMIENTO POR TRACCIÓN EN EL ALMA:

La resistencia de cálculo de la armadura transversal será:

$$f_{yd_90} := \min(f_{yd}, 400 \cdot \text{MPa}) = 400 \cdot \text{MPa}$$

El esfuerzo cortante efectivo se debe de medir a una distancia de un canto útil del borde del apoyo. En este caso es igual al esfuerzo cortante máximo puesto que no hay cargas repartidas:

$$V_{rd} := V_d = 329.437 \cdot \text{kN}$$

La cuantía geométrica de la armadura de tracción eficazmente anclada a más de un canto útil:

$$\rho_l := \min\left(0.02, \frac{A_{S_{\text{inf_base}}}}{b \cdot d}\right) = 0.014$$

$$\xi := \min\left(2, 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot \text{mm}}{d}}\right) = 1.604$$

La contribución del hormigón al agotamiento por tracción será:

$$V_{cu} := \frac{0.15}{\gamma_c} \cdot \xi \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{\frac{N}{\text{mm}^2}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{b}{\text{mm}} \cdot \frac{d}{\text{mm}} \cdot N = 115.435 \cdot \text{kN}$$

El armado transversal en toda la longitud de la viga debe de tener la siguiente capacidad mínima:

$$V_{su_min} := V_{rd} - V_{cu} = 214.003 \cdot \text{kN}$$

Lo cual se corresponde con la siguiente cantidad de armadura:

Se aproxima: $z := 0.9 \cdot d$

Estribos verticales: $\alpha := 90^\circ$

Ángulo de las bielas: $\theta := 45^\circ$

$$A_{\alpha_min} := \frac{V_{su_min}}{z \cdot \sin(\alpha) \cdot (\cot(\alpha) + \cot(\theta)) \cdot f_{yd_90}} = 10.858 \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

La disposición del armado anterior será:

Nº de ramas, $n_{trans_1} := 2$ $n_{trans_2} := 2$

Separación, $s_{trans_1} := 12.5 \cdot \text{cm}$ $s_{trans_2} := 12.5 \cdot \text{cm}$

Diámetro, $\phi_{trans_1} := 8 \cdot \text{mm}$ $\phi_{trans_2} := 6 \cdot \text{mm}$

$$A_{\alpha_real} := n_{trans_1} \cdot \frac{\pi \cdot \left(\frac{\phi_{trans_1}}{2} \right)^2}{s_{trans_1}} + n_{trans_2} \cdot \frac{\pi \cdot \left(\frac{\phi_{trans_2}}{2} \right)^2}{s_{trans_2}} = 12.566 \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Luego el armado a cortante serán dos estribos $\phi 8 + \phi 6 / 12,5 \text{ cm}$ (4 ramas en total)

E.4 Listados de cálculo – Nivel alto de cuantía de armado (ρ_1)

Región B de la viga (serie 2 - ρ1) - dimensionam. E.L.U. y esfuerzos en secc. de continuidad (HORMIGÓN CONVENCIONAL)

Datos

Se trata de dimensionar el armado de la región central (región B) de la viga en cuyos extremos se pretenden ensayar los apoyos a media madera. Las características geométricas de la viga son las siguientes:

$$b := 0.25\text{m} \quad h := 0.60\text{m} \quad l_v := 3.00\text{m} \quad r_{\text{nom}} := 30\text{mm}$$

Se emplea acero B500S, que tiene un límite elástico de 500MPa (se emplean los límites elásticos que usualmente se obtienen en estas barras):

$$f_y := 558\text{MPa} \quad \gamma_s := 1.00 \quad f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_s} = 558 \cdot \text{MPa}$$

El hormigón que se empleará es HA-30:

$$f_{ck} := 30\text{MPa}$$

Por tratarse de un ensayo de laboratorio se realizarán los cálculos con la resistencia media a compresión y sin coeficientes de seguridad de los materiales:

$$f_{cm} := f_{ck} + 8 \cdot \text{MPa} = 38 \cdot \text{MPa} \quad \gamma_c := 1.0$$

$$f_{cd} := \frac{f_{cm}}{\gamma_c} = 38 \cdot \text{MPa}$$

Las distintas resistencias a tracción especificadas en la EHE-08 serán:

$$f_{ct_m} := \begin{cases} 0.30 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{2}{3}} \text{MPa} & \text{if } f_{ck} \leq 50 \cdot \text{MPa} \\ 0.58 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} \text{MPa} & \text{otherwise} \end{cases} \quad f_{ct_m} = 2.896 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{ct_k} := 0.70 \cdot f_{ct_m} = 2.028 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{ct_m_fl} := \max \left[\left(1.6 - \frac{h}{1000 \cdot \text{mm}} \right) \cdot f_{ct_m}, f_{ct_m} \right] = 2.896 \cdot \text{MPa}$$

El peso específico del hormigón es: $\gamma_{\text{concr}} := 25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

- ESFUERZOS DEBIDOS AL ACTUADOR:

La carga para la que se dimensionará la viga será la carga máxima prevista en el apoyo a media madera

La carga prevista en el apoyo a media madera para la probeta más resistente de la segunda tanda de ensayos es:

$$V_{\text{meftb}} := 345.03 \cdot \text{kN}$$

Que se mayorará por el 20% de exceso que se obtiene en los ensayos respecto al modelo numérico, y se minorará por el exceso de límite elástico que se ha contemplado en esta tanda de modelizaciones numéricas respecto a la anterior:

$$V_{\text{max}} := V_{\text{meftb}} \cdot 1.2 \cdot \frac{558}{575} = 401.795 \text{ kN}$$

Destacar que la carga obtenida es exactamente el doble de la obtenida en el análisis experimental, habiéndose dispuesto justo el doble de armaduras.

Se mayorará la carga para el cálculo como región B: $V_{\text{max}_d} := V_{\text{max}} \cdot CS_{\text{viga}} = 441.974 \cdot \text{kN}$

El ensayo se realiza disponiendo un apoyo intermedio en el lado de la viga que no se ensaya. La luz de dicho vano corto es la siguiente:

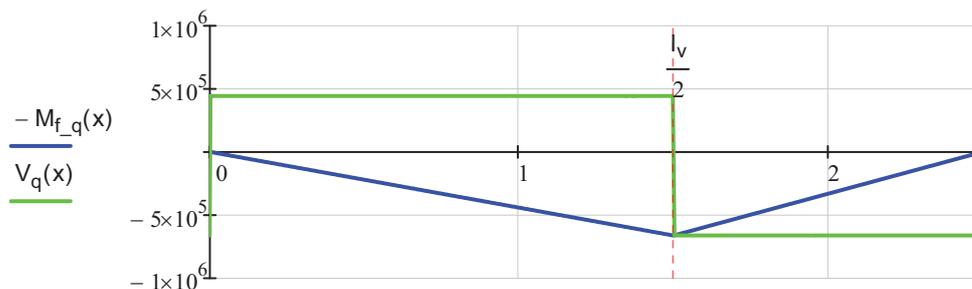
$$l_{\text{ai}} := 1.00 \cdot \text{m}$$

Los esfuerzos generados a lo largo de la viga serán:

$$M_{f_q}(x) := \begin{cases} V_{\text{max}_d} \cdot x & \text{if } 0 \leq x < \frac{l_v}{2} \\ V_{\text{max}_d} \cdot x - V_{\text{max}_d} \cdot \left(1 + \frac{l_v}{2 \cdot l_{\text{ai}}}\right) \cdot \left(x - \frac{l_v}{2}\right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$V_q(x) := \frac{d}{dx} M_{f_q}(x)$$

$$l_{\text{aux}} := \frac{l_v}{2} + l_{\text{ai}}$$



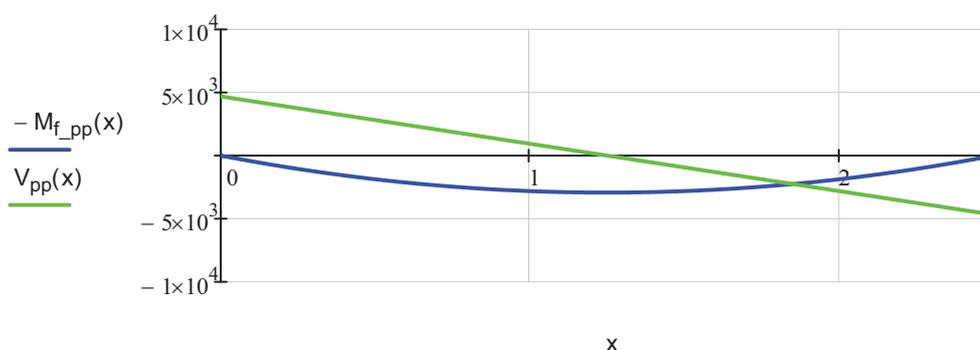
- ESFUERZOS DEBIDOS AL PESO PROPIO:

La carga repartida debida al peso propio es: $q := h \cdot b \cdot \gamma_{\text{concr}} = 3.75 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Dicha carga repartida genera los siguientes esfuerzos:

$$M_{f_pp}(x) := \frac{q \cdot l_{\text{aux}}}{2} \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2}$$

$$V_{pp}(x) := \frac{d}{dx} M_{f_pp}(x)$$



Como cabía esperar los esfuerzos debidos al peso propio son despreciables frente a la carga del actuador.

- ESFUERZOS TOTALES:

$$M_f(x) := M_{f_q}(x) + M_{f_pp}(x) \quad V(x) := V_q(x) + V_{pp}(x)$$

Los esfuerzos máximos, que serán los que se empleen para el dimensionamiento de la viga, se dan en la sección de aplicación de la carga:

$$V_d := \left| V \left(\frac{l_v}{2} - 0.1 \cdot \text{m} \right) \right| \quad V_d = 441.412 \cdot \text{kN} \quad \text{Cortante se toma en lado largo, ya que en lado corto hay descarga directa}$$

$$M_d := M_f \left(\frac{l_v}{2} \right) \quad M_d = 665.774 \cdot \text{m} \cdot \text{kN}$$

A) Dimensionamiento a flexión

- ARMADURA MÍNIMA MECÁNICA (Art. 42.3.2 EHE-08):

$$A_{S_inf_min_mec} := \frac{0.04 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}}{f_{yd}} \quad A_{S_inf_min_mec} = 4.086 \cdot \text{cm}^2$$

- ARMADURA MÍNIMA GEOMÉTRICA (Tabla 42.3.5 EHE-08):

Para acero de 500 MPa:

$$A_{S_inf_min_geo} := \frac{2.8}{1000} \cdot b \cdot h \quad A_{S_inf_min_geo} = 4.2 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{S_sup_min_geo} := 30\% \cdot A_{S_inf_min_geo} \quad A_{S_sup_min_geo} = 1.26 \cdot \text{cm}^2$$

DIMENSIONAMIENTO EN CENTRO DE LUZ:

$$M_d := M_d = 665.774 \cdot \text{m} \cdot \text{kN}$$

$$N_d := 0 \text{ kN}$$

Suponiendo que los diámetros de la armadura dispuesta fuesen los siguientes:

$$\phi_{trans} := 10 \cdot \text{mm} \quad \phi_{long} := 25 \cdot \text{mm}$$

El recubrimiento mecánico queda:

$$r_{mec} := r_{nom} + \phi_{trans} + \frac{\phi_{long}}{2} \quad r_{mec} = 52.5 \cdot \text{mm}$$

El brazo mecánico de las armaduras será (en relación con la fibra superior de hormigón):

$$\text{armado superior} \quad d' := r_{mec} \quad d' = 0.053 \text{ m}$$

$$\text{armado inferior} \quad d := h - r_{mec} \quad d = 0.547 \text{ m}$$

La profundidad límite a partir de la cual la armadura inferior está plastificada será:

$$x_{lim_s} := \frac{d}{1 + \frac{f_{yd}}{700 \text{ MPa}}} \quad x_{lim_s} = 0.305 \text{ m}$$

Se determina el axil del hormigón en función de la profundidad de la fibra neutra, así como el momento del hormigón a la altura de la armadura inferior, será:

$$N_c(x) := f_{cd} \cdot (b \cdot 0.8 \cdot x)$$

$$M_{1c}(x) := N_c(x) \cdot (d - 0.4 \cdot x)$$

El momento del hormigón a la altura de la armadura inferior, para $x=x_{lim}$, será:

$$M_{1c_xlim} := M_{1c}(x_{lim_s})$$

Al no haber axil aplicado el momento actuante a la altura de la armadura inferior es igual al momento actuante en el centro de gravedad de la sección:

$$M_{1d} := M_d \quad M_{1d} = 665.774 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \leq M_{1c_xlim} = 985.502 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \rightarrow \text{Zona C} \rightarrow A_S' = 0$$

$$x_1 := \text{root}(M_{1d} - M_{1c}(x), x, -1 \cdot 10^{50} \text{ m}, x_{lim_s}) \quad x_1 = 0.185 \text{ m} \quad \text{Prof. de la fibra neutra}$$

Conocida la profundidad de la fibra neutra se determina la armadura inferior necesaria a partir de la ecuación de equilibrio de axiles:

La armadura a disponer será la obtenida por cálculo para el armado inferior y la armadura mínima geométrica para el armado superior:

$$A_{S_inf} := \max(A_{S_inf_calc}, A_{S_inf_min_mec}, A_{S_inf_min_geo}) \quad A_{S_inf} = 25.2 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{S_sup} := \max(A_{S_sup_calc}, A_{S_sup_min_geo}) \quad A_{S_sup} = 1.26 \cdot \text{cm}^2$$

DISPOSICIONES DE ARMADO (Armadura base):

Dada la elevada cuantía de armadura inferior se dispone la siguiente armadura continua en toda la longitud de la viga:

Inferior (4φ25): $\phi_{inf} := 25 \cdot \text{mm}$ $n_{inf} := 4$ $A_{S_inf_base} := \frac{n_{inf} \pi \cdot \phi_{inf}^2}{4}$ $A_{S_inf_base} = 19.63 \cdot \text{cm}^2$

Superior (2φ12): $\phi_{sup} := 12 \cdot \text{mm}$ $n_{sup} := 2$ $A_{S_sup_base} := \frac{n_{sup} \pi \cdot \phi_{sup}^2}{4}$ $A_{S_sup_base} = 2.26 \cdot \text{cm}^2$

La separación libre entre barras longitudinales será:

$$s_{inf} := \frac{b - 2r_{mec} - (n_{inf} - 1) \cdot \phi_{inf}}{(n_{inf} - 1)} \quad s_{inf} = 23 \cdot \text{mm} \quad \text{Valor ligeramente inferior al admisible}$$

$$s_{sup} := \frac{b - 2r_{mec} - (n_{sup} - 1) \cdot \phi_{sup}}{(n_{sup} - 1)} \quad s_{sup} = 133 \cdot \text{mm} \quad \text{Valor admisible (no requiere dos filas)}$$

Y los valores mínimos de la separación serán, considerando TMA := 20·mm :

$$s_{inf_min} := \max(20 \cdot \text{mm}, \phi_{inf}, 1.25 \cdot \text{TMA}) \quad s_{inf_min} = 25 \cdot \text{mm}$$

$$s_{sup_min} := \max(20 \cdot \text{mm}, \phi_{sup}, 1.25 \cdot \text{TMA}) \quad s_{sup_min} = 25 \cdot \text{mm}$$

DISPOSICIONES DE ARMADO (Armadura de refuerzo):

Se deberá disponer la siguiente cantidad de armadura de refuerzo:

$$A_{S_inf} - A_{S_inf_base} = 5.564 \cdot \text{cm}^2$$

Ref. Inferior (4φ16): $\phi_{inf} := 16 \cdot \text{mm}$ $n_{inf} := 4$ $A_{S_inf_ref} := \frac{n_{inf} \pi \cdot \phi_{inf}^2}{4}$ $A_{S_inf_ref} = 8.04 \cdot \text{cm}^2$

Se dispone armadura en exceso puesto que esta armadura deberá disponerse en dos capas y no se ha calculado la pérdida de brazo mecánico que esto supone. Ahora debe de terminarse cuándo deja de ser necesaria esta armadura. Se supone una relación lineal entre el momento actuante y la armadura necesaria:

A esta longitud hay que sumarle la longitud de anclaje de la armadura a cada uno de los lados de la misma. En principio intentamos que el anclaje sea en prolongación recta:

$$l_{\text{anclaje}} := 40 \cdot \text{cm}$$

La longitud total del refuerzo resulta:

$$l_{\text{refuerzo}} := l_{\text{necesaria}} + 2 \cdot l_{\text{anclaje}} = 1.462 \text{ m}$$

Que queda suficientemente alejada del cambio de canto (54 cm), como para que el cambio en la geometría no influya en el comportamiento de las piezas. No resulta necesario por tanto disponer de un anclaje en patilla o con barra transversal soldada.

B) Dimensionamiento a cortante

- AGOTAMIENTO POR COMPRESIÓN OBLICUA DEL ALMA:

$$V_{u1} := 0.30 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d = 1.56 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Los cortantes actuantes son en todos los casos inferiores al cortante de agotamiento por compresión oblicua del alma que acabamos de calcular, por lo que RESISTE

- AGOTAMIENTO POR TRACCIÓN EN EL ALMA:

La resistencia de cálculo de la armadura transversal será:

$$f_{yd_90} := \min(f_{yd}, 400 \cdot \text{MPa}) = 400 \cdot \text{MPa}$$

El esfuerzo cortante efectivo se debe de medir a una distancia de un canto útil del borde del apoyo. En este caso es igual al esfuerzo cortante máximo puesto que no hay cargas repartidas:

$$V_{rd} := V_d = 441.412 \cdot \text{kN}$$

La cuantía geométrica de la armadura de tracción eficazmente anclada a más de un canto útil:

$$\rho_l := \min\left(0.02, \frac{A_{S_inf_base}}{b \cdot d}\right) = 0.014$$

$$\xi := \min\left(2, 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot \text{mm}}{d}}\right) = 1.604$$

La contribución del hormigón al agotamiento por tracción será:

$$V_{cu} := \frac{0.15}{\gamma_c} \cdot \xi \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{b}{\text{mm}} \cdot \frac{d}{\text{mm}} \cdot \text{N} = 115.435 \cdot \text{kN}$$

Lo cual se corresponde con la siguiente cantidad de armadura:

Se aproxima: $z := 0.9 \cdot d$

Estribos verticales: $\alpha := 90^\circ$

Ángulo de las bielas: $\theta := 45^\circ$

$$A_{\alpha_min} := \frac{V_{su_min}}{z \cdot \sin(\alpha) \cdot (\cot(\alpha) + \cot(\theta)) \cdot f_{yd_90}} = 16.539 \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

La disposición del armado anterior será:

Nº de ramas, $n_{trans} := 4$

Separación, $s_{trans} := 12.5 \cdot \text{cm}$

Diámetro, $\phi_{trans} := 8 \cdot \text{mm}$

$$A_{\alpha_real} := n_{trans} \cdot \frac{\pi \cdot \left(\frac{\phi_{trans}}{2}\right)^2}{s_{trans}} = 16.085 \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Luego el armado a cortante serán estribos $\phi 8 / 12,5 \text{ cm}$ (4 ramas)

$$\frac{A_{\alpha_min}}{A_{\alpha_real}} = 1.028$$

La armadura dispuesta es ligeramente inferior a la calculada. Se da por bueno dado que había una mayoración del 10% de la carga prevista y el modelo numérico no da plastificación de los estribos