

Laboratori de Tecnologia d'Estructures-Luis Agulló
Departament d'Enginyeria de la Construcció
Universitat Politècnica de Catalunya. BARCELONATECH

CENTRE INTERNACIONAL DE MÈTODES NUMÈRICS EN ENGINYERIA (CIMNE)

INFORME DE RESULTADOS. FABRICACIÓN Y
CARACTERIZACIÓN DE HORMIGONES H30 Y H50.

Barcelona, 17/04/2015

LTE/TGV/0415-24

Índex

1.	Introducción.....	2
2.	Equipo de trabajo	2
3.	Campaña experimental.....	2
4.	Dosificación y fabricación del hormigón.....	3
5.	Procedimientos de ensayo.....	4
4.1.	Determinación de la resistencia a compresión.....	4
4.2.	Determinación de la resistencia a tracción.....	5
4.3.	Determinación de la resistencia a cortante.....	5
4.4.	Determinación del módulo de elasticidad en compresión.....	6
4.5.	Determinación del gráfico tensión-deformación hasta rotura.....	7
6.	Resultados.....	8
5.1.	Hormigón H30.....	8
5.2.	Hormigón H50.....	9

Anejo. Ficha de ensayos

1. Introducción

En el presente documento se describen los procedimientos utilizados y resultados obtenidos en los ensayos realizados para la caracterización mecánica de dos hormigones de resistencias características a compresión de 30 MPa (H30) y 50 MPa (H50).

La caracterización mecánica de los hormigones ha consistido en la determinación de las resistencias a compresión, tracción indirecta y cortante, la determinación del módulo secante de elasticidad en compresión y la determinación del comportamiento tensión-deformación del material hasta rotura.

La fabricación de las muestras de ensayo y ejecución de los ensayos se ha realizado en el Laboratori de Tecnologia d'Estructures Luis Agulló (LTE).

2. Equipo de trabajo

Por parte del Laboratori de Tecnologia d'Estructures Luis Agulló (LTE), han participado en la realización de los trabajos:

- Tomàs Garcia, Director del Laboratori.
- Carlos Hurtado, Técnico de Laboratorio Grupo 2.
Participación en la fabricación de probetas, preparación de las muestras de ensayo y ejecución de los ensayos.
- Jordi Cabrerizo, Técnico de Laboratorio Grupo 3.
Participación en la preparación de muestras de ensayo.
- Robert M. Mc-Aloon, Técnico de Laboratorio Grupo 3.
Participación en la preparación de muestras de ensayo.

Asimismo, por parte del Centre Internacional de Mètodes Numerics en Enginyeria (CIMNE) ha realizado el seguimiento de la campaña experimental Ferran Arrufat.

3. Campaña experimental

En la tabla 1 se detallan los ensayos realizados para la caracterización del hormigón. Asimismo, en la fabricación de las muestras de ensayo, para la caracterización del hormigón en estado fresco, se determinó la consistencia mediante el ensayo de asentamiento (UNE-EN 12350-2) y su densidad (UNE-EN 12350-6).

Los ensayos de caracterización mecánica se han realizado después de completarse los 28 días de curado del hormigón. A modo de control, se han realizado determinaciones de la resistencia a compresión a edades más tempranas, con el objeto de verificar y validar la idoneidad de la dosificación utilizada en la fabricación de las muestras de ensayo antes de los 28 días.

Los procedimientos seguidos en los ensayos para la determinación de la resistencia a cortante y del gráfico tensión-deformación hasta rotura, que no han seguido una norma de referencia, se detallan en el apartado 4 del documento.

Tabla 1. Campaña experimental sobre hormigón endurecido

Parámetro	Dimensiones probeta (mm)	Norma de referencia	Edad	Determinaciones	
				H30	H50
Resistencia a compresión	Ø100x200	UNE-EN 12390-3	7	1	1
			20	1	***
			28	3	3
Resistencia a tracción indirecta	Ø100x200	UNE-EN 12390-6	28	3	3
Resistencia a cortante	Ø150x80	Ensayo Luong ⁽¹⁾	28-29	4	4
Módulo secante de elasticidad del hormigón	Ø100x200	UNE-EN 12390-13	29-30	3	3
Gráfico tensión-deformación hasta rotura	Ø100x200	Sin referencia ⁽¹⁾	30	2 ⁽²⁾	2 ⁽²⁾

(1) Descripción en el apartado 4.

(2) Seleccionadas de los ensayos de módulo de elasticidad.

4. Dosificación y fabricación del hormigón.

En la tabla 2 se especifica la composición de las dos mezclas de hormigón y los materiales utilizados. La tabla incluye la dosificación teórica para 1 m³ de hormigón y las cantidades utilizadas para la fabricación en laboratorio (volumen de 0,03 m³ de hormigón).

Para ambos hormigones se han utilizado los mismos materiales componentes excepto en el caso del cemento, para el H30 se ha utilizado un CEM II 42,5R mientras que para el H50 se ha preferido un CEM I 52,5R. Las relaciones agua/cemento (a/c) han sido de 0,6 para el H30 y 0,52 para el H50. Para alcanzar una consistencia blanda, se ha incorporado un aditivo superplastificante de alto rendimiento en contenidos de 0,49% y 0,68% respecto al peso de cemento para el H30 y H50 respectivamente.

Tabla 2. Dosificación del hormigón en kg

COMPONENTE	H50			H30		
	TIPO	1 m ³	0.03 m ³	TIPO	1 m ³	0.03 m ³
Cemento	CEM I 52,5R	320	9.6	CEM II 42,5R	290	8.7
Agua	Red BCN	165	4.95	Red BCN	175	5.25
Arena 0-2 mm	Caliza	105	3.15	Caliza	120	3.6
Arena 0-5 mm	Caliza	850	25.5	Caliza	860	25.8
Grava 5-12 mm	Caliza	100	3	Caliza	130	3.9
Grava 12-20 mm	Caliza	815	24.45	Caliza	820	24.6
Superplastificante	Glenium ACE 456	2.17	0.065	Glenium ACE 456	1.43	0.043
Suma		2357.17			2396.43	

La fabricación de las mezclas se ha realizado en una mezcladora de acción forzada Collomatic 65/2K-3 (figura 1). Se trata de un equipo móvil, de eje vertical, con capacidad de hasta 65 litros, y que dispone diferentes elementos para el mezclado que giran a diferentes velocidades:

- Rascador de borde: 31 r.p.m.
- Herramientas mezcladoras: dos a 120 r.p.m.



Figura 1. Equipo de amasado

La fabricación de las muestras de ensayo para la serie H30 y H60 se realizaron el 24 de febrero de 2015. El proceso de mezclado ha sido el siguiente:

- Incorporación del cemento y áridos al recipiente de la amasadora.
- Mezclado del cemento y áridos durante 30 s.
- Incorporación del agua, con el equipo en marcha, y mezclado 60 s.
- Incorporación del aditivo superplastificante, con el equipo en marcha, y amasado durante 60 s. más.

Para cada hormigón se han fabricado probetas $\varnothing 100 \times 200$ mm para los ensayos de compresión, tracción indirecta y módulo de elasticidad, y $\varnothing 150 \times 300$ mm para el de cortante. La compactación del hormigón se ha realizado mediante mesa vibratoria, realizándose el llenado del molde se ha realizado en 3 tongadas para la probeta $\varnothing 150 \times 300$ mm y en 2 tongadas para la $\varnothing 100 \times 200$ mm. Los ensayos para la determinación del comportamiento tensión-deformación hasta rotura se han realizado sobre las muestras fabricadas para la determinación del módulo de elasticidad.

Se ha procedido al desmoldado de las probetas a las 24 horas de la fabricación y su curado se ha realizado en cámara hasta el instante de ensayo.

5. Procedimientos de ensayo

4.1. Determinación de la resistencia a compresión

La resistencia a compresión se ha determinado según norma UNE-EN 12390-3:2009. *Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas.*

Los ensayos se han realizado sobre probeta cilíndrica de 100 mm de diámetro y 200 mm de longitud, y por tanto de esbeltez igual a 2. Realizándose un ajuste de la cara no moldeada mediante pulido.

Los ensayos se han realizado una máquina de ensayo marca Ibertest, modelo MEH 3000 W de hasta 3000 kN de capacidad y clase 0,5 según la norma UNE-EN-ISO-7500-1:2006.

4.2. Determinación de la resistencia a tracción

La resistencia a tracción se ha determinado según norma *UNE-EN 12390-6:2010. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 6: Resistencia a tracción indirecta de probetas*.

Los ensayos se han realizado sobre probeta cilíndrica de 100 mm de diámetro y 200 mm de longitud. Para un mayor control de la longitud de probeta, éstas se han rectificado mediante el pulido de la cara no moldeada.

Los ensayos se han realizado una máquina de ensayo marca Ibertest, modelo MEH 3000 W de hasta 3000 kN de capacidad y clase 0,5 según la norma UNE-EN-ISO-7500-1:2006.

4.3. Determinación de la resistencia a cortante

El procedimiento de ensayo para la determinación de la resistencia a cortante se ha basado en el propuesto por Luong M.P. (*Tensile and shear strengths of concrete and rock. Engineering Fracture Mechanics*, 35, pp. 127-135, 1990). Consiste en una muestra cilíndrica con entallas concéntricas en sus caras superior e inferior. La carga se aplica mediante compresión en uno de los extremos por la corona exterior y en la zona central por el otro, sometiéndose a un estado de cortante puro la sección cilíndrica comprendida entre las entallas (figura 2).

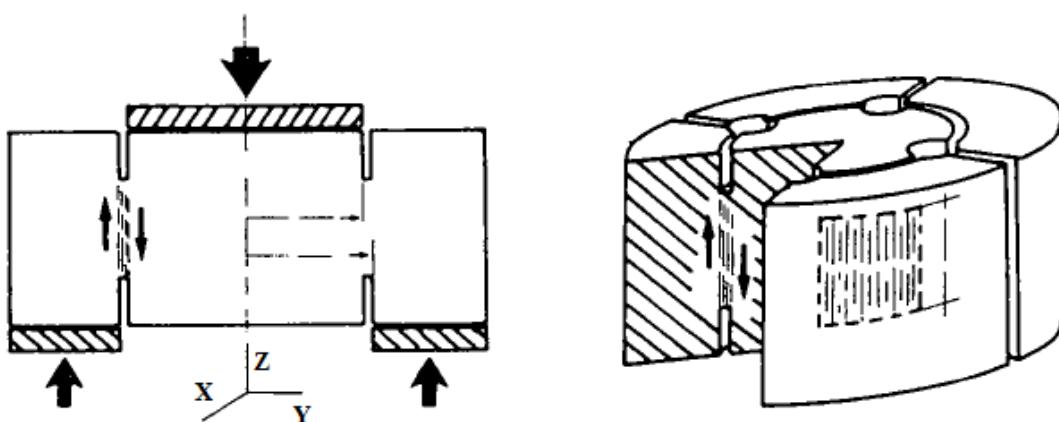


Figura 2. Configuración del ensayo a cortante de Luong.

Cabe mencionar, que en los valores de resistencia que se obtienen se ven influenciados por el ancho de la corona exterior. Ensayos realizados en el LTE visualizan que cuanto la resistencia a cortante es superior cuando mayor es la diferencia entre el diámetro de probeta respecto al de la entalla, comportamiento lógico ya que la sección sometida a cortante se encuentra más confinada.

Teniendo en cuenta estos aspectos y que el tamaño máximo de árido de los dos hormigones es 20 mm, se han considerado la siguiente configuración de muestra para esta campaña:

- Diámetro de la muestra de 150 mm
- Altura total de probeta H : 80 ± 2 mm aproximadamente
- Diámetro interior de las entallas \emptyset_{ENT} : 44-45 mm
- Ancho de la entalla: 3-4 mm.
- Profundidad de las entallas h : 10 ± 2 mm aproximadamente
- Altura de la sección sometida a cortante ($H_S = H - h_{SUP} - h_{INF}$): 60 ± 2 mm aproximadamente

Considerando las dimensiones de la probeta, la resistencia a cortante f_S se determina a partir de la fuerza máxima aplicada en el ensayo ($F_{S,max}$) según la siguiente expresión:

$$f_S = F_{S,max} / (\pi \cdot \emptyset_{ENT} \cdot H_S)$$

Los valores de H_S y \emptyset_{ENT} se han determinado para cada muestra ensayada.

Asimismo, en este mismo estudio se observó que la aplicación de la carga de forma concentrada en la sección sometida al cortante, presentaba menor dispersión en los resultados respecto a una aplicación de carga repartida en toda la corona exterior y zona central, tal y como se indica en la figura 1, por lo que se ha fijado este criterio para los ensayos:

- Disco exterior de carga de 48 mm de diámetro por 10 mm de ancho
- Disco interior de carga de 45 mm de diámetro por 10 mm de ancho.

Las muestras de ensayo se han obtenido mediante el corte con sierra de disco de una probeta $\emptyset 150 \times 300$ mm. Las caras cortadas se han ajustado mediante pulido y las entallas se han realizado utilizando una máquina saca-testigos con broca de diamante. Estas tareas se han realizado una vez superados los 10 días desde la fecha de fabricación.

Los ensayos se han realizado una máquina de ensayo marca Ibertest, modelo MEH 3000 W de hasta 3000 kN de capacidad y clase 0,5 según la norma UNE-EN-ISO-7500-1:2006. La aplicación de la fuerza se ha realizado utilizando un control por desplazamiento de pistón, a una velocidad constante de 0,2 mm/min.

4.4. Determinación del módulo de elasticidad en compresión

El módulo de elasticidad se ha determinado el procedimiento dado en la norma UNE-EN 83316:1996. *Ensayos de hormigón. Determinación del módulo de elasticidad en compresión*, para la obtención del módulo de elasticidad estático en compresión o, también conocido como módulo secante.

Según el procedimiento, se han realizado cuatro ciclos de carga y descarga (la norma indica un mínimo de 3) entre valores de tensión de 0,5 MPa y $f_{cm}/3$, siendo f_{cm} la resistencia a compresión media obtenida previamente. El módulo secante se ha obtenido de los valores de deformación del último ciclo.

La medida de la deformación longitudinal se realiza mediante un dispositivo (figura 3) formado por dos anillos libres fijados a la probeta en dos planos, separados 75 mm (base de medida) y longitudinalmente centrados en la probeta, mediante 3 puntos de contacto. Durante el ensayo se registra el desplazamiento relativo entre anillos causado por la deformación de la probeta.



Figura 3. Dispositivo para medida de la deformación longitudinal.

Los ensayos se han realizado una máquina de ensayo marca Ibertest, modelo MEH 3000 W de hasta 3000 kN de capacidad y clase 0,5 según la norma UNE-EN-ISO-7500-1:2006. Para la medida de la deformación se han utilizado 3 transductores de desplazamiento LVDT, marca Solartron modelo AX/5.0/S, de $\pm 1,5$ mm de rango de medida, repetibilidad inferior a 0,15 μm y linealidad inferior a 0,5% de la lectura o 1,5 μm (el mayor de los dos).

4.5. Determinación del gráfico tensión-deformación hasta rotura

La determinación del gráfico tensión-deformación hasta rotura se ha realizado mediante la ejecución de un ensayo de compresión durante el cual se ha medido la deformación de la probeta durante el ensayo. La compresión se realiza utilizando el control por desplazamiento (de pistón), lo que nos permite poder controlar el ensayo una vez superada la resistencia máxima de la probeta.

Se han realizado ciclos de carga-descarga con carga máxima incremental en cada ciclo. El proceso de carga realizado es el especificado en la tabla 3.

Tabla 3. Proceso de carga del ensayo

Paso	Descripción	Tensión inicial	Tensión final	Control	Velocidad	Tiempo
0	Pregarca	0	0,64 MPa			
1	Carga	0,64 MPa	30% fcm ⁽¹⁾	Fuerza	2 kN/s	
2	Mantenimiento carga	30% fcm ⁽¹⁾	30% fcm ⁽¹⁾	Fuerza		10 s
3	Descarga	30% fcm ⁽¹⁾	0,64 MPa	Fuerza	2 kN/s	
4	Mantenimiento descarga	0,64 MPa	0,64 MPa	Fuerza		10 s
5	Carga	0,64 MPa	50% fcm ⁽¹⁾	Fuerza	2 kN/s	
6	Mantenimiento carga	50% fcm ⁽¹⁾	50% fcm ⁽¹⁾	Fuerza		10 s
7	Descarga	50% fcm ⁽¹⁾	0,64 MPa	Fuerza	2 kN/s	
8	Mantenimiento descarga	0,64 MPa	0,64 MPa	Fuerza		10 s
9	Carga	0,64 MPa	60% fcm ⁽¹⁾	Fuerza	2 kN/s	
10	Mantenimiento carga	60% fcm ⁽¹⁾	60% fcm ⁽¹⁾	Fuerza		10 s
11	Descarga	60% fcm ⁽¹⁾	0,64 MPa	Fuerza	2 kN/s	
12	Mantenimiento descarga	0,64 MPa	0,64 MPa	Fuerza		10 s
13	Carga	0,64 MPa	70% fcm ⁽¹⁾	Fuerza	2 kN/s	
14	Mantenimiento carga	70% fcm ⁽¹⁾	70% fcm ⁽¹⁾	Fuerza		10 s
15	Descarga	70% fcm ⁽¹⁾	0,64 MPa	Fuerza	2 kN/s	
16	Mantenimiento descarga	0,64 MPa	0,64 MPa	Fuerza		10 s
17	Carga	0,64 MPa	80% fcm ⁽¹⁾	Desplazamiento	0,1 mm/min	
18	Mantenimiento carga	80% fcm ⁽¹⁾	80% fcm ⁽¹⁾	Desplazamiento		10 s
19	Descarga	80% fcm ⁽¹⁾	0,64 MPa	Fuerza	2 kN/s	
20	Mantenimiento descarga	0,64 MPa	0,64 MPa	Fuerza		10 s
21	Carga hasta rotura	0,64 MPa	Rotura	Desplazamiento	0,1 mm/min	

(1) fcm: resistencia a compresión media obtenida

La medida de la deformación longitudinal se ha realizado mediante el dispositivo definido en 4.4. Los ensayos se han realizado una máquina de ensayo marca Ibertest, modelo MEH 3000 W de hasta 3000 kN de capacidad y clase 0,5 según la norma UNE-EN-ISO-7500-1:2006. Para la medida de la deformación se han utilizado 3 transductores de desplazamiento LVDT, marca Solartron modelo AX/5.0/S, de $\pm 1,5$ mm de rango de medida, repetibilidad inferior a $0,15 \mu\text{m}$ y linealidad inferior a 0,5% de la lectura o $1,5 \mu\text{m}$ (el mayor de los dos).

6. Resultados

5.1. Hormigón H30

En la tabla 4 se detallan los distintos valores obtenidos en los ensayos sobre hormigón fresco y endurecido. Se incluyen los valores de cada determinación (x_i) así como los valores medios (x_m) y sus coeficientes de variación (C.V.). Más detalle de los distintos parámetros de caracterización mecánica pueden consultarse en los anejos adjuntos a la memoria. Los valores del módulo de elasticidad se han redondeado a la centena.

Tabla 4. Caracterización del hormigón H30

Propiedad	x_i	x_m	C.V.			
Consistencia del hormigón fresco	(150 mm)	***	***			
Densidad del hormigón fresco (kg/m ³)	2.410	***	***			
Resistencia a compresión, 7 días (MPa)	32,37	***	***			
Resistencia a compresión, 20 días (MPa)	35,74	***	***			
Resistencia a compresión, 28 días (MPa)	37,2	39,2	35,8	37,4	4,5 %	
Resistencia a tracción indirecta, 28 días (MPa)	2,73	3,01	3,42	3,05	11,2 %	
Resistencia a cortante, 28 días (MPa)	10,60	9,99	10,24	10,26	10,27	2,4 %
Módulo de elasticidad en compresión	35.500	35.500	34.900	34.600	3,0%	

En la figura 4 se ha graficado el comportamiento tensión-deformación hasta rotura de las dos muestras ensayadas.

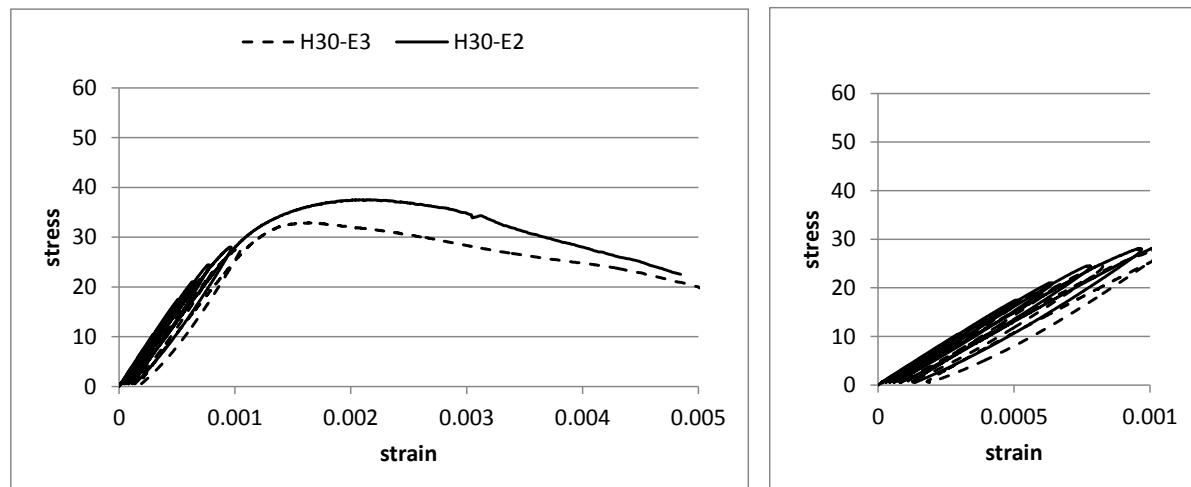


Figura 4. Comportamiento tensión-deformación hasta rotura del H30.

5.2. Hormigón H50

De forma análoga a la presentación de resultados del hormigón H30, en la tabla 5 se detallan los distintos valores obtenidos en los ensayos sobre hormigón fresco y endurecido. Más detalle de los distintos parámetros de caracterización mecánica pueden consultarse en los anejos adjuntos a la memoria.

Tabla 5. Caracterización del hormigón H50

Propiedad	x_i	x_m	C.V.			
Consistencia del hormigón fresco	(145 mm)	***	***			
Densidad del hormigón fresco (kg/m ³)	2.411	***	***			
Resistencia a compresión, 7 días (MPa)	49,24	***	***			
Resistencia a compresión, 28 días (MPa)	53,10	56,82	55,38	55,10	3,4%	
Resistencia a tracción indirecta, 28 días (MPa)	3,79	4,67	3,67	4,04	13,5%	
Resistencia a cortante, 28 días (MPa)	14,90	14,73	13,50	14,74	14,47	4,5%
Módulo de elasticidad en compresión	38.900	40.800	40.300	40.000	2,5%	

Por último, el comportamiento tensión-deformación hasta rotura se muestra en el gráfico de la figura 5.

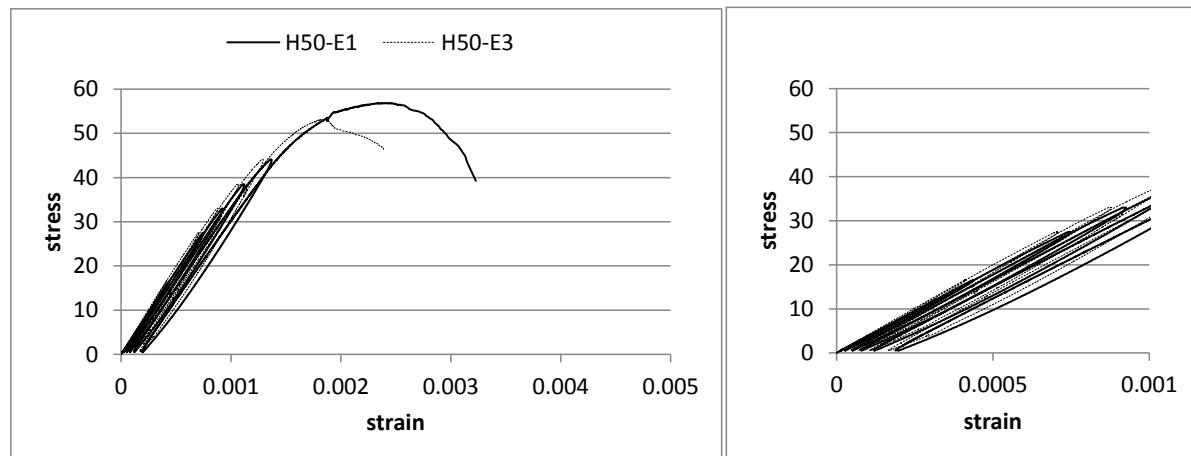


Figura 5. Comportamiento tensión-deformación hasta rotura del H50.

Barcelona, 30 de abril de 2015

El Director del LTE Luis Agulló



LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE ESTRUCTURAS
Dep. Ingeniería de la Construcción
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Tomàs Garcia



**Caracterización mecánica de
hormigones H30 y H50**

Fecha: 30/4/2015

Revisada por:
Tomàs Garcia

Peticionario:
CIMNE

Página: 1/10

Determinación de la resistencia a compresión:

Datos del ensayo

Referencia norma	UNE-EN 12390-3. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas.
Máquina de ensayo	Ibertest MEH 3000 W
Nº Fabricación	211778
Control de ensayo	Fuerza
Escala	1/1 (3000 kN) clase 1.
Velocidad	0,3 MPa/s
Registro deformación	No
Operador	Carlos Hurtado
Ajuste probeta	Pulido en la cara no moldeada

Resultados

Hormigón	H30					H50			
Muestra	C01	C02	C1	C2	C3	C01	C1	C2	C3
Fecha fabricación	24/2/15					24/2/15			
Fecha ensayo	3/3/15	16/3/15	24/3/15			3/3/15	24/3/15		
Edad (días)	7	20	28			7	28		
Fuerza máx. (kN)	254,24	280,40	292,25	307,53	280,92	386,74	417,06	446,28	434,95
Ø probeta (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Esbeltz	2	2	2	2	2	2	2	2	2
f _c probeta (MPa)	32,37	35,74	37,21	39,16	35,77	49,24	53,10	56,82	55,38
f _c media (MPa)	***	****	37,38			****	55,10		
Coef. Variación	****	****	4,5%			****	3,4%		



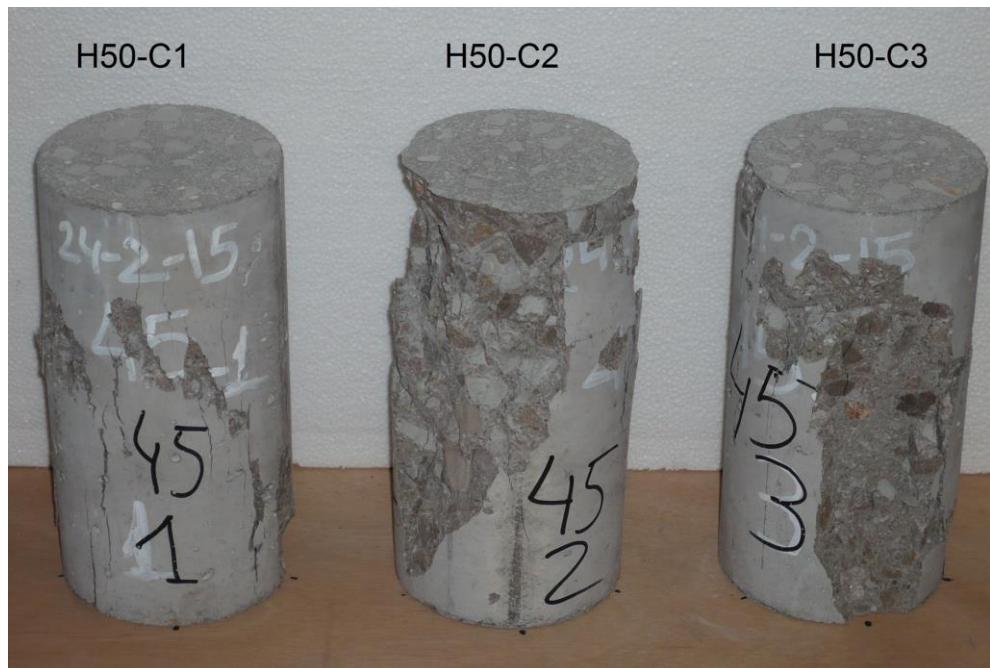
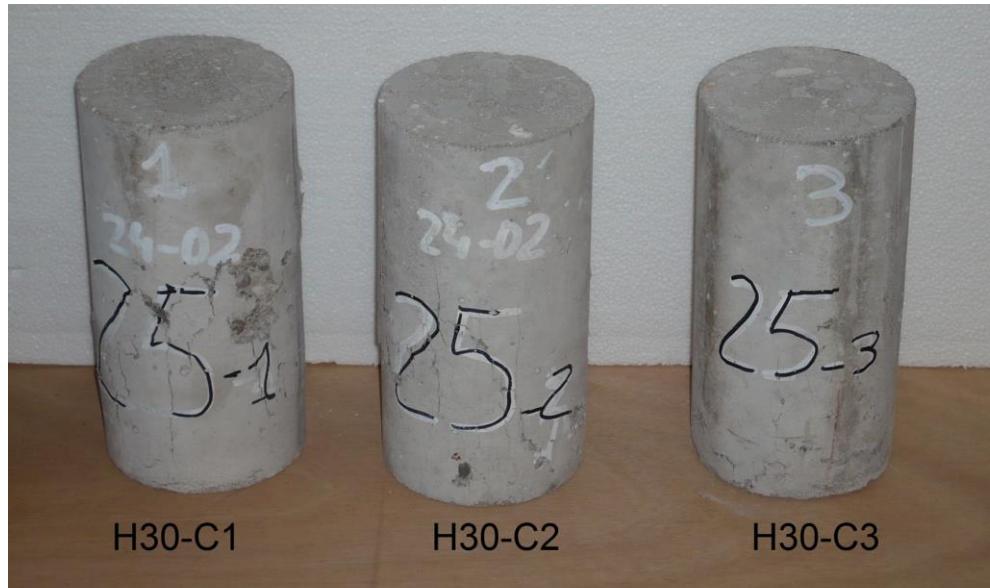
Caracterización mecánica de hormigones H30 y H50

Fecha: 30/4/2015

Revisada por:
Tomàs Garcia

Peticionario:
CIMNE

Página: 2/10



Detalle del modo de rotura de las muestras H30 (superior) y H50 (inferior)



**Caracterización mecánica de
hormigones H30 y H50**



Fecha: 30/4/2015

Revisada por:
Tomàs Garcia

Peticionario:
CIMNE

Página: 3/10

Determinación de la resistencia a tracción indirecta:

Datos del ensayo

Referencia norma	UNE-EN 12390-6. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 6: Resistencia a tracción indirecta de probetas.
Máquina de ensayo	Ibertest MEH 3000 W
Nº Fabricación	211778
Control de ensayo	Fuerza
Escala	1/1 (300 kN) clase 1.
Velocidad	1,57 kN/s
Técnico laboratorio	Carlos Hurtado
Ajuste probeta	Pulido en la cara no moldeada

Resultados

Hormigón	H30			H50		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Fecha fabricación	24/2/15			24/2/15		
Fecha ensayo	24/3/15			24/3/15		
Edad (días)	28	28	28	28	28	28
Fuerza máx. (kN)	85,54	94,22	104,84	116,24	145,74	114,10
Ø probeta (mm)	100	100	100	100	100	100
Altura probeta (mm)	199,2	199,2	195,4	195,4	198,8	198,1
f_{cti} probeta (MPa)	2,73	3,01	3,42	3,79	4,67	3,67
f_{cti} media (MPa)	3,05			4,04		
Coef. Variación	11,2%			13,5%		



Caracterización mecánica de hormigones H30 y H50

Fecha: 30/4/2015

Revisada por:
Tomàs Garcia

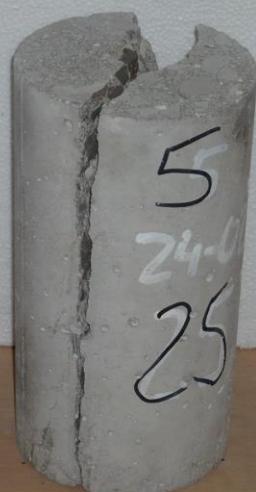
Peticionario:
CIMNE

Página: 4/10

H30-T1



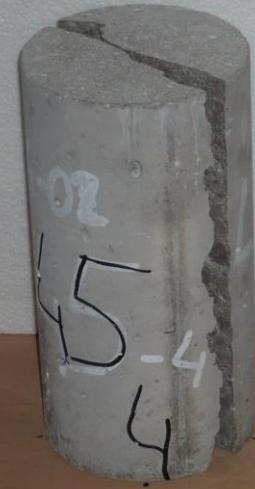
H30-T2



H30-T3



H50-T1



H50-T2



H50-T3



Detalle del modo de rotura de las muestras H30 (superior) y H50 (inferior)



**Caracterización mecánica de
hormigones H30 y H50**

Fecha: 30/4/2015

Revisada por:
Tomàs Garcia

Peticionario:
CIMNE

Página: 5/10

Determinación de la resistencia a cortante (ensayo Luong):

Datos del ensayo

Referencia norma	Sin norma de referencia	
Máquina de ensayo	Ibertest MEH 3000 W	
Nº Fabricación	211778	
Control de ensayo	Carrera	
Escala	1/1 (3000 kN) clase 1.	
Velocidad	0,1 mm/min	
Técnico laboratorio	Carlos Hurtado	

Resultados

Hormigón	H30				H50			
Muestra	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Fecha fabricación	24/2/15				24/2/15			
Fecha ensayo	24/3/15	24/3/15	24/3/15	25/3/15	25/3/15	25/3/15	25/3/15	25/3/15
Edad (días)	28	28	28	29	29	29	29	29
Fuerza máx. (kN)	90,74	84,40	85,41	89,73	127,60	127,16	117,11	129,29
Ø entalla1 (mm)	44,4	44,3	44,5	44,7	44,8	44,5	44,7	44,7
Altura probeta (mm)	81,3	80,4	80,2	80,7	80,9	80,9	80,7	80,2
Altura entalla 1 (mm)	10,0	10,7	11,1	9,4	10,1	9,8	8,8	8,5
Altura entalla 2 (mm)	9,9	9,1	9,4	9,1	9,9	9,3	10,2	9,3
Altura efectiva (mm)	61,4	60,7	59,7	62,3	60,9	61,8	61,8	62,5
f_s probeta (MPa)	10,6	9,99	10,24	10,26	14,90	14,73	13,50	14,74
f_s media (MPa)	10,27				14,47			
Coef. Variación	2,4%				4,5%			



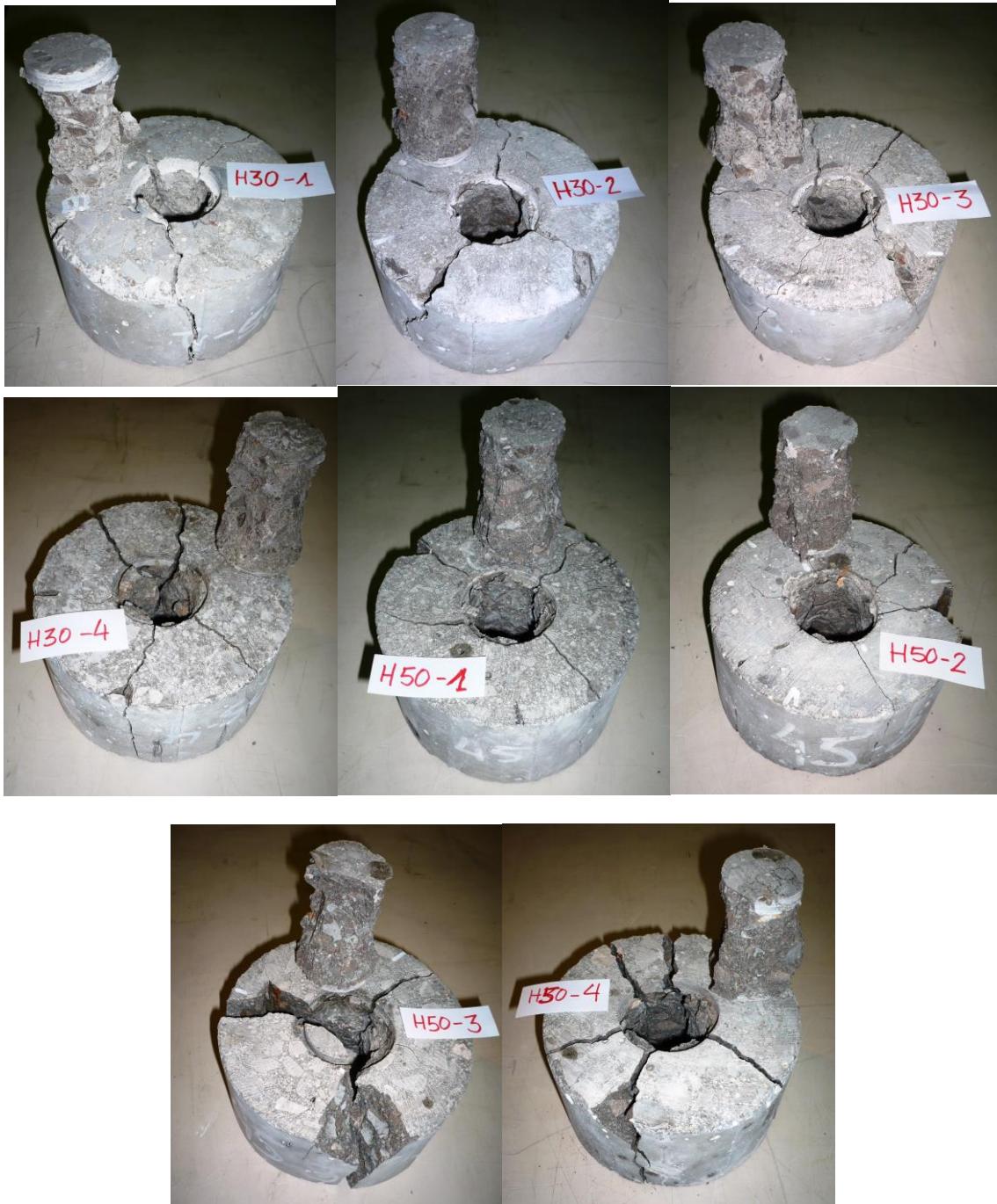
Caracterización mecánica de hormigones H30 y H50

Fecha: 30/4/2015

Revisada por:
Tomàs Garcia

Peticionario:
CIMNE

Página: 6/10



Detalle del modo de rotura de las muestras H30 (superior) y H50 (inferior)



**Caracterización mecánica de
hormigones H30 y H50**

Fecha: 30/4/2015

Revisada por:
Tomàs Garcia

Peticionario:
CIMNE

Página: 7/10

Determinación del módulo de deformación longitudinal:

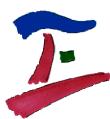
Datos del ensayo

Referencia norma	UNE 83316. Ensayos de hormigón. Determinación del módulo de elasticidad en compresión.
Máquina de ensayo	Ibertest MEH 3000 W
Nº Fabricación	211778
Control de ensayo	Fuerza
Escala	1/1 (3000 kN) clase 1.
Registro deformación	3 LVDT marca Solartron, modelo AX/5.0/S de rango $\pm 1,5$ mm, linealidad $<0,5\%$ o $1,5$ μm , repetibilidad $<0,15$ μm
Base de medida	75 mm
Técnico laboratorio	Carlos Hurtado
Ajuste probeta	Pulido en la cara no moldeada

Resultados

Hormigón	H30			H50			
Muestra	E1	E2	E3	E1	E2	E3	
Fecha fabricación	24/2/15			24/2/15			
Fecha ensayo	25/3/15	25/3/15	26/3/15	25/3/15	25/3/15	26/3/15	
Edad (días)	29	29	30	29	29	30	
Fuerza máx. ciclo (kN)	91,6			143,9			
Ø probeta (mm)	100	100	100	100	100	100	
Esbeltz	2	2	2	2	2	2	
E probeta (MPa)	33.518	35.497	34.873	38.895	40.773	40.314	
E media (MPa)	34.629			39.994			
Coef. Variación	2.9%			2,4%			
f _c probeta (MPa) ⁽¹⁾	***	37,52	32,91	56,86	***	53,13	

(1) Resultado obtenido para la determinación del comportamiento tensión-deformación hasta rotura



**Caracterización mecánica de
hormigones H30 y H50**

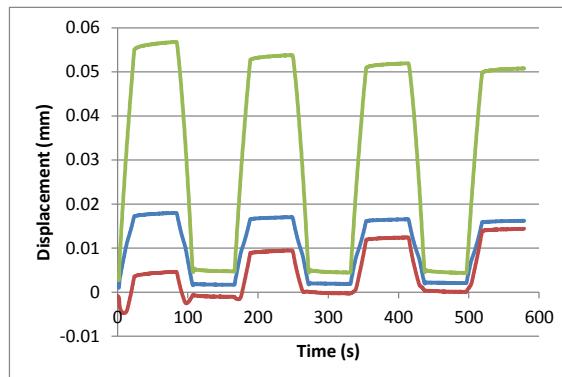
Fecha: 30/4/2015

Revisada por:
Tomàs Garcia

Peticionario:
CIMNE

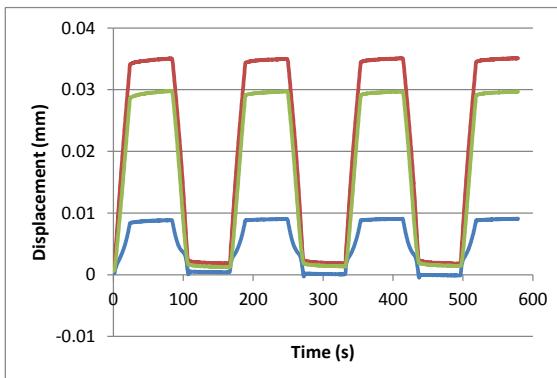
Página: 8/10

Registros desplazamiento absolutos del módulo de elasticidad longitudinal:



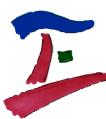
	F (kN)	σ (MPa)	e1 (mm)	e2 (mm)	e1 (mm)	ϵ
u	91.62	11.67	0.016	0.014	0.051	
0	3.94	0.50	0.002	0.000	0.004	
u-0	87.68	11.16	0.014	0.014	0.046	0.000333

Registros de deformación muestra H30-E1



	F (kN)	σ (MPa)	e1 (mm)	e2 (mm)	e1 (mm)	ϵ
u	91.62	11.67	0.009	0.035	0.030	
0	3.96	0.50	0.000	0.002	0.001	
u-0	87.66	11.16	0.009	0.033	0.028	0.000314

Registros de deformación muestra H30-E2



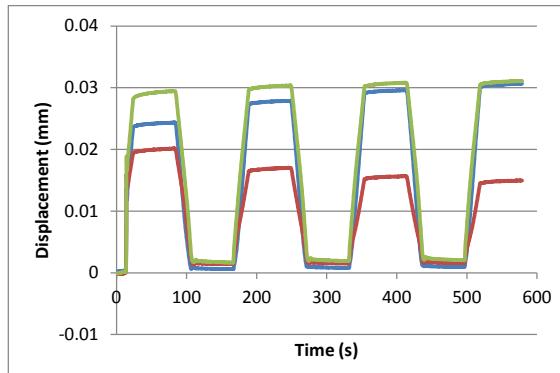
Caracterización mecánica de hormigones H30 y H50

Fecha: 30/4/2015

Revisada por:
Tomàs Garcia

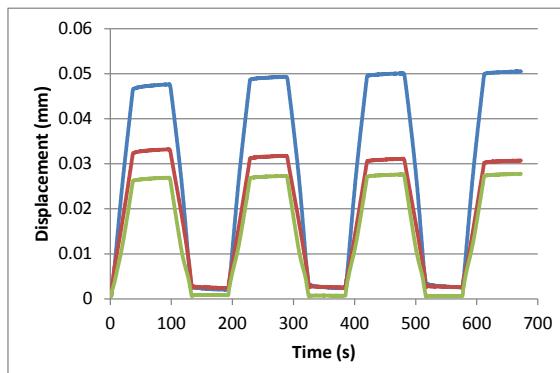
Peticionario:
CIMNE

Página: 9/10



	F (kN)	σ (MPa)	e1 (mm)	e2 (mm)	e1 (mm)	ε
u	91.60	11.66	0.031	0.015	0.031	
0	3.88	0.49	0.001	0.002	0.002	
u-0	87.72	11.17	0.030	0.013	0.029	0.000320

Registros de deformación muestra H30-E3



	F (kN)	σ (MPa)	e1 (mm)	e2 (mm)	e1 (mm)	ε
u	143.97	18.33	0.050	0.031	0.028	
0	3.90	0.50	0.003	0.003	0.001	
u-0	140.07	17.83	0.048	0.028	0.027	0.000459

Registros de deformación muestra H50-E1



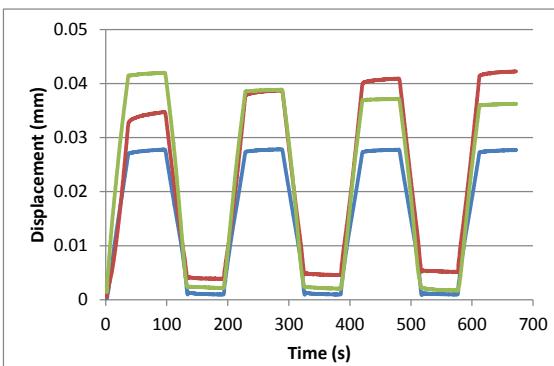
**Caracterización mecánica de
hormigones H30 y H50**

Fecha: 30/4/2015

Revisada por:
Tomàs Garcia

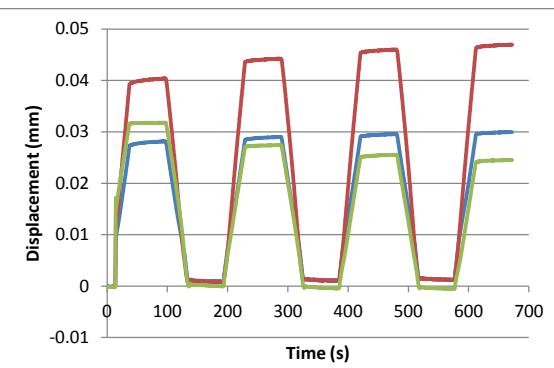
Peticionario:
CIMNE

Página: 10/10



	F (kN)	σ (MPa)	e1 (mm)	e2 (mm)	e1 (mm)	ε
u	143.95	18.33	0.028	0.042	0.036	
0	3.95	0.50	0.001	0.005	0.002	
u-0	140.00	17.83	0.027	0.037	0.035	0.000437

Registros de deformación muestra H50-E2



	F (kN)	σ (MPa)	e1 (mm)	e2 (mm)	e1 (mm)	ε
u	143.95	18.33	0.030	0.047	0.025	
0	3.90	0.50	0.001	0.001	-0.001	
u-0	140.05	17.83	0.029	0.046	0.025	0.000442

Registros de deformación muestra H50-E3