

FICHA DE RESULTADOS DE PROYECTOS

1. DATOS DEL PROYECTO

Título: Desarrollo nuevos forjados mixtos industrializados elaborados mediante Hormigones Ligeros Estructurales (HLE)

Investigador/a responsable (perteneciente al IUTA): Juan José del Coz Díaz

Tfno: 985 18 20 42

E-mail: Juanjo@constru.uniovi.es

Otros investigadores:

Felipe Pedro Álvarez Rabanal. Mar Alonso Martinez

Alfonso Lozano Martínez-Luengas.

Empresas o instituciones colaboradoras:

MODULTEC Modular Systems S.A. sita en el Polígono Industrial de Porceyo (Gijón), es una empresa que desarrolla proyectos de construcción y edificación industrializada, siguiendo un proceso de fabricación de edificios divididos en módulos autoportantes, que se ensamblan tanto horizontal como verticalmente hasta conformar una estructura concebida como un mecano, con los interiores totalmente equipados y terminados, y que se transporta hasta el terreno sobre el que se edificará. En todas estas estructuras, el uso de componentes estructurales de pared delgada resulta imprescindible, por lo que el interés del proyecto que se presenta es muy elevado. La colaboración de esta empresa estará dirigida hacia la recomendación de las secciones y solicitudes que sus componentes deben ser capaces de soportar en servicio, y prestará asistencia técnica en el caso de tener que llevar a cabo ensayos de alguno de estos componentes.

Por otro lado la empresa AST INGENIERIA S.L., ubicada en el Parque científico y Tecnológico de Gijón, es una sociedad de ingeniería, que centra su actividad en el desarrollo de proyectos mediante el uso de las tecnologías de simulación, con una clara orientación a la resolución de problemas industriales y la toma de decisiones de carácter marcadamente técnico, por lo que la participación en el presente proyecto se considera muy importante, al tener en cuenta fenómenos no lineales, de abolladura y pandeo que permitirán abordar el estudio de otros componentes más complejos con eficiencia. La colaboración con el presente proyecto se centrará en el asesoramiento y apoyo en todas las tareas de simulación que tengan que ser puestas en práctica para la consecución de los objetivos propuestos.

Finalmente la empresa WEBER, perteneciente a Saint Gobain (Grupo Cristalería Española), posee una importante red de distribución de materiales de construcción en nuestra región, especialmente en las principales fabricas de prefabricados de hormigón. Nuestro grupo de investigación lleva colaborando con esta importante multinacional desde el año 2000, y en este proyecto esta empresa colaboraría estrechamente con el equipo investigador en la definición de las dosificaciones más apropiadas para conseguir la resistencia necesaria en los hormigones ligeros reforzados con fibras, así como en el suministro de los áridos ligeros necesarios para el ensayo y análisis en nuestros laboratorios de la EPI de Gijón.

2. BREVE MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO

Resumen ejecutivo:

El desarrollo de forjados elaborados mediante Hormigones Ligeros y productos metálicos de pared delgada es un campo de investigación que posee muchas potencialidades, pues permite la industrialización de la construcción, con la consiguiente disminución de accidentes laborales, una mayor productividad y eficiencia energética, con un control de calidad del producto acorde con las

exigencias de los nuevos códigos de la construcción (CTE's). En esta línea de trabajo, en la cual el grupo solicitante ya lleva desarrollando productos durante varios años, el proyecto cuya financiación se solicita pretende profundizar en el conocimiento del comportamiento estructural de nuevos forjados mixtos constituidos por una sección metálica de pared delgada galvanizada (forjado perdido y armadura de tracción), así como un hormigón ligero que dota al elemento estructural de la resistencia a compresión. En este proyecto se abordarán dos aspectos fundamentales: por un lado, el desarrollo de modelos numéricos que permitan simular ensayos sobre las losas; por otro lado, desarrollo de ensayos a compresión sobre probetas de hormigón ligero que permitan obtener composiciones de este tipo de hormigón adecuadas para las losas a estudiar, logrando resultados apropiados de densidad y resistencia.

Objetivos inicialmente planteados:

Los objetivos de este proyecto han sido planteados como proyecto complementario de un proyecto nacional mucho más amplio (Plan Nacional BIA-2012-31609). Las principales tareas a desarrollar en este proyecto son:

1. Estudio de modelos de forjados mixtos elaborados mediante HLE (Hormigón Ligero Estructural). En este apartado el becario deberá de desarrollar y completar los modelos de elementos finitos y estudiar las variables del problema para su mejor comportamiento en servicio. Duración: dos meses.
2. Estudio paramétrico de las variables influyentes en el comportamiento estructural de los forjados mixtos, tales como: espesor del perfil, relación anchura-altura, dimensiones del hormigón, etc. En este apartado el becario, con ayuda del resto del equipo investigador, deberá realizar el diseño de experimentos (DOE) que nos permita estudiar la influencia de cada parámetro en el comportamiento en servicio del componente estructural, con el fin de cubrir todos los casos posibles que se puedan producir en su vida útil. Duración: tres meses.
3. Estudio paramétrico de las variables influyentes en el comportamiento estructural de los forjados, tales como: espesor del perfil, geometría, dimensiones del tirante, etc. En este apartado el becario, con ayuda del resto del equipo investigador, deberá realizar el diseño de experimentos (DOE) que nos permita estudiar la influencia de cada parámetro en el comportamiento en servicio del componente estructural, con el fin de abarcar todos los casos posibles que se puedan producir en su vida útil. Duración: tres meses.
4. Validación experimental. En base a los ensayos previos realizados por las empresas, así como la bibliografía existente, se validarán los modelos numéricos desarrollados en el ámbito del presente proyecto de investigación. El becario colaborará en ambos apartados. Duración: un mes.
5. Informe final y estudio de la estandarización del producto en series de trabajo, para los casos más frecuentes. Duración: un mes.

Estos objetivos fueron modificados posteriormente por dos motivos principales. Por un lado, la subvención del IUTA fue reducida a 5 meses. Y por otro lado, la evolución del proyecto principal (BIA-2012-31609) que condiciona notablemente el desarrollo de éste. En este sentido, los objetivos finalmente propuestos fueron los siguientes:

1. Desarrollo de modelos numéricos que estudien el comportamiento del contacto entre la chapa delgada y el hormigón. Estos modelos numéricos deben ser capaces de simular el ensayo pull-out con el fin de tener una buena herramienta de estudio de las variables principales que intervienen en el ensayo y la influencia de las mismas en el comportamiento del conjunto. Esta tarea tendrá una duración de 3 meses.
2. Desarrollo de probetas de hormigón ligero cuyas densidades deben ser inferiores a 2000 kg/m³ y que a su vez, puedan utilizarse como hormigones estructurales (pretensados o armados) los cuales requieren una resistencia mínima de 25 MPa. Este es un objetivo importante puesto que las composiciones actuales de HL no contemplan la posibilidad de su uso como hormigones estructurales. El estudio aquí presentado debe conseguir desarrollar

composiciones de hormigones ligeros con resistencias superiores a los 25 MPa. Para ellos se variarán las proporciones de árido, arena, cemento y agua hasta alcanzar valores aceptables. Esta tarea tendrá una duración entre 1 y 2 meses dependiendo de los resultados obtenidos en el transcurso de los ensayos.

3. Ensayos de probetas de hormigón. Las probetas de HLE realizadas mediante diferentes composiciones serán ensayadas a compresión con el fin de comprobar la resistencia de cada uno de los hormigones. De estos ensayos se extraerán aquellos que estando dentro de los límites de densidad ($d < 2000 \text{ Kg/m}^3$), cumplan también los límites de resistencia a compresión para hormigón estructural (25 MPa).

Grado de consecución de los objetivos planteados:

El período subvencionado por el IUTA ha sido reducido a 5 meses, frente a los 12 que habían sido solicitados. Por este motivo, los objetivos iniciales han sido también modificados con el fin de adecuarlos al proyecto finalmente concedido. En este sentido, los hitos marcados y llevados a cabo por el becario del IUTA han sido principalmente:

1. Se desarrollaron modelos numéricos de elementos finitos que simulan el comportamiento de la chapa delgada y el HLE en el ensayo pull-out. El ensayo pull-out determina la carga necesaria para separar la chapa delgada del hormigón, provocando así que estos no trabajen solidariamente.

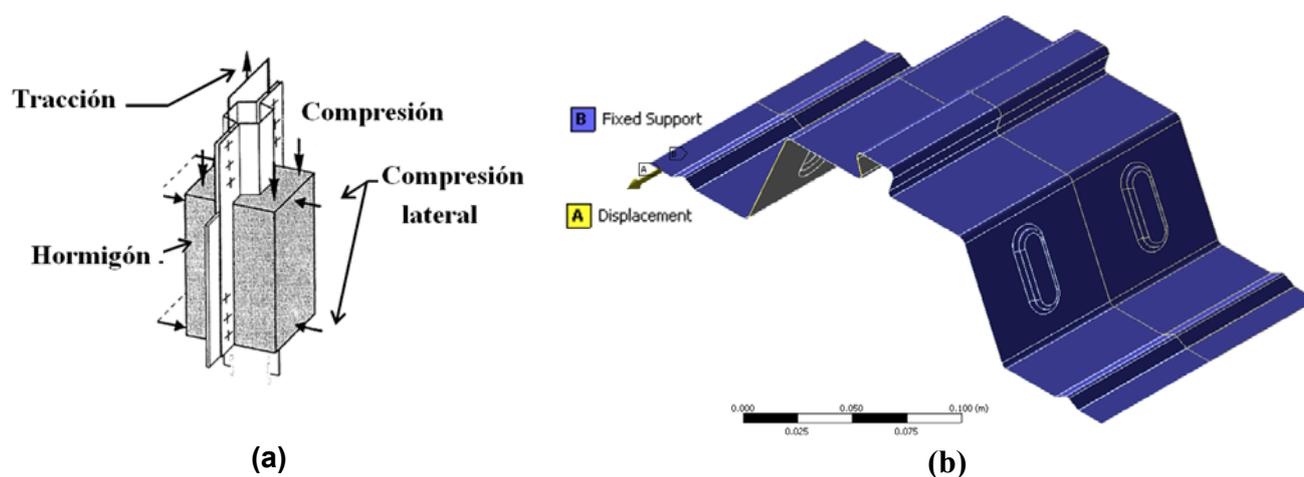


Figura 1. Ensayo pull-out: esquema del ensayo experimental (izquierda); condiciones de contorno y cargas aplicadas del modelo numérico (derecha).

Los modelos numéricos realizados han permitido conocer los estados de tensión y deformación en la chapa delgada al aplicar un desplazamiento que tiende a desplazar el hormigón.

2. Elaboración de probetas de hormigón combinando dos tipos de arcilla expandida, aren de sílice fina, cemento y fibra SIKA. Las características de los materiales utilizados son:
 - Arlita LECA Dur (Weber): 2-10 mm, densidad seca 350 Kg/m³
 - Arlita LECA S (Weber): 1-5 mm, densidad seca 430 Kg/m³
 - Arena de sílice: 0-2 mm, densidad seca 1600 Kg/m³
 - Cemento III/A 42.5 N/SR (Tudela Veguín): densidad seca 3000 Kg/m³
 - SIKA fiber T-48 (Sika): macro fibra de poliolefina.

Las probetas realizadas son de geometría cilíndrica de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, tal y como especifica la Norma correspondiente.

Se utiliza mesa de vibrado para el procedimiento de vibrado necesario, y se mantienen en el interior del molde durante 24 horas. Se realizan tres probetas de cada tipo de HLE.



Figura 2. Elaboración de las probetas. Procedimiento de vibrado (izquierda); tiempo de curado en molde de 3 muestras (derecha)

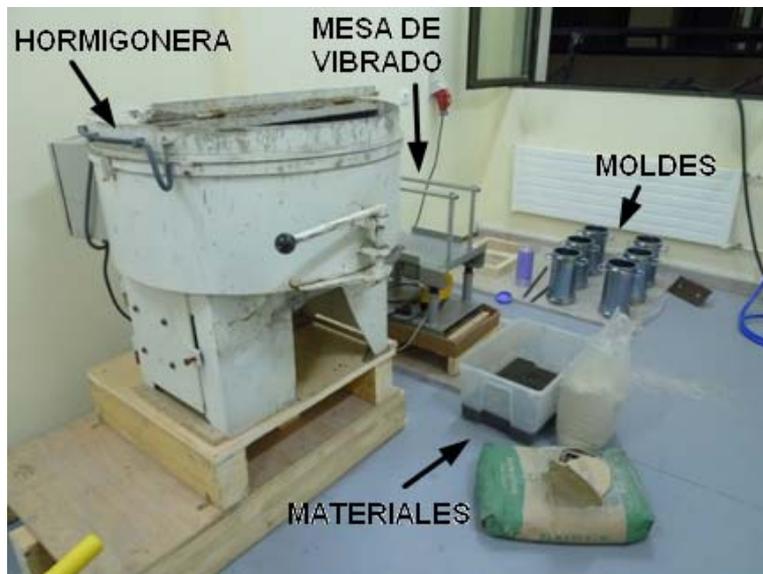


Figura 3. Imagen del laboratorio durante la elaboración de las probetas de hormigón.

Una vez realizadas las probetas de hormigón se introducen en una cámara higrotérmica durante 28 días bajo unas condiciones controladas de humedad y temperatura (más del 95% de humedad y 20°C de temperatura). Durante este tiempo, el HL adquiere sus propiedades resistentes.



Figura 4. Probetas de HLE en el interior de la cámara higrotérmica.

- Realización de los ensayos a compresión de las probetas de hormigón realizadas, una vez finalizado el proceso de secado. Para realizar los ensayos de compresión es necesario refrentar las probetas. El refrentado es un procedimiento que garantiza la perpendicularidad entre el eje de los cilindros y la cara superior de las mismas, que en su procedimiento de fabricación es enrasada de manera manual. El refrentado se realiza aplicando un recubrimiento de azufre líquido. El azufre se calienta y se vierte en un soporte o refrentador que garantiza la perpendicularidad al apoyar la probeta tanto lateral como verticalmente.



Figura 5. Proceso de refrentado: utensilios utilizados (izquierda); proceso de refrentado y probeta fina (derecha)

Tareas realizadas (indicando claramente la participación del personal becario en ellas):

El becario ha colaborado en todas las actividades descritas en este documento.

Con respecto a la actividad 1 en la que se desarrollaron los modelos numéricos de elementos finitos, el becario hizo un gran trabajo centrándose en el modelado geométrico paramétrico tridimensional de las chapas. Desarrolló los modelos de elementos finitos apoyándose en los investigadores expertos que intervienen en el proyecto y poseen gran experiencia en herramientas de simulación avanzadas. En este caso, el becario utilizó ANSYS Workbench y fue capaz de tomar contacto con herramientas de simulación numérica avanzadas completando así su formación superior.

Además, el becario colaboró en las tareas de laboratorio en las actividades 2 y 3. Por un lado, colaboró en la elaboración de las probetas de hormigón ligero adquiriendo experiencia en el proceso de fabricación del hormigón. Durante este proceso, el becario hizo un informe de metodología de elaboración de las probetas con el fin de homogenizar al máximo las tareas manuales y evitar cometer errores en el proceso si se cambian los operarios. El becario, además de colaborar en el proceso de fabricación de las probetas, ha desarrollado un manual en el que se recoge la metodología a seguir en el laboratorio para hacer este tipo de probetas.

Por último, el becario también colaboró en las tareas de refrentado y ensayo a compresión de las probetas de hormigón. En este sentido, el becario pudo comprobar los valores de resistencia a 28 días de las probetas que él mismo había fabricado, y comprobar si las dosificaciones calculadas están dentro de los rangos perseguidos o no.

Resultados obtenidos:

Los resultados obtenidos en las tareas realizadas por el becario se pueden diferenciar en dos bloques. Por un lado, los resultados correspondientes a los modelos numéricos realizados. Por otro lado, los resultados de los ensayos de resistencia a compresión a 28 días de las probetas de HLE.

En la Figura 6 se muestran los resultados de deformación de la chapa delgada obtenidos en la simulación numérica del ensayo pull-out. Estos resultados, a pesar de que parecen coherentes, deben ser comprobados con los resultados obtenidos en los ensayos experimentales pull-out que serán realizados en 2014. No obstante, el becario a conseguido desarrollar un modelo numérico del ensayo que es capaz de solucionar sin errores y permitirá, una vez validado, el estudio de la influencia de diferentes parámetros, tales como la geometría de la chapa, la altura, el espesor, etc, en el conjunto del forjado mixto.

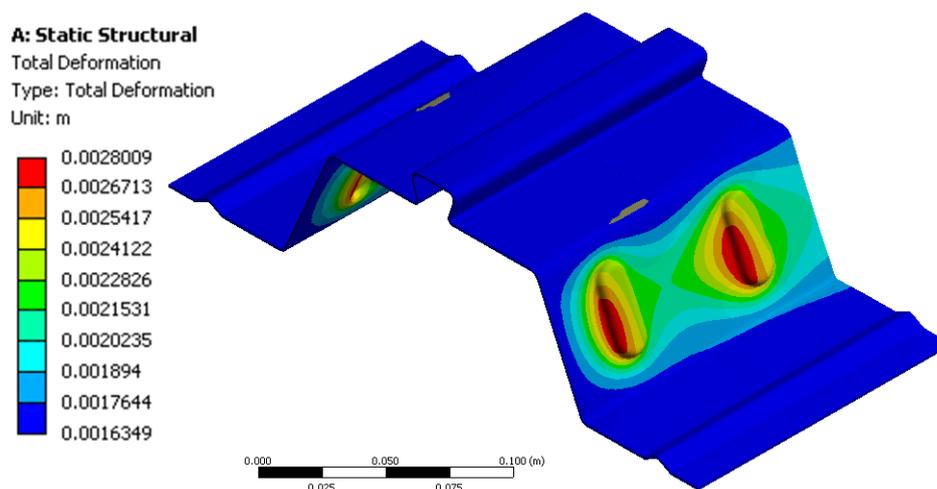


Figura 6. Resultados de deformación en la chapa delgada obtenidos en la simulación numérica.

Con respecto a los ensayos experimentales, los resultados obtenidos muestran cómo alguna de las dosificaciones realizadas no cumplen los mínimos de resistencia requerida. Serán válidas aquellas probetas cuya clase sea al menos HLE-25. El valor que se comprueba es el correspondiente a f_{ck} (resistencia característica) que es ligeramente inferior a la resistencia a 28 días obtenida en los ensayos. Tal y como se muestra en la Figura 7, solamente las primeras probetas cumplen los requisitos estructurales especificados por la Norma.

Identificador	Densidad (kg/m ³)	Res. 28 días (MPa)	$f_{ck} = f_{cm} - 8$ (MPa)	CLASE MPa
LS-1	1907	46.55	38.55	HLE-35
LS_6T48-1	1855	41.44	33.44	HLE-30
LDur-1	1915	36.23	28.23	HLE-25
LDur_6T48-1	1915	33.90	25.90	HLE-25
LS-2	1713	25.75	17.75	HLE-16
LDur-2	1776	25.21	17.21	HLE-16
LS-3	1668	26.63	18.63	HLE-16
LDur-3	1734	25.55	17.55	HLE-16
LS-4	1573	24.07	16.07	HLE-16
LDur-4	1643	25.48	17.48	HLE-16

Figura 7. Resultados obtenidos en los ensayos de rotura por compresión.

El becario no ha podido ensayar todas las probetas que fabricó puesto que es necesario que permanezcan durante 28 días en la cámara higrotérmica entre su fabricación y el ensayo a compresión. La duración de la beca le ha concedido al becario adquirir conocimientos tanto de simulación numérica como de tareas de laboratorio, alcanzando a comprender también la importancia de estipular y cumplir una metodología cuando se realizan ensayos de laboratorio específicos.

Divulgación de los resultados: deben indicarse publicaciones, ponencias en congresos, trabajos fin de carrera, patentes, jornadas divulgativas, etc.

El becario ha colaborado también en tareas de divulgación relacionadas con el trabajo que realizó durante su beca de investigación.

1. **“Nonlinear analysis of the pressure field in industrial buildings with curved metallic roofs due to the wind effect by FEM”**. Applied Mathematics and Computation 221 (2013) 202–213 (JCR 1.32). Cubierta curva de chapa delgada similar a la del forjado mixto estudiado.
2. **“Bridge-structure interaction analysis of a new bidirectional and continuous launching bridge mechanism”**. Engineering Structures, accepted, in press, doi: 10.1016/j.engstruct.2013.10.039 (JCR 1.35). Análisis no lineal con grandes desplazamientos y optimización.
3. **“The use of response surface methodology to improve the thermal transmittance of lightweight concrete hollow bricks by FEM”**. Construction and Building Materials, accepted, in press, doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.11.056 (JCR 1.83). Propiedades de los hormigones ligeros, algunos de los cuales han sido utilizados en este proyecto.
4. **“Properties of gypsum composites containing vermiculite and polypropylene fibers: Numerical and experimental results”**. Energy and Buildings, accepted, in press, doi:10.1016/j.enbuild.2013.11.047 (JCR 2.39). Propiedades de compuestos ligeros reforzados con fibras.

Trabajos futuros:

Como líneas futuras de investigación encontramos las siguientes:

1. Realización de ensayos Pull-Out y ensayos m-k de flexión de losas completas con las dosificaciones adecuadas de HLE obtenidas en los ensayos de rotura por compresión.
2. Ingeniería Híbrida: comparativa entre modelos numéricos y ensayos experimentales una vez que se hayan realizado los ensayos.
3. Utilizar el diseño de experimentos (DOE) para estudiar la influencia de cada parámetro en el comportamiento en servicio del componente estructural, con el fin de cubrir todos los casos posibles que se puedan producir en su vida útil.
4. Estudio de la posible patentabilidad de los resultados.

3. MEMORIA ECONÓMICA

Financiación		Personal	Inventariable	Fungible	Otros gastos
IUTA	SV-13-GIJÓN-1	3750 €	0 €	0 €	0 €
Otras fuentes	Referencia proyectos/contratos	BIA-2012-31609	0 €	0 €	0 €
Personal Becario	Nombre	Pablo Rocha García			
	Tareas	Investigación y apoyo de laboratorio.			
	Período	Marzo 2013 a Julio 2013 (5 meses)			