

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA AL FUEGO DE FORJADOS COLABORANTES DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL CON FIBRAS POLIMÉRICAS.

Juan Enrique Martínez Martínez¹; Juan José del Coz Díaz², Mar Alonso Martínez³; Felipe Pedro Álvarez Rabanal⁴

GICONSIME Research Group. University of Oviedo. web: <http://giconsime.grupos.uniovi.es/>.

1. : e-mail: quique@constru.uniovi.es
2. : e-mail: juanjo@constru.uniovi.es
3. : e-mail: mar@constru.uniovi.es
4. : e-mail: felipe@constru.uniovi.es

Resumen: El objetivo de este trabajo es mostrar el proceso de creación de una nueva línea de trabajo sobre la resistencia al fuego por el grupo de investigación GICONSIME de la Universidad de Oviedo a partir de la realización del proyecto PLAN NACIONAL BIA2012-31609.

La resistencia al fuego se evalúa mediante criterios normalizados estableciendo modelos de fuego recreados en hornos de forma que se consigue un escenario realista y sobre todo, reproducible de las condiciones de exposición. Además, los ensayos de resistencia al fuego se han de efectuar sobre elementos de construcción del mismo tamaño que la realidad.

Para la realización de ensayos normalizados de resistencia al fuego se ha diseñado y construido un horno, para lo que han sido necesarios diferentes estudios para optimizar dimensiones, principales elementos y modo de operación.

PALABRAS CLAVE: Forjados colaborantes, Hormigón ligero, Ensayo de resistencia al fuego, Ensayos estructurales.

1. ANTECEDENTES.

En la actualidad uno de los elementos más utilizados en la construcción en la UE, y que en los últimos años ha tenido un gran crecimiento, son los forjados mixtos de hormigón con chapa colaborante de acero (aproximadamente un 40% de los nuevos edificios que se construyen en la UE los utilizan). Pese a esta situación, en nuestro país la utilización de esta solución constructiva se focaliza en el ámbito industrial y en estructuras de edificación donde no es viable la ejecución de otro tipo de forjados. Uno de los factores más influyentes en su poca utilización es la escasa información disponible sobre sus propiedades térmicas, estructurales y de resistencia al fuego, así como la escasa tradición de construcción industrializada en nuestro país.

Desde el grupo de investigación GICONSIME de la Universidad de Oviedo se desarrolló un proyecto PLAN NACIONAL BIA2012-31609 en el que se estudiaron las propiedades de este tipo de forjados utilizando Hormigones Ligeros Estructurales (HLE).

Continuando la línea comenzada en el citado proyecto respecto al estudio de resistencia al fuego de elementos estructurales, GICONSIME ha creado una línea de investigación en este campo. A pesar de que la trayectoria de los autores en esta línea aún es corta, ya se han podido realizar estudios sobre losas mixtas, así como pruebas estructurales en otros materiales como uniones de madera.

El objeto de este artículo es describir el diseño y construcción del horno de ensayos de resistencia al fuego para elementos estructurales, considerando sus dimensiones, principales elementos y modo de operación. Asimismo, se incluirá una breve descripción de su puesta en funcionamiento con la realización de ensayos sobre losas mixtas colaborantes de HLE y acero.

1.1 DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL HORNO DE ENSAYO.

El diseño del horno se realizó dentro de las actividades del proyecto PN BIA2012-31609 antes referido. Además del diseño de un horno de ensayo que fuera capaz de cumplir con las especificaciones de la normativa internacional [1] y [2], también se llevó a cabo la fabricación y montaje del mismo, lo cual supuso una tarea ambiciosa debido a la complejidad de la instalación.

En primer lugar, se diseñó un pórtico de carga con la función de ser la estructura soporte del horno y que fuera capaz de absorber las cargas transmitidas por el actuador durante los ensayos. Utilizando uniones flexibles, se permitió la rotación de viga central del pórtico con el fin de facilitar el montaje y desmontaje de la tapa del horno y otros elementos, tales como losas, en su parte superior. También fue diseñada como elemento desmontable la parte frontal del horno, con el fin de permitir la realización de ensayos de resistencia al fuego sobre elementos verticales.

En segundo lugar, se realizaron medidas experimentales para conocer las propiedades térmicas de diferentes tipos de hormigones refractarios resistentes a altas temperaturas hasta alcanzar un diseño óptimo para las paredes y la solera del horno.

En tercer lugar, se simuló mediante elementos finitos el comportamiento térmico del horno empleando el software ANSYS (ver figura 1). Los modelos numéricos permitieron conocer la transmisión térmica, determinar el aislamiento necesario y estudiar el comportamiento del horno en diferentes condiciones de ensayo. Asimismo, se realizaron modelos CFD (Computation Fluid Dynamic) para conocer el flujo térmico en el interior del horno y diseñar el sistema de extracción de calor.

Finalmente se realizó el montaje y puesta en marcha de la instalación, algunas de cuyas fases pueden verse en la figura 2. En las imágenes de la figura 2 pueden verse diferentes vistas de la instalación terminada.

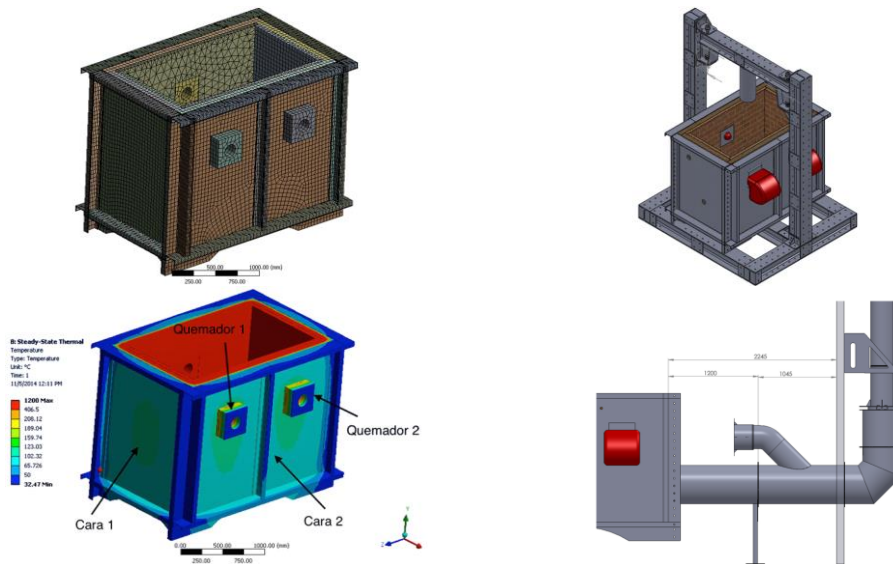


Figura 1. Modelos de elementos finitos del comportamiento del horno a 1200°C (izquierda) y diseño del conjunto de ensayo y del sistema de extracción de humos (derecha).



Figura 2. Montaje del horno de ensayo: (a) Capa de aislamiento con lana cerámica; (b) Detalle de acabado interior con ladrillo cerámico; (c) Vista frontal; (d) Vista posterior con salida de humos.

2. ESTUDIO EXPERIMENTAL

Actualmente se están realizando ensayos de resistencia al fuego sobre forjados mixtos colaborantes, compuestos de una chapa de acero y hormigón. Se está estudiando el comportamiento frente al fuego de cuatro dosificaciones de hormigón diferentes, una de hormigón normal (HN) y tres de hormigones ligeros reforzados con fibras de poliolefinas (HLE-23, HLE-28 y HLE-37), con el fin de determinar su resistencia siguiendo las indicaciones de las Normas UNE-EN 13381-5 [1] y UNE-EN 1363-1 [2].

2.1 MATERIALES UTILIZADOS.

Las losas mixtas estudiadas en este trabajo están compuestas fundamentalmente por chapa de acero delgada de 1 mm de espesor y hormigón, con unas dimensiones 2030x1120x160 mm. Las propiedades de los hormigones utilizados son las que se muestran en la tabla 1, y han sido determinadas mediante los ensayos UNE-EN 12390-3 [3] y UNE-EN 12390-13 [4]. Las propiedades mecánicas del acero que conforma la chapa grecada se han determinado mediante ensayo UNE-EN ISO 6892-1 [5], dando como resultados un Módulo de Young de 208GPa y un Coeficiente de Poisson de 0.31.

En la figura 4 se puede ver un detalle del proceso de fabricación de las muestras.

Tabla 1: Propiedades de los hormigones utilizados

Tipo de hormigón	Densidad (kg/m ³)	Resistencia característica a compresión (f_{ck} , Mpa)	Clase de resistencia a compresión	Módulo elástico (N/m ²)	Conductividad Térmica (W/m·K)
HLE-23	1875	25.60	LC 25/28	2.07E+10	1.37
HLE-28	1902	28.59	LC 25/28	2.16E+10	1.39
HLE-37	2010	30.22	LC 30/33	2.72E+10	1.47
HN	2435	36.97	C 30/37	4.57E+10	1.86



Figura 3. Detalle de la chapa de acero utilizada (izquierda) y fabricación de las losas mixtas (derecha).

2.2 EQUIPAMIENTO UTILIZADO.

Para medir la temperatura tanto en la superficie no expuesta del forjado como en las diferentes profundidades indicadas en la norma [1], se utilizan termopares de temperatura (0). Estos sensores se colocan en la misma posición para todas las losas estudiadas con el fin de comparar los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos.

La carga sobre las losas se aplica mediante un actuador sobre una viga transversal que permite el reparto uniforme de la carga (0).



Figura 4. Sensores de temperatura (izquierda) y aplicación y distribución de la carga (derecha).

Para conocer la variación de temperaturas en la superficie no expuesta de la losa ensayada se ha utilizado una cámara termográfica (0) que enfoca una sección transversal de la losa ensayada. En estas imágenes se muestra la influencia del espesor de hormigón en cada zona.



Figura 5. Detalle de la cámara termográfica empleada (izquierda) y visualización de la imagen térmica captada (derecha).

2.3 MÉTODOLÓGÍA DE ENSAYO Y RESULTADOS OBTENIDOS.

El procedimiento de ensayo seguido se basa en la normativa UNE-EN 13381-5 [1] y UNE-EN 1363-1 [2] que permite conocer el comportamiento de un elemento cuando está sometido a condiciones definidas de calentamiento. Estos ensayos permiten cuantificar la capacidad que tienen estos forjados mixtos de soportar la exposición a altas temperaturas bajo la acción de una carga. Esta fuerza representa un 60% del momento flector máximo resistente de rotura para cada una de las diferentes losas. Comentar también que los forjados colaborantes ensayados no presentaban ningún tipo de elemento de protección contra el fuego en su parte inferior.

En la tabla 2 se indican los resultados de resistencia al fuego obtenidos para estos elementos. Como se observa en dicha tabla, el comportamiento bajo condiciones de fuego de los forjados mixtos fabricados con HLE es muy similar al que presentan los hormigones normales.

A pesar de no disponer de protección contra el fuego, todos los forjados están cerca de cumplir con los 30 min de resistencia al fuego impuesto por el DB-SI del CTE [6].

Tabla 2: Resultados de los ensayos sobre forjados colaborantes

Tipo de hormigón	Razón de la finalización del ensayo	Tiempo (<i>min</i>)	Cumplimiento Normativa (<i>30 min</i>)
HLE-23	Supera flecha	25	NO
HLE-28	Supera flecha	26	NO
HLE-37	Supera flecha	27	NO
HN	Supera flecha	25	NO

3. LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.

El diseño de este horno permite estudiar la resistencia al fuego de elementos horizontales, tales como losas, así como de elementos estructurales verticales, pilares o muros. Por este motivo, entre las líneas futuras de este equipamiento se encuentra el estudio de resistencia al fuego de otros elementos y materiales tales como, vigas mixtas y uniones de madera

La metodología propuesta para el estudio de la resistencia al fuego se fundamentará en ingeniería híbrida, la cual consiste en la combinación de simulación numérica y ensayos experimentales.

4. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen la financiación parcial del Ministerio de Ciencia e Innovación a través del Proyecto del Plan Nacional BIA2012-31609 y el proyecto GRUPIN14-004, ambos cofinanciados con fondos FEDER, y del Excmo. Ayuntamiento de Gijón (Asturias) y del Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias (IUTA). Agradecer también a Weber Saint-Gobain e Hiansa S.A. por el apoyo técnico y los materiales aportados para la realización de las losas mixtas, a la empresa PRENOR S.L. por su colaboración en la fabricación de las mismas. Finalmente agradecer a Swanson Analysis Inc. por el uso de la versión universitaria de investigación del programa ANSYS v 16 en este trabajo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. UNE-EN 13381-5. Métodos de ensayo para determinar la contribución a la resistencia al fuego de elementos estructurales. Parte 5: Protección aplicada a elementos mixtos de hormigón/chapa de acero perfilada. *AENOR (2005)*
- [2]. UNE-EN 1363-1. Ensayos de resistencia al fuego. Parte 1: Requisitos generales. *AENOR (2016)*
- [3]. UNE EN 12390-3. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas. *AENOR (2009)*.
- [4]. UNE EN 12390-13. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 13: Determinación del módulo secante de elasticidad en compresión. *AENOR (2014)*.
- [5]. UNE-EN ISO 6892-1. Materiales metálicos. Ensayo de tracción. Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente. *AENOR (2010)*.
- [6]. DB-SI. Documento Básico. Seguridad en caso de Incendio. (2010)