

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El uso de materiales no convencionales en la construcción de sistemas estructurales, ha sido ampliamente estudiado durante los últimos años, con el propósito de implementar técnicas que permitan el desarrollo de construcciones más económicas y eficientes, que puedan ser aplicadas masivamente en futuras urbanizaciones y proyectos de edificación de índole social.

Con el fin de potenciar la aplicación y la construcción con estos materiales, e igualmente la combinación de materiales nuevos con los tradicionales, surge a través de la construcción prefabricada, sistemas constructivos por medio de paneles, cuya particularidad es el montaje por ensamble o fijación.

Los sistemas de construcción por montaje se introdujeron por primera vez en las obras de carácter industrial. Estas obras suelen ser de grandes dimensiones y con elementos que se repiten en gran número, donde la sencillez en el acabado y decorado constituyen un terreno abonado para las aplicaciones de la fabricación. Más tarde se alcanzó la construcción de viviendas a base de sistemas constructivos de grandes paneles, siendo comprobable en los últimos años un desarrollo muy rápido en las construcciones de viviendas, escuelas, y construcciones públicas. Según lo expresa el autor en [Koncz, 1978], por medio de la aplicación de sistemas constructivos por montaje se logran ventajas como:

Tiempos cortos de ejecución, ya que la duración de las obras se acorta, desaparecen los encofrados y andamios, son necesarios menos operarios, debido a que las piezas son producidas en el taller de fábrica, logrando de esta manera una mejora de la calidad con el auxilio de maquinaria adecuada para la fabricación de éstas. Todo lo anterior redundará en una reducción de costes, gracias al acortamiento notable de la duración de las obras. Por el contrario, el transporte de las piezas es más difícil de llevar a cabo que el de los materiales en la obra tradicional, también lo es el montaje y enlace de los elementos constructivos

para realizarlos de forma específica y bien hecha.

Se plantea entonces, cuales serian las condiciones un sistema de construcción “ideal”, debería poder desempeñar simultáneamente las misiones de portante y de cerramiento, con materiales que presten un aislamiento térmico y acústico adecuado, poderse unir de forma fácil y sencilla, además de poder ser transportado en grandes volúmenes a pie de obra sin mayores inconvenientes.

Surgen en este caso los sistemas de construcción prefabricada ligera, teniendo como base los paneles multicapa, comprendidos por tres capas dos de idénticas características y una intermedia a base de un material aislante. En este punto, es donde se enfoca el caso del sistema constructivo de paneles aligerados, en lo que se denomina como construcción prefabricada ligera y modular, que representan una alternativa nueva para el desarrollo de aplicaciones estructurales. En el mercado se ofrece con ventajas como:

- La rapidez de construcción. Adelantar en menor tiempo las obras, disminuyendo los costos de administración y mano de obra.
- La economía que se deriva del menor tiempo de construcción. Mano de obra especializada para lograr mayores rendimientos. Obtener menor desperdicio de materiales.
- Unas prestaciones mecánicas favorables o por lo menos competitivas con la construcción tradicional, además de la versatilidad para realizar cualquier tipo de proyecto.

Ahora bien, el sistema constructivo mencionado, está basado en la construcción de elementos (paneles) que actúan como muros autoportantes compuestos por una combinación de materiales. Cada panel se encuentra conformado por un alma de poliestireno expandido con una malla electrosoldada espacial tipo celosía. Luego de ser unidos entre sí hasta alcanzar las dimensiones requeridas, son terminados in-situ dependiendo de su aplicación, con mortero u hormigón proyectado en ambas caras del panel.

El aspecto que más interés presenta este tipo sistema constructivo, debido a la poca información existente, es el esclarecimiento del comportamiento de los paneles frente a distintas acciones mecánicas, con el propósito de caracterizar y establecer parámetros para el diseño e implementación en obra. El desconocimiento de un procedimiento y una metodología clara para el diseño de este tipo de elementos, limita su aplicación dentro del ámbito como un sistema constructivo estructural.

Por tal motivo se plantea la realización de la presente investigación, para estudiar la caracterización del elemento frente a distintas acciones mecánicas, utilizando una misma configuración de panel para aplicarlo como pared de carga o forjado. Esto con el fin de dar aplicabilidad al sistema constructivo en viviendas de una o más plantas.

1.2. OBJETIVOS DE LA TESIS

Este trabajo de investigación se plantea con el **objetivo principal** de estudiar y analizar el comportamiento estructural del sistema constructivo de paneles aligerados con poliestireno expandido y malla electrosoldada espacial, con el fin de obtener parámetros sobre su conducta y proponer una metodología para el cálculo estructural del panel.

Para ello, determinar sus propiedades físicas, mediante el uso de herramientas teóricas y experimentales, desarrollando técnicas de construcción para adecuar el sistema estructural a la normativa española vigente (EHE), ya que se encuentra fuera de ella.

El estudio está basado en la realización de campañas experimentales que proporcionan información acerca del comportamiento del panel, bajo ciertas condiciones de carga; compresión simple sobre muestras pequeñas y muestras esbeltas y flexión simple en forjados tamaño real y a escala reducida.

La información obtenida se utiliza para plantear una modelación numérica, que permita establecer el comportamiento a compresión y a flexión del panel, para finalmente proponer una formulación y un método para el cálculo estructural de este tipo de elementos.

Para lograr el objetivo general se plantean los siguientes **objetivos específicos**:

- En primera instancia, se pretende investigar y exponer los antecedentes de los sistemas constructivos prefabricados esbozando su evolución hasta la actualidad, la aplicación de los sistemas constructivos de paneles grandes, pequeños, hasta llegar a los sistemas constructivos livianos. Luego, puntualizar y profundizar en el sistema por medio de paneles aligerados con poliestireno expandido, en cada una de las aplicaciones que se tienen hasta el momento en diferentes países, para así esbozar la propuesta que se tiene para el análisis de éstos.
- Con posterioridad se estudian las aplicaciones del sistema constructivo, es necesario analizar la constitución del panel, caracterizando cada uno de los materiales que lo componen. Asimismo como punto de partida para el análisis estructural del panel, se identifican y estudian los materiales a usar posteriormente en un primer análisis mecánico.
- Por otro lado se pretende estudiar el comportamiento a compresión y a flexión del panel, para esto se analizan los resultados obtenidos en las diferentes campañas experimentales propuestas. De tal forma, que para poder predecir el comportamiento del panel frente a estas acciones, se plantee un modelo numérico, verificando su eficacia por medio de los resultados experimentales.
- Ahora bien, tomando como base el modelo numérico y los resultados experimentales, se propone una aproximación numérica para la estimación de la carga de rotura del elemento sometido a compresión e igualmente una formulación para el cálculo de la deformabilidad.
- Luego, el paso a seguir dentro del estudio del sistema constructivo, es la

elaboración de un procedimiento para el análisis y cálculo estructural del panel. Para comprobar la efectividad de la metodología propuesta, se quiere realizar una aplicación mediante un ejemplo de cálculo, para compararlo con los resultados obtenidos experimentalmente. Es de anotar, que todo lo anterior, se basa en la normativa Española vigente [EHE, 1999] con el fin de incorporar el cálculo dentro de los parámetros que ella establece.

- Como elementos de apoyo y para cerrar el procedimiento de cálculo, por último se quiere presentar una serie de tablas y figuras que de forma rápida y sencilla, se pueda realizar el diseño del panel dependiendo de la aplicación que se le quiera dar (horizontal o vertical).
- Finalmente, obtener conclusiones generales y específicas sobre el estudio realizado y sobre las propuestas efectuadas para el cálculo estructural del panel.

1.3. ESTRUCTURA DE LA TESIS

La tesis se estructura en nueve capítulos, en los cuales se desarrollan temas determinados, presentando los resultados obtenidos y el análisis de los mismos. Dentro de esta estructura la presente *introducción* corresponde al *capítulo 1*, en el cual se plantean los objetivos de la tesis y la razón de ser de la investigación.

Inicialmente se realiza un *estado del conocimiento*, *capítulo 2*, partiendo de la evolución de los sistemas constructivos en general y la aplicación de nuevos materiales no usados convencionalmente en la construcción tradicional. Se muestra el desarrollo de los sistemas constructivos prefabricados, las diferentes adaptaciones y modificaciones que se han realizado, hasta llegar a los sistemas prefabricados ligeros.

Es aquí donde se encuentra el sistema constructivo de paneles aligerados con poliestireno expandido y malla electrosoldada espacial, profundizando en las aplicaciones existentes hasta el momento en diferentes países, familias similares que permiten realizar una correlación. Para finalmente extraer una de las deficiencias que se presenta en estos sistemas constructivos. En la última parte del capítulo se recoge una valoración crítica del estado del conocimiento y se señalan las tendencias de la investigación actual.

A continuación, se realiza la *caracterización de los materiales* que componen el panel en el *capítulo 3*, donde se hace una descripción completa de cada uno de ellos. Posteriormente se efectúa la caracterización de los materiales a utilizar in-situ, es decir el mortero proyectado, preparando diferentes mezclas a analizar mediante los ensayos para probetas de morteros según la normativa vigente. Se acompañan cada uno de los materiales con los resultados obtenidos a través de las diferentes campañas experimentales.

En particular los materiales que se analizan en el capítulo mencionado son los que posteriormente se emplearán en las campañas experimentales a compresión sobre paneles (capítulo 4 y 5).

Tras llevar a cabo la identificación del material a utilizar en el panel, se plantea la campaña experimental sobre *paneles pequeños a compresión*, analizada en el *capítulo 4*,

Este capítulo tiene como finalidad, encontrar el material que mejores prestaciones presente actuando en conjunto con el panel (malla y EPS), para esto, dicha campaña se dividió en dos fases. La 1ª fase con el fin de establecer un orden de magnitud respecto al comportamiento a compresión del panel, utilizando como variable principal el mortero, realizando varias probetas (paneles) con diferentes mezclas.

La 2ª fase de ensayos, se diseñó con el fin de estudiar los posibles efectos de segundo orden que se puedan presentar en el panel a mayores cantos. Como variable principal en este caso es el espesor del poliestireno expandido (EPS) y la longitud de los conectores de la malla espacial.

El análisis de cada uno de los paneles se realiza mediante el planteamiento de un modelo numérico, tomando las mismas características de los paneles ensayados, para así corroborar los resultados de éste con los experimentales. A través del modelo planteado, igualmente se estudian diferentes casos, tomando variables como la separación entre conectores es decir modificando la malla que inicialmente lleva el panel, para ver su influencia dentro del comportamiento.

Finalmente y con base a todos los resultados obtenidos tanto experimental como numéricamente, se propone un modelo para la estimación de la carga de rotura del panel, definiendo su comportamiento a compresión con mayores espesores, utilizando lógicamente a normativa vigente [EHE,1999].

Dando continuidad al análisis del comportamiento del panel a compresión el **capítulo 5**, analiza el comportamiento de **paneles grandes a compresión**. En este caso cada panel tiene una altura habitual (real) y las variables de análisis son los posibles efectos de segundo orden que se puedan presentar en el elemento y la influencia del espesor del EPS panel dentro del comportamiento.

De la misma forma numéricamente se llevó a cabo el mismo análisis de los paneles ensayados experimentalmente, además se realizaron diferentes análisis más, con variables como la simetría entre capas de mortero. Esto con el fin de verificar el buen planteamiento del modelo y poder definir un comportamiento del panel.

Con ello finalmente abarcando todas las conclusiones obtenidas en los dos últimos capítulos, se propone una formulación para el cálculo de paneles a compresión, corroborada experimental y numéricamente.

El análisis del **comportamiento a flexión** del panel en el **capítulo 6**, es el siguiente paso del estudio del sistema en general, para esto se diseñó una campaña de ensayos sobre una losa fabricada con paneles aligerados y se midieron los movimientos horizontales y verticales para diferentes escalones de carga. Para el estudio a flexión al igual que el de compresión se plantea un modelo numérico que establezca este comportamiento, el cual se corrobora con los resultados experimentales obtenidos anteriormente. De esta manera se quiere predecir el comportamiento del panel, determinando deformaciones máximas en el centro del vano.

Finalmente y tomando como base los resultados experimentales y numéricos, se propone una formulación numérica para el cálculo a flexión del panel, definiendo

diferentes parámetros que en ella intervienen y que a lo largo del capítulo se establecen.

Con el fin de evitar un volumen extenso del estudio del comportamiento a flexión, éste se dividió en análisis experimental (capítulo 6) y análisis numérico, creando de esta manera el siguiente capítulo 7.

En el *capítulo 7*, como se menciona se continua con el *análisis a flexión del panel de forma numérica*, en él se lleva a cabo la aplicación de la formulación propuesta en el capítulo anterior al igual que del modelo numérico. Para este capítulo se diseñó una campaña experimental a flexión sobre varios paneles, interponiendo diferentes variables de análisis, como la incorporación del zuncho en los extremos y una armadura adicional a la malla del panel. De esta manera se corrobora el planteamiento anterior acerca a flexión del elemento y se deja zanjada toda interpretación frente a la deformabilidad.

Realizando una recopilación de todos los resultados obtenidos y del análisis efectuado anteriormente para cada una de las diferentes acciones, en el *capítulo 8* se expone la *metodología propuesta para el cálculo* de paneles aligerados con poliestireno expandido y malla electrosoldada espacial. Inicialmente se realiza una breve descripción del panel estudiado, las generalidades, y características geométricas. Se definen las acciones y coeficientes de seguridad aplicables a este según la normativa Española [EHE, 1999]

Posteriormente se especifica el procedimiento para el cálculo frente a las diferentes solicitaciones, estudiando cada una de ellas para luego verificar dicha metodología mediante un ejemplo de cálculo. Para este ejemplo se tomo como base los resultados obtenidos en la campaña experimental sobre un pórtico simple efectuado con paneles de este tipo, aplicando todo lo expuesto anteriormente. Por último se presentan como elementos de apoyo una serie de tablas y de graficas para de forma sencilla, realizar el diseño del panel a compresión y a flexión.

Finalmente en el *Capítulo 9*, se presentan las *conclusiones generales* según el objetivo general inicialmente trazado y las *conclusiones específicas* de este trabajo. A continuación, se presentan un panorama de las futuras líneas de investigación que se pueden plantear a partir de la realización de esta tesis e igualmente que permitan contribuir con el desarrollo y las ampliaciones de los procedimientos para el diseño de este tipo de paneles.

Las *referencias bibliográficas* se citan en la parte final de la presente tesis, debido a la puntualidad del tema existe una limitada bibliografía respecto al comportamiento mecánico de estos elementos. La información obtenida por parte de empresas similares que tienen un procedimiento y una aplicación similar del sistema es bastante ambigua y reducida. Por lo anterior no se realiza ningún tipo de comparación entre resultados y tanto el procedimiento seguido como el análisis llevado a cabo son de elaboración propia.

Como parte y complemento de esta tesis doctoral, se decidió incluir algunos anexos de temas importantes desarrollados a lo largo de este trabajo.

El *anexo A* recoge los elementos utilizados para el cálculo y análisis específicamente de los capítulos 6 y 7. En él se muestran las variables usadas y demás acciones consideradas dentro del desarrollo y ampliación del tema.

El *anexo B*, presenta el estudio realizado frente al posible efecto de rasante que se pudiera presentar en este tipo de paneles. Éste se llevó a cabo mediante la aplicación del modelo numérico establecido para el estudio del comportamiento a flexión, empleando diferentes tipos de acciones.

El *anexo C*, muestra el proceso constructivo para la puesta en obra del sistema, tanto para muros como para forjado. Finalmente se recogen algunos detalles constructivos, como uniones entre muros, muros con forjado, que pueden ser de gran utilidad en el momento de aplicar el sistema constructivo.

