

CAPÍTULO 4

COMPRESIÓN EN PANELES PEQUEÑOS

4.1. INTRODUCCIÓN

En la política de paso a paso establecida para esta tesis, tras la campaña de caracterización de los materiales y antes de analizar el comportamiento global de una estructura, se ha entendido oportuno estudiar el comportamiento de paneles pequeños a compresión. Los materiales empleados en los mismos son los resultantes del capítulo anterior.

Los **objetivos** del presente capítulo son:

- Conocer experimentalmente la resistencia a compresión del panel por medio de campañas de ensayos sobre paneles pequeños, analizando su comportamiento con diferentes variables, como son el espesor tanto de mortero como de poliestireno expandido (EPS), la longitud de los conectores, etc.
- Proponer una aproximación numérica para la estimación de la carga de rotura de los paneles, tomando como base los resultados de las campañas experimentales realizadas.
- Plantear un modelo de cálculo, que permita definir el comportamiento a compresión del panel, estableciendo diferentes variables y parámetros para un mejor desempeño del panel a compresión.

Con el fin de conocer en profundidad el comportamiento de estos paneles se ha trabajado en dos direcciones. Por un lado, en una amplia campaña experimental donde se analizan diferentes variables y por otro lado, mediante una modelación numérica en el ámbito lineal, mediante el programa estructural SAP 2000.

El correspondiente análisis comparativo permite hacer una propuesta de actuación cara al cálculo de paneles frente a este tipo de comportamiento.

La campaña experimental de laboratorio propuesta sobre paneles pequeños está dividida en dos fases. **Una 1ª fase de ensayos**, realizada en los meses de julio a septiembre de 2002, encaminada a determinar un orden de magnitud en cuanto a la resistencia a compresión del panel. Para llevarla a cabo se utilizaron las diferentes pastas de mortero descritas en el capítulo anterior, identificando la mezcla más apropiada para el trabajo en conjunto con el panel (EPS + malla), ésta es la variable principal a analizar en la 1ª fase.

La 2ª fase de ensayos, realizada en los meses de noviembre de 2003 a febrero de 2004, diseñada con el fin de estudiar los posibles efectos de segundo orden que se puedan presentar en el panel a mayores cantos, tomando como variable principal el espesor del poliestireno expandido (EPS) relacionado directamente con la longitud de los conectores de la malla espacial. De esta manera se quiere obtener un modelo para la estimación de la carga de rotura del panel, definiendo su comportamiento con mayores espesores. Todo esto cumpliendo con la normativa vigente para su aplicación.

4.2. 1ª FASE - CAMPAÑA EXPERIMENTAL

4.2.1. Características generales

En esta 1ª fase de ensayos, cada uno de los paneles (probetas) está compuesto tal como puede verse en la figura 4.1 por:

- Una capa de poliestireno expandido (EPS) de densidad 25 kg/m^3 , cortado en ondas con una profundidad 20 mm.
- Dos mallas de acero galvanizado de diámetro 3,4 mm, unidas entre si por conectores transversales de diámetro 3,0 mm, de acero galvanizado de iguales características al de las mallas. En conjunto forman una malla espacial tipo celosía (figura 4.1).

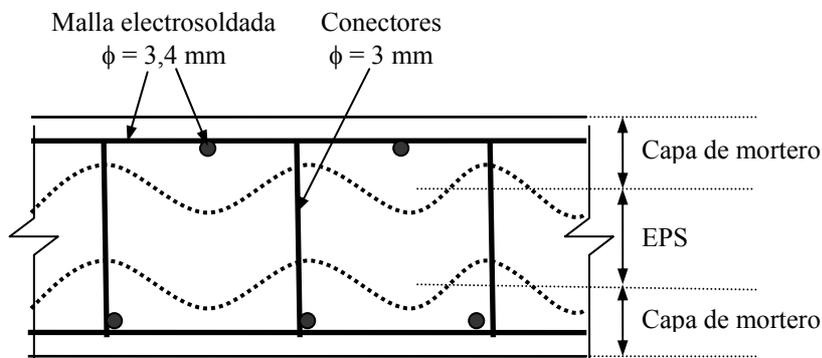


Figura 4.1: Sección típica transversal del panel aligerado

Las variables de análisis para esta 1ª fase de ensayos a compresión son:

- *Mortero*: se realizaron 5 amasadas diferentes. Se usaron dos tipos de mortero, M-40 como mortero de revestimiento y un M-160 como mortero resistente.
- *Espesor del poliestireno expandido (EPS)*: variable entre 40 y 80 mm.
- *Fibras de vidrio o poliéster*: adición en 3 de las amasadas.
- *Puente de adherencia*: añadido en dos de los paneles.
- *Forma de los paneles*: se realizaron una probeta cuadrada y otra rectangular por cada uno de los paneles.

Para esta fase de ensayos en total se realizaron 14 diferentes tipos de paneles, con cada una de las diferentes pastas de mortero analizadas en el capítulo anterior, tal y como puede verse en la tabla 4.1. En la citada tabla se muestran las características y dimensiones de los paneles ensayados en función de la nomenclatura utilizada.

PANELES	Panel N°	Características					Dimensiones		Espesor total (mm)	
		Tipo de mortero	EPS (mm)	Fibra		Pte. Adh.	Forma	Ancho (mm)		Alto (mm)
				FV	FP					
	1	M-160	60	3,0	-	-	<i>c</i>	554,0	470,0	194,0
	2	M-160	60	3,0	-	-	<i>r</i>	530,0	770,0	195,0
	3	M-160	60	0,6	-	-	<i>c</i>	550,0	467,0	192,0
	4	M-160	60	0,6	-	-	<i>r</i>	530,0	770,0	191,0
	5	M-160	60	-	1,2	-	<i>c</i>	542,0	473,0	192,0
	6	M-160	60	-	1,2	-	<i>r</i>	521,0	776,0	192,0
	7	M-160	80	-	-	-	<i>c</i>	555,0	475,0	212,0
	8	M-160	80	-	-	-	<i>r</i>	530,0	795,0	215,0
	9	M-160	80	-	-	Si	<i>c</i>	545,0	483,0	215,0
	10	M-160	80	-	-	Si	<i>r</i>	525,0	777,0	215,0
	11	M-40	40	-	-	-	<i>c</i>	550,0	477,0	100,0
	12	M-40	40	-	-	-	<i>r</i>	546,0	776,0	100,0
	13	M-160	80	3,0	-	-	<i>c</i>	545,0	480,0	212,0
	14	M-160	80	3,0	-	-	<i>r</i>	530,0	782,0	213,0

Tabla 4.1: Características generales de los paneles para la 1ª fase de ensayos

Cabe recordar que en la nomenclatura utilizada, por ej.: el número 160 hace referencia a la resistencia a compresión a 28 días (Kp/cm^2) especificada por el fabricante. La adición de fibra de vidrio ó fibra de poliéster se designa FV o FP respectivamente. Igualmente la denominación *c* o *r*, depende de las dimensiones del panel, cuadrado (*c*) o rectangular (*r*) respectivamente.

4.2.2. Fabricación de paneles (probetas)

La fabricación de las probetas se realizó en moldes de madera de acuerdo a las dimensiones especificadas en la tabla 4.1, con el fin de poder determinar el comportamiento del panel de mayor o menor altura. Las probetas se realizaron en una zona a cubierto situada en una nave industrial en Alcarras (Lleida).

En la figura 4.2 puede verse la configuración de los moldes para la fabricación de los paneles y la preparación del mortero de forma manual, con una pequeña batidora dispuesta para tal efecto. La dosificación del agua para cada uno de morteros, se realizó tomando como base la respuesta a la trabajabilidad de la mezcla. En la realidad estos morteros son colocados en obra mediante proyección, lo que significaría una cierta variación de las características, si bien, para el objetivo del ensayo, no era definitivo, por lo que se adoptó el sistema descrito. El agua utilizada para la fabricación de las mezclas fue la del suministro de red de abastecimiento de agua del Ayuntamiento de Alcarras, provincia de Lleida.



Figura 4.2: Molde y preparación del mortero – 1ª fase de ensayos

Cabe señalar que los paneles 3, 4, 5 y 6 (tabla 4.1) tienen una capa de terminación con mortero de revestimiento M-40, con un espesor de 10 mm aproximadamente. Igualmente se utilizó un puente de adherencia en los paneles 9 y 10, con el fin de observar el comportamiento de unión entre el poliestireno expandido (EPS) y el mortero, ya que este aporta una superficie rugosa entre ambos materiales evitando posibles bolsas de aire entre ellos. El proceso de fabricación de las probetas se puede apreciar en la figura 4.3.

Una vez acabadas las probetas se cubrieron con una lámina de nylon y así simular unas determinadas condiciones de curado, manteniéndose en este ambiente durante un mes, hasta el momento del traslado de los paneles al Laboratorio de Tecnología de Estructuras de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).



Figura 4.3: Etapas de vertido y extendido del mortero en los diferentes paneles

El ensayo se realizó en la maquina Suzpecar del laboratorio de Tecnología de Estructuras, con una capacidad de carga teórica de 500 toneladas. Una foto de la misma con la disposición de uno de los paneles puede verse en la figura 4.4. Para proporcionar al panel una carga uniforme en toda su área, se usaron 2 chapas de acero calibradas, cada una de 250 mm de largo por 600 mm de ancho, con espesor de 15 mm (figura 4.5).



Figura 4.4: Prensa de carga utilizada en el ensayo – Capacidad 500 t



Figura 4.5: Chapas de acero colocadas en la prensa de carga

Los paneles ensayados en esta 1ª fase, al ser de dimensiones pequeñas no contienen posibles efectos de segundo orden, por lo que es necesario una verificación previa ya sea de tipo experimental o por medio del cálculo, de la influencia de dicho efecto. La adquisición de datos durante el ensayo, fue realizada por medio de un ordenador, a través del cual se registraron cada una de las cargas aplicadas a los paneles en función del tiempo. En la figura 4.6, se observa la curva de carga tiempo de una de las probetas ensayadas.



Figura 4.6: Disposición general del ensayo y adquisición de datos

4.2.3. Resultados obtenidos experimentalmente y predicción de la carga de rotura - 1ª fase

Con el fin de tener una idea del comportamiento a compresión de los paneles a ensayar, se realizó una estimación (previsión) de la carga de rotura en función de las características resistentes de los morteros previamente ensayados y de las características geométricas de los paneles (tabla 4.1). Para esto, se consideró un comportamiento del panel sometido a compresión simple, sin influencia del pandeo en el elemento, para soportar una carga (Q) durante el ensayo. Se pensó en una sección con dos áreas de mortero sumadas entre sí, más la armadura de acero, todo esto multiplicado por la resistencia del mortero (figura 4.7). Lo anterior se especifica en la ecuación 4.1, en ella puede verse que no se tiene en cuenta el área de poliestireno expandido (EPS), ya que su influencia dentro de la estimación de carga para un comportamiento a compresión simple no es representativa.

$$Q = (\sum A_{mortero} + (A_s * n)) * f_{c\ mortero} \quad (\text{Ec. 4.1})$$

donde:

Q	Carga estimada.
$A_{mortero}$	Áreas de mortero
A_s	Área de acero
$f_{c\ mortero}$	Resistencia a compresión del mortero
n	Coefficiente de equivalencia dado por:

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{\sigma_s}{\sigma_c}$$

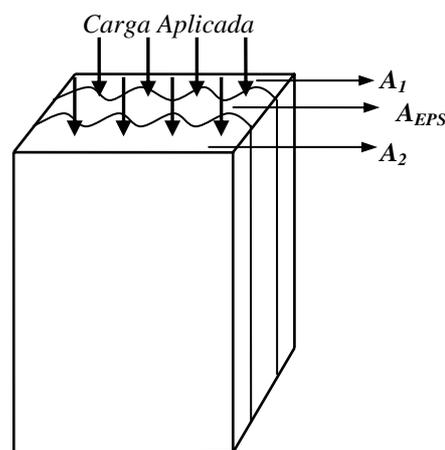


Figura 4.7: Sección de panel – Carga estimada

Ahora bien, el área de acero que conforma cada uno de los paneles para la estimación de la carga es de 113 mm^2 , con una resistencia del acero de $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$. Ésta área de acero se multiplica por un coeficiente de equivalencia (n), enunciado por Instrucción de Hormigón Estructural (EHE 1999, artículo 18.2.3.4), para este caso $n = 10$.

Para la resistencia del mortero M-160, de acuerdo con los resultados obtenidos en el ensayo a compresión de probetas de mortero (Capítulo 3), se tomó un valor medio de 8,5 MPa (85 kp/cm²) y para el mortero M-40 se toma una resistencia a compresión de 4 MPa. En la tabla 4.2, se muestra por un lado, la carga de rotura estimada de acuerdo con el modelo simple de compresión expuesto anteriormente y por otro lado, la carga real obtenida mediante el ensayo.

Panel N°	Características						Espesor total (mm)	Carga estimada ($Q_{estimada}$) (kN)	Carga ensayo (Q_{ensayo}) (kN)
	Tipo de mortero	EPS (mm)	Fibra		Pte. Adh.	Forma			
			FV	FP					
1	M-160	60	3,0	-	-	<i>c</i>	194,0	621,8	587,0
2	M-160	60	3,0	-	-	<i>r</i>	195,0	595,3	672,0
3	M-160	60	0,6	-	-	<i>c</i>	192,0	617,4	652,0
4	M-160	60	0,6	-	-	<i>r</i>	191,0	595,3	650,0
5	M-160	60	-	1,2	-	<i>c</i>	192,0	608,5	631,0
6	M-160	60	-	1,2	-	<i>r</i>	192,0	585,3	691,0
7	M-160	80	-	-	-	<i>c</i>	212,0	622,9	732,0
8	M-160	80	-	-	-	<i>r</i>	215,0	595,3	528,0
9	M-160	80	-	-	Si	<i>c</i>	215,0	611,8	802,0
10	M-160	80	-	-	Si	<i>r</i>	215,0	589,7	589,0
11	M-40	40	-	-	-	<i>c</i>	100,0	135,5	131,0
12	M-40	40	-	-	-	<i>r</i>	100,0	135,6	132,0
13	M-160	80	3,0	-	-	<i>c</i>	212,0	611,8	795,0
14	M-160	80	3,0	-	-	<i>r</i>	213,0	595,3	723,0

Tabla 4.2: Estimación carga de rotura y carga obtenida durante el ensayo – 1ª fase

Partiendo de las variables de análisis planteadas en el apartado 4.2.1 para esta 1ª fase, se tiene:

- Espesor del poliestireno expandido (EPS)

Las mayores diferencias en cuanto a los resultados de carga de rotura obtenidos durante el ensayo, se observan en la pareja de paneles N° 13 y 14 (**M-160 FV = 3,0 EPS = 80**) y los paneles 1 y 2, (**M-160 FV = 3,0 EPS = 60**), estas parejas de paneles solo tienen como variable principal el espesor del EPS de 60 a 80 mm. En este caso las áreas resistentes de mortero son prácticamente iguales, con lo que se puede decir como una primera hipótesis, que se presenta un aumento de la carga a medida que aumenta el espesor del panel, esto puede deberse a una mayor área de aplicación de la carga. El EPS aporta más canto al panel lo que posiblemente le proporciona una mayor resistencia.

- Fibras de vidrio y poliéster

Si se compararan los resultados de carga de rotura de los paneles 3 y 4 con la pareja de paneles 1 y 2 (tabla 4.2), estos últimos con una proporción mayor de fibras de vidrio, no muestran mayores diferencias, el aporte de las **fibras de vidrio** en mayor proporción no es representativo desde el punto de vista de la compresión, como es bien sabido, sin embargo sí contribuye a evitar fisuraciones. Por otra parte los paneles conformados con EPS 80 mm con adición de fibras 3,0 kg/m³ (paneles 13 y 14), son los que entre todos los paneles con adición de fibras, presentan una mayor carga de rotura. Reiterando la hipótesis de la influencia del espesor del EPS.

Las parejas de paneles 5 y 6 con adición de **fibras de poliéster**, presentan un comportamiento muy parecido a los paneles con adición de fibras de vidrio. Comparando todos los paneles con adición de fibras e igual espesor de EPS, no existen diferencias grandes entre los resultados, excepto para los paneles 13 y 14 que tienen un EPS de 80 mm.

En ninguno de los casos se presentaron fisuraciones representativas, esto se debe a que la superficie sobre la cual se aplicó el mortero es reducida. Sin embargo, podría estudiarse la actuación de las fibras en superficies mayores, así se podría determinar si es necesaria o no la incorporación de fibras en la pasta ó hasta que punto la malla que conforma el panel contribuye a evitar dichas fisuraciones.

- Puente de adherencia

En cuanto al puente de adherencia utilizado en los paneles 9 y 10, es en la única pareja de paneles en la que se presenta un cambio tan notorio entre sus resultados, puede atribuirse en este caso a la influencia de la forma del panel. En comparación con la pareja de paneles 7 y 8, existe un incremento de la carga de rotura en los paneles 9 y 10, la diferencia entre estas parejas de paneles es el puente de adherencia aplicado a estos dos últimos. Lo anterior se pudo justificar debido a que existe un aumento de la superficie de contacto y por lo tanto una mejor adherencia entre materiales, lo que favorece a un mejor comportamiento respecto a la compresión en los paneles 9 y 10. Sin embargo, puede existir influencia en los resultados, debido a las diferentes amasadas que se realizaron para cada panel, aumentando o disminuyendo dicha resistencia.

- Forma: cuadrado y rectangular

Siguiendo con las variables de análisis, la forma de los paneles, puede ser de gran influencia entre los resultados, ya que como se da en la pareja 9 y 10 existe un incremento notorio para el panel cuadrado con respecto al rectangular, lo mismo sucede en la pareja de paneles 7 y 8. Sin embargo esto comportamiento no es tan evidente en el resto de paneles, para los cuales los resultados son semejantes entre sí, pudiendo influir en los resultados no solo su forma, si no además puede deberse a las diferentes amasadas, influyendo lógicamente la relación de agua aplicada, que como se menciona anteriormente dependió de la consistencia y trabajabilidad de la pasta. Los resultados de las cargas de rotura para cada uno de los paneles según su forma se muestran en las figuras 4.8 y 4.9.

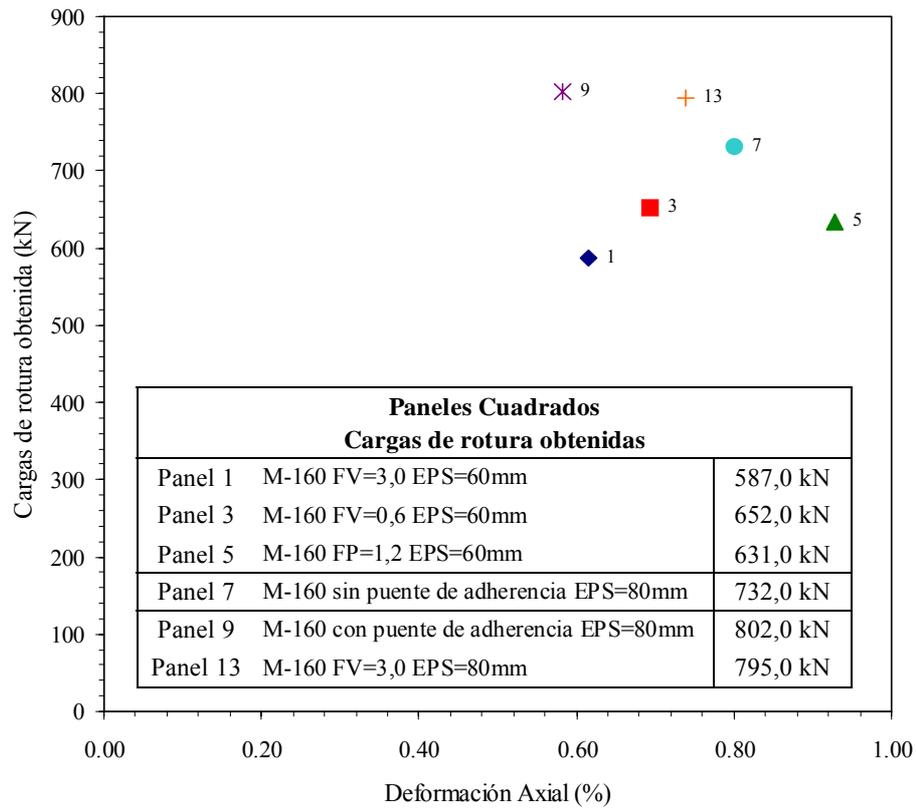


Figura 4.8: Carga de rotura obtenida – Paneles Cuadrados

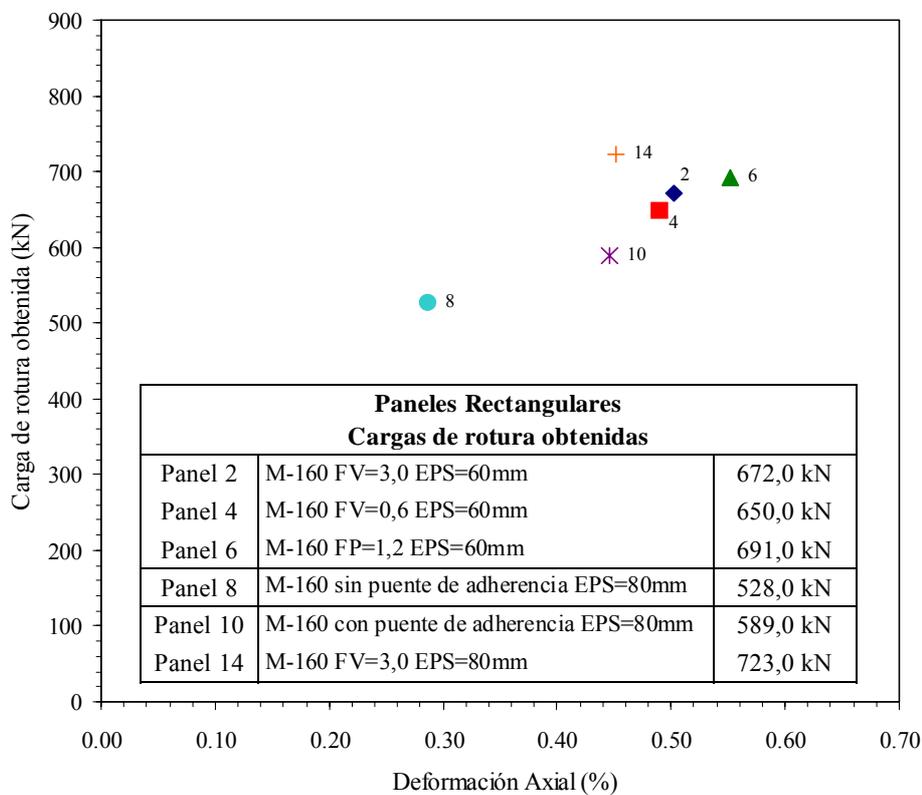


Figura 4.9: Carga de rotura obtenida – Paneles Rectangulares

En las figuras citadas no se enuncia la carga de rotura para los paneles conformados con mortero M-40, ya que no son comprobables debido a su resistencia. Las mayores diferencias entre cargas de rotura según las dimensiones de los paneles, son las encontradas en las parejas 7-8 y 9-10 (tabla 4.2), en donde existe un incremento del orden de un 35% en la carga de rotura del panel cuadrado con respecto al panel rectangular. En otras parejas el incremento de la carga en paneles cuadrados es un porcentaje menor, del orden de un 10% en el caso de la pareja de paneles 13-14.

Ahora bien, realizando una comparación entre los resultados obtenidos y los estimados expuestos en la tabla 4.2, el modelo simple considerado para la estimación de carga tiene una variación del orden del 10% con respecto a las cargas obtenidas experimentalmente, lo que en conjunto puede decirse que el modelo considerado es satisfactorio para la estimación de cargas en este caso. La mayor carga obtenida experimentalmente fue la del panel 9 (M-160 con puente de adherencia EPS = 80 mm), por otra parte el panel 7 y 13 dan como resultado una carga no muy inferior, estando conformado con M-160 y M-160 FV = 3,0 EPS = 80 mm respectivamente.

Esta similitud en los resultados, da una idea del buen comportamiento a compresión del conjunto, mortero – panel, con la conformación de éste mediante un mortero de tipo proyectable de resistencia mínima 8,5 MPa obtenida experimentalmente.

Con respecto a las roturas presentadas durante esta 1ª fase de ensayos, de forma general se pensó en una rotura del panel en una de sus caras (capa de mortero), con un desprendimiento total de ésta, sin embargo las roturas presentadas durante el ensayo fueron en el plano de unión entre capas de mortero, se presentó como el punto de iniciación de las fisuras en todos los paneles (figura 4.10).



Figura 4.10: Perspectiva de la formación de lajas en la rotura (panel 5)

La falta de una superficie lo suficientemente rugosa, para aumentar la adherencia entre capas, ocasionó el desprendimiento entre ellas durante el ensayo. En la práctica los paneles son terminados in-situ mediante mortero proyectado, dejando de esta manera una superficie apropiada para aplicar si se quiere una segunda capa por proyección.

Igualmente, durante el ensayo se observó un desprendimiento de la capa de revestimiento realizada con mortero M-40 en los paneles 3, 4, 5, y 6 (tabla 4.2) tal como puede verse en la figura 4.10.

Por otra parte, se presentaron fisuras y desprendimientos en la superficie de contacto del panel con la chapa de acero (figura 4.11), éstas pueden deberse a que la malla espacial que conforma el panel, no tenía ningún recubrimiento de mortero en este sitio. Por esto, al aplicarse la carga se produce el pandeo de la armadura, lo que finalmente se refleja en un desprendimiento de la capa de mortero, tal como puede verse en la figura 4.11.



Figura 4.11: Desprendimiento del mortero por pandeo de la armadura - panel 4, carga de rotura 650 kN

Asimismo se presentaron aspectos locales como roturas parciales (figura 4.12), las cuales pueden haberse presentado por la falta de horizontalidad del panel.



Figura 4.12: Detalle de roturas parciales y marca del plano principal de rotura

4.3. 2ª FASE - CAMPAÑA EXPERIMENTAL

4.3.1. Características generales

La conformación de los paneles correspondientes a la 2ª fase, es la misma que en la 1ª (EPS + malla espacial de acero galvanizado), las características de cada uno de los paneles se especifican en la tabla 4.3. En total se realizaron 12 probetas, dos por cada panel, con el fin de prever cualquier eventualidad con una de ellas.

PANELES	Panel N°	Mortero	Espesor Mortero		Espesor EPS (mm)
			Cara 1 (mm)	Cara 2 (mm)	
	1	M-80	30,0	30,0	80
	2		30,0	30,0	120
	3	M-160a	30,0	30,0	80
	4		30,0	30,0	120
	5		30,0	30,0	160
	6		30,0	30,0	200
	7		30,0	30,0	240
	8		40,0	30,0	80
	9		40,0	30,0	120
	10		40,0	30,0	240
	11	M-160b	30,0	30,0	80
	12		30,0	30,0	120

Tabla 4.3: Características generales morteros y paneles – 2ª fase ensayos

En esta fase se utilizaron 3 tipos de mortero, un mortero con iguales características al utilizado en la 1ª fase (M-80) y dos morteros más un M-160a y M-160b, la citada tabla muestra la nomenclatura utilizada para cada uno de estos morteros. Las dimensiones de todos los paneles son iguales, 500 mm de ancho y 300 mm de alto.

El espesor del mortero, se mantuvo *simétrico* en algunos de los paneles, 30 mm de espesor para ambas capas, que es el espesor mínimo para tener un recubrimiento de la malla de 15 mm y *no simétrico* variable entre 40 y 30 mm, con el fin de estudiar su influencia dentro del comportamiento a compresión.

En definitiva las variables de análisis para esta 2ª fase son:

- *Longitud del conector (L)*: Depende directamente del espesor del poliestireno expandido (EPS), esta longitud está dada básicamente por el espesor del EPS

más 30 mm ($L_{conector} = e_{eps} + 30 \text{ mm}$). Al variar la longitud del conector se pretende estudiar el comportamiento del panel a mayores cantos, frente a los posibles efectos de segundo orden que se puedan presentar.

- *Separación (S) entre conectores*: Esta variable de análisis, se plantea de manera numérica, con el fin de observar las mejores condiciones del panel conformado con mayor o menor cantidad de conectores. Son tres las hipótesis planteadas:

$$S = 50 \text{ mm} - S = 100 \text{ mm} - S = 75 \text{ mm} \text{ (S de los paneles ensayados)}$$

4.3.2. Fabricación de paneles (probetas)

La preparación de las probetas se realizó en moldes de madera previamente dispuestos, en una zona cubierta situada en una nave industrial en Seròs (Lleida). En el momento de llenarse los moldes, se colocó en la parte inferior de cada panel unas cuñas, con el fin de evitar que éste se desplazara, igualmente de esta manera se conserva el espesor requerido por cada una de las capas de mortero.

La figura 4.13, muestra la elaboración de las probetas para cada uno de los morteros utilizados, los cuales fueron suministrados por la casa comercial Ben-Sec (a), Cemex (b) y Texsa (c).

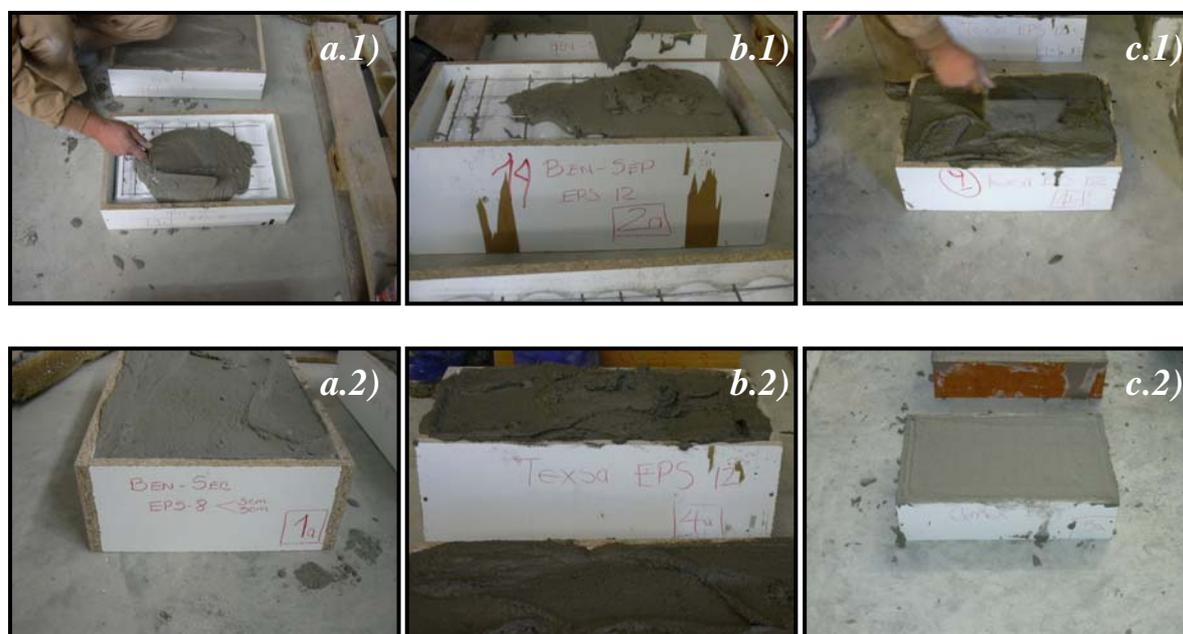


Figura 4.13: Elaboración de probetas para cada mortero - 2ª fase ensayos

a) M-80 b) M-160a c) M-160b

Los paneles se fabricaron aplicando el mortero manualmente por ambas caras, ya que por sus dimensiones fue imposible realizar dicha aplicación mediante proyección.

La pasta de cada uno de los morteros se preparó en una mezcladora de tipo manual de 50 l, con una capacidad de 0,3 m³ (figura 4.14), con el fin de llenar las diferentes probetas en una sola amasada. La dosificación se efectuó en base a las especificaciones del fabricante.



Figura 4.13: Mezcladora manual utilizada para la preparación de la mezcla de mortero.

El ensayo se realizó en el laboratorio del Consorci Lleidatà de Control en la ciudad de Lleida. El equipo utilizado tiene una capacidad de carga de 150 toneladas, una foto del mismo con la disposición de uno de los paneles ensayados se puede ver en la figura 4.14. Igualmente para proporcionar al panel, una carga uniforme en toda su área, se usaron durante el ensayo, 2 chapas de acero con un espesor de 30 mm cada una (figura 4.14).

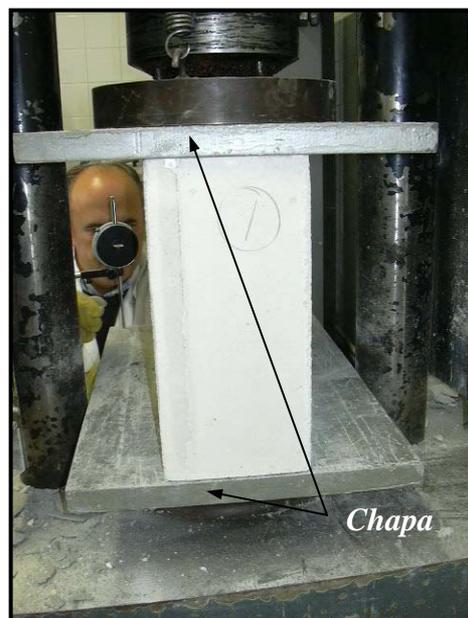


Figura 4.14: Prensa de carga utilizada en el ensayo y chapas de acero

4.3.3. Resultados obtenidos experimentalmente y predicción de la carga de rotura - 2ª fase

De forma análoga a la 1ª fase de ensayos, se realizó una estimación de la resistencia esperada en función de las características resistentes de los morteros ensayados y de las características geométricas del panel. La estimación se efectuó mediante el mismo sistema que en la primera fase de ensayos, sin tener en cuenta posibles efectos de segundo orden y considerando como parte resistente del panel la sumatoria de las áreas del mortero multiplicadas por su resistencia (Ec. 4.1).

En la tabla 4.4 se muestra la *carga de rotura estimada* ($Q_{medio\ real}$) para cada panel, ésta se obtiene teniendo en cuenta el *valor medio real de la resistencia a compresión del mortero* conseguida mediante los ensayos sobre probetas prismáticas, analizados en el capítulo 3. El área total del acero (A_s) para cada panel es de 113 mm^2 .

M-80	$f_c\ medio\ real = 4,6\text{ MPa.}$
M-160a	$f_c\ medio\ real = 39,60\text{ MPa}$
M-160b	$f_c\ medio\ real = 17,15\text{ MPa.}$

Panel N°	Mortero	Espesor EPS (mm)	Carga de Rotura Q (kN)		Carga Obtenida (kN)		Valor medio (kN)
			Estimada ($Q_{medio\ real}$) ($f_c\ medio\ real$)	Estimada nominal ($Q_{nominal}$) ($f_c\ medio\ nominal$)	Prob. 1	Prob. 2	
1	M-80	80	143,2	-	98,0	96,0	97,0
2		120	143,2	-	111,0	91,0	101,0
3	M-160a	80	1.232,7	498,1	493,0	468,0	480,5
4		120	1.232,7	498,1	288,0	243,0	265,5
5		160	1.232,7	498,1	419,0	352,0	385,5
6		200	1.232,7	498,1	303,0	276,0	289,5
7		240	1.232,7	498,1	293,0	237,0	265,0
8		80	1.430,7	578,1	543,0	471,0	507,0
9		120	1.430,7	578,1	253,0	228,0	240,5
10	240	1.430,7	578,1	264,0	-	264,0	
11	M-160b	80	533,9	-	208,8	204,0	206,4
12		120	533,9	-	191,0	152,0	171,5

Tabla 4.4: Estimación carga de rotura y carga obtenida durante el ensayo – 2ª fase

Debido a las discrepancias entre los resultados de la resistencia especificada por el fabricante para el mortero M-160a y la obtenida mediante el ensayo, se realizó la estimación de la **carga de rotura nominal** ($Q_{nominal}$) del panel, tomando un *valor medio nominal* de la resistencia del mortero de 16 MPa. Esto solo para los paneles conformados con el mortero M160a (tabla 4.4).

En la citada tabla, igualmente se muestran los valores obtenidos experimentalmente para cada una de las probetas y asimismo el valor medio correspondiente al promedio entre ambos paneles.

Según las variables planteadas anteriormente y a modo de análisis, se tiene:

- Espesor del poliestireno expandido (EPS) y longitud del conector (L)

En los paneles 1 y 2, se presenta un aumento de la carga de rotura a medida que aumenta el canto del panel, la diferencia no es mayor, caso contrario a lo que sucede en la pareja de paneles 11 y 12 conformados con el mortero M-160b, la carga disminuye al aumentar el canto. Sin embargo, estos últimos (M-160b) presentaron mayores cargas de rotura a las obtenidas en los paneles 1 y 2 (tabla 4.4), donde influye y es determinante la calidad del mortero utilizado. Nuevamente en esta 2ª fase de ensayos se presenta una resistencia a compresión del mortero de la mitad a la especificada por el fabricante.

Ahora bien, si se observan los resultados obtenidos para la serie de paneles conformados con el mortero M-160a, más específicamente los paneles 3, 4, 5, 6 y 7 señalados con negrita en la tabla 4.4, se tiene una disminución de la carga a medida que aumenta el canto del panel, en donde el panel N° 7 con EPS 240 mm, prácticamente obtiene la mitad de la carga del panel N° 3, conformado con 80 mm de EPS.

Dicho comportamiento se puede atribuir a la influencia del espesor del EPS, cuanto más separación exista entre capas de mortero, menor es la carga de rotura del panel. Este comportamiento también se manifiesta en los paneles con diferente espesor de mortero, 30 y 40 mm (no simétrico).

Por entender que a medida que aumenta el espesor del poliestireno expandido (EPS), existe un aumento de la longitud del conector ($L = e_{eps} + 30$ mm), en la figura 4.15 se muestran gráficamente los resultados obtenidos en el ensayo para la secuencia de paneles conformados con el mortero *M-160a*, paneles 3, 4, 5, 6, y 7 (simétricos) y paneles 8, 9 y 10 (no simétricos), tomando como variable primordial la longitud del conector para cada uno de ellos. Asimismo se muestra la carga de rotura estimada por medio del modelo simple a compresión (Ec. 4.1).

En la citada figura se observa, para ambas series tanto paneles simétricos como no simétricos, la disminución de la carga de rotura a medida que aumenta el espesor del EPS. Teniendo en cuenta que para la serie de paneles simétricos, el panel 4 con $L = 150$ mm (EPS 120 mm) presenta una rotura local cerca al plato de carga, por esto su carga de rotura no es consecuente con la secuencia de paneles (tabla 4.4), su carga debió ser más alta.

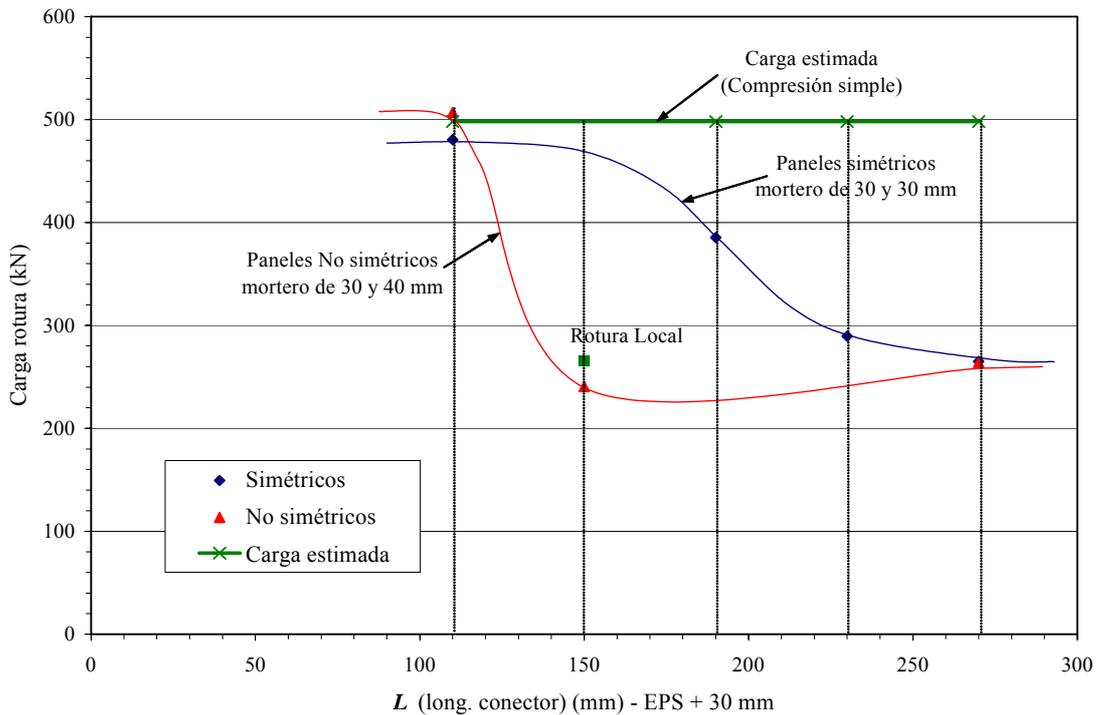


Figura 4.15: Cargas obtenidas secuencia de paneles M-160a – 2ª fase de ensayos

La estimación de la carga de rotura, de forma independiente a la longitud del conector (L) y a la separación (S) de los mismos, se muestra de forma lineal según lo muestra la figura 4.15. Ésta difiere de los resultados obtenidos en un 35%, en este caso la predicción por el método a compresión simple (Ec. 4.1) no reproduce los resultados obtenidos experimentalmente.

Con lo anterior, se puede decir que al existir un aumento del canto del panel, aumento de la longitud del conector, el panel no actúa en conjunto como un solo elemento, lo que da lugar a una posible rotura por flexión en una de las caras del panel, debido a la rotura de la soldadura de unión del conector con la malla, por esto la disminución de la carga a medida que aumenta el canto.

- Separación (S) entre conectores

Para esta variable de análisis planteada, en el apartado 4.4 puntualmente se analizará de forma numérica la serie de paneles simétricos, ya que para éstos se tienen diferentes cantos de manera secuencial lo que da lugar a una mejor predicción y análisis del comportamiento.

Ahora bien, en cuanto a las roturas que se presentaron durante el ensayo, se observó que la adherencia entre materiales, poliestireno expandido y mortero, fue buena, ya que como puede verse en la figura 4.16 no se presentó en ninguno de los paneles ensayados un desprendimiento total de la capa de mortero, como se presentó en la 1ª fase de ensayos.



Figura 4.16: Rotura sobre el panel 1

Otras de las roturas presentadas en esta 2ª fase, se localizaron en la superficie de contacto con la chapa de reparto, ocasionadas principalmente por la presencia de algunas irregularidades en la superficie o por la falta de horizontalidad del elemento (figura 4.16).

4.4. MODELACIÓN NUMÉRICA

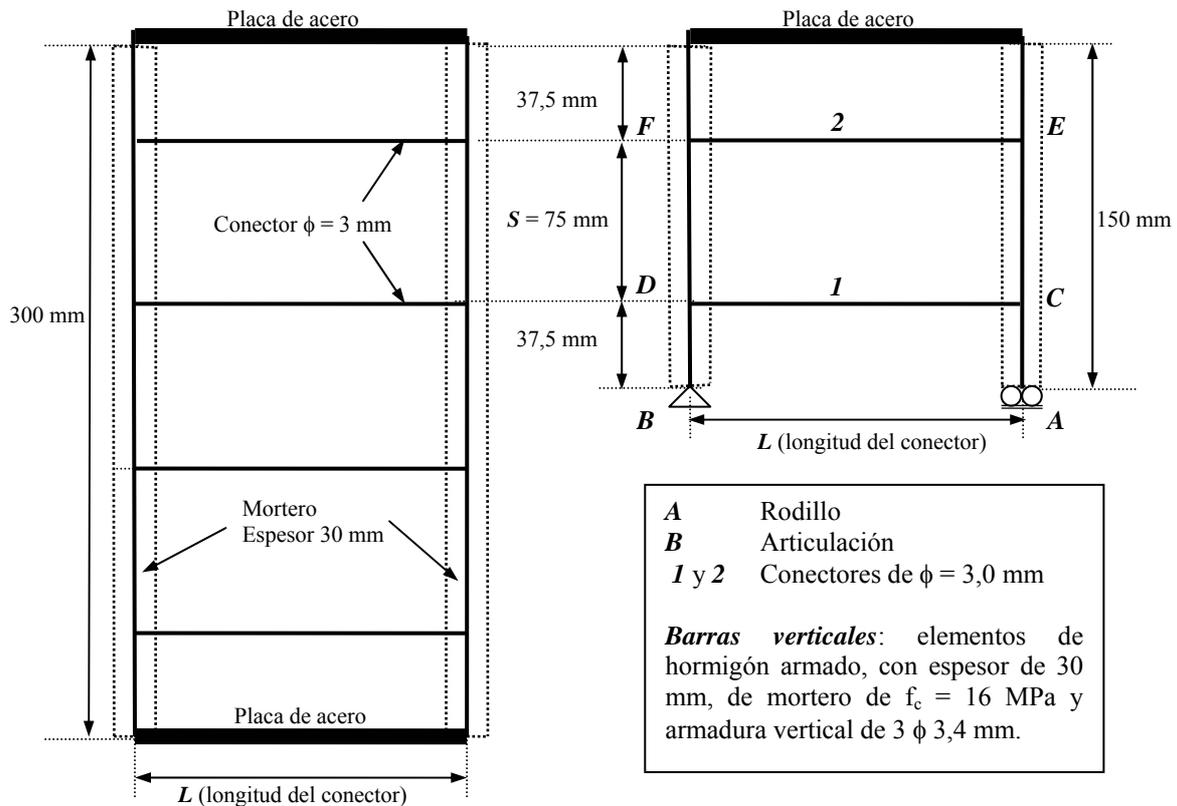
4.4.1. Metodología

Cara a analizar las posibles causas de la disminución de la carga de rotura a medida que aumenta el canto del panel, se ha preparado un modelo estructural para calcular el mismo mediante el programa SAP 2000.

El modelo transforma el panel en una estructura de barras cuyas características se muestran en la figura 4.17 (a).

Por otro lado, la materialización geométrica de la estructura y de la carga se efectuó partiendo la estructura por la mitad, en altura, con el fin de reducir el cálculo. La condición de borde impuesta para los nudos de la sección resultante son: rodillo en el punto **A**, que permite movimiento en el eje x y articulación en **B**, que permite giros tal como puede verse en la figura 4.17 (b).

Las condiciones de carga se establecieron de manera ascendente, partiendo desde 100 kN hasta 500 kN, ya que según los resultados obtenidos, en la mayoría de los paneles ninguno sobrepasa dicha carga de rotura. Cabe señalar que dentro del modelo planteado, no se tiene en cuenta ningún aporte a compresión del poliestireno expandido (EPS).

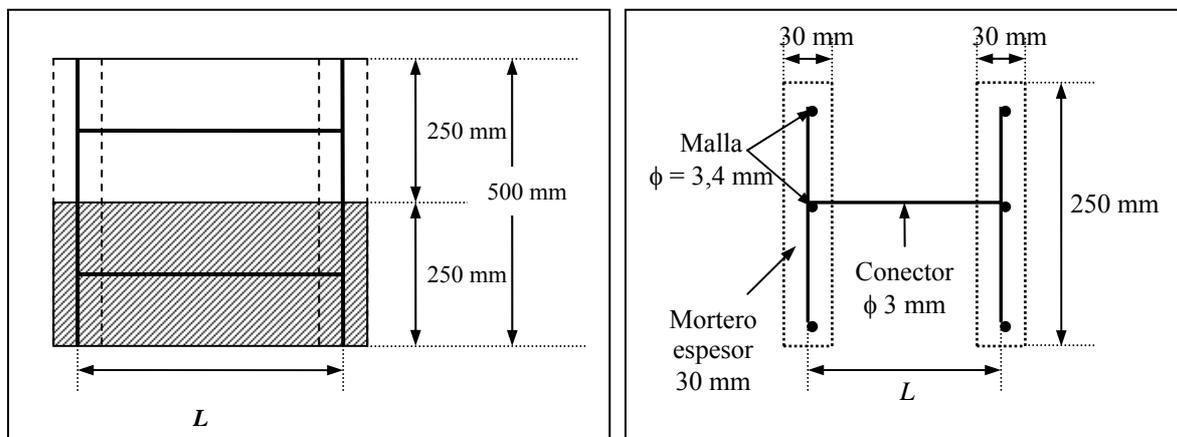


a)

b)

Figura 4.17: a) Alzado del panel y b) características del modelo numérico para $S = 75$ mm

Asimismo, se tomó como sección transversal la separación existente entre hiladas de conectores, 250 mm, ya que el panel se analiza en dos dimensiones, dividido simétricamente, lo que permite que las condiciones expuestas reflejen de igual manera el planteamiento de una sección en tres dimensiones. La figura 4.18 (a), muestra la sección del panel en planta y la figura 4.18 (b) la sección del panel modelada.



a)

b)

Figura 4.18: Sección en planta a) del panel y b) del modelo

Como resultado del cálculo numérico para los diferentes escalones de carga se obtienen tres resultados:

- Las compresiones absorbidas por las capas de mortero.
- Los esfuerzos axiales producidos en los conectores.
- Los desplazamientos en cada uno de los nudos.

Ahora bien, se plantearon dos variables de análisis principales dentro del modelo numérico:

- *La longitud del conector (L)*
- *La separación (S) entre conectores*

El modelo de barras utilizado en el cálculo para la separación (S) entre conectores de 50 y 100 mm se presenta en la figura 4.19 y 4.20 respectivamente. Habiendo mostrado con anterioridad en la figura 4.17, el modelo para la separación de 75 mm.

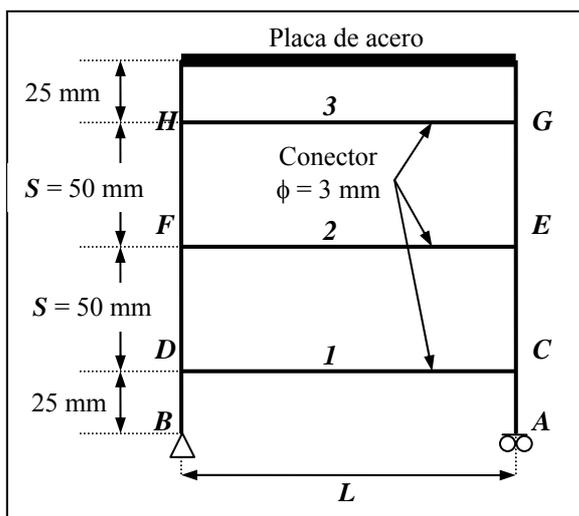


Figura 4.19: Modelo de barras para $S = 50$ mm

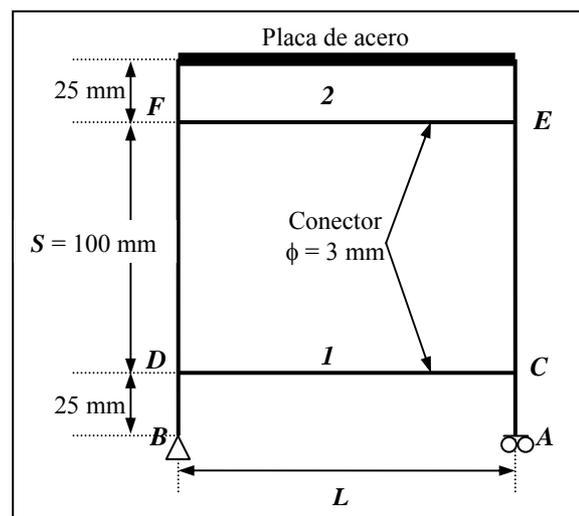


Figura 4.20: Modelo de barras para $S = 100$ mm

4.4.2. Resultados obtenidos

Dados los resultados obtenidos a través del modelo numérico, la tabla 4.5 muestra a manera de resumen los valores del *esfuerzo axial* absorbido por cada uno de los conectores que conforman los tres modelos de barras planteadas ($S = 50, 75$ y 100 mm), para una carga de 500 kN.

S (mm)	L conector (mm)	Esfuerzo axial en el conector (N) $p = 500$ kN		
		1	2	3
50	110	489,0	442,0	232,0
	150	758,0	658,0	326,0
	190	1039,0	881,0	421,0
	230	1327,0	1107,0	516,0
	270	1618,0	1335,0	611,0
75	110	570,0	332,0	-
	150	851,0	469,0	-
	190	1139,0	607,0	-
	230	1430,0	745,0	-
	270	1721,0	883,0	-
100	110	576,0	246,0	-
	150	863,0	343,0	-
	190	1158,0	440,0	-
	230	1458,0	537,0	-
	270	1759,0	634,0	-

Tabla 4.5: Esfuerzos axiales en los conectores para las diferentes separaciones (S)
 $P = 500$ kN

En la tabla citada se puede observar como en todos los casos, diferentes separaciones de los conectores y longitudes, *el conector 1 es el más solicitado*, por esto se eligió como el conector de referencia para realizar el análisis de las posibles causas de rotura en cada uno de los paneles.

Ahora bien, tomando como base lo anterior, y siguiendo con los resultados obtenidos por medio del modelo, se tienen los diferentes *desplazamientos en cada uno de los nudos*.

En la tabla 4.6 se especifica el alargamiento de la barra (conector) $C-D$ (δ_{rC}) correspondiente al conector I , el cual viene dado por la diferencia entre el desplazamiento del nudo C (δ_C) y el desplazamiento del nudo D (δ_D).

$$\delta_{rC} = \delta_C - \delta_D \quad (\text{Ec. 4.2})$$

Igualmente en la tabla citada se muestra la tensión en el conector I (barra $C-D$), obtenida a través de los *esfuerzos axiales* según la ecuación 4.3:

$$\sigma_{CD} = E_s * \varepsilon \quad \longrightarrow \quad \sigma_{CD} = E_s * \frac{\delta_{rC}}{L} \quad (\text{Ec. 4.3})$$

O bien, dicha tensión estaría igualmente dada por $\sigma = \frac{N_{conector}}{A_{s_{conector}}}$

S (mm)	L (mm)	P = 100 kN		P = 300 kN		P = 500 kN	
		$\sigma_{\text{conector 1}}$ (MPa)	Desp. C (mm)	$\sigma_{\text{conector 1}}$ (MPa)	Desp. C (mm)	$\sigma_{\text{conector 1}}$ (MPa)	Desp. C (mm)
50	110	13,83	0,0072	41,50	0,0217	69,16	0,0362
	150	21,43	0,0153	64,31	0,0459	107,18	0,0766
	190	29,39	0,0266	88,17	0,0798	146,97	0,1330
	230	37,53	0,0411	112,61	0,1233	187,70	0,2056
	270	45,78	0,0589	137,38	0,1766	228,96	0,2944
75	110	16,14	0,0085	48,42	0,0254	80,70	0,0423
	150	24,08	0,0172	72,24	0,0516	120,40	0,0860
	190	32,22	0,0291	96,67	0,0875	161,10	0,1458
	230	40,44	0,0443	121,33	0,1329	202,24	0,2215
	270	48,70	0,0626	146,11	0,1879	243,53	0,3131
100	110	16,30	0,0085	48,88	0,0256	81,46	0,0427
	150	24,42	0,0174	73,27	0,0523	122,10	0,0872
	190	32,77	0,0296	98,31	0,0889	163,86	0,1483
	230	41,25	0,0452	123,78	0,1356	206,31	0,2260
	270	49,78	0,0640	149,36	0,1920	248,91	0,3200

Tabla 4.6: Tensión obtenida para el conector I según el modelo numérico
 $S = 50, 75$ y 100 mm

4.4.3. Análisis de resultados (modelo numérico)

Al analizar inicialmente la variable de la *separación (S) entre conectores*, según los desplazamientos relativos en el conector I para una carga de 500 kN (tabla 4.6), se tiene un incremento del doble a medida que aumenta la separación (figura 4.21). Dicho comparativo es específico para $S = 50$ mm y $S = 100$ mm, ya que ambos son simétricos en el modelo (figuras 4.19 y 4.20).

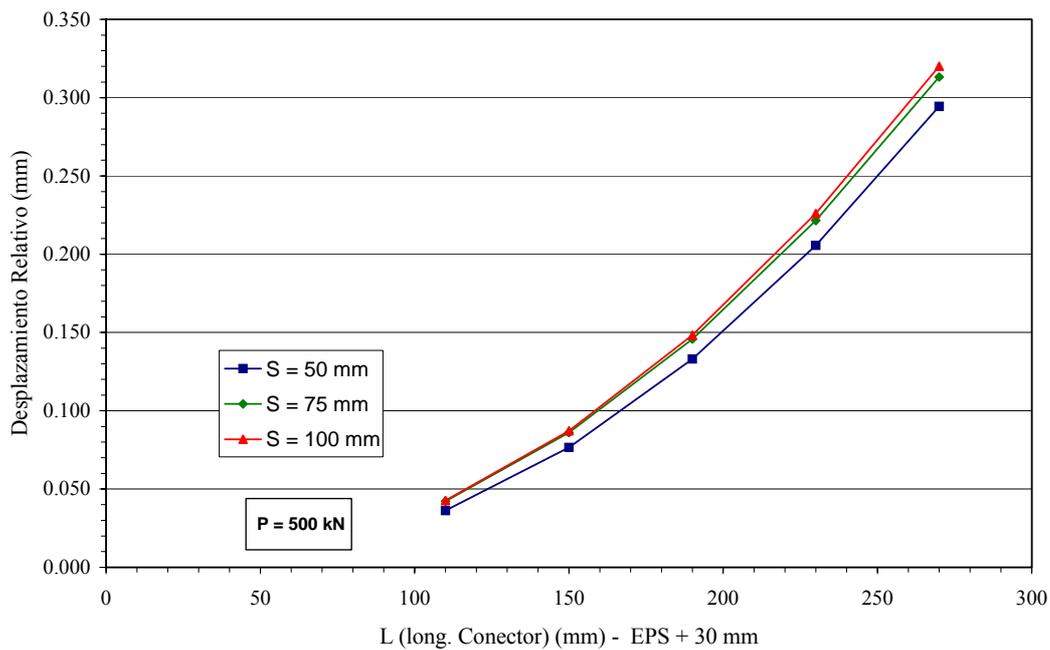


Figura 4.21: Desplazamiento relativo para cada separación (S) (mm) según la longitud del conector (L) (mm)

Ahora bien, la influencia de la separación (S) en los esfuerzos axiales presentados en el conector **1** se muestra en la figura 4.22. En dicha figura se observa el porcentaje de carga absorbido por dicho conector según la separación, se presenta un incremento en los esfuerzos a medida que aumenta la separación (S) entre conectores ($P = 500$ kN).

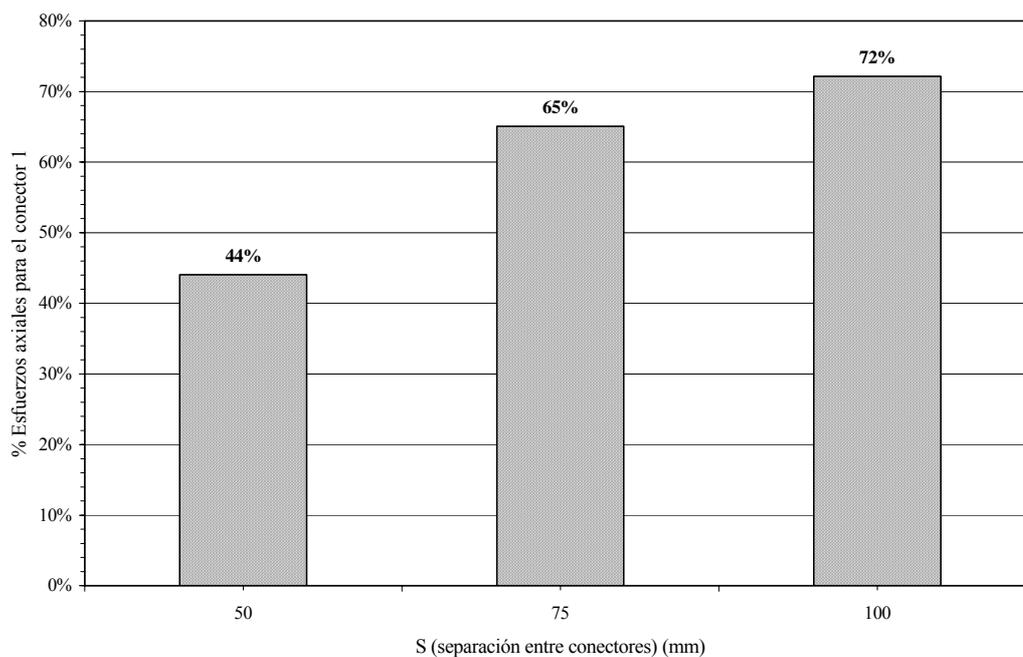


Figura 4.22: Porcentaje de esfuerzos axiales en el conector **1** (barra C-D) - $P = 500$ kN

De igual forma, las figuras 4.23, 4.24, 4.25, 4.26 y 4.27 muestran gráficamente los porcentajes de carga absorbidos para cada uno de los conectores en las diferentes separaciones, esto para cada panel. En todas ellas se tiene una misma proporción de carga absorbida por cada conector a diferentes longitudes y separaciones. El porcentaje de carga absorbido por el conector *1* es mayor en todos los casos, como es lógico.

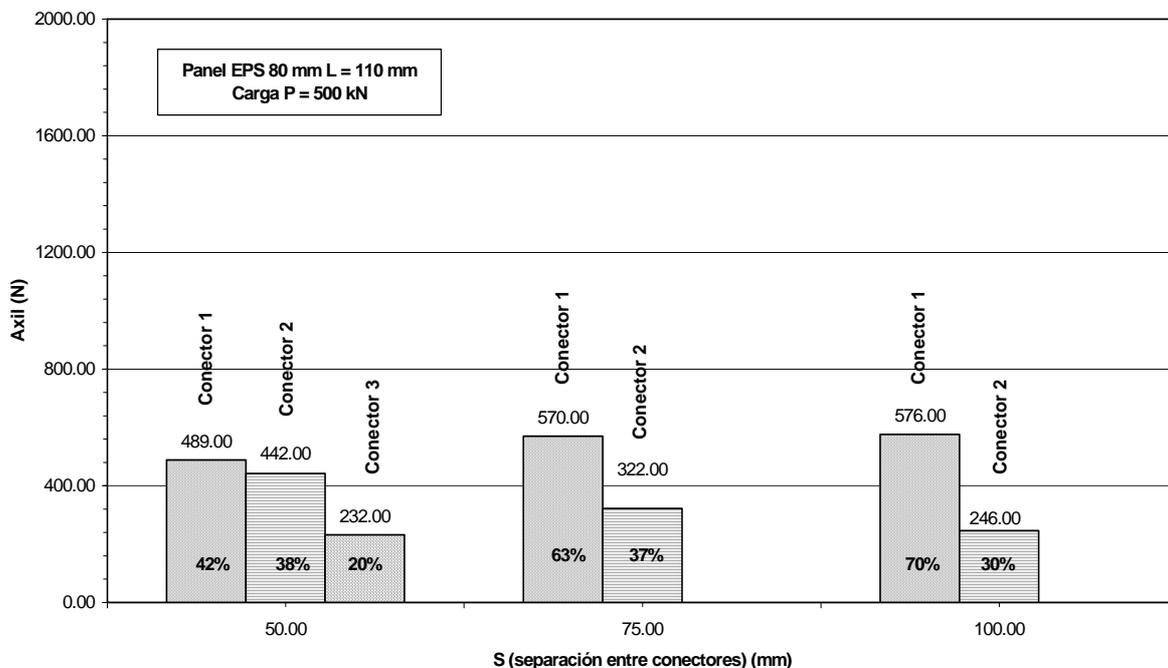


Figura 4.23: Porcentaje de esfuerzos axiales, panel EPS 80 – L = 110 mm, P = 500 kN

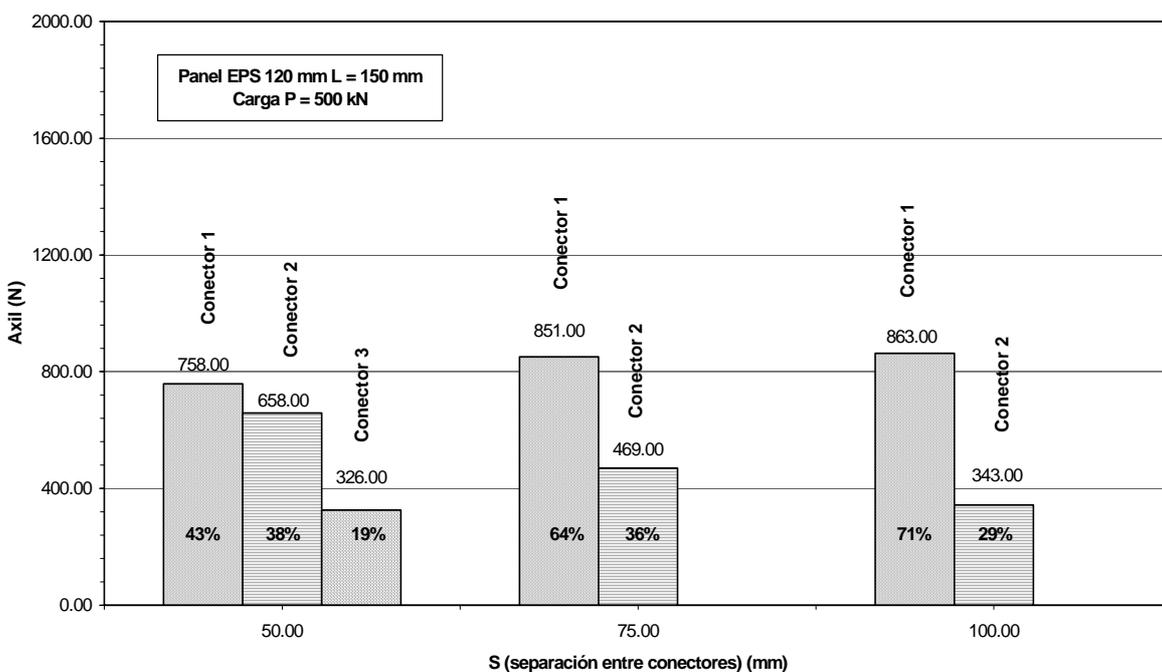


Figura 4.24: Porcentaje de esfuerzos axiales, panel EPS 120 – L = 150 mm, P = 500 kN

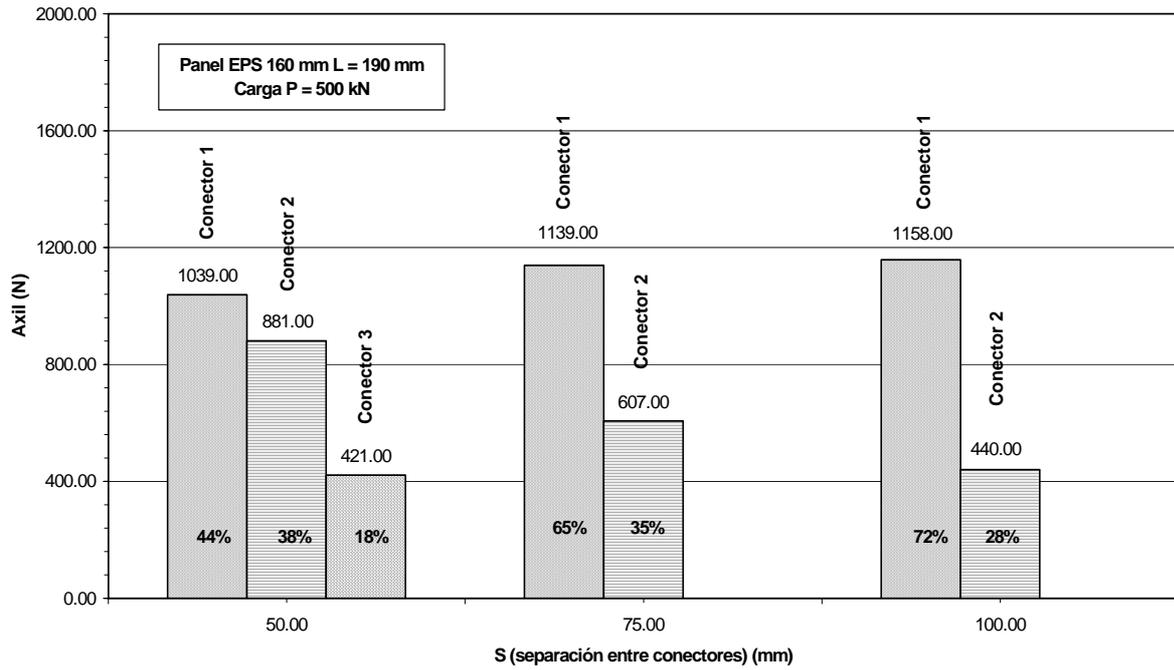


Figura 4.25: Porcentaje de esfuerzos axiales, panel EPS 160 – L = 190 mm, P = 500 kN

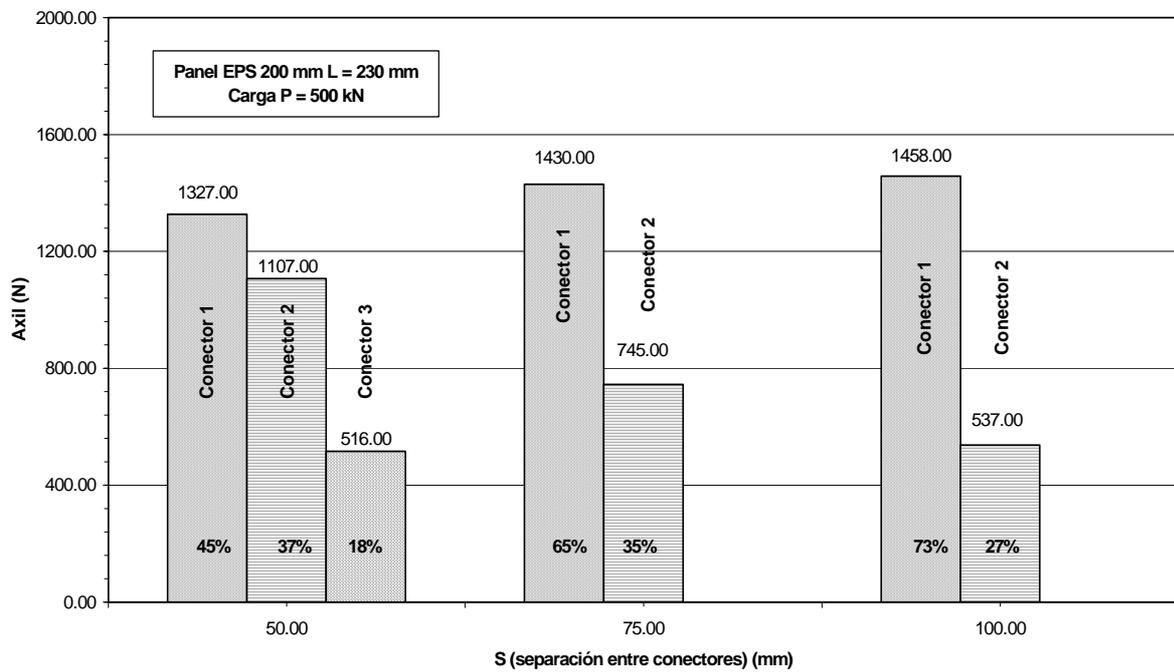


Figura 4.26: Porcentaje de esfuerzos axiales, panel EPS 200 – L = 230 mm, P = 500 kN

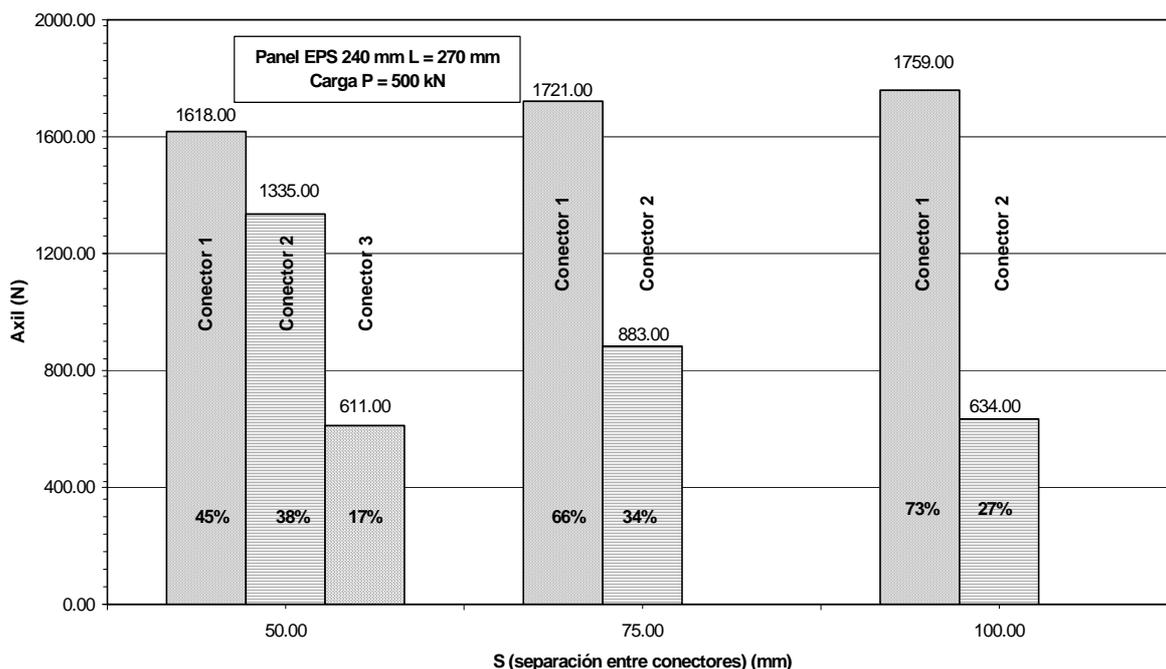


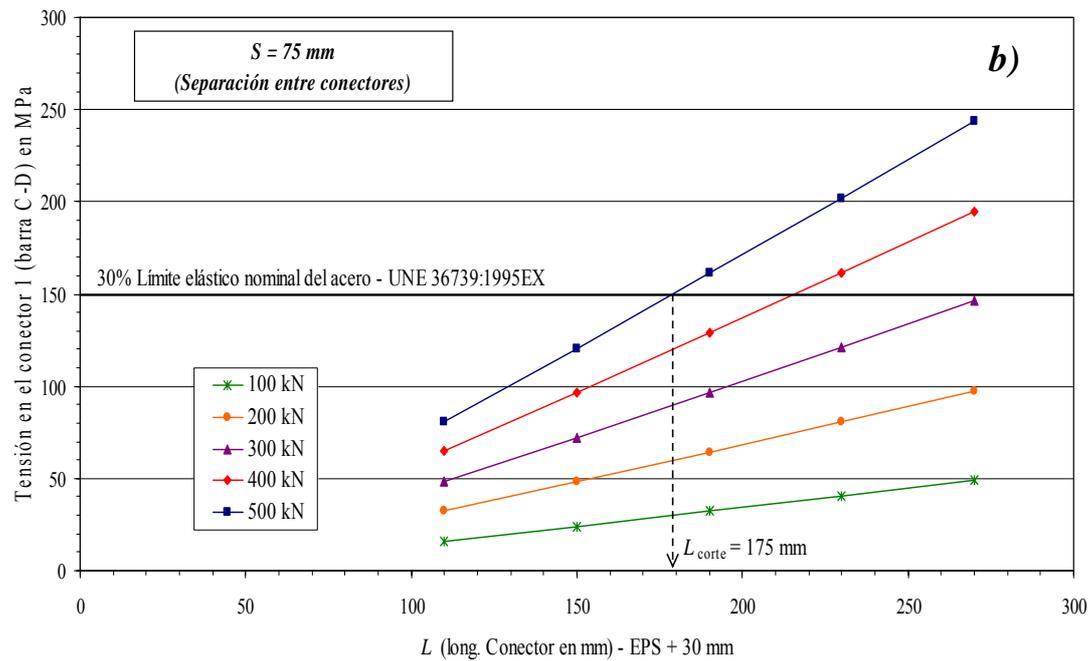
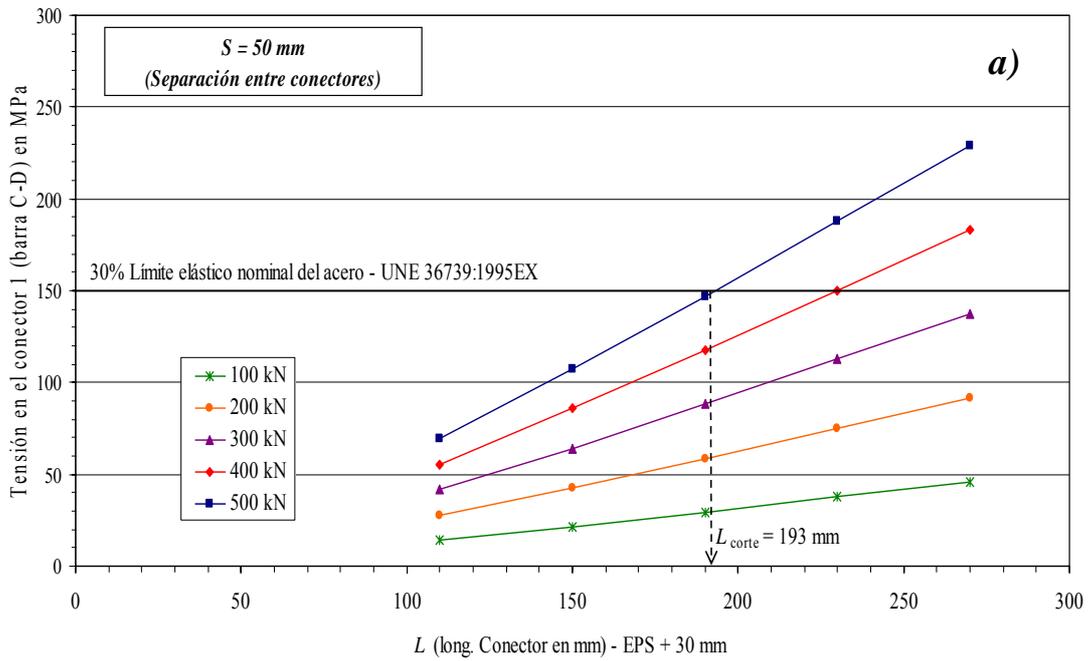
Figura 4.27: Porcentaje de esfuerzos axiales, panel EPS 240 – $L = 270$ mm, $P = 500$ kN

Por otro lado, analizando la *influencia de la longitud (L) del conector* con los datos obtenidos y recopilados en la tabla 4.6, se tienen para cada una de las cargas aplicadas, una serie de rectas con las tensiones obtenidas para el conector I , respecto a la longitud del mismo. La figura 4.28 (a) muestra estas tensiones para una separación (S) de 50 mm, las figuras 4.28 (b) y 4.28 (c), muestran las tensiones (en MPa) para las separaciones $S = 75$ mm y 100 mm.

Las rectas de manera ascendente que se muestran en las figuras citadas, manifiestan un incremento de las tensiones del conector a medida que aumenta su longitud, esto igualmente se puede apreciar en la tabla 4.6. No obstante este aumento de las tensiones se presenta para todos los casos, independientemente de la separación (S) que exista entre los conectores. La longitud que se le quiera dar al conector depende directamente de la separación que se le quiera dar al mismo, son factores que intervienen juntos dentro del comportamiento de la estructura.

En cada una de las figuras (4.28 (a) (b) (c)), se delimita la longitud máxima de corte, que es longitud máxima que puede alcanzar el conector antes que la soldadura rompa y se produzca el despegue total del nudo. Éstas dependen directamente de la separación (S) que exista entre los conectores.

Además de lo anterior, dichas longitudes de corte se encuentran delimitadas por un 30% del límite elástico nominal del acero, 150 MPa, según la norma *UNE 36739:1995EX*, que establece un límite elástico para uniones soldadas.



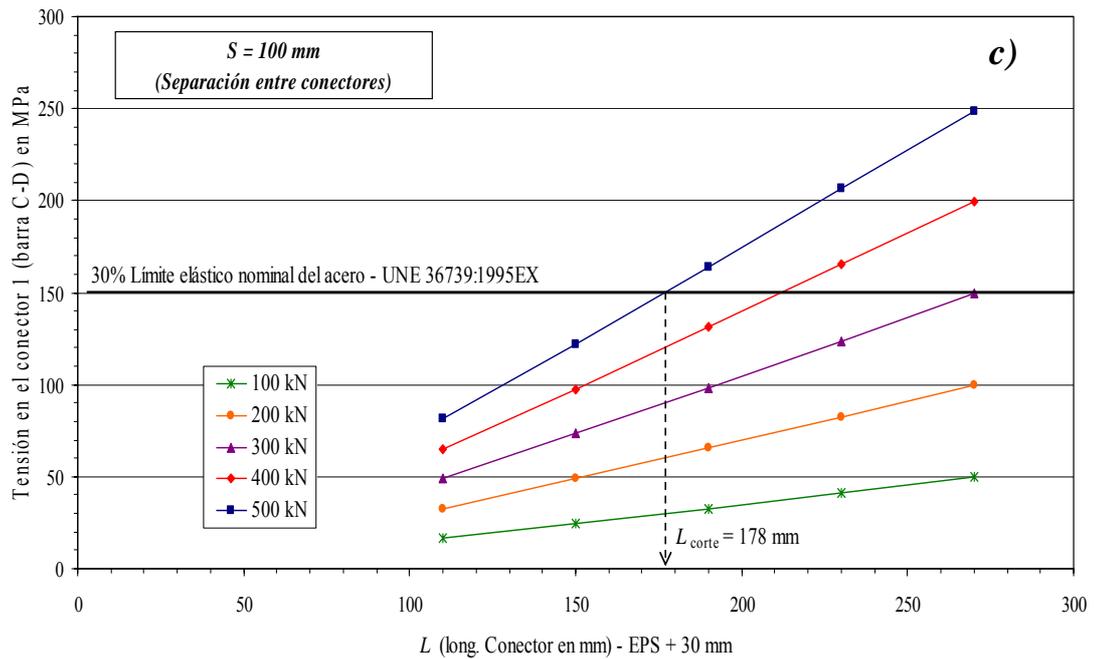


Figura 4.28: Tensión en el conector I (barra C-D) para
a) $S = 50 \text{ mm}$ b) $S = 75 \text{ mm}$ c) $S = 100 \text{ mm}$

Ahora bien, según se muestra en las figuras anteriores, se presenta una disminución de la longitud de corte a medida que se aumenta la separación entre conectores, esto se puede apreciar de forma gráfica en la figura 4.29.

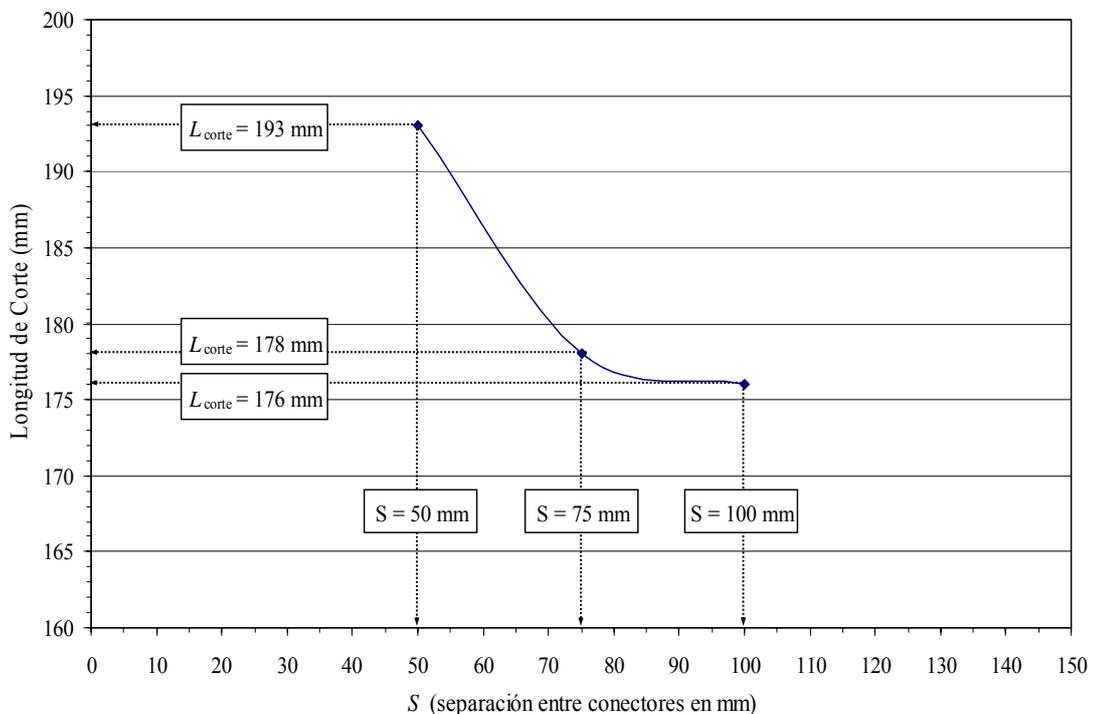


Figura 4.29: Relación entre la separación (S) de los conectores y la longitud de corte, según el modelo numérico

Aquí, es donde se percibe la influencia de la separación entre conectores, en separaciones mayores el conector alcanza mucho más rápido la rotura.

Ahora bien, como una primera conclusión sobre el comportamiento del panel a mayores cantos, se puede decir que existe un incremento de las tensiones en el conector a medida que aumenta su longitud.

Cuanto mayor sea la separación entre conectores, menor debe ser la longitud de éste, para evitar la rotura de la soldadura unión del conector con la malla que conforma el panel y viceversa.

4.5. MODELO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE ROTURA – 2ª fase

4.5.1 Comportamiento a compresión simple

Teniendo en cuenta los resultados de las tensiones obtenidas mediante el modelo numérico y el análisis efectuado, se plantea como primera instancia un comportamiento de los paneles a compresión simple, igualmente para realizar todas las estimaciones se toman como referencia los resultados obtenidos experimentalmente.

Los paneles con $L = 110 \text{ mm}$ y $L = 150 \text{ mm}$, según la figura 4.28 (b), las tensiones obtenidas no superan el límite elástico y por lo mismo no se supera la longitud de corte dada para $S = 75$ ($L_{\text{corte}} = 178 \text{ mm}$), lo que sirve como referencia para la estimación de la carga por medio del modelo a compresión simple planteado para la 1ª fase de ensayos (Ec. 4.1). En el cual se considera una sección con dos áreas de mortero sumadas entre sí, más la armadura de acero, multiplicadas por la resistencia del mortero.

Experimentalmente, según la secuencia de paneles analizados, el panel con $L = 150 \text{ mm}$ presenta una rotura local cerca al plato de carga, a esto puede deberse que su carga de rotura no sea consecuente con la secuencia de paneles (figura 4.15), su carga debió ser mucho más alta. Puede haberse presentado este cambio de carga al no tener algunos de sus conectores soldados o por presentar irregularidades en la superficie de contacto con el plato de carga. En este caso la estimación de la carga de rotura se efectúa igualmente según el modelo a compresión simple propuesto anteriormente.

Luego, la carga estimada para los paneles con $L = 110 \text{ mm}$ y $L = 150 \text{ mm}$ es $Q = 498,1 \text{ kN}$, donde según la ecuación 4.1:

$$\begin{aligned} n &= 10 \\ A_s &= 113 \text{ mm}^2 \text{ y} \\ f_{c \text{ mortero}} &= 16 \text{ MPa.} \end{aligned}$$

Ahora bien, el siguiente panel con $L = 190 \text{ mm}$, la carga de rotura obtenida experimentalmente (385,5 kN) desciende con respecto al panel $L = 110 \text{ mm}$ (480 kN) (figura 4.15). Según los resultados numéricos de la figura 4.28 (b), dicha carga supera la longitud de corte máxima para esta separación ($S = 7,5 \text{ mm}$; $L_{\text{corte}} = 178 \text{ mm}$) e igualmente supera el límite elástico dado por la norma. Por esto la estimación de la carga de rotura no

es aplicable al modelo a compresión simple, en este caso se propone realizar una aproximación numérica para hallar su carga de rotura.

4.5.2. Aproximación numérica, estimación carga de rotura – 2ª fase

Con el fin de realizar una aproximación numérica para la estimación de la carga de rotura, se propone tomar como punto de partida los resultados obtenidos mediante el modelo numérico, resultados que se encuentran gráficamente en las figura 4.28 (a) (b) (c).

Con estas tensiones, se determina con respecto al límite elástico nominal del acero (30%) un valor de carga de rotura, interpolando entre las rectas de tensión de cada carga. En detalle se realiza la estimación de carga para los paneles $L = 190$ mm (EPS 160 mm), $L = 230$ mm (EPS 200 mm) y $L = 270$ mm (EPS 240 mm).

Para $L = 190$ según la figura 4.30, los valores de la tensión para las cargas de 500 y 400 kN son $\sigma = 161,10$ MPa y $\sigma = 128,88$ MPa respectivamente. Obteniendo, según el límite dado por la norma (150 MPa) un valor estimado de la carga de rotura de $Q = 465,5$ kN.

De forma análoga para los paneles $L = 230$ y $L = 270$ se obtienen unas cargas de rotura respectivamente de: $Q = 370,8$ kN y $Q = 307,9$ kN (figura 4.30).

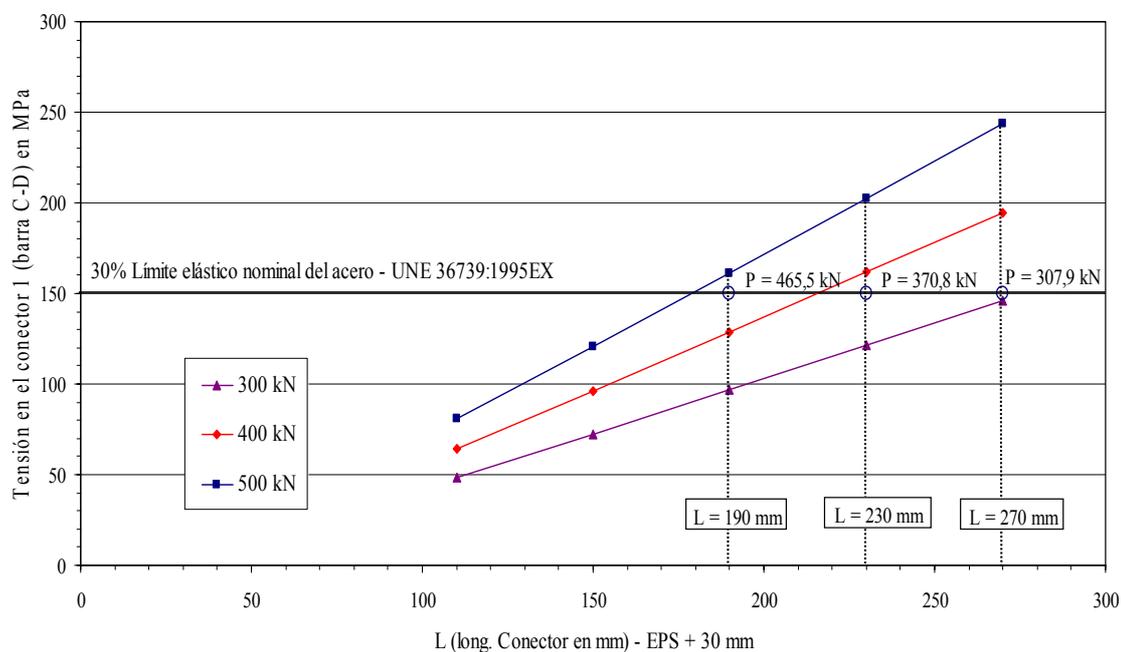


Figura 4.30: Cargas estimadas para los paneles $L = 190$ mm, $L = 230$ mm y $L = 270$ mm

Con estos valores estimados de la carga de rotura para cada uno de los paneles e igualmente con los valores obtenidos experimentalmente, de forma gráfica en la figura

4.31, se muestra la curva con la estimación numérica de la carga de rotura para las tres separaciones y así mismo, la curva experimental para la secuencia de paneles analizada.

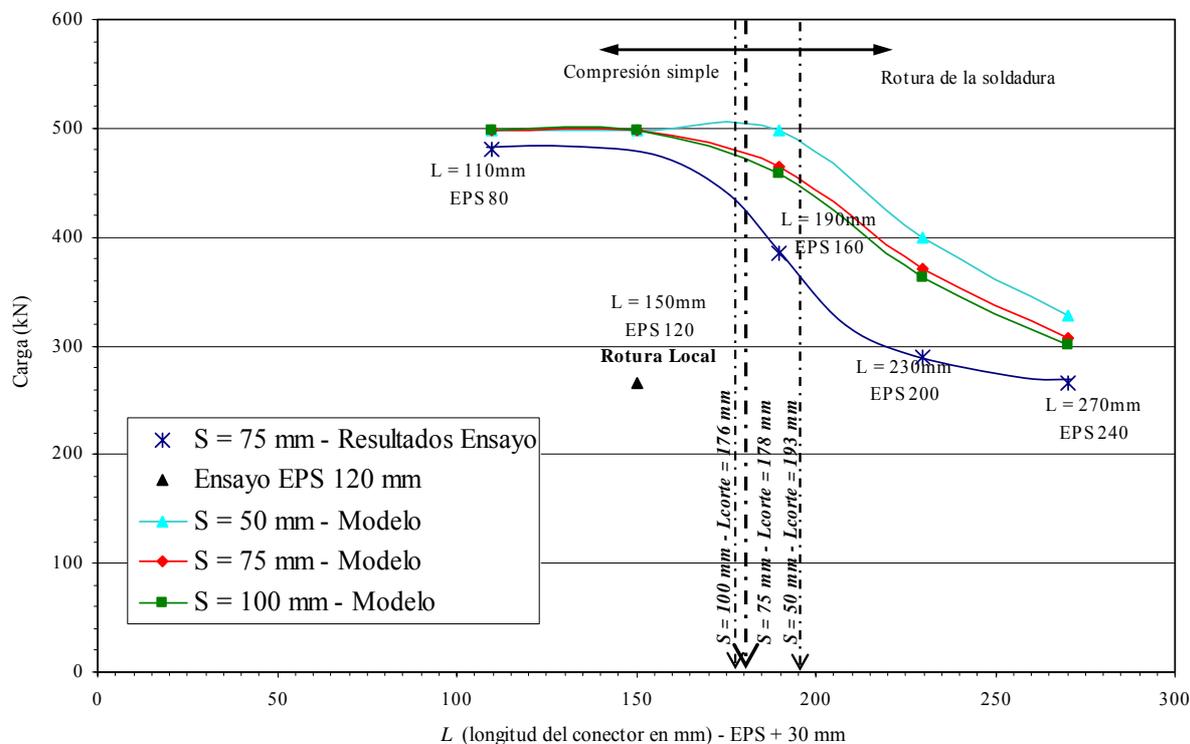


Figura 4.31: Estimación carga de rotura, 2ª fase de ensayos $S=50$ mm $S=75$ mm $S=100$ mm

En la citada figura igualmente se hace referencia a las longitudes de corte obtenidas para cada una de las separaciones.

Con el análisis realizado anteriormente, es factible afirmar que el panel tiene un comportamiento a compresión simple hasta alcanzar una longitud de corte, que depende directamente de la separación (S) entre conectores. Tras superarse esta longitud, se presenta una rotura de la soldadura de unión del conector con la malla, lo que da lugar a una rotura por flexión en una de las caras del panel (no del conjunto del panel), entre los puntos de soporte dados por los separadores que no están desprendidos. De esta manera entre menor sea la separación entre conectores, es factible llegar a mayores cantos del panel.

Así, la tabla 4.7 muestra un resumen de las cargas estimadas para cada separación ($S = 50, 75$ y 100 mm), las cuales se encuentran graficadas en la figura 4.31. Cabe recordar que estas cargas son obtenidas respecto a las figuras de tensión para el conector más solicitado (figura 4.28 (a) (b) (c)).

Separación entre conectores	L = 190 mm EPS 16	L = 130 mm EPS 20	L = 270 mm EPS 24
S = 50 mm	498,1 kN	199,5	327,5
S = 75 mm	465,5 kN	370,8	307,9
S = 100 mm	457,7 kN	363,5	301,2

Tabla 4.7: Resumen de aproximación numérica de cargas
S = 50 mm, S = 75 mm y S = 100 mm.

Un análisis del panel numéricamente, realizando el mismo modelo planteado anteriormente pero sin tener en cuenta el conector *I*, se efectúa a continuación. Es decir si en cualquier momento la estructura del panel no contase con el 100% de los conectores, se aumentaría la separación (*S*) entre dichos conectores, lo que incrementa las posibilidades de una rotura del panel por la soldadura de unión. Así se plantean dos modelos:

- 100% de los conectores.
- Sin el conector *I*

Se incorporó dentro del modelo un panel compuesto por $L = 230$ mm, con una separación entre conectores de 75 mm. La tabla 4.8 muestra los resultados obtenidos, para los casos planteados, *a*) los resultados para el panel con el 100% de los conectores y *b*) para el panel sin el conector *I*.

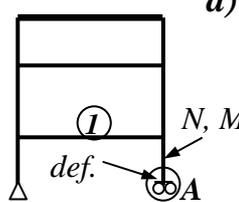
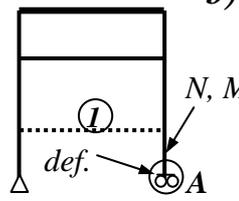
Caso	P = 300 kN			P = 400 kN		
	N (kN)	M (kNxm)	Def. en A (mm)	N (kN)	M (kNxm)	Def. en A (mm)
<p><i>a</i>)</p> 	150,0	70,8	0,140	200,0	94,4	0,186
<p><i>b</i>)</p> 	150,0	107,9	0,174	200,0	143,9	0,231

Tabla 4.8: Comparación de dos modelos representativos - panel $L=230$ EPS 200 mm
a) Modelo con 100% de los conectores y *b*) Modelo sin el conector *I*

Si se realiza una estimación del comportamiento del panel y se dice que este panel soporta una carga de 400 kN aproximadamente, según el modelo para la estimación de la carga de rotura (figura 4.31), el esfuerzo axial actuante es de 200 kN en las barras verticales, con una deformación de $0,186\text{ mm}$ en el punto A (columna a de la tabla 4.8).

Sin embargo, para esta misma deformación ($0,186\text{ mm}$), sin el conector I o en su defecto que estuviera sin soldar, la carga que se tiene es de 150 kN , se presenta una disminución en un 25% de la carga, debido al aumento la separación entre los conectores. De aquí la importancia de éstos actuando en conjunto en toda la estructura, para así tener una condición de carga mayor en el panel.

4.6. CONCLUSIONES

Con los resultados anteriormente obtenidos se puede concluir:

- En la 1ª fase de el ensayo de compresión sobre paneles, los resultados obtenidos son satisfactorios y con margen suficiente respecto a las cargas usuales de edificación en viviendas con paredes de carga. Los paneles en esta fase tienen un comportamiento a compresión simple, para el cual se estableció la estimación de la carga de rotura por medio del modelo simple, presentando igualmente resultados favorables.
- La rotura a compresión de los paneles de la 2ª fase responde a un modelo de compresión simple, luego tras la rotura de la soldadura de unión de los conectores, se presenta una rotura local por flexión de una de las caras del panel.
- El punto de transición de un modelo al otro viene dado por la longitud del conector (L) y la separación (S) entre estos. Así al aumentar la longitud del conector (L) y llevar el panel a mayores cantos, se produce una disminución de la carga de rotura, tal y como se dieron los resultados experimentalmente.
- Luego del análisis numérico realizado por medio del modelo, se consigue la importancia de la separación (S) entre conectores, ya que para tener en el panel mayores cantos, es indispensable una separación menor entre conectores, aumentando de esta manera la longitud de corte, alcanzando mayores longitudes del conector (L) (mayores cantos).
- Con la estimación de la carga de rotura realizada y el estudio de los resultados obtenidos numéricamente, se propone un modelo acerca del comportamiento del panel a compresión con resultados satisfactorios, que reproducen el comportamiento del panel experimentalmente. Según el modelo propuesto, es necesario tener en cuenta la longitud de corte para cada una de las separaciones, evitando superar dicho límite y así obtener menores tensiones en los conectores. De aquí la importancia de la separación y la longitud de éstos, entre menor sea la separación entre conectores, es factible llegar a mayores cantos del panel.