

INFORME N°342977

Ensayos de Flexión y de Compresión a Panel de Muro Monoplac “PMO-50”

IDIEM
UNIVERSIDAD DE CHILE

2005

SECCION IEE INVESTIGACIÓN Y ENSAYE DE ESTRUCTURAS		REF.:	EJEMPLAR N°: 1	N° DE PÁGINAS: 20
ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:	DESTINATARIO:	
Guillermo Sierra R.	Vladimir Torrens F.	Vladimir Torrens F.	Monoplac Limitada	
FECHA: 13 / 05 / 2005	FECHA: 16 / 04 / 2005	FECHA: 17 / 04 / 2005	FECHA: 18 / 04 / 2005	

TABLA DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	DESCRIPCIÓN DEL PANEL	2
3.	ENSAYO DE FLEXIÓN.....	3
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	3
3.1.1.	<i>Tipo de ensayo.....</i>	3
3.1.2.	<i>Dispositivo de ensayo</i>	3
3.1.3.	<i>Aplicación de la carga.....</i>	3
3.1.4.	<i>Instrumentación.....</i>	3
3.1.5.	<i>Procedimiento de ensayo</i>	4
3.2.	RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN.....	5
4.	ENSAYO DE COMPRESIÓN	6
4.1.	DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	6
4.1.1.	<i>Tipo de ensayo.....</i>	6
4.1.2.	<i>Dispositivo de ensayo</i>	6
4.1.3.	<i>Aplicación de la carga.....</i>	6
4.1.4.	<i>Instrumentación.....</i>	6
4.1.5.	<i>Procedimiento de ensayo</i>	7
4.2.	RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN	8
5.	ANEXO A.1: GRÁFICOS ENSAYO DE FLEXIÓN.....	9
6.	ANEXO A.2: GRÁFICOS ENSAYO DE COMPRESIÓN.....	11
7.	ANEXO B.1: FOTOS ENSAYO DE FLEXIÓN.....	14
8.	ANEXO B.2: FOTOS ENSAYO DE COMPRESIÓN	17

INFORME N°342977

Ensayos de Flexión y de Compresión a Panel de Muro de Monoplac “PMO-50”

1. INTRODUCCIÓN

A petición de la empresa Monoplac Limitada, Rut 77.997.990 – 3, con domicilio comercial en Panamericana Norte 20586, Condominio El Taqueral, Galpón 12, Lampa, se realiza una serie de ensayos de flexión y de compresión a un panel aislado, simétrico, denominado comercialmente como “*Panel Muro Ondulado PMO-50*”, compuesto por un núcleo de poliestireno expandido y una capa de mortero proyectado por ambas caras, reforzado con una malla electrosoldada de acero de alta resistencia. El panel es construido a escala natural, con dimensiones nominales de ancho, alto y espesor de 1,20 m, 2,40 m y 0,11 m, respectivamente.

Todos los paneles ensayados son fabricados por el cliente en su planta, utilizando los elementos y métodos de construcción empleados en la práctica habitual, y son posteriormente trasladados por él a nuestro Laboratorio. Durante la confección de los paneles se toman muestras del mortero proyectado utilizado para materializar las caras del panel, que corresponden a probetas RILEM moldeadas (viguetas de 40x40x160 mm).

Los resultados que se presentan incluyen: a) las cargas máximas y deformaciones asociadas; b) las deformaciones remanentes; y c) las curvas carga – deformación.

Además, el informe incluye los anexos siguientes:

Anexo A: Gráficos. Contiene los gráficos mencionados en el informe. Este anexo se divide en dos partes, que contienen los gráficos de los ensayos de flexión y de compresión, respectivamente.

Anexo B: Fotos. Este anexo también se divide en dos partes, una por cada tipo de ensayo. Aquí, se presentan las fotos del montaje realizado, el estado final de los paneles y eventuales daños locales observados.

Los ensayos se realizan de acuerdo a los procedimientos de ensayo establecidos en las normas chilenas vigentes de ensayos mecánicos a paneles prefabricados; norma chilena NCh803.Of2003 para el ensayo de flexión y NCh801.Of2003 para el ensayo de compresión. Sin embargo, existe una desviación a las normas de ensayo mencionadas, dado que tales normas indican que el ensayo de flexión y de compresión, respectivamente, debe ser realizados a tres probetas (paneles), pero a petición del cliente, en este estudio sólo se ensayan dos probetas por tipo de ensayo.

2. DESCRIPCIÓN DEL PANEL

El panel ensayado es un elemento estructural desarrollado para materializar muros resistentes (de acuerdo a lo señalado por el cliente). En todos los ensayos realizados se prueban paneles aislados, por lo que no se incluyen los sistemas de unión entre paneles y de anclaje a la fundación.

Este panel es simétrico, del tipo "Sandwich", que para efectos de ensayo se confecciona con dimensiones nominales de 1,20 m de largo, 2,40 m de alto y 0,11 m de espesor, además, está constituido por:

- (1) *Las Caras exterior e interior:* ambas caras corresponden a una capa de mortero de cemento, proyectado, con un espesor promedio por cara de 30 mm, reforzado con una malla electrosoldada de acero de alta resistencia.

§ Mortero proyectado: Es elaborado in situ por el cliente, en proporciones 1:3,5 (cemento: arena) con incorporación de fibra de polipropileno de monofilamentos de $\frac{3}{4}$ in de largo, en proporción de 600 gramos por metro cúbico de mortero. El mortero es proyectado a máquina en tres capas de 10 mm, aproximadamente, y curado mediante riego con agua durante siete días. Las resistencias a la compresión y a la flexotracción del mortero a 28 días son de 8,5 MPa y 3,4 MPa (probeta RILEM), respectivamente, determinadas a partir del ensayo de muestras de mortero, correspondientes a probetas prismáticas RILEM (moldeadas) de 40 x 40 x 160 mm, extraídas durante la fabricación de los paneles para ensayo.

§ Acero de refuerzo: Corresponde a una malla electrosoldada de alambres de acero de alta resistencia de calidad nominal AT56-50H, de diámetro nominal 4,0 mm, modulada a 150 mm en ambas direcciones. Además, las mallas de ambas caras (exterior e interior) se conectan entre sí mediante alambres de acero AT56-50H de 4,2 mm de diámetro nominal, que atraviesan horizontalmente al panel (perpendicularmente a su plano), dejando una distancia libre entre las mallas de 70 mm.

- (2) *Núcleo de poliestireno expandido:* este relleno corresponde a una placa continua poliestireno expandido, ondulada por ambas caras, de densidad nominal de 10 kg/m³.

Además, para efectos del ensayo de compresión, a los paneles respectivos se les materializa en ambos extremos (superior e inferior) una "cadeneta simple", de un largo igual a la longitud del panel, un ancho igual al espesor del panel y una altura de 100 mm, aproximadamente, utilizando el mismo mortero proyectado empleado en la confección de las caras del panel.

La fabricación de los paneles estuvo a cargo del cliente y fue realizada en su planta, finalizando el 21 de marzo de 2005 (según información del cliente).

La información referente a las especificaciones técnicas de los elementos que componen los paneles (valores nominales) es proporcionada por el cliente.

3. ENSAYO DE FLEXIÓN

3.1. Descripción del ensayo

3.1.1. Tipo de ensayo

El ensayo realizado es el descrito en la norma chilena NCh803. Éste consiste en someter al panel, dispuesto de forma horizontal y simplemente apoyado en sus extremos, a la acción de una carga aplicada en la dirección perpendicular a su plano, de manera cuasi-estática e incremental, hasta alcanzar la falla.

3.1.2. Dispositivo de ensayo

Para realizar el ensayo de flexión se utiliza un marco de reacción tipo mecano, anclado a un par de vigas principales doble T emplazadas sobre el piso del Laboratorio, sobre el cual se monta el panel y el gato hidráulico que genera la carga.

Para aplicar la carga, perpendicular al plano del panel, se utiliza un gato hidráulico de 50.000 kgf (490 kN) de capacidad. La distribución de la carga sobre el panel se realiza por medio de un par de tubos metálicos colocados sobre su cara superior, abarcando todo el ancho. Sobre estos tubos se monta una viga metálica que permite repartir la carga del gato en partes iguales.

En la Foto 1, Anexo B.1, se muestra una vista general del montaje del panel para el ensayo de flexión.

3.1.3. Aplicación de la carga

El panel se somete a una carga aplicada en la dirección perpendicular a su plano, mediante ciclos de carga y descarga, de manera cuasi-estática e incremental, hasta alcanzar la falla. Esta carga se aplica a lo ancho del panel, distribuyéndola en dos líneas de carga ubicadas a una distancia de los apoyos igual a $\frac{1}{4}$ de la luz de ensayo (ver Foto 1, Anexo B.1) .

3.1.4. Instrumentación

La instrumentación utilizada se define de acuerdo a lo establecido en la norma NCh803. Así, se emplean transductores de desplazamiento para medir la deflexión del panel y un sensor de presión para registrar digitalmente la carga.

Se ubican dos transductores de desplazamientos con precisión centesimal (0,01 mm) al centro del panel, colocando uno en cada borde (ver Foto 1, Anexo B.1), con objeto de medir y registrar su deformación vertical fuera de plano (deflexión).

3.1.5. Procedimiento de ensayo

El procedimiento de ensayo utilizado es el descrito en la norma NCh803. Las condiciones ambientales para el ensayo son las habituales del Laboratorio.

En términos generales, el procedimiento de ensayo es el siguiente:

- § Se coloca el panel sobre los apoyos rotulados del marco de reacción y se monta la instrumentación.
- § Se fijan en cero los transductores de desplazamiento. Luego, se coloca el dispositivo de repartición de carga (tubos, viga de carga, etc.), previamente pesado, y se realiza una lectura de los transductores, con el fin de determinar el efecto de estos elementos en la deflexión del panel.
- § A continuación, se aplica el primer incremento de carga, partiendo de una carga básica de 0,5 kN (50 kgf), manteniéndola durante cinco minutos, registrando las lecturas de los transductores de desplazamiento al inicio y al final de este periodo.
- § Luego, se retira el primer incremento de carga y se registran las lecturas remanentes de los transductores. El incremento de carga escogido en el ensayo es de 10 kN hasta alcanzar el cuarto incremento de carga, y posteriormente de 20 kN hasta llegar a la falla, de modo de obtener una cantidad de puntos suficientes para representar la curva carga – deflexión del panel.
- § A continuación, se aplican los siguientes incrementos de carga, repitiendo el procedimiento anterior.
- § Terminado el ensayo, se registra la carga máxima, se analiza el tipo de falla y se fotografía el estado final de la probeta.

3.2. Resultados del ensayo de flexión

En la Tabla 3.1 se indican los resultados de los ensayos de flexión de los paneles. Aquí se detallan: a) el límite de proporcionalidad; y b) la carga máxima alcanzada y la deflexión asociada. Además, en el Anexo A.1 se presentan las curvas carga – deflexión registradas durante el ensayo de flexión de los paneles.

Tabla 3.1. Resultados de los ensayos de flexión de los paneles.

Panel Nº	Limite de Proporcionalidad ¹⁻²		Carga Máxima ³	
	Carga [kN]	Deflexión [mm]	Carga [kN]	Deflexión [mm]
1	5,6	1,1	14,4	42,4
2	5,5	5,0	15,9	57,6

Notas:

- § (1) El ensayo comienza con una lectura inicial, correspondiente al efecto combinado sobre el panel de su peso propio, el peso del cargador y la carga básica aplicada. La carga inicial es de 4,1 kN y 4,2 kN, para el panel N°1 y N°2, respectivamente, y la deflexión inicial promedio asociada a esta carga es de 10,9 mm. De acuerdo a lo establecido en la norma de ensayo NCh803, en la curva carga – deflexión del panel se incluye la carga inicial (peso propio + peso del cargador + carga básica), pero en el cálculo de las deflexiones bajo carga y remanente se resta la deflexión inicial (producto de la carga inicial), es decir, en la curva no se incorpora la deflexión producto de la carga inicial.
- § (2) El límite de proporcionalidad se establece en función del comportamiento exhibido por el panel, en relación con las deflexiones bajo carga y remanente por sobre la carga inicial; no obstante la pérdida de proporcionalidad puede ocurrir con anterioridad a la aplicación de la carga, debido al peso propio del panel. La carga de límite de proporcionalidad incluye el peso propio del panel y el peso del cargador, y en el cálculo de la deflexión asociada, se ha descontado la lectura inicial (deflexión inicial).
- § (3) La carga máxima, así como la carga de límite de proporcionalidad, incluye la carga de peso propio del panel y el peso del cargador; sin embargo, la deflexión no incluye el efecto de la carga inicial (se ha restado la deflexión inicial).
- § El ensayo de flexión de los dos paneles se lleva a cabo el 22 de abril de 2005, a una edad de 32 días (de acuerdo a la información proporcionada por el cliente, en relación con la fecha de término de la construcción de los paneles).

El modo de falla observado en el ensayo de flexión es similar en ambos paneles, y se caracteriza por la falla por tracción del hormigón de la cara inferior del panel, sin rotura de la malla de acero electrosoldada, en el tramo comprendido entre las líneas de carga, cerca de una de las líneas de aplicación de la carga, generándose la rotulación del panel en esa zona (ver Fotos 2, 3 y 4, Anexo B.1). Además, al presentarse la falla de los paneles, se observa el deslizamiento de la cara superior de hormigón respecto al núcleo de poliestireno expandido y la cara inferior (ver Foto 5, Anexo A.1).

4. ENSAYO DE COMPRESIÓN

4.1. Descripción del ensayo

4.1.1. Tipo de ensayo

El ensayo realizado se basa en la norma chilena NCh801.Of2003 y consiste en someter al panel de ensayo, montado de manera vertical y simplemente apoyado en sus extremos de menor dimensión, a la acción de una carga axial excéntrica, aplicada de manera incremental hasta alcanzar la falla del panel.

4.1.2. Dispositivo de ensayo

Los ensayos de compresión se realizan en una Máquina de Compresión de 500.000 kgf (4900 kN) de capacidad. Para ello, el panel se monta sobre una viga metálica de sección variable, que forma parte de la Máquina de Ensayo.

Para aplicar la carga de manera excéntrica se utiliza una viga metálica de repartición de carga especialmente diseñada para tales efectos, tal como lo estipula la norma NCh801.

En la Foto 6, Anexo B.2, se muestra una vista general del montaje del ensayo de compresión.

4.1.3. Aplicación de la carga

El panel se somete a una carga de compresión axial excéntrica, aplicada mediante ciclos de carga y descarga, de manera cuasi-estática e incremental, hasta alcanzar la falla. El plano de carga se ubica a una distancia del borde del panel igual a un tercio de su espesor, según lo estipula la norma NCh801.

4.1.4. Instrumentación

La instrumentación utilizada se define con base en la norma NCh801, de esta forma se usan dos tipos de instrumentos: transductores de desplazamiento para medir la deformación del panel y un sensor de presión para registrar digitalmente la carga.

Se ubican transductores de desplazamientos en las siguientes zonas del panel:

- a) En el eje longitudinal central del panel, ubicando un transductor de desplazamiento de resolución de 10 $\mu\text{m}/\text{m}$ en cada cara, con objeto de medir y registrar la deformación longitudinal del panel.
- b) En el eje transversal central del panel, por una de sus caras, colocando un transductor de desplazamiento de precisión centesimal en cada borde longitudinal, con el fin de medir y registrar la deformación fuera de plano del panel (deflexión por pandeo).

En la Foto 6, Anexo B.2, se muestra la ubicación de estos transductores.

4.1.5. Procedimiento de ensayo

El procedimiento de ensayo utilizado corresponde al establecido en la norma NCh801. Las condiciones ambientales de temperatura y de humedad relativa del aire durante el ensayo son las habituales del Laboratorio.

En términos generales, el procedimiento de ensayo es el siguiente:

- § Se coloca el panel sobre los apoyos rotulados de la Máquina de Ensayo y se monta la instrumentación, fijando en cero los transductores de desplazamiento.
- § Luego, se aplica el primer incremento de carga, manteniéndolo constante por un lapso de 5 minutos, aproximadamente. Al finalizar este periodo, se registran las lecturas de los transductores de desplazamiento y se retira el incremento de carga, registrando las lecturas remanentes de los transductores. El incremento de carga escogido en el ensayo es de 20 kN hasta alcanzar una carga de 160 kN y de 40 kN por sobre esa carga, de modo de obtener una cantidad de puntos suficientes para representar las curvas carga – deformación.
- § A continuación, se sigue incrementando la carga, hasta poco antes de alcanzar la falla del panel. En ese instante, se retira la instrumentación más susceptible de daño. Luego, se aplica la carga de manera continua hasta producir la falla del panel.
- § Terminado el ensayo, se registra la carga máxima, se observa el modo de falla y se fotografía el estado final del panel.
- § En las curvas carga – deformación asociadas al ensayo de compresión se parte de una carga básica de 21,6 kN (2200 kgf), carga a partir de la cual se estabiliza el comportamiento del panel.

4.2. Resultados del ensayo de compresión

En la Tabla 4.1 se indican los resultados de los ensayos de compresión de los paneles. Aquí, se detallan la carga máxima alcanzada y la deformación longitudinal y deflexión asociadas.

Las curvas carga – deformación axial y carga – deflexión registradas durante los ensayos de compresión se presentan en el Anexo A.2.

Tabla 4.1. Resultados de los ensayos de compresión de los paneles.

Panel Nº	Limite de Proporcionalidad ¹			Carga Máxima		
	Carga [kN]	Deformación longitudinal ² [mm]	Deflexión lateral ³ [mm]	Carga [kN]	Deformación longitudinal ² [mm]	Deflexión lateral ³ [mm]
1	60,8	0,21	0,41	198	1,38	6,59
2	41,2	0,12	0,27	159	0,69	7,28

Notas:

- § (1) El límite de proporcionalidad se establece en función del comportamiento exhibido por el panel, en relación con las deflexiones laterales bajo carga y remanentes por sobre la carga básica.
- § (2) La deformación longitudinal corresponde a la deformación del panel en la dirección de carga (axial).
- § (3) La deflexión lateral corresponde a la deformación fuera de plano medida al centro del panel.
- § El ensayo de compresión de los paneles N°1 y N°2 se efectúa los días 25 y 26 de abril de 2005, a una edad de 35 y 36 días, respectivamente.

La falla del panel N°1 se presenta por inestabilidad lateral producto del pandeo general a media altura, (ver Foto 7, Anexo B.2). La falla del panel N°2 también se produce por inestabilidad lateral; sin embargo el pandeo se genera en el cuarto superior del panel (ver Foto 8, Anexo B.2).

Santiago, 17 de Mayo de 2005

GUILLERMO SIERRA RUBILAR
Laboratorio de Estructuras
Sección
Investigación y Ensayo de Estructuras

VLADIMIR TORRENS FÚNEZ
Jefe Sección
Investigación y Ensayo de Estructuras

CJR/RVL/GSR/gsr

5. ANEXO A.1: GRÁFICOS ENSAYO DE FLEXIÓN

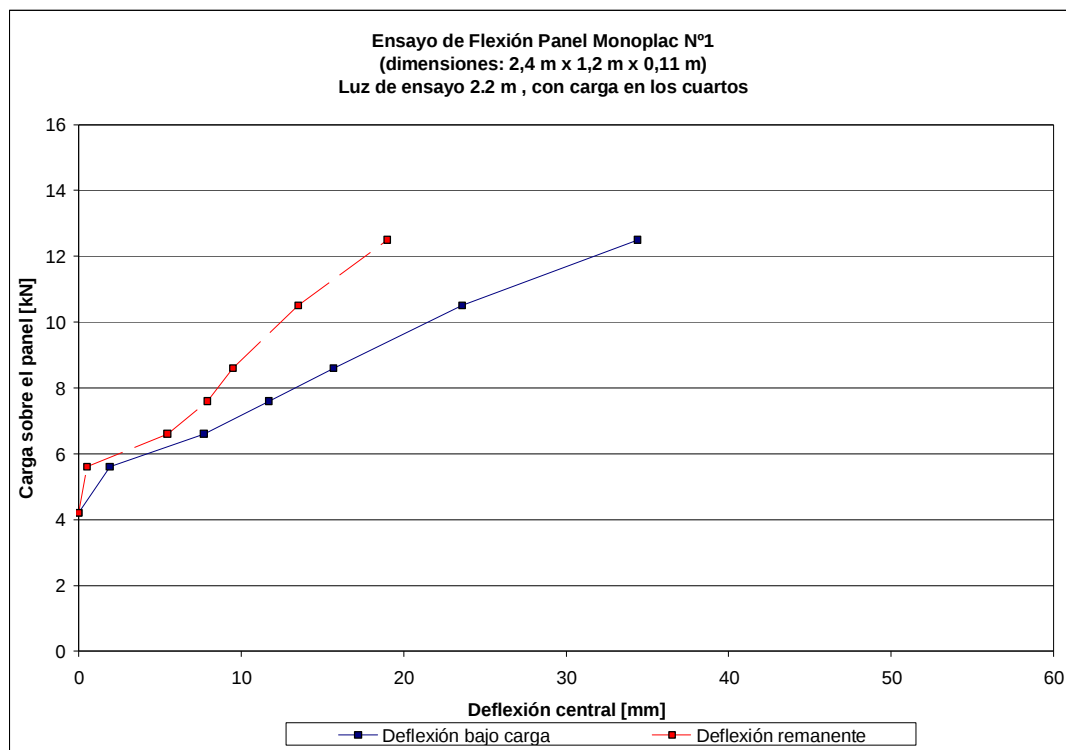


Gráfico 1. Curva carga – deflexión panel N°1 (ensayo de flexión).

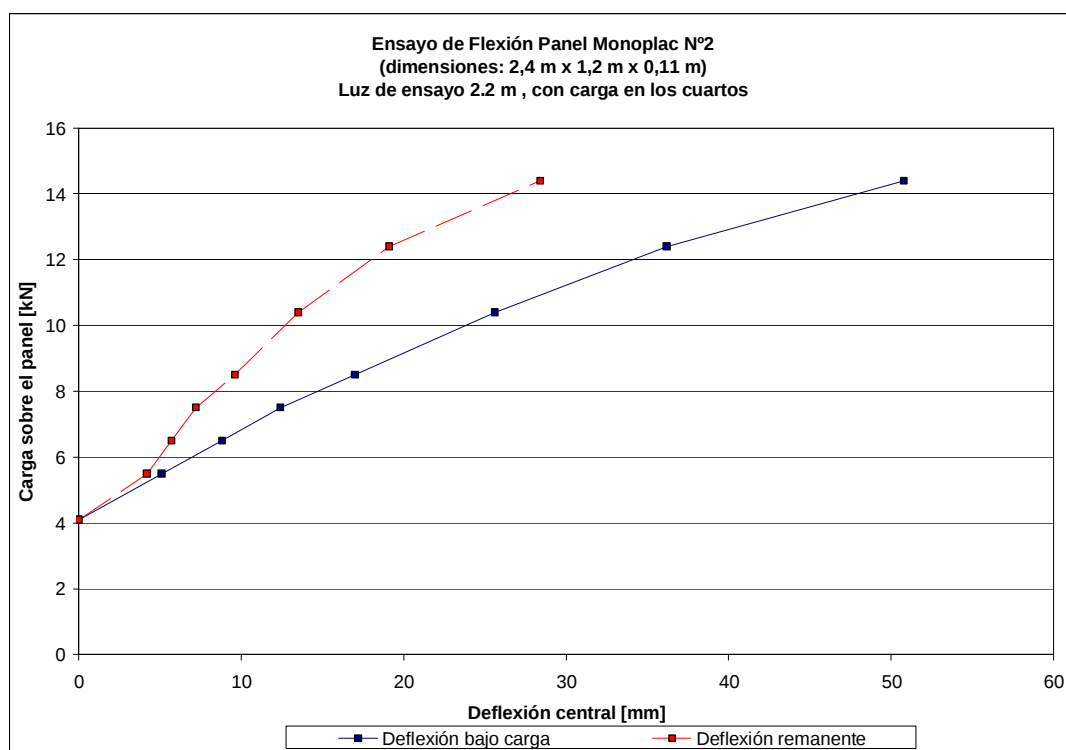


Gráfico 2. Curva carga – deflexión panel N°2 (ensayo de flexión).

6. ANEXO A.2: GRÁFICOS ENSAYO DE COMPRESIÓN

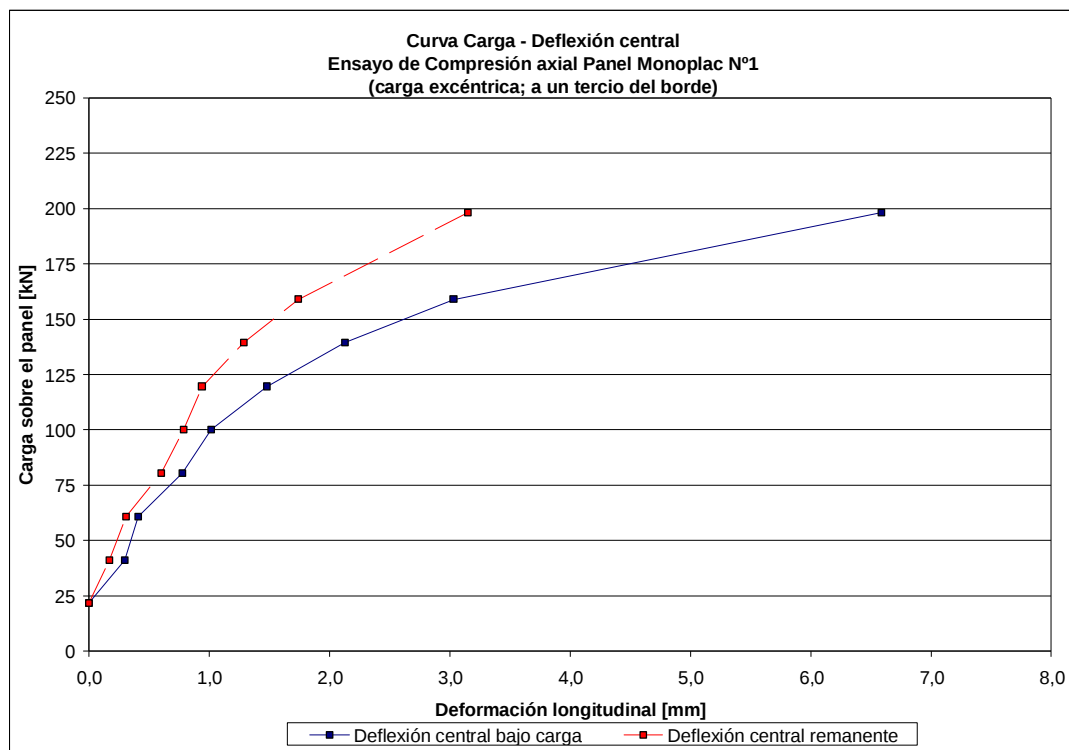


Gráfico 3. Curva carga – deflexión panel N°1 (ensayo de compresión).

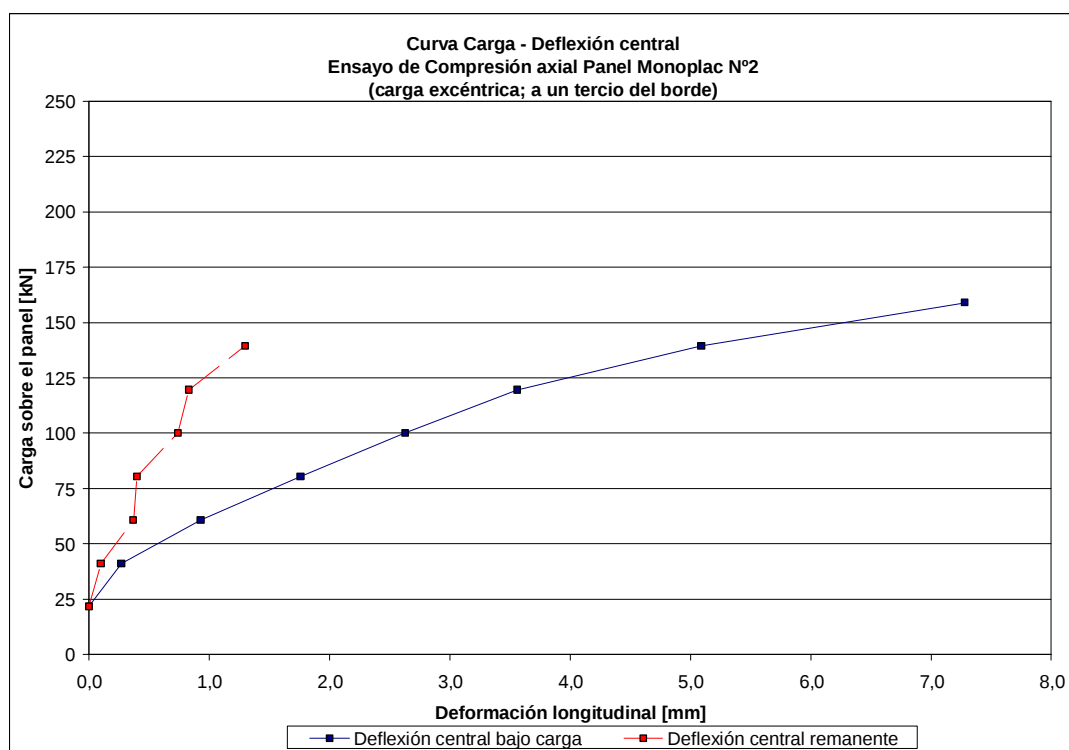


Gráfico 4. Curva carga – deflexión panel N°2 (ensayo de compresión).

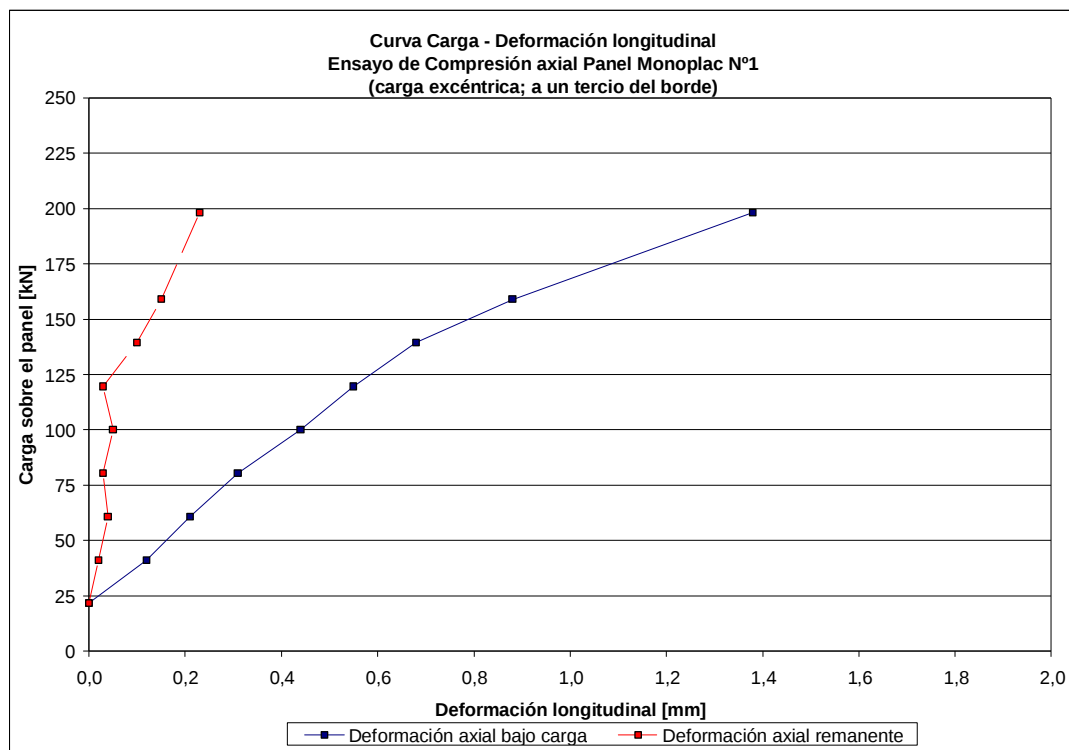


Gráfico 5. Curva carga – deformación longitudinal panel N°1 (ensayo de compresión).

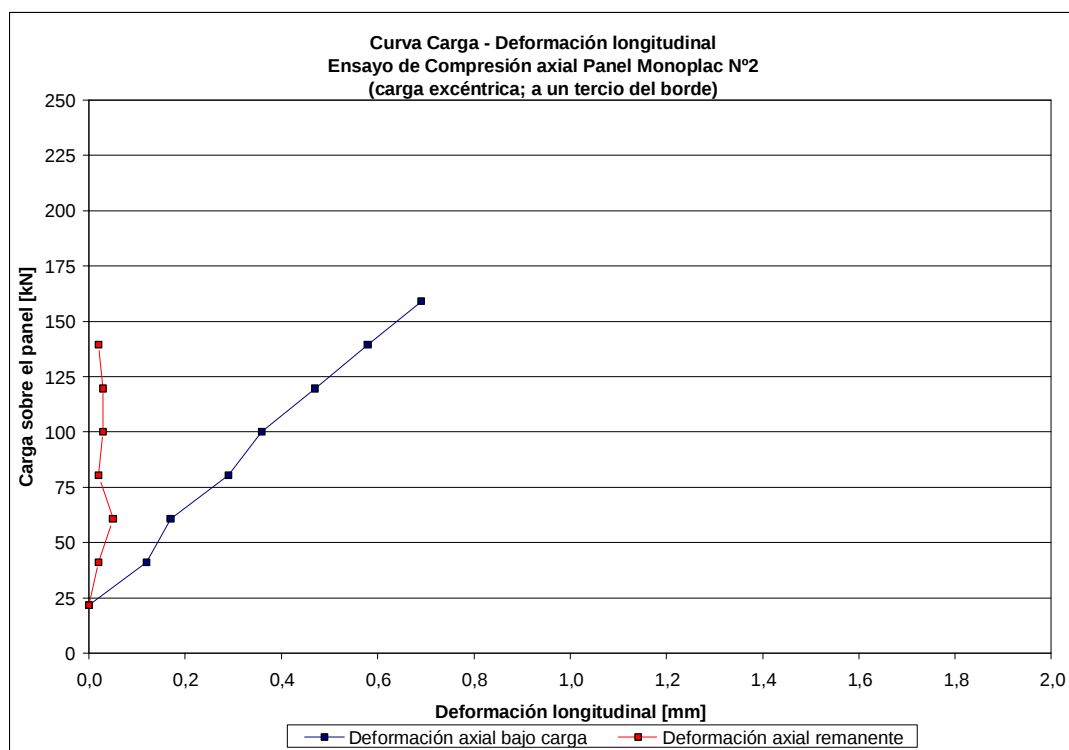


Gráfico 5. Curva carga – deformación longitudinal panel N°1 (ensayo de compresión).

7. ANEXO B.1: FOTOS ENSAYO DE FLEXIÓN



Foto 1. Vista general del montaje del ensayo de flexión.



Foto 2. Modo de falla del panel N°1 (ensayo de flexión).



Foto 3. Modo de falla del panel N°2 (ensayo de flexión).



Foto 4. Detalle de la falla por tracción del hormigón de la cara inferior del panel.
(en la Foto panel N°1)



Foto 5. Detalle del deslizamiento del hormigón de la cara superior del panel al producirse la falla.
(en la Foto panel N°1)

8. ANEXO B.2: FOTOS ENSAYO DE COMPRESIÓN



Foto 6. Vista general del montaje del ensayo de compresión.



Foto 7. Falla del panel N°1 por pandeo general (ensayo de compresión).



Foto 8. Falla del panel N°2 por pandeo en el cuarto superior (ensayo de compresión).