

INFORME ELECTRÓNICO DE ENSAYO N° 645023-02

Ensayos mecánicos a muros de hormigón confeccionados con encofrado modular perdido de poliestireno expandido de alta densidad

PARTE 2: Ensayo de flexión

CLIENTE

EXACTA LTDA.
Rut. 76.058.030-9
Av. Del Cóndor Norte 844, Of. 316, Comuna de Huechuraba.
Sr. Sebastián Goldberger K.

ENSAYO

Ensayo de flexión fuera de plano, de acuerdo a la norma chilena NCh803.Of2003. Este ensayo consiste en someter a un módulo aislado del muro, colocado en posición horizontal y simplemente apoyado en sus extremos de menor longitud, a la acción de una carga aplicada perpendicular a su plano, en los cuartos de la luz entre apoyos (luz entre apoyos: 2.2 m). La carga se aplica de forma incremental y cuasi-estática, mediante ciclos de carga – descarga. Durante el ensayo se mide la deflexión o deformación transversal del muro (al centro) bajo carga máxima y al descargar (deflexión residual o permanente).

DESCRIPCIÓN DEL MURO

Se ensayan tres muestras de un muro de hormigón, correspondientes a un módulo aislado de 1.312 m de largo x 2.40 m de alto x 194 mm de espesor y 710 kg de masa, conformado por:

- o **Encofrado modular perdido:** constituido por unidades o “ladrillos” de poliestireno expandido de alta densidad, de dimensiones nominales¹ de 1031.25 mm de largo, 187.5 mm de ancho y 300 mm de alto denominadas comercialmente como **“Exacta 18”**, fabricadas por la empresa AISLAPOL S.A.¹. Estas unidades poseen 5.5 huecos verticales, de dimensiones nominales¹ de 125 mm de largo y 117.5 mm de ancho, distribuidos uniformemente a lo largo de la unidad, además, de dos rebajes cóncavos, uno en la cara superior y otro en la cara inferior, que al materializar las “hiladas” conforman bovedillas horizontales que permite materializar los elementos horizontales de hormigón y alojar las barras de refuerzo horizontal. La unión entre las unidades se realiza con un sistema de aparejo “trabado”. Para armar el encofrado las unidades poseen un “endentado” en sus caras de asiento (ver Figura 1, Anexo B).
- o **Hormigón de relleno:** Mortero premezclado en húmedo, denominado MR20.0(90)10-10, de tamaño máximo nominal de 10 mm y cono de 10 cm, transportado en camión mixer. En la Tabla 1, se presentan las características del mortero, determinadas en el Laboratorio a partir de muestras extraídas durante la construcción de las probetas.
- o **Armadura de refuerzo:** Barras de acero para hormigón de 10 mm de diámetro, grado nominal A630-420H. El refuerzo horizontal distribuido lo conforman 2 ϕ 10@600 mm (8 barras en total) y el refuerzo vertical 1 ϕ 10@ 375 mm (4 barras en total). Además, en el coronamiento del muro (sobre la última hilada), se coloca dos barras de 10 mm de diámetro (ver Figura 2, Anexo B).
- o **Revestimientos exterior e interior:** Estuco de mortero de cemento de 3 mm a 4 mm de espesor, predosificado en seco, reforzado con una malla de fibra de vidrio, denominado comercialmente como **“Estuco Exacta”**¹, el cual se prepara empleando 2.7 a 3.7 litros de agua potable por cada bolsa de 25 kg; se adiciona el agua hasta que quede con una consistencia pastosa¹.

¹ Información proporcionada por el cliente.

**Tabla 1.** Características del mortero de cemento de relleno⁽¹⁾.

Probeta	Edad (días)	Densidad (kg/m ³)	Asentamiento (cm)	Compresión Cúbica 20 (MPa)
1	7	2260	12.0	24.6
2	28	2250		33.4
3	28	2260		32.3

Nota: (1) La determinación de las propiedades se realizó con una muestra cúbica de 150 mm, tomada en obra.

Los muros fueron diseñados por el cliente y construidos por él en dependencias de la obra ubicada en calle Balmaceda 058, comuna de Malloco. La construcción se realizó entre los días 1 y 2 de Junio de 2010 (ver Fotos 1 y 2 en el Anexo C).

MONTAJE E INSTRUMENTACIÓN

El muro se monta en forma horizontal sobre un marco de acero mecano, dejándolo simplemente apoyado sobre tubos de acero, materializando una luz entre apoyos de 2.2 m. Para aplicar la carga en los cuartos de la luz entre apoyos, se utilizan un par de tubos de acero que abarcan todo el largo del muro y una viga de acero para distribuir la carga (ver Foto 3, Anexo C).

Se emplean cuatro transductores de desplazamiento para medir la deflexión del muro y un sensor de presión para registrar la carga aplicada (ver Foto 3, Anexo C).

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El procedimiento de ensayo consiste, básicamente, en:

- Montar el muro en el marco de reacción y colocar los sensores de desplazamiento.
- A continuación, se aplica la carga en forma incremental, mediante ciclos de carga – descarga, aumentando progresivamente la carga máxima aplicada. El incremento de carga definido es de 1.96 kN (200 kgf) hasta 6.37 kN (650 kgf), de 3.92 kN (400 kgf) hasta 22.06 kN (2250 kgf) y de 7.85 kN (800 kgf) en adelante. En cada ciclo de carga se mide la deflexión del muro bajo carga máxima y al descargar. El ensayo se inicia con una carga básica de 0.49 kN (50 kgf).
- Terminado el ensayo, se observa el modo de falla del muro.

RESULTADOS

En la Tabla 2, se presentan los resultados globales obtenidos en el ensayo de flexión fuera de plano. Aquí se indican las cargas y las deflexiones asociadas a los estados límites siguientes: a) pérdida de proporcionalidad en el comportamiento carga – deflexión; y b) resistencia máxima a la flexión fuera de plano. Complementariamente, en el Anexo A, se presentan las curvas carga – deflexión y carga – deformación longitudinal registradas durante el ensayo.



FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



INFORME ELECTRÓNICO DE ENSAYO N° 645023-02

Tabla 2. Resultados del ensayo de flexión fuera de plano al muro.

Muestra del muro (N°)	Pérdida de proporcionalidad ⁽¹⁾			Resistencia máxima ⁽³⁾		
	Carga total aplicada (kN)	Carga normalizada ⁽²⁾ (kN/m)	Deflexión Central (mm)	Carga total aplicada (kN)	Carga normalizada ⁽²⁾ (kN/m)	Deflexión Central (mm)
1	18.21	13.88	1.27	45.31	34.54	25.33
2	18.21	14.99	1.24	53.14	43.74	45.30
3	14.44	11.88	2.34	52.60	43.29	30.73

Notas:

- (1) Corresponde al momento donde la curva carga – deflexión del ensayo de flexión deja de ser cuasi-lineal.
- (2) Corresponde a la carga total aplicada dividida por el largo del muro.
- (3) La falla del muro se debe a la rotura por flexo-tracción del revestimiento mortero y del núcleo de hormigón en el tramo central, entre los puntos de carga.

CLASIFICACIÓN

En la Tabla 3, se presenta la clasificación del muro de acuerdo a su comportamiento a la flexión, según la norma NCh806.EOf71: "Arquitectura y Construcción. Paneles Prefabricados. Clasificación y Requisitos".

Tabla 3. Clasificación del muro según la norma NCh806.EOf71.

Tipo de muro	Muestra del muro (N°)	Clasificación	
		Grado RT	Subgrado RT
▪ Unidad Poliestireno Expandido: "Exacta 18", encofrado perdido. ▪ Hormigón: MR20.0(90)10-10 ▪ Refuerzo: A630-420H Vertical: 1φ10@375 mm; Horizontal: 2φ10@600 mm ▪ Revestimientos Exterior e Interior: Estuco de mortero reforzado con fibra de vidrio.	1	3	C
	2	3	C
	3	3	C

Los resultados presentados en informe sólo son válidos para las muestras identificadas en él, y no pueden ser referidos a partidas o lotes. El presente informe no constituye una certificación de productos. Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe para fines publicitarios sin la autorización escrita de IDIEM.

Santiago, 16 de Diciembre de 2010


PABLO CÁRCAMO MUÑOZ
Ingeniero Civil
Sección Estructuras - Ensayos




PERLA VALDÉS CALQUÍN
Jefe Área
Área Estructuras

PCM/SLA/AFA/RVL/pcm



ANEXO A. GRÁFICOS

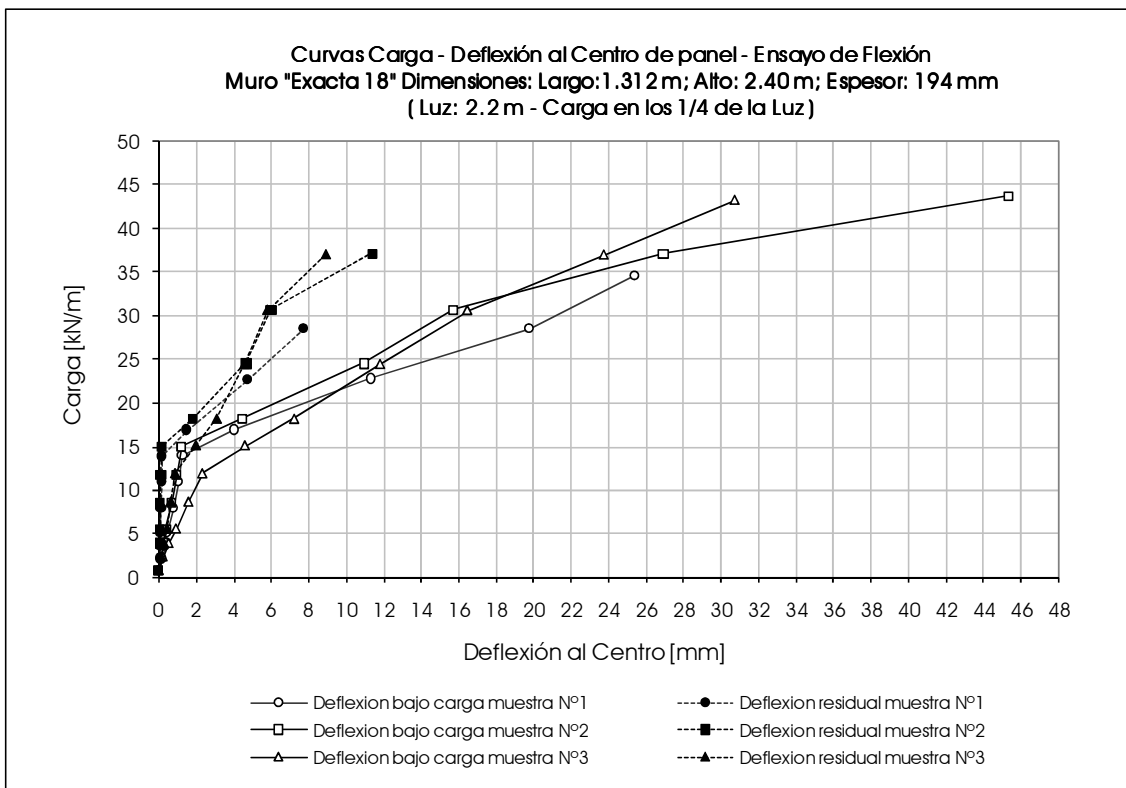


Gráfico 1. Curvas carga – deflexión (carga normalizada por el largo del muro).



ANEXO B. ESQUEMA ESTRUCTURA INTERNA MURO

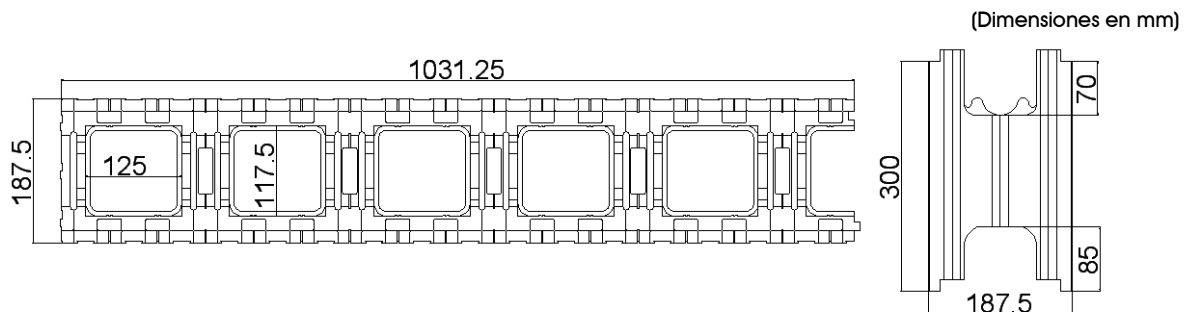


Figura 1: Esquema de unidad "Exacta 18".

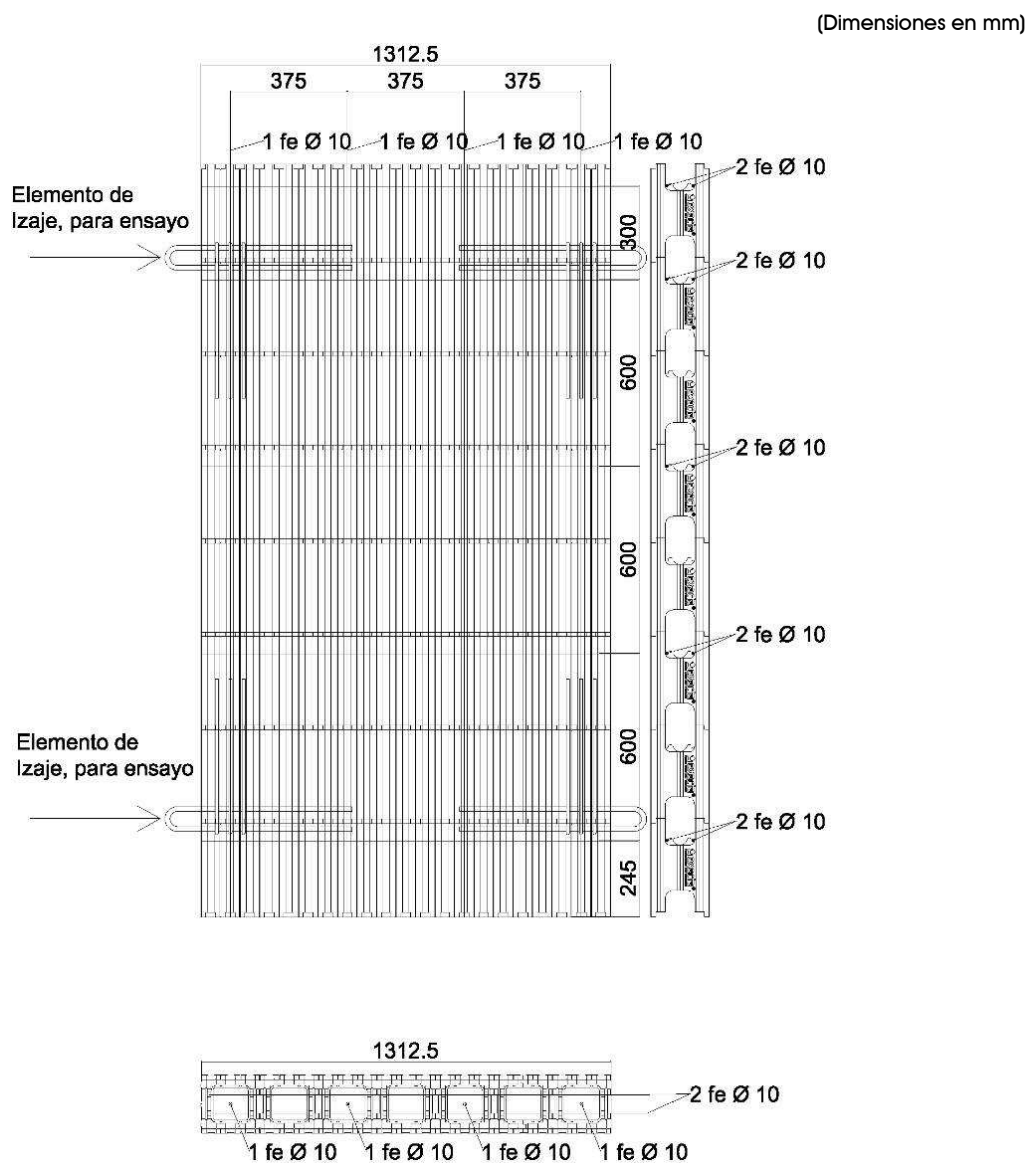


Figura 2: Esquema de muestra de ensayo, muro "Exacta 18".

ANEXO C. FOTOS



Foto 1. Construcción de probetas, refuerzos verticales y horizontales.



Foto 2. Construcción de probetas, vaciado del hormigón.



Foto 3. Vista general del montaje del ensayo de flexión al muro.



FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



INFORME ELECTRÓNICO DE ENSAYO Nº 645023-02



Fotos 4 y 5. Modo de falla de la muestra Nº 1.



Fotos 6 y 7. Modo de falla de la muestra Nº 2.



Fotos 8 y 9. Modo de falla de la muestra Nº 3.

Para verificar este documento ingrese a: <http://repositorio.idiem.cl>

El código del documento es: F4LIW9RRXa