



FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



INFORME ELECTRÓNICO DE ENSAYO N° 618671-04

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

PARTE 4: Ensayo de Carga Lateral Alternada

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 carga lateral alternada (aplicada en el plano del muro), mediante ciclos de deformación controlada, a muros de hormigón contruidos a escala natural, hasta alcanzar una deformación lateral máxima de 90 mm. El ensayo se realiza montando el muro en voladizo (este sistema constructivo está orientado a viviendas de 1 y 2 pisos, donde los muros presentan una muy baja restricción al giro al nivel superior).

DESCRIPCIÓN DEL MURO

Se ensayan tres muestras de un muro de hormigón, contruido a escala natural, de dimensiones nominales de 3.5 m de largo, 2.40 m de alto y 125 mm de espesor, anclado a una viga de fundación de hormigón armado. El muro ensayado está conformado por:

- o **Encofrado modular perdido:** constituido por unidades o "ladrillos" de poliestireno expandido de alta densidad, de dimensiones nominales de 1000 mm largo, 125 mm ancho y 300 mm de alto denominadas comercialmente como **"Exacta 12"**, fabricadas por la empresa AISLAPOL S.A.¹. Estas unidades poseen ocho huecos verticales de forma cuadrada de 75 mm de lado, distribuidos uniformemente a lo largo de la unidad, además, de un rebaje cóncavo en la cara superior, que al materializar las "hiladas" conforman una bovedilla horizontal 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 encastrado 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 1 ϕ 10@600 mm (4 barras en total) y el refuerzo vertical 1 ϕ 10@ 375 mm (10 barras en total). Además, en el coronamiento del muro (sobre la última hilada), se coloca una barra de 10 mm de diámetro (ver Figura 2 en el Anexo B).

El muro se ancla a una viga de fundación de hormigón armado de sección de 300mm x 400 mm y 2.8 m de largo, fabricada con un hormigón normal H30. El anclaje del muro se materializa por medio de las barras de refuerzo vertical, las cuales son embebidas en el hormigón (Ver Figura 2 en el Anexo B). En la Tabla 2, se presentan las características del hormigón de la viga de fundación.

¹ Información proporcionada por el cliente.

Para efectos de ensayo, se materializan cabezales de compresión en la zona de aplicación de carga, con el objeto de evitar la falla por aplastamiento del hormigón. Para este efecto se emplea un grout de alta resistencia, denominado comercialmente "MASTERFLOW® 928", reforzado con armadura de confinamiento de barras de acero para hormigón armado A630-420H (Ver Figura 3 en el Anexo B). En la Tabla 3, se presentan las características del hormigón de los cabezales de carga.

Los muros fueron diseñados por el cliente y construidos por él en IDIEM, calle Plaza Ercilla 883, en entre los meses Junio y Julio de 2010 (ver Fotos 1 y 2 en el Anexo C).

Tabla 1. Características del mortero de cemento de relleno.²

Probeta	Edad (días)	Densidad (kg/m ³)	Asentamiento (cm)	Compresión Cúbica 20 (MPa)
1	7	2260	10.0	20.9
2	28	2270		35.4
3	28	2280		36.0

Tabla 2. Características del hormigón de la viga de fundación.¹

Probeta	Edad (días)	Densidad (kg/m ³)	Asentamiento (cm)	Compresión Cúbica 20 (MPa)
1	7	2380	9.0	20.6
2	28	2370		27.2
3	28	2380		28.0

Tabla 3. Características del grout de cabezales de carga.³

Probeta	Edad (días)	Densidad (kg/m ³)	Flexión (MPa)	Compresión (MPa)
1	7	2246	11.1	54.0
2	28	2234	11.2	62.7
3	28	2238	11.4	64.7

MONTAJE E INSTRUMENTACIÓN

El dispositivo utilizado en el ensayo consiste en una estructura metálica formada por un marco de reacción, tipo columna, anclado a una viga principal doble T emplazada sobre el piso del Laboratorio. Para aplicar la carga lateral se utiliza un actuador hidráulico de doble acción de 500 kN de capacidad, rotulado en ambos extremos, comandado por medio de una bomba eléctrica. La carga se aplica en los extremos del muro, por medio de un sistema de placas y sensores.

El muro se monta sobre la viga de fundación de acero del dispositivo de ensayo, conectándolo a través de pernos que se fijan a la viga de hormigón armado del muro. Luego, se conectan un par de puntales de acero a la cadena del muro del muro, colocados en dirección perpendicular, para mantener la estabilidad lateral fuera del plano de éste durante la realización del ensayo (ver Fotos 3 y 4 del Anexo C).

² La determinación de las propiedades se realizó con una muestra cúbica tomadas en obra.

³ La determinación de las propiedades se realizó empleando la probeta RILEM de 40 x 40 x 160 mm.

Para medir las deformaciones del muro se emplean transductores de desplazamiento de distintas capacidades y resoluciones. Para medir la carga aplicada, se emplea una celda de carga de doble acción de 500 kN de capacidad. Todos estos instrumentos se conectan a un data logger digital. Los transductores de desplazamientos se ubicaron en puntos donde permiten estudiar el comportamiento global y local del muro, estos son:

- o A la altura de aplicación de la carga (eje de carga), al centro del muro, para medir el desplazamiento horizontal. Este instrumento se fija a la viga de hormigón de fundación, por medio de un pilar metálico, con objeto de independizarse del movimiento de cuerpo rígido del sistema.
- o En los bordes del muro, para monitorear la rotación o levantamiento local en la base.

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 ciclos alternados de carga lateral, aplicada de manera cuasi-estática, por medio de ciclos de deformación lateral contralada. Los niveles de desplazamiento lateral máximo definidos para en el ensayo son: 0.5; 2.0; 4.0; 7.0; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 55; 70 y 90 mm. Se aplican dos ciclos de deformación por cada nivel de desplazamiento máximo definido.

Los ciclos de carga se consideraron positivos cuando el muro es empujado, es decir, cuando el extremo este del muro se comprime por efecto del momento de flexión en el plano del muro. Consecuentemente, los ciclos se consideran negativos cuando el muro es tirado.

En el primer ciclo de cada nivel de deformación lateral máxima, en el estado de deformación máxima, se mantiene la carga aplicada y se marca en el muro las fisuras que se presentan, anotando en los extremos de la fisura el ciclo al cual se produce y su ancho medio. Se diferencian entre las fisuras generadas en un sentido de carga y en otro, empleando un plumón de color rojo para registrar las fisuras generadas por la carga aplicada en el sentido positivo, y un plumón azul para las fisuras generadas al cargar en el sentido negativo. Se fotografía la evolución del daño del muro durante todo el ensayo, fotografiando el muro al término del primer ciclo de cada nivel de deformación máxima.

- El ensayo de concluye al alcanzar la deformación lateral de 90 mm, o bien, cuando el muro presenta algún tipo de inestabilidad.

RESULTADOS

En las Tabla 4 a la 6, se presentan los resultados globales obtenidos en el ensayo de carga lateral alternada. Aquí se indican las cargas y las deformaciones asociadas a los estados límites siguientes:

- a) **Primeras fisuras (pérdida de proporcionalidad):** corresponde a la aparición de las primeras fisuras en el muro, visibles a simple vista.
- b) **Resistencia máxima:** estado de daños en el muro al momento de alcanzar la carga máxima resistida.
- c) **Estado final:** corresponde al estado del muro, una vez detenido el ensayo.

Complementariamente, en el Anexo A se presentan las curvas de histéresis del ensayo de los muros y sus envolventes.

Tabla 4. Resultados globales del ensayo. Estado límite: **"Primeras fisuras"** (límite de proporcionalidad).⁽¹⁾

Muro	Sentido de Carga						
	Positivo				Negativo		
	Carga lateral		Deformación Lateral	Distorsión angular ⁽³⁾	Carga lateral		Deformación Lateral
	(kN)	(kN/m) ⁽²⁾	(mm)	(‰)	(kN)	(kN/m) ⁽²⁾	(mm)
1	32.49	9.28	0.50	0.22	32.49	9.28	0.48
2	36.22	10.35	0.50	0.22	34.22	9.78	0.48
3	58.70	16.77	0.44	0.19	43.47	12.42	0.52

Tabla 5. Resultados globales del ensayo. Estado límite: **"Carga máxima"**.

Muro	Sentido de Carga						
	Positivo				Negativo		
	Carga lateral		Deformación Lateral	Distorsión angular ⁽³⁾	Carga lateral		Deformación Lateral
	(kN)	(kN/m) ⁽²⁾	(mm)	(‰)	(kN)	(kN/m) ⁽²⁾	(mm)
1	121.65	34.76	15.00	6.52	109.66	31.33	19.88
2	105.42	30.12	19.80	8.61	114.91	32.83	24.46
3	128.90	36.83	14.52	6.31	107.66	30.76	53.12

Tabla 6. Resultados globales del ensayo. Estado límite: **"Estado Final"**.

Muro	Sentido de Carga								
	Positivo					Negativo			
	Carga lateral		Deformación Lateral	Distorsión angular ⁽³⁾	Pérdida de resistencia	Carga lateral		Deformación Lateral	Distorsión angular ⁽³⁾
	(kN)	(kN/m) ⁽²⁾	(mm)	(‰)		(kN)	(kN/m) ⁽²⁾	(mm)	(‰)
1	113.16	32.33	19.92	8.66	7% ⁽⁴⁾	109.66	31.33	19.88	8.64
2	79.94	22.84	80.16	34.85	24%	77.94	22.27	61.90	26.91
3	90.93	25.98	90.12	39.18	29%	84.68	24.19	87.82	38.18

Notas:

- (1) El límite de proporcionalidad de los tres muros coincide con la aparición de la primera fisura visible en el muro. Este límite corresponde al momento donde la curva envolvente carga – deformación lateral deja de ser cuasi-lineal (se produce la degradación de la rigidez lateral del muro).
- (2) Corresponde a la carga lateral dividida por el largo del muro (3.5 m).
- (3) La distorsión angular corresponde a la razón entre la deformación lateral y la altura de aplicación de la carga.
- (4) En el muro N° 1 el ensayo se finaliza al alcanzar una deformación lateral de 20 mm, debido a que el muro presenta inestabilidad fuera del plano en este punto, producto del daño concentrado en su base, lo que impidió continuar con el ensayo.
- (5) El estado final en el sentido negativo de carga coincide con el estado de carga máxima.

Modo de falla

La degradación tanto de la resistencia como de la rigidez a carga lateral de los muros se produjo con la rotura progresiva de los elementos verticales del hormigón en las zonas de unión con los elementos horizontales a nivel de la base del muro (falla típica). En el Anexo C, se muestran fotos del daño observado en los muros.

CLASIFICACIÓN

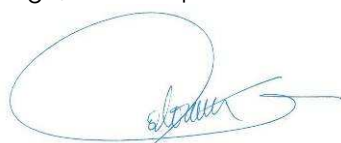
En la Tabla 7, se presenta la clasificación del muro de acuerdo a su comportamiento a carga horizontal, según la norma chilena para paneles prefabricados NCh806.EOf71.

Tabla 7. Clasificación del panel según la norma NCh806.EOf71.

Tipo de muro	Muestra del muro (N°)	Clasificación	
		Grado RH	Subgrado RH
▪ Unidad Poliestireno Expandido: "Exacta 12", encofrado perdido. ▪ Hormigón: MR20.0(90)10-10 ▪ Refuerzo: A630-420H Vertical: 1φ10@375 mm; Horizontal: 1φ10@600 mm ▪ Revestimientos Exterior e Interior: Estuco de mortero reforzado con fibra de vidrio.	1	2	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, 08 de Septiembre de 2010



PERLA VALDÉS CALQUÍN
Jefe Área
Área Estructuras




GUILLERMO SIERRA RUBILAR
Jefe Sección
Sección Estructuras - Ensayos

PCM/SLA/AFA/RVL



ANEXO A. GRÁFICOS

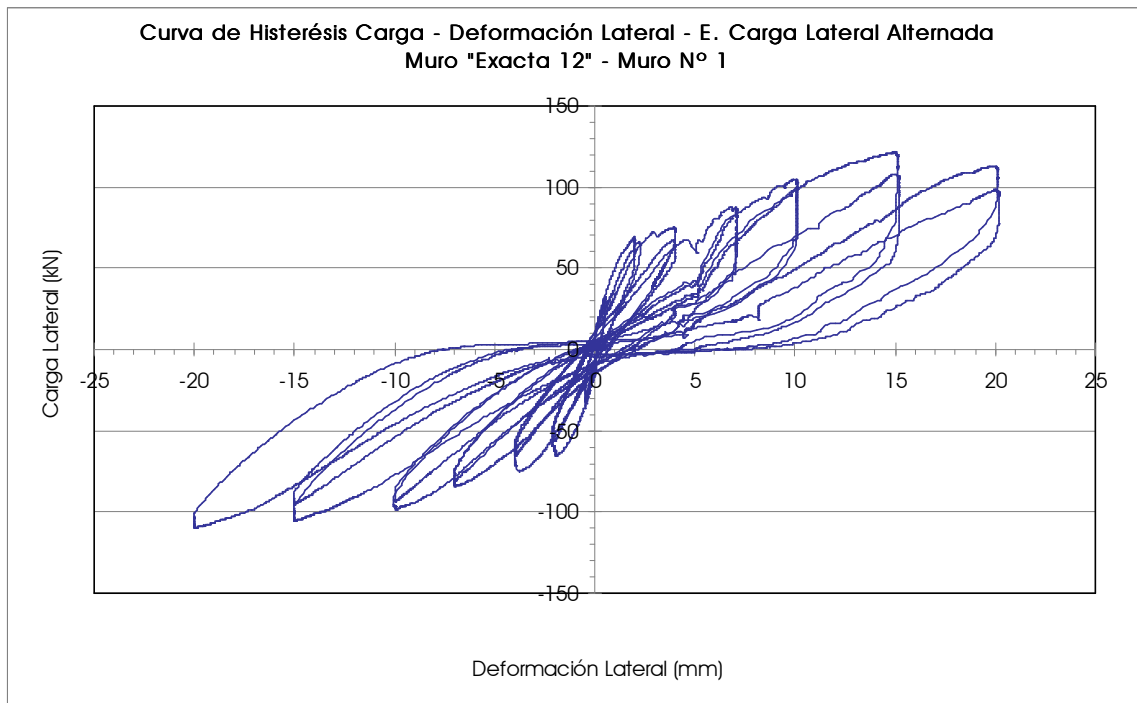


Gráfico 1. Curvas de Histéresis del Muro 1⁴.

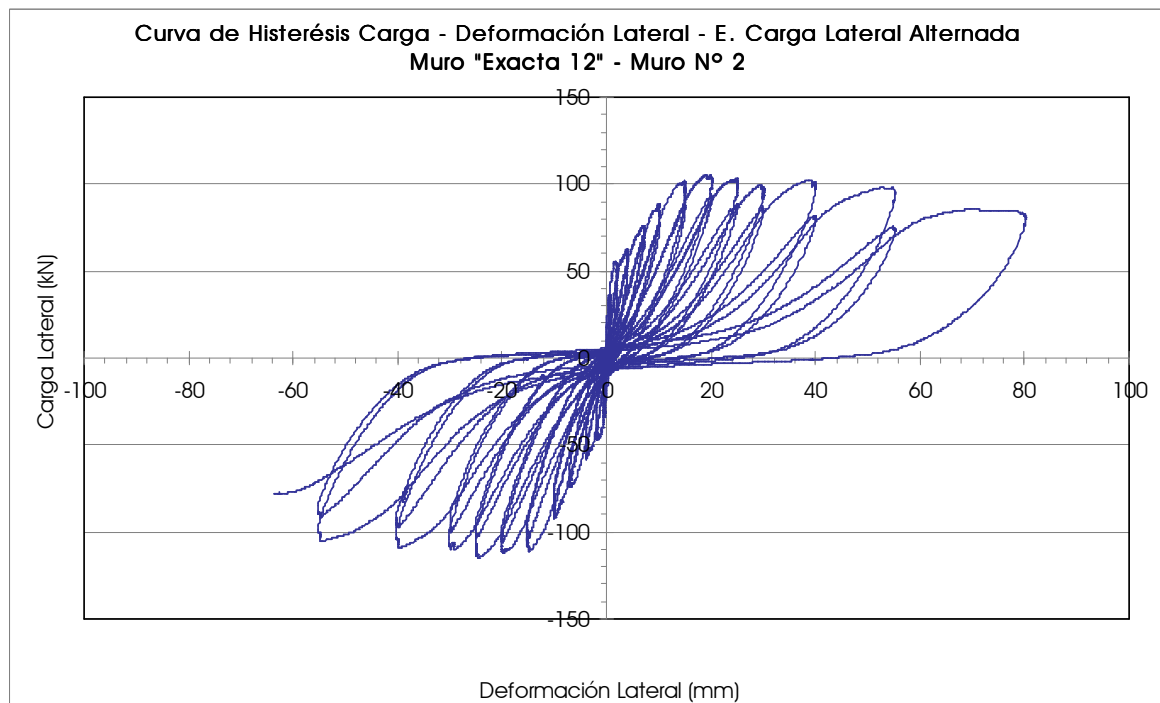


Gráfico 2. Curvas de Histéresis del Muro 2.

⁴ El ensayo se finaliza al alcanzar una deformación lateral de 20 mm, debido a que el muro presenta inestabilidad fuera del plano en este punto, producto del daño concentrado en su base, lo que impidió continuar con el ensayo.

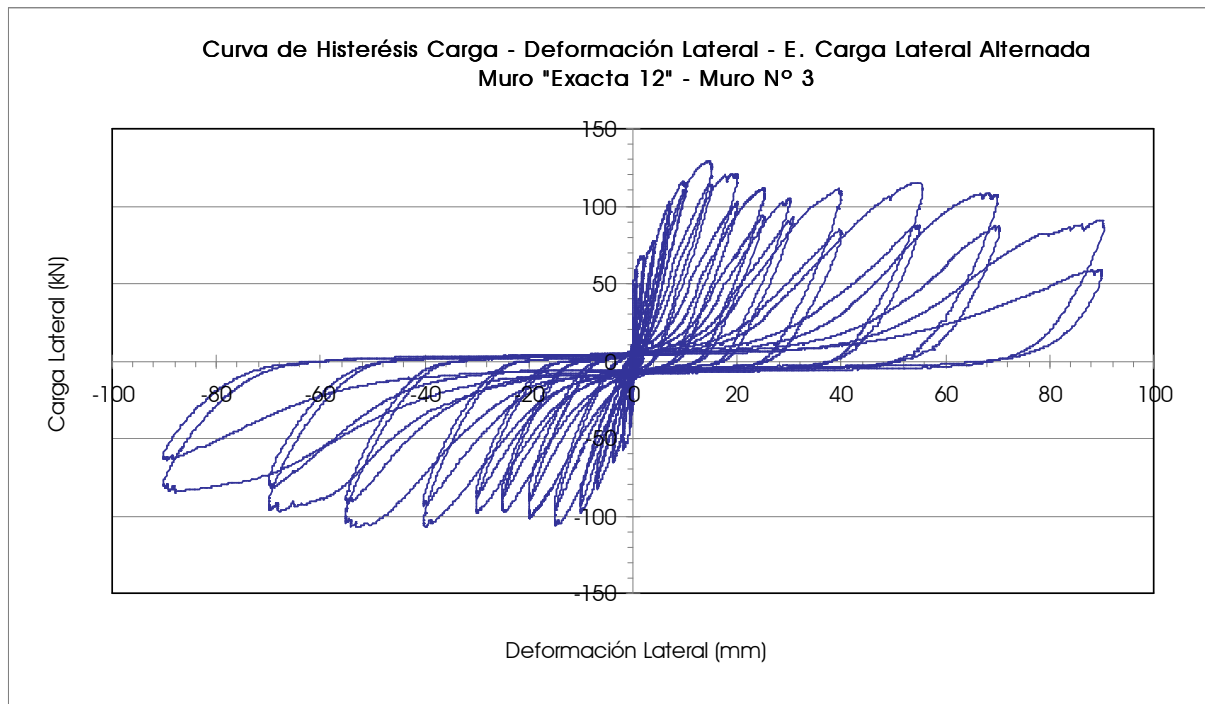


Gráfico 3. Curvas de Histéresis del Muro 3.

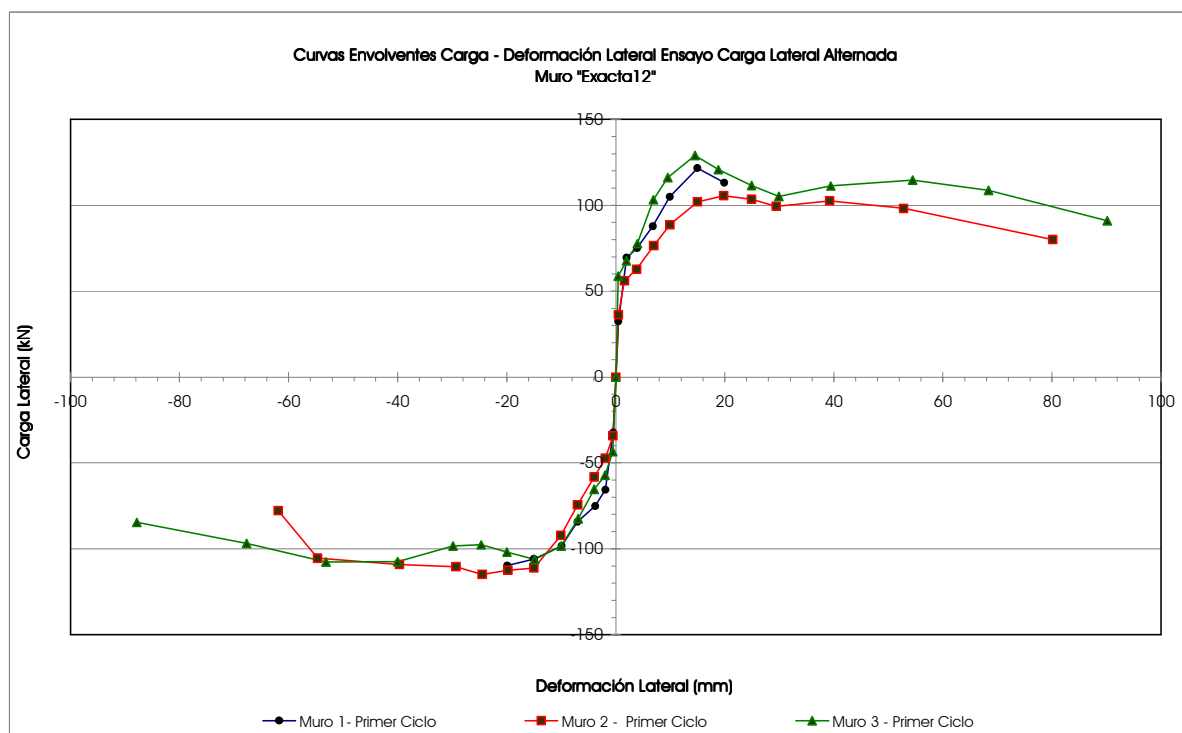


Gráfico 4. Curvas envolventes Carga-Deformación Lateral.



ANEXO B. ESQUEMA ESTRUCTURA INTERNA MURO

(Dimensiones en mm)

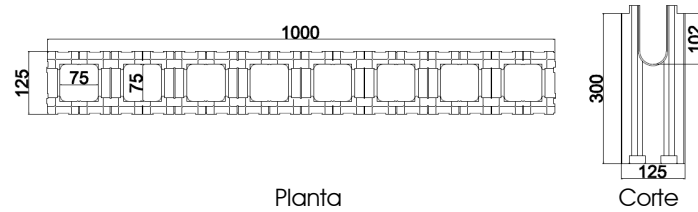


Figura 1: Esquema de unidad "Exacta 12".

(Dimensiones en mm)

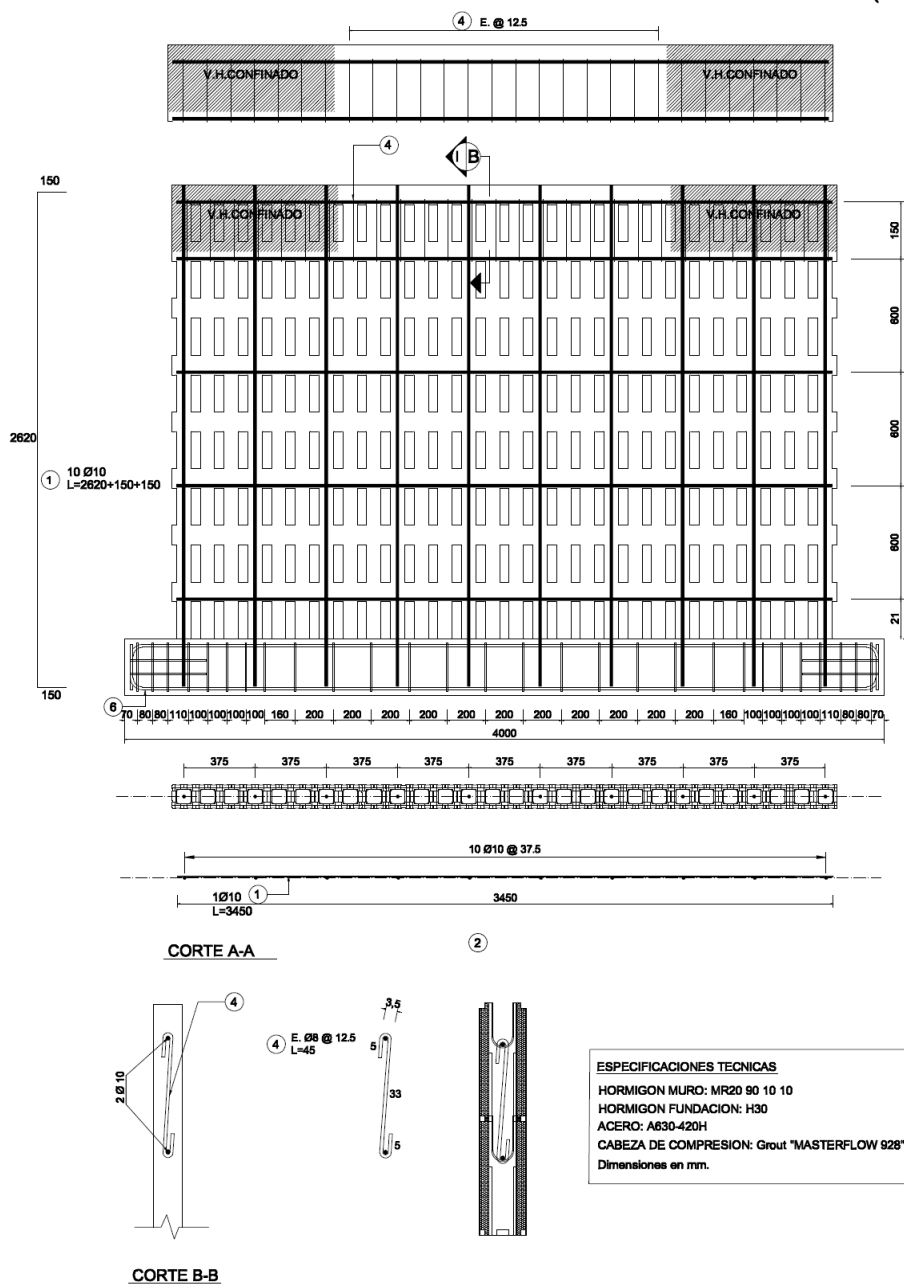


Figura 2: Esquema de muestra de ensayo, muro "Exacta 12".



ANEXO C. FOTOS



Foto 1. Construcción de probetas, vaciado de hormigón.



Foto 2. Vista general montaje de ensayo de carga lateral alternada (típico).

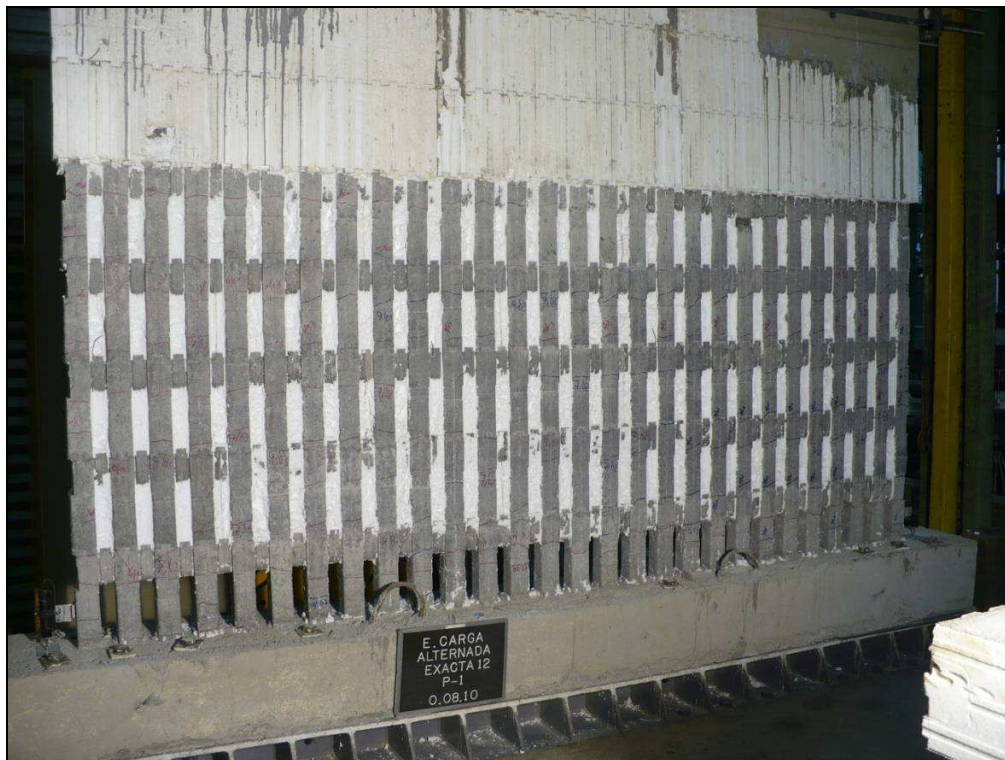


Foto 3. Nivel de daños del muro 1 para el estado límite "*Carga máxima*".

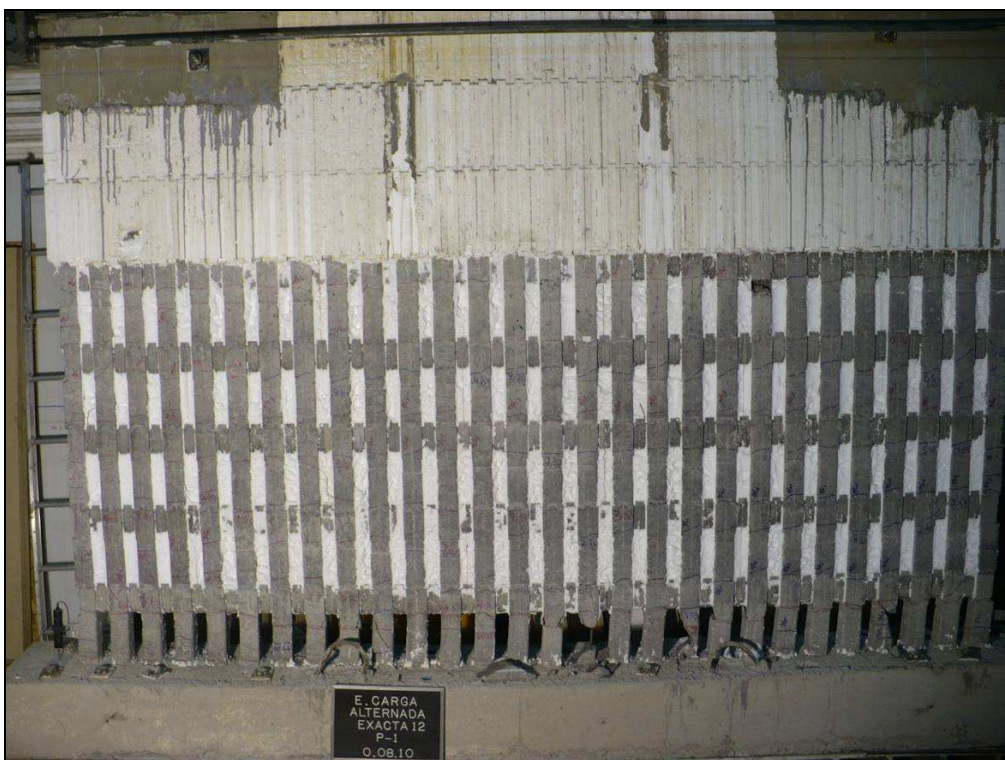


Foto 4. Nivel de daños del muro 1 para el estado límite "*Estado Final*".



Foto 5. Nivel de daños del muro 2 para el estado límite **"Carga máxima"**.



Foto 6. Nivel de daños del muro 2 para el estado límite **"Estado Final"**.



Foto 7. Nivel de daños del muro 3 para el estado límite "*Carga máxima*".



Foto 8. Nivel de daños del muro 3 para el estado límite "*Estado Final*".

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

El código del documento es: VfWNfGISF1