

No. de informe: I-1223-15

## Informe de Ensayo

RC-80 v.05 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

ST- 0942 -15

### 1 Información del cliente:

**Nombre:** Duratherm Building Systems S.A. de C.V

**Proyecto:** Paneles

**Domicilio:** Curridabat, San José.

### 2 Método de ensayo:

Norma Mexicana NMX-C-405-ONNCCE-2014

7.1.1 Resistencia a la compresión simple. (\*\*)

7.1.2 Resistencia bajo carga lateral. (\*\*)

7.1.4 Resistencia al impacto en muros. (\*\*)

7.1.5 Resistencia a carga uniformemente repartida actuando perpendicular al plano. (\*\*)

7.2.1 Resistencia a la flexión. (\*\*)

7.2.2 Resistencia al impacto de paneles TIPO II y TIPO III. (\*\*)

(\*) Ensayo acreditado. Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

(\*\*) Ensayo no acreditado.

### 3 Información de la(s) muestra(s) o espécimen(es) de ensayo:

<u>No. de identificación:</u>	<u>Descripción:</u>
1892-15	12 paneles para paredes. Ancho: 1,22 m Largo: 2,44 m. Espesor: 10 cm. Ver detalles de la muestra en la sección 5.
1895-15	6 paneles para losas estructurales. Ancho: 1,22 m Largo: 2,44 m Espesor: 15 cm. Ver detalles de la muestra en la sección 5.

No. de informe: I-1223-15

**Aportadas por:** Ing. Diego Escalante

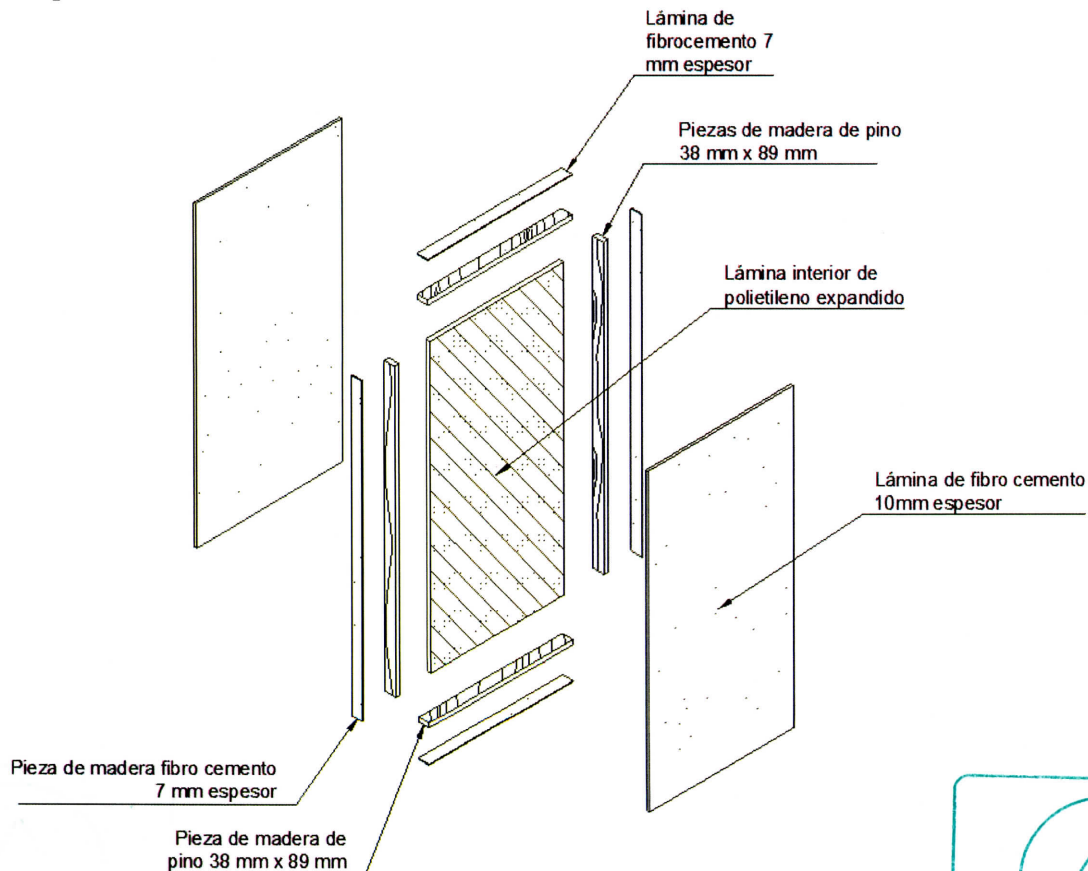
**Fecha de recepción :** 2015/08/10

**Fecha de realización del ensayo:** 2015/08/11 - 2015/08/21

**4 Información del muestreo:** Muestreo realizado por el cliente. Persona responsable de la muestra James Bryant

**5 Descripción de la muestra:**

Las muestras de los paneles estructurales que se ensayan, se componen de una lámina interior de polietileno expandido bordeada por piezas de madera de pino de 89 mm x 38 mm. En las caras exteriores se adhieren dos láminas de fibrocemento de 1,22 m de ancho, 2,44 m de largo y de 10 mm de espesor. En los bordes se adhieren láminas de fibrocemento de 7 mm de espesor. Las piezas de madera que conforman el marco perimetral se unen entre sí por dos tornillos. En la Figura 1 se muestra el detalle de las partes que conforman las muestras 1892 y 1895.



**Figura 1. Partes que conforman las muestras 1892 y 1895.**

No. de informe: I-1223-15

## 6 Resultados:

### 6.1 Resistencia a la compresión simple.

#### 6.1.1 Procedimiento

En la Figura 2 se muestra el montaje experimental utilizado en el ensayo de compresión simple. Se coloca un perfil de acero en la base y en la parte superior del panel. El perfil inferior se suelda a una placa que se ancla al sistema de fijación del piso de reacción del laboratorio. Entre la pared y el perfil inferior, se insertan tablas de madera para alinear la pared con el pistón de carga y dar soporte lateral continuo.

Sobre el perfil superior se coloca una viga rígida, la cual distribuye uniformemente la carga que aplica el pistón. La viga de carga cuenta con dos soportes laterales que la mantiene alineada con la pared. Se colocan dos transductores lineales de desplazamiento (LVDT) en la parte posterior de la pared. El LVDT 1 se coloca a 10 cm del borde superior y el LVDT 2 se coloca a la mitad de la altura. Las lecturas de los LVDT se toman en incrementos de carga de 10 kN. La carga se aplica de manera continua utilizando una bomba automática. Se registra el valor de carga máxima que se alcanza.

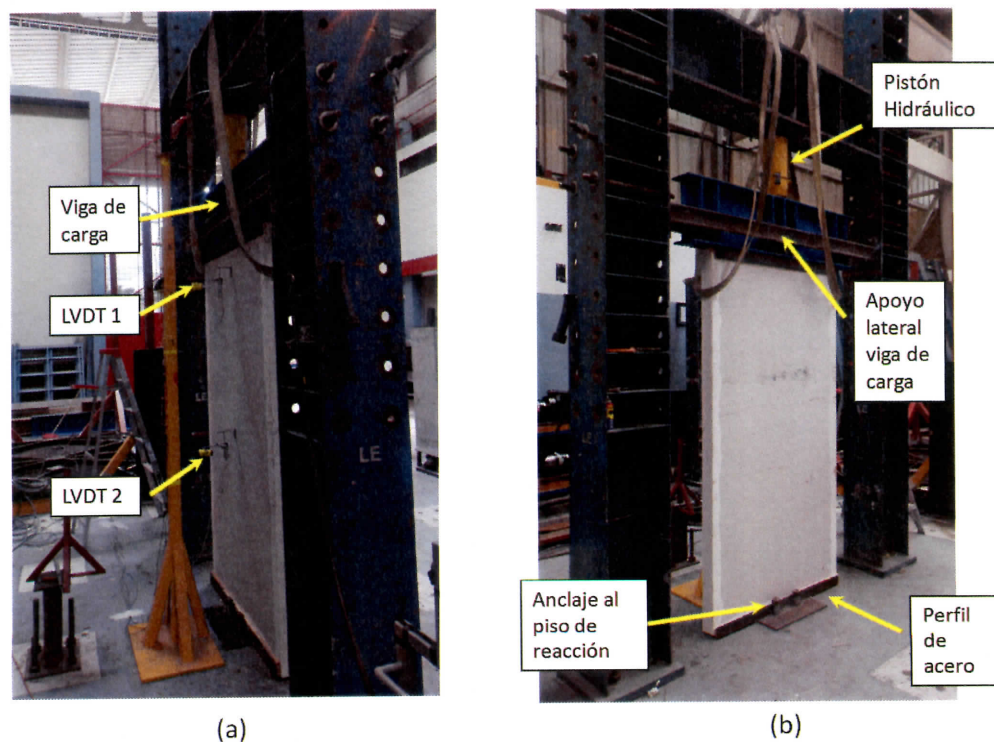


Figura 2. Montaje experimental del ensayo de resistencia a la compresión: a) vista posterior, b) vista frontal.

No. de informe: I-1223-15

## 6.1.2 Resultados

Tabla 1. Resistencia a la compresión simple muestra 1892-15.

ESPÉCIMEN DE ENSAYO No.	CARGA MÁXIMA		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
	(kN)	(kgf)	(MPa)	(kgf/cm <sup>2</sup> )
1	318	32416	2,61	26,6
2	229	23379	1,88	19,2
3	380	38736	3,11	31,8
PROMEDIO=	309	31510	2,53	25,8
DESV.EST.=	75,7	7718	0,621	6,327

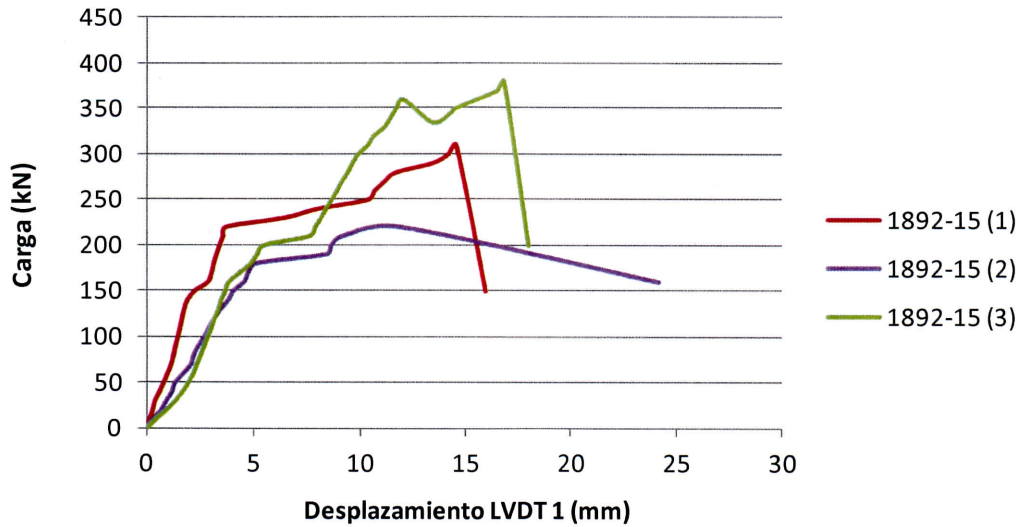


Gráfico 6.1: Carga vs. desplazamiento vertical, resistencia a la compresión simple muestra 1892-15.

No. de informe: I-1223-15

### 6.1.3 Fotografías ejecución de ensayos



Figura 3. Falla en compresión muestra 1892-15 (1): a) vista posterior, b) vista frontal.



Figura 4. Falla en compresión muestra 1892-15 (2): a) vista posterior, b) vista frontal.

No. de informe: I-1223-15



(a)



(b)

Figura 5. Falla en compresión muestra 1892-15 (3): a) vista posterior, b) vista frontal.

## 6.2 Resistencia bajo carga lateral.

### 6.2.1 Procedimiento

En la Figura 6 se muestra el montaje experimental utilizado en el ensayo de resistencia bajo carga lateral. Se coloca un perfil de acero en la base y en la parte superior del panel. El perfil inferior se suelda a una placa que se ancla al sistema de fijación del piso de reacción del laboratorio. Entre la pared y el perfil inferior, se insertan tablas de madera para alinear la pared con el pistón de carga y dar soporte lateral continuo. La muestra se fija al perfil inferior por medio de pernos de acero de 9 mm de diámetro y espaciados cada 17 cm.

Sobre el perfil superior se coloca una viga rígida la cual distribuye uniformemente la carga que aplica el pistón vertical. La carga axial que se utiliza durante la prueba es de 66,5 kN. La viga de carga cuenta con dos soportes laterales que la mantienen alineada con la pared. En el costado superior izquierdo de la muestra, se coloca otro perfil de acero que se encarga de distribuir la carga lateral que aplica el pistón horizontal.

Se colocan tres transductores lineales de desplazamiento (LVDT). El LVDT 1 se coloca horizontalmente en el borde superior, cerca del punto de aplicación de carga, y los LVDT's 3 y 4 se colocan de manera vertical a 30 cm de la base en los dos extremos inferiores. Las lecturas de carga y desplazamiento se registran en intervalos de 0,20 segundos. La carga se aplica de manera continua utilizando una bomba manual. Se registra el valor de carga máxima que se alcanza.

No. de informe: I-1223-15

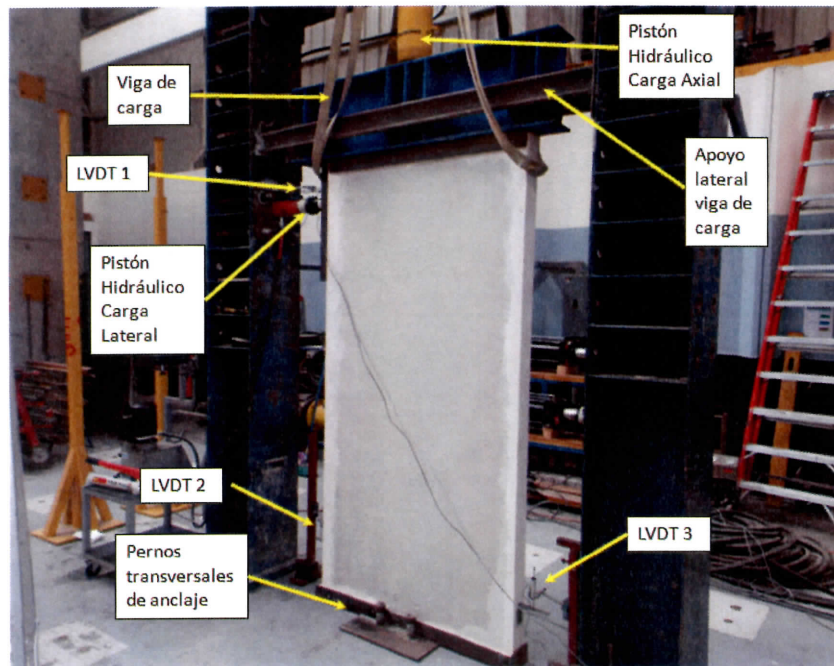


Figura 6. Montaje experimental del ensayo de resistencia bajo carga lateral.

## 6.2.2 Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de carga lateral. Las curvas de energía elastoplástica equivalentes (EEEP) que se muestran en los gráficos siguientes, se elaboran utilizando la metodología que se describe en la norma ASTM E2126.

No. de informe: I-1223-15

Tabla 2. Resistencia bajo carga lateral muestra 1892-15.

ESPÉCIMEN DE ENSAYO	CARGA LATERAL MÁXIMA	DESPLAZAMIENTO ÚLTIMO	RIGIDEZ ELÁSTICA EN CORTANTE	CARGA DE CEDENCIA	DUCTILIDAD	RESISTENCIA CORTANTE MÁXIMA	MÓDULO DE CORTANTE A 0,4 CARGA MÁXIMA	MÓDULO DE CORTANTE A CARGA MÁXIMA
No.	kN	mm	kN/mm	kN	-	kN/m	kN/mm	kN/mm
4	75,1	120	1,38	48,5	3,42	61,6	2,75	1,25
5	66,0	106	1,28	45,1	3,00	54,1	2,57	1,03
6	65,4	134	1,38	44,5	4,16	53,6	2,76	1,02
PROMEDIO=	68,9	120	1,35	46,0	3,53	56,4	2,69	1,10
DES.V.EST.=	5,46	14,2	0,055	2,19	0,586	4,48	0,109	0,131

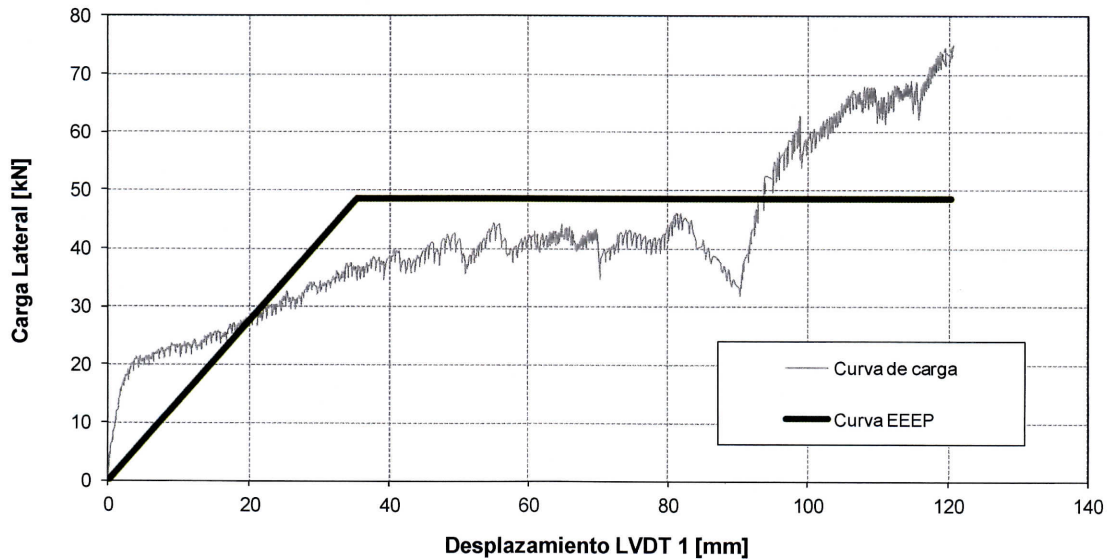


Gráfico 6.2: Carga vs. desplazamiento lateral, resistencia bajo carga lateral muestra 1892-15 (4).



No. de informe: I-1223-15

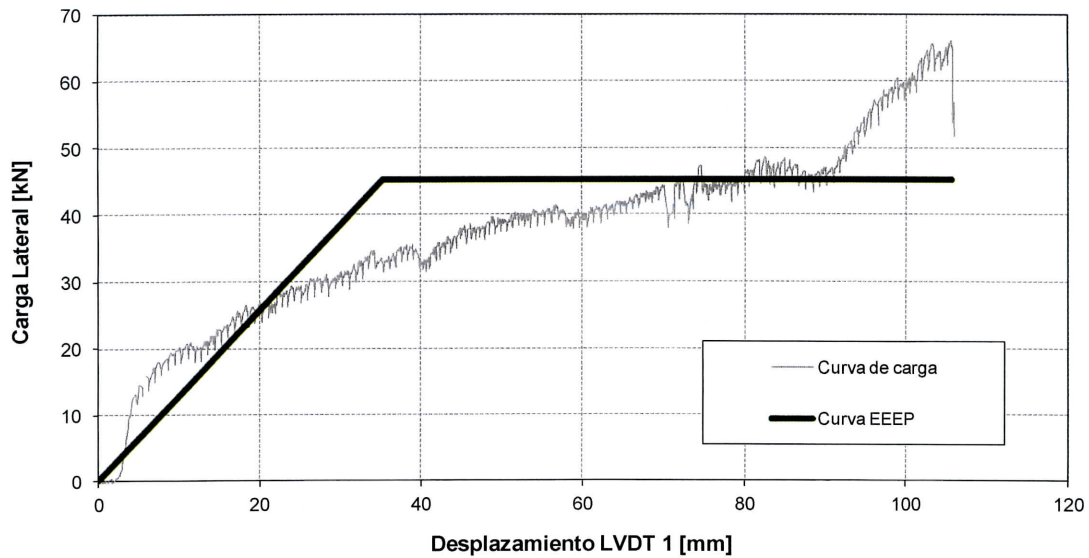


Gráfico 6.3: Carga vs. desplazamiento lateral, resistencia bajo carga lateral muestra 1892-15 (5).

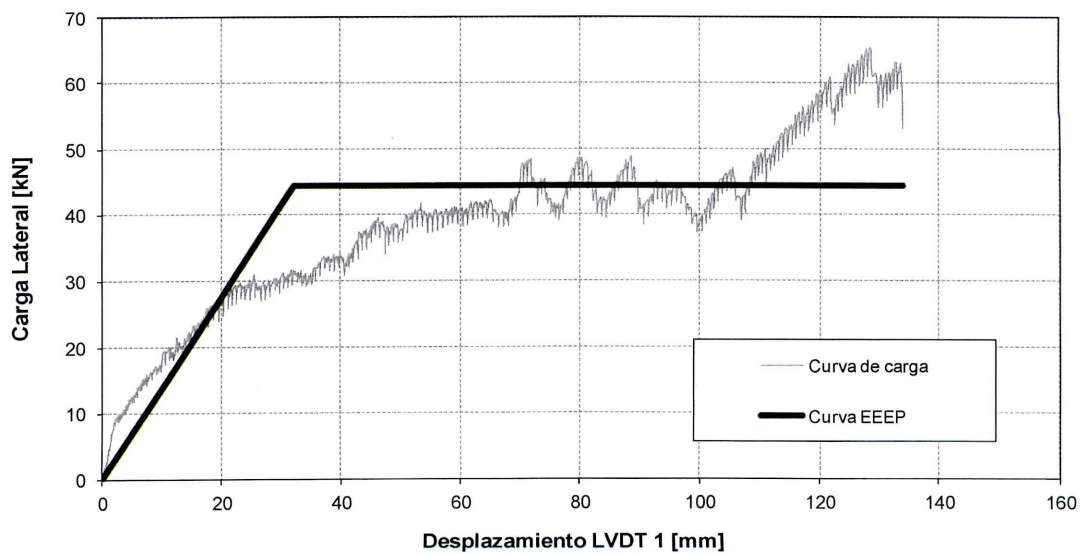
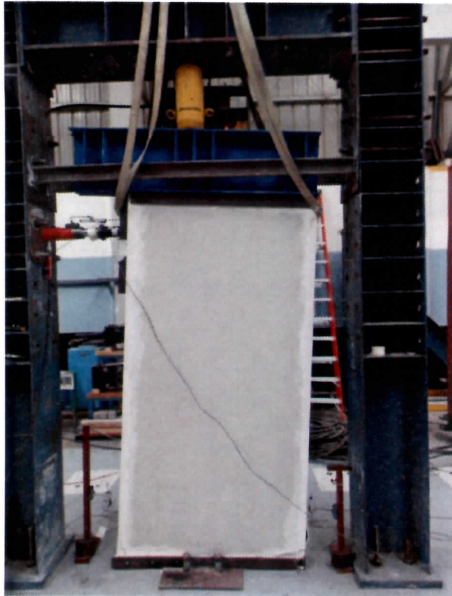


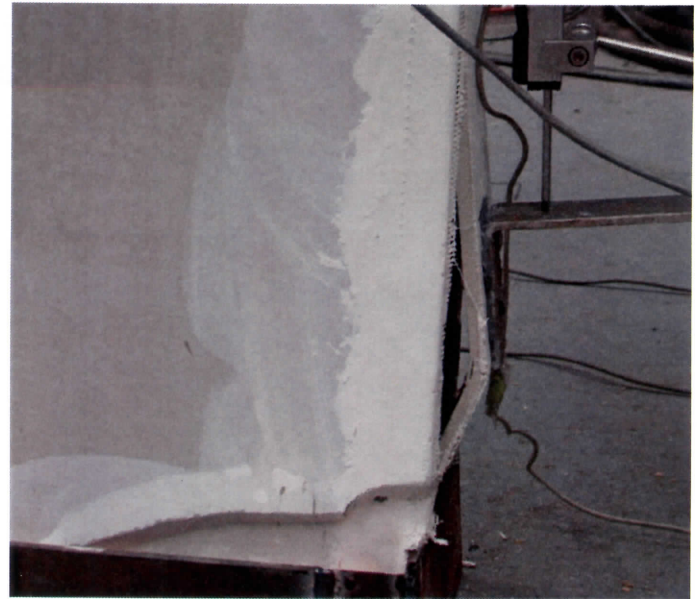
Gráfico 6.4: Carga vs. desplazamiento lateral, resistencia bajo carga lateral muestra 1892-15 (6).

No. de informe: I-1223-15

### 6.2.3 Fotografías ejecución de ensayos



(a)



(b)

Figura 7. Ensayo de carga lateral muestra 1892-15 (4): a) vista frontal, b) detalle de falla en compresión de la esquina.



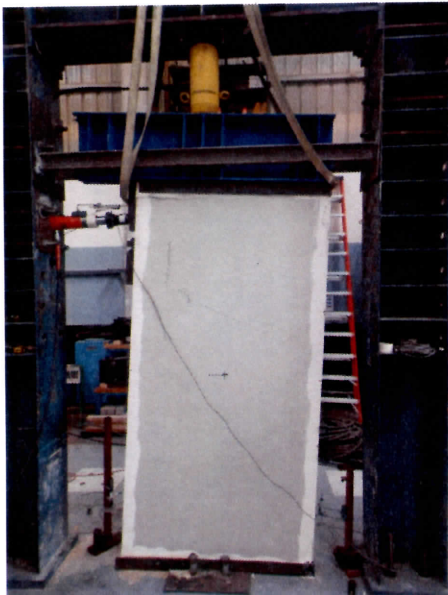
(a)



(b)

Figura 8. Ensayo de carga lateral muestra 1892-15 (5): a) zona de aplicación de carga, b) detalle de falla en tensión de la esquina.

No. de informe: I-1223-15



(a)



(b)

Figura 9. Ensayo de carga lateral muestra 1892-15 (6): a) vista frontal, b) detalle de falla.

### 6.3 Resistencia al impacto en muros.

#### 6.3.1 Procedimiento

En la Figura 10 y en la Figura 11, se muestran los montajes utilizados en el ensayo de resistencia al impacto. En ambos montajes, se coloca un perfil de acero en la base y dos perfiles en la parte superior que dan soporte lateral a la muestra. El perfil inferior se suelda a una placa que se ancla al sistema de fijación del piso de reacción del laboratorio. Entre la muestra y el perfil inferior, se insertan tablas de madera para dar soporte lateral continuo.

En la parte posterior de la muestra, se coloca un transductor lineal de desplazamiento (LVDT) horizontalmente. Este dispositivo se coloca alineado con el punto de aplicación de la carga de impacto. La lectura de desplazamiento se registra a una razón de 100 datos por segundos. La carga de impacto se aplica liberando la masa a una altura de 2,20 m de manera que impacte en la mitad de la altura de la muestra.

La muestra 1892-15 (7) se ensaya utilizando el montaje que se muestra en la Figura 10. Se realizan 3 impactos y posteriormente se realiza un cuarto impacto, utilizando el montaje que se muestra en la Figura 11. El saco de impacto utilizado en estos ensayos corresponde al descrito en el apartado 7.1.4.1 de la Norma Mexicana NMX-C-405-ONNCCE-2014 (saco de cuero, ver figura 12a).

**No. de informe: I-1223-15**

Las muestras 1892-15 (8) y 1892-15 (9) se ensayan únicamente utilizando el montaje que se muestra en la Figura 11 sin realizar impactos previos. A solicitud del cliente, el saco de impacto para estos ensayos se sustituyó por un saco plástico relleno de arena. Este saco no cumple con lo establecido en la Norma Mexicana NMX-C-405-ONNCCE-2014, ver figura 13 (a) y figura 14 (a).

A solicitud del cliente, la muestra 1892-15 (9), posterior al primer impacto, se impacta 2 veces más con alturas de caída mayores.

No. de informe: I-1223-15

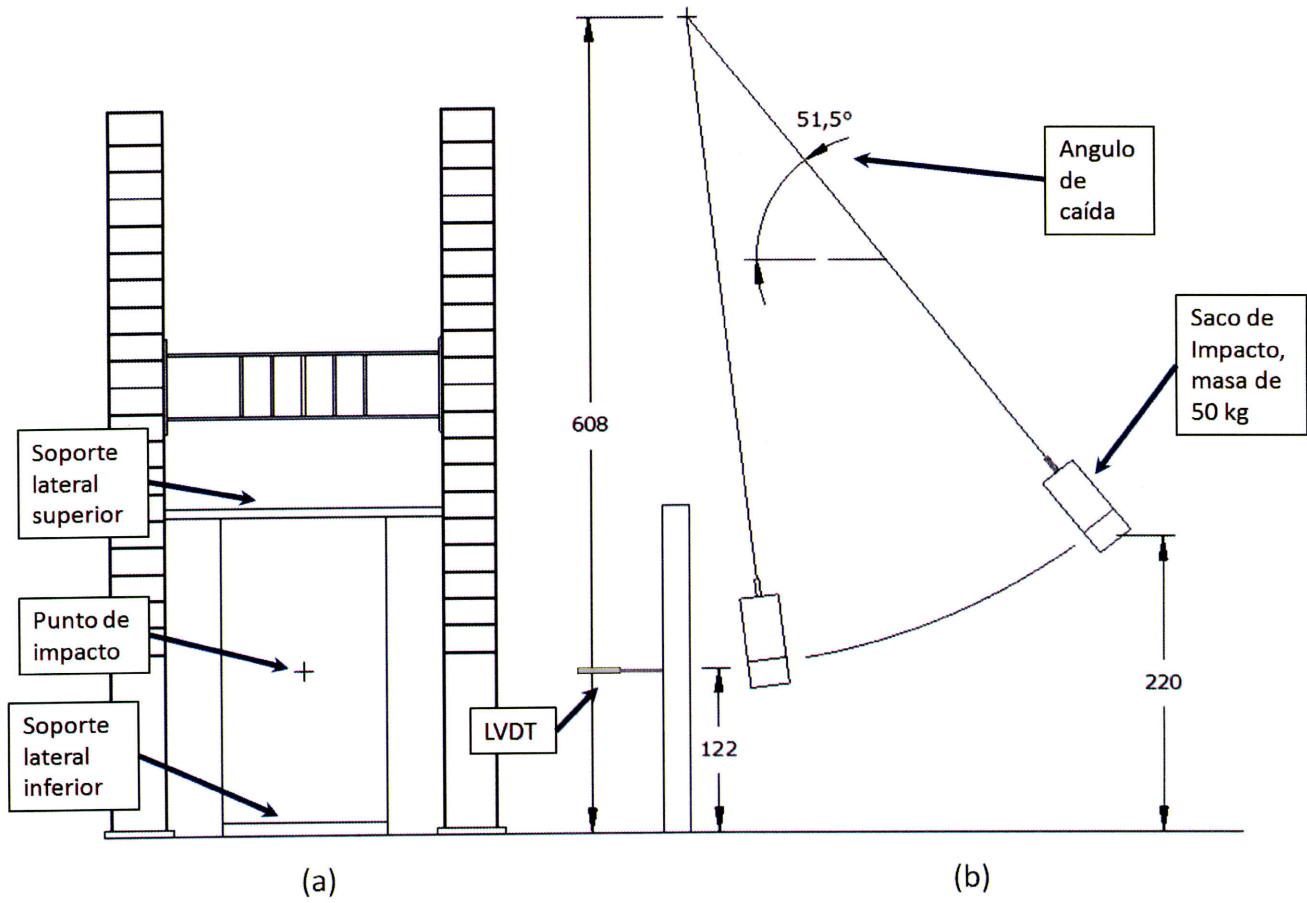


Figura 10. Montaje experimental 1, ensayo resistencia al impacto en muros: a) vista frontal, b) vista lateral (dimensiones en cm).

No. de informe: I-1223-15

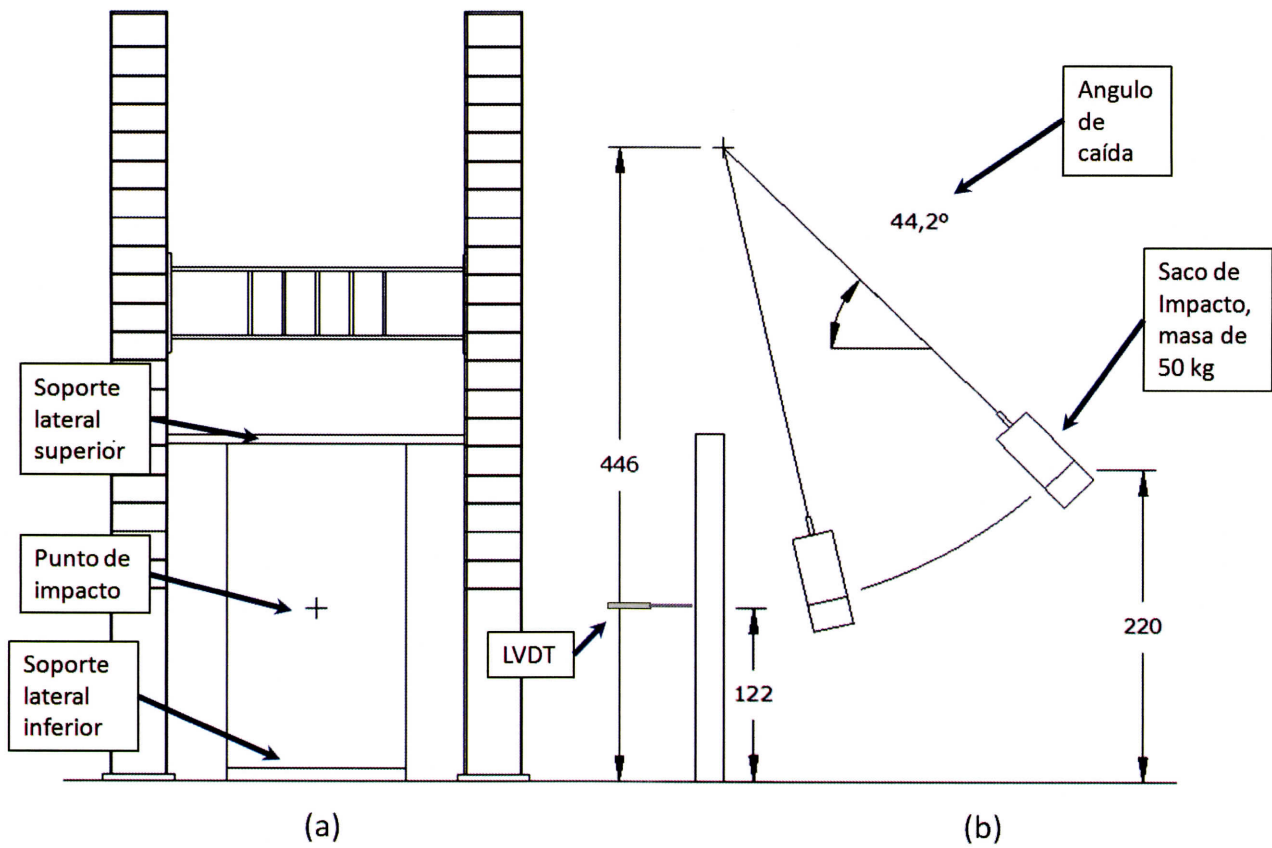


Figura 11. Montaje experimental 2, ensayo resistencia al impacto en muros: a) vista frontal, b) vista lateral (dimensiones en mm).

**No. de informe: I-1223-15**

### 6.3.2 Resultados

**Tabla 3. Resistencia al impacto en muros muestra: 1892-15 (7)**

ESPÉCIMEN DE ENSAYO	DEFLECCIÓN AL IMPACTO	DEFLECCIÓN RESIDUAL
No.	mm	mm
7	23,9	0

Nota: La muestra 1892-15 (7) fue impactada previamente según se describe en 6.3.1.

**Tabla 4. Resistencia al impacto en muros muestra: 1892-15 (8) y 1892-15 (9)**

ESPÉCIMEN DE ENSAYO	DEFLECCIÓN AL IMPACTO	DEFLECCIÓN RESIDUAL
No.	mm	mm
8	12,7	0
9	14,7	0
PROMEDIO=	13,7	0
DESV. EST.=	1,37	0,0

**Tabla 5. Resistencia al impacto para diferentes alturas muestra: 1892-15 (9)**

ALTURA DE CAÍDA	ÁNGULO DE CAÍDA	DEFLECCIÓN AL IMPACTO	DEFLECCIÓN RESIDUAL
m	°	mm	mm
2,80	30,8	24,2	0,20
3,50	17,2	25,2	0,50

No. de informe: I-1223-15

### 6.3.3 Fotografías ejecución de ensayos

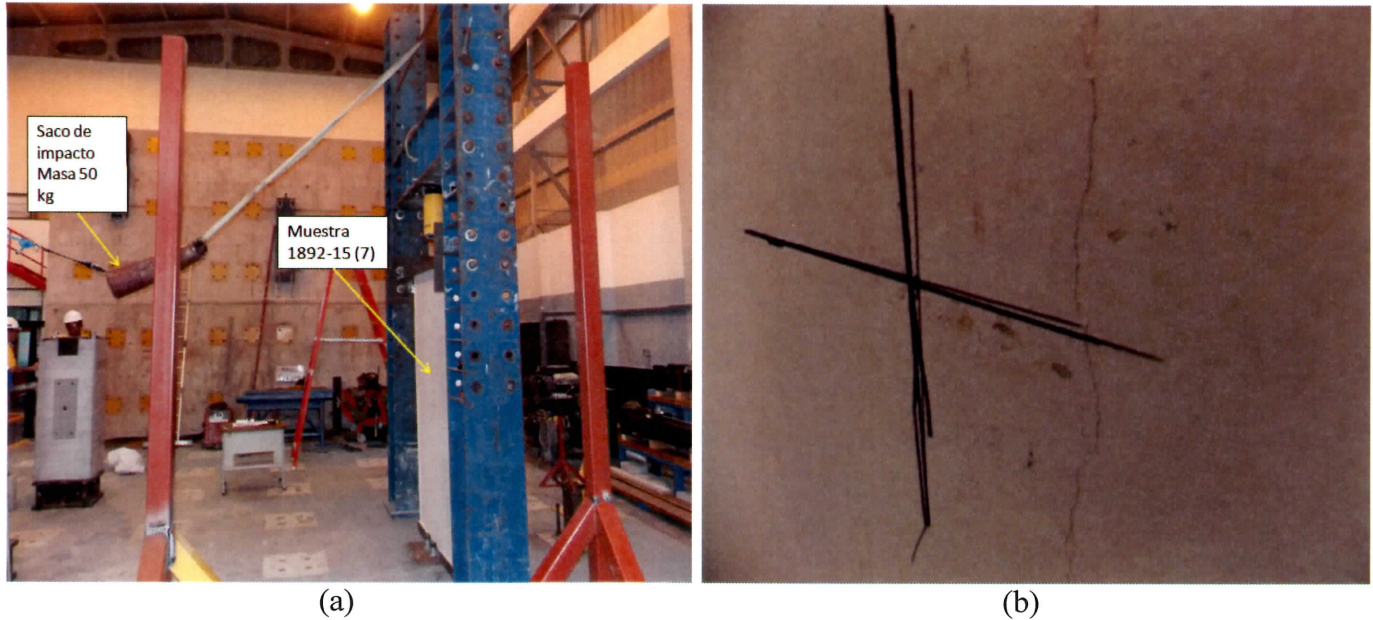


Figura 12. Ensayo de impacto en muros muestra 1892-15 (7): a) montaje del ensayo, b) detalle de daños, fisura de aproximadamente 2 m de longitud.

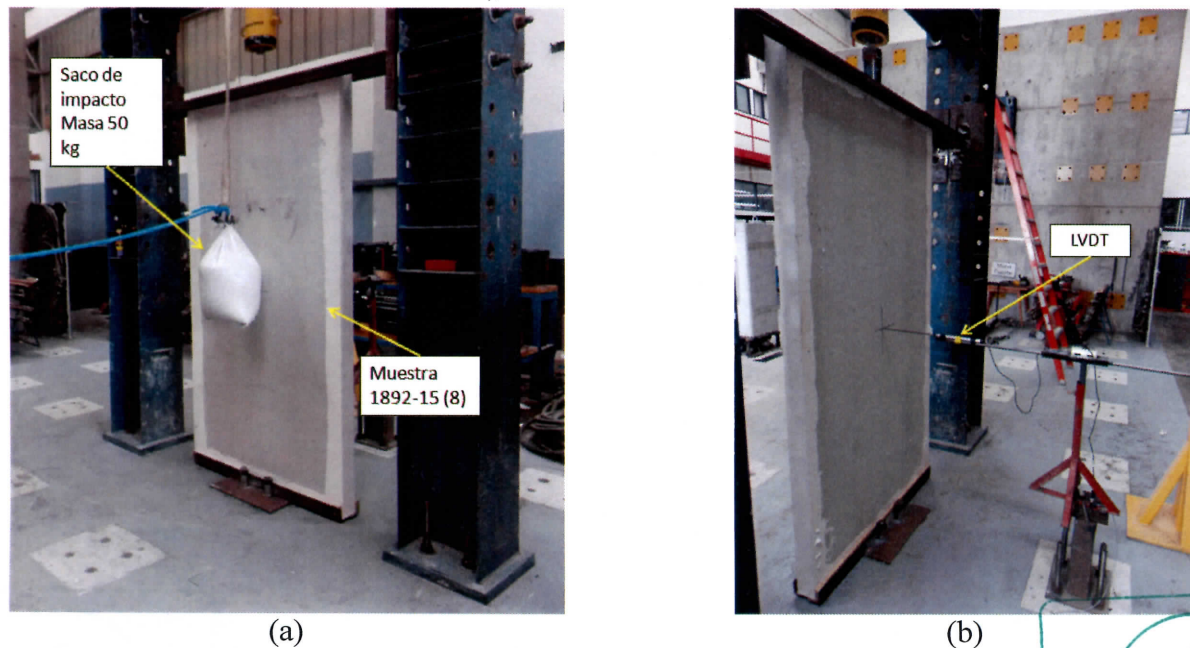
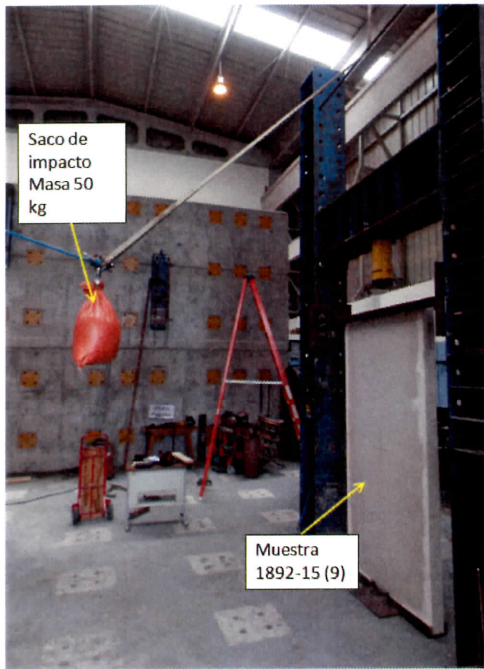


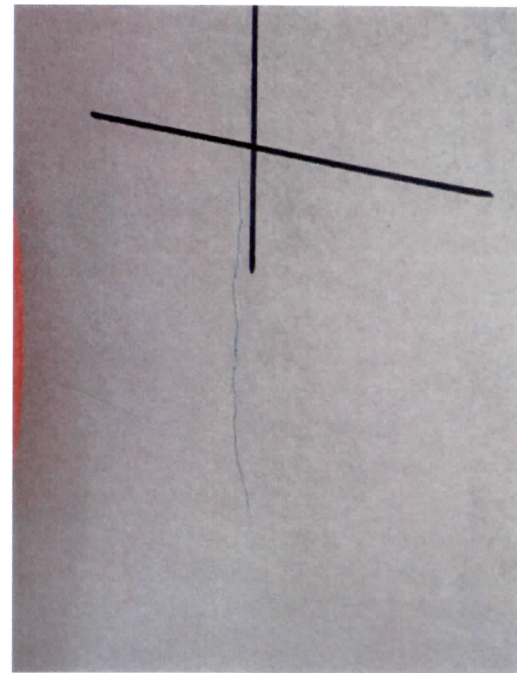
Figura 13. Ensayo de impacto en muros muestra 1892-15 (8): a) montaje del ensayo, b) ubicación de transductor lineal de desplazamientos.



No. de informe: I-1223-15



(a)



(b)

Figura 14. Ensayo de impacto en muros muestra 1892-15 (9): a) montaje de ensayo, b) daños ocasionados por impacto con caída de 3,5 m.

No. de informe: I-1223-15

## 6.4 Resistencia a carga uniformemente distribuida actuando perpendicular al plano.

### 6.4.1 Procedimiento

En la figura 15 se muestra el montaje experimental utilizado en el ensayo de resistencia a carga uniformemente distribuida actuando perpendicular al plano. Se coloca el panel en posición horizontal apoyado sobre soportes de acero. El espacio libre entre los apoyos y cada extremo libre del panel es de 75 mm.

En la parte inferior de la muestra se coloca un transductor lineal de desplazamiento (LVDT), apoyando su vástago en el centro geométrico del panel y sujetado por un pedestal rígido.

El LVDT se mantiene adquiriendo datos de manera continua durante toda la prueba.

En la parte superior del panel se coloca una carga uniformemente distribuida de  $200 \text{ kg/m}^2$ . Unas tres horas después se coloca  $50 \text{ kg/m}^2$  adicionales para un total de  $250 \text{ kg/m}^2$  y se mantiene la carga por 24 horas. Por último, se retira la carga. En el proceso se mide la deformación instantánea para los  $200 \text{ kg/m}^2$ , la deformación instantánea para los  $250 \text{ kg/m}^2$  y la deformación residual de la muestra dejándola reposar por otras 24 horas.

Se utilizó sacos de mortero de pega de bloques como carga distribuida. Este ensayo se realizó a 3 paneles de paredes y a 3 paneles de entepiso siguiendo el mismo procedimiento.

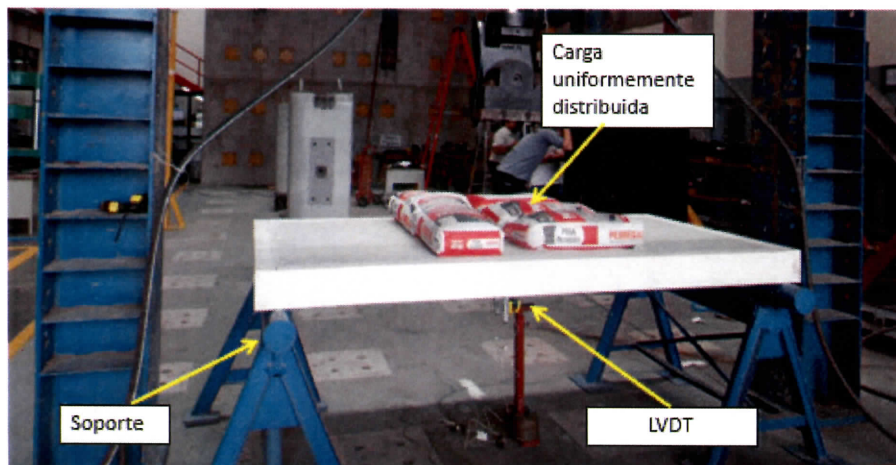


Figura 15. Montaje experimental del ensayo de resistencia a carga uniformemente distribuida actuando perpendicular al plano.

**No. de informe: I-1223-15**

## 6.4.2 Resultados

**Tabla 4. Deformaciones para carga uniformemente distribuida en muros, muestra 1892-15.**

ESPÉCIMEN DE ENSAYO	DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA 200 kg/m <sup>2</sup>	DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA 250 kg/m <sup>2</sup>	DEFORMACIÓN DESPUÉS DE 24 HORAS	DEFORMACIÓN RESIDUAL
No.	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
10	1,75	2,24	2,26	0,14
11	2,03	2,48	2,44	0
12	2,01	2,85	3,20	0,14
PROMEDIO=	1,93	2,52	2,63	0,09
DESV. EST.=	0,13	0,25	0,41	0,07

**Tabla 5. Deformaciones para carga uniformemente distribuida en paneles de entrepiso, muestra 1895-15.**

ESPÉCIMEN DE ENSAYO	DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA 200 kg/m <sup>2</sup>	DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA 250 kg/m <sup>2</sup>	DEFORMACIÓN DESPUÉS DE 24 HORAS	DEFORMACIÓN RESIDUAL
No.	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	1,36	1,69	1,74	0,27
2	1,16	1,42	1,56	0,19
3	1,12	1,40	1,67	0,23
PROMEDIO=	1,21	1,50	1,66	0,23
DESV. EST.=	0,10	0,13	0,07	0,03

No. de informe: I-1223-15

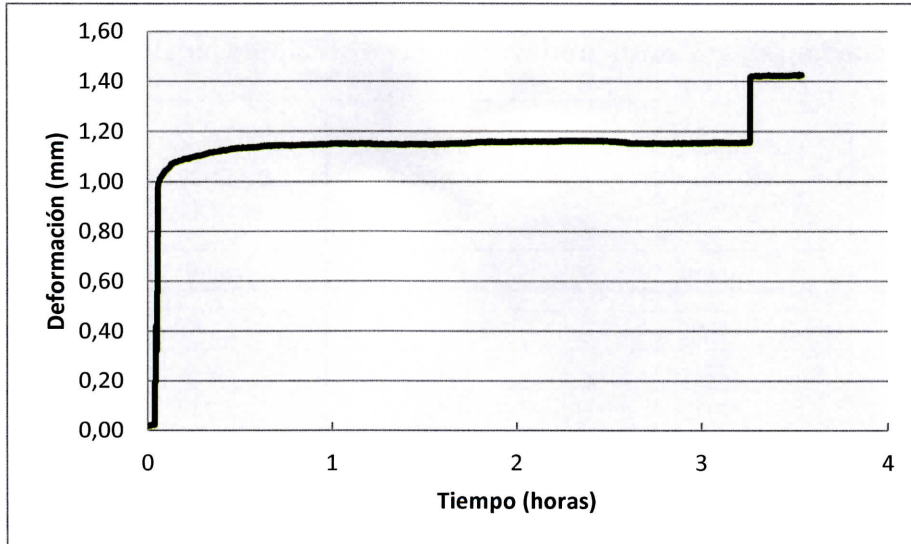


Gráfico 6.5: Deformación de panel de entepiso para carga de 200 kg/cm<sup>2</sup> y 250 kg/cm<sup>2</sup>, muestra 1895-15 (2).

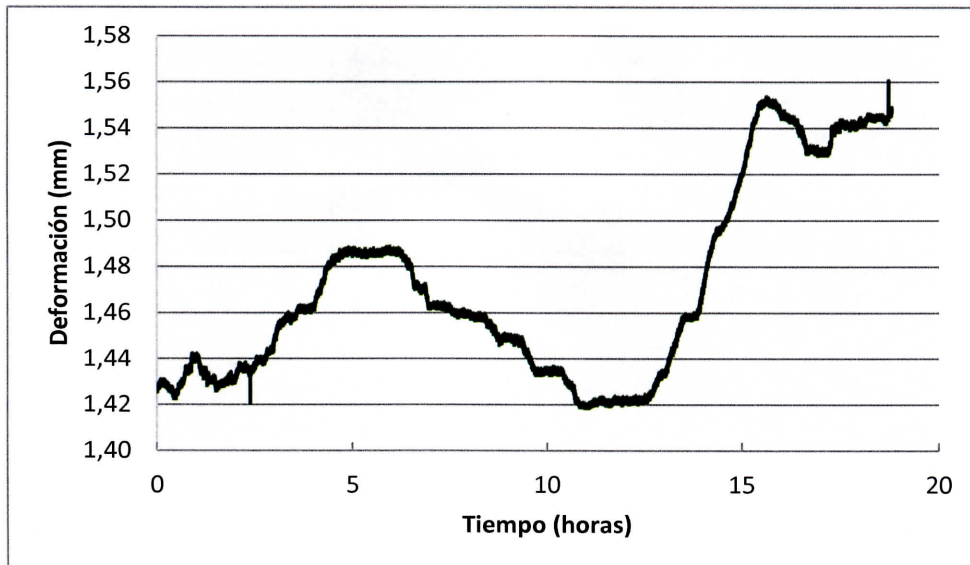


Gráfico 6.6: Variación de la deformación de panel de entepiso durante la noche, muestra 1895-15(2).

No. de informe: I-1223-15

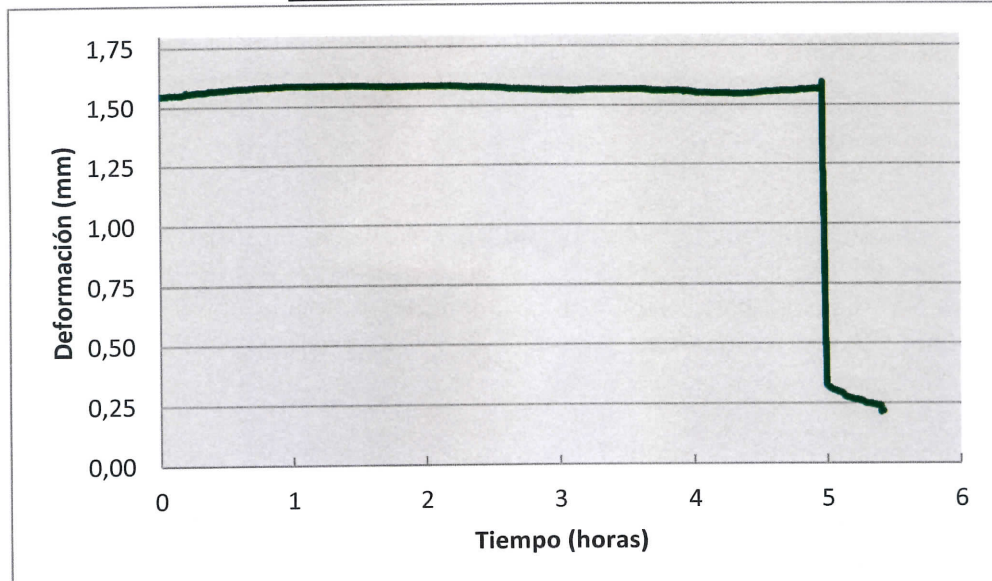


Gráfico 6.7: Deformación en panel de entrespiso para proceso de descarga, muestra 1895-15 (2).

En el gráfico 6.6 se muestra la variación de la deformación del panel durante la noche.

### 6.4.3 Fotografías ejecución de ensayos



Figura 16. Ensayo de resistencia a carga uniformemente distribuida: a) configuración de sistema de LVDT b) Carga de 200 Kg/m<sup>2</sup> en muestra 1895-15 (1).

No. de informe: I-1223-15

## 6.5 Resistencia a la flexión

### 6.5.1 Procedimiento

En la figura 17 se muestra el montaje experimental para el ensayo de resistencia a flexión. El panel es colocado de manera horizontal sobre dos apoyos de acero, dejando 70 mm libres entre cada apoyo y el extremo del panel. Se colocan 2 barras rígidas a cada tercio del espacio libre entre los apoyos, adheridas con mortero y sobre estas se coloca una viga de acero que distribuye la carga aplicada por un gato hidráulico.

La carga es aplicada por un pistón hidráulico de carga, que actúa perpendicular a la viga de carga y en su punto medio.

Un transductor lineal de desplazamiento (LVDT) se coloca en la superficie inferior y en el centro geométrico del panel, para medir la deformación debido a la carga. El LVDT se retira cuando se va a alcanzar la falla por motivos de seguridad.

A petición del cliente, este ensayo se le realizó a una muestra de panel de entrepiso una vez terminado el ensayo de resistencia a carga uniformemente distribuida actuando perpendicular al plano.

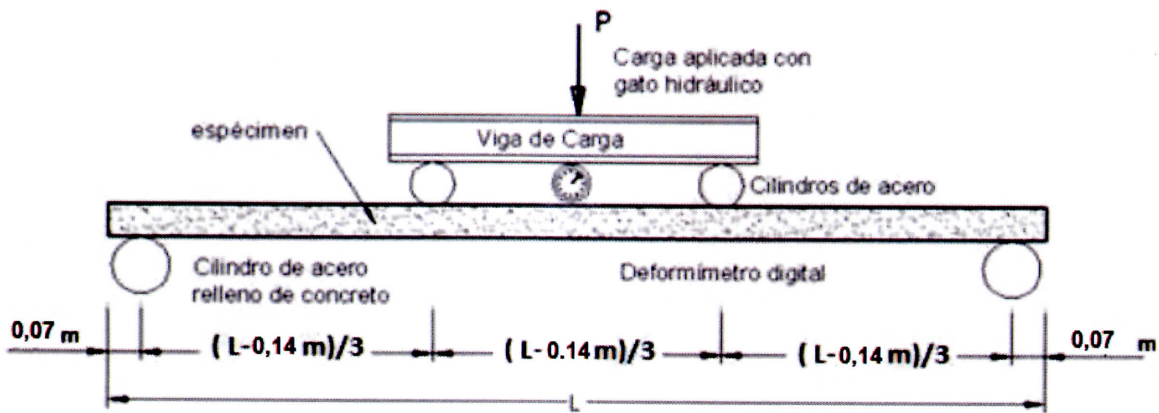


Figura 17. Montaje experimental ensayo resistencia a flexión.

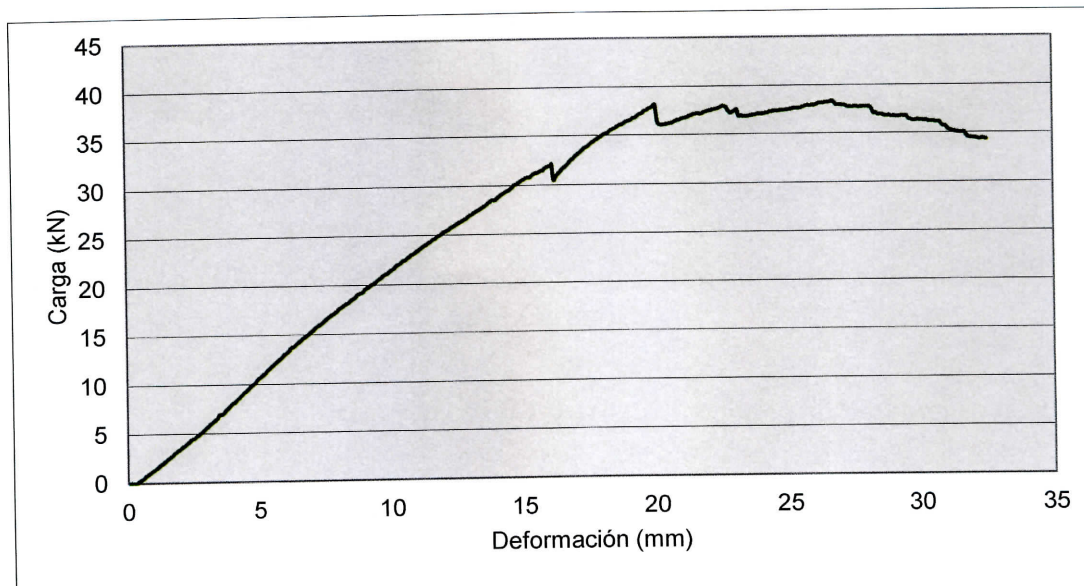
**No. de informe: I-1223-15**

## 6.5.2 Resultados

**Tabla 6. Carga máxima y momento máximo para ensayo resistencia a flexión, muestra 1895-15 (2).**

P max (1)		M max (2)	
(N)	(kgf)	(N-m)	(kgf-cm)
38415	3917	29452	300322

- (1) Carga máxima, NO incluye peso de aparejos  
(2) Momento máximo, NO incluye momento por peso propio



**Gráfico 6.8: Carga vs. deformación, resistencia a la flexión muestra 1895-15 (2).**

No. de informe: I-1223-15

### 6.5.3 Fotografías ejecución de ensayos



(a)



(b)

Figura 18. Ensayo de resistencia a flexión: a) vista frontal b) detalle de falla del panel por delaminación.

## 6.6 Resistencia al impacto de paneles TIPO II y TIPO III.

### 6.6.1 Procedimiento

En la figura 19 se muestra el montaje experimental utilizado en el ensayo de resistencia al impacto de paneles TIPO II y TIPO III. Se coloca el panel sobre dos rodillos de acero, que sirven de soportes, dejando 75 mm entre cada apoyo y los extremos libre del panel.

En la parte inferior de la muestra se coloca un transductor lineal de desplazamiento (LVDT), apoyando su vástago en el centro geométrico del panel y sujetado por un pedestal rígido.

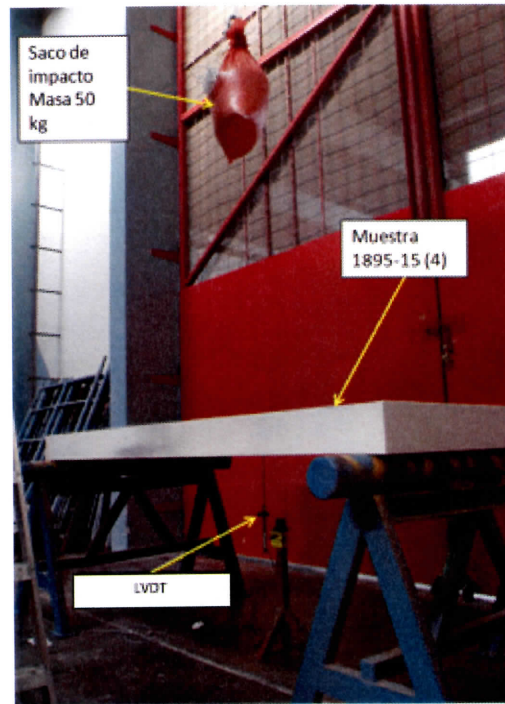
Se posiciona una carga de impacto de 50 kg a una altura de 1,50 m sobre el centro geométrico de la superficie libre del panel. Por último, se libera la carga de impacto desde una altura de 1,50 m sobre el panel.

A solicitud del cliente, el saco de impacto para estos ensayos se sustituyó por un saco plástico relleno de arena. Este saco no cumple con lo establecido en la Norma Mexicana NMX-C-405-ONNCCE-2014.

A solicitud del cliente, se realizaron ensayos adicionales en donde se varió la altura de caída libre de la masa.



**No. de informe: I-1223-15**



**Figura 19. Montaje experimental ensayo resistencia al impactos de paneles TIPO II y TIPO III, altura de carga de impacto 1,50 m.**

### 6.6.2 Resultados

**Tabla 7. Resistencia al impacto en paneles TIPO II y TIPO III, altura de carga de impacto 1,50m.**

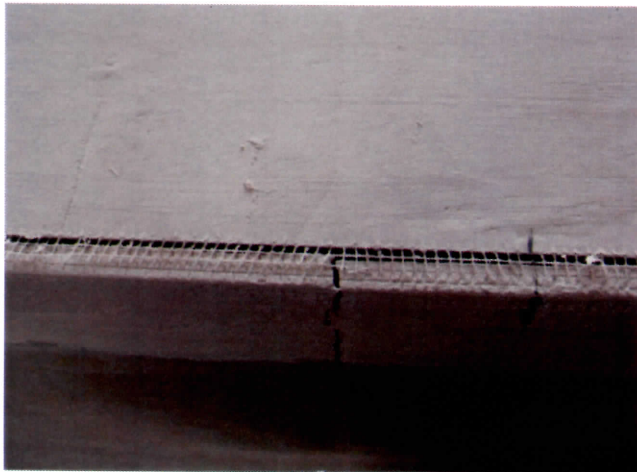
ESPÉCIMEN DE ENSAYO	Altura	DEFLECCIÓN IMPACTO	DEFLECCIÓN RESIDUAL	OBSERVACIONES
No.	(m)	(mm)	(mm)	
1895-15 (4)	1,50	18,8	0,67	Sin daños
1895-15 (5)	1,50	12,9	0,22	Sin daños
1895-15 (6)	1,50	13,8	0,30	Sin daños
PROMEDIO=	-	15,2	0,40	-
DESV.EST.=	-	3,15	0,24	-

No. de informe: I-1223-15

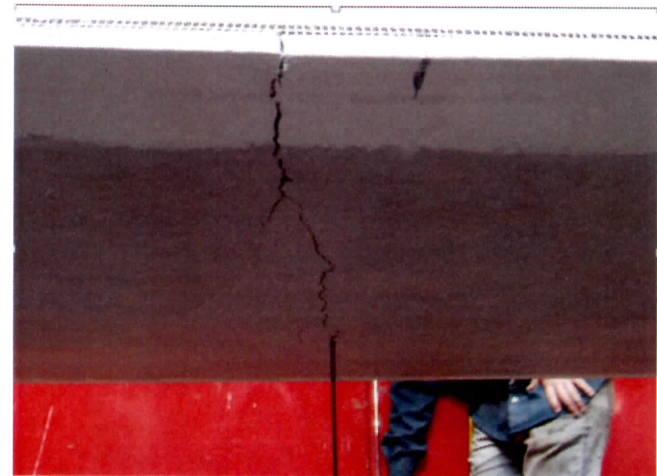
Tabla 8. Resistencia al impacto en paneles TIPO II y TIPO III, altura de carga de impacto solicitadas por el cliente.

ESPÉCIMEN DE ENSAYO	Altura	DEFLECCIÓN IMPACTO	DEFLECCIÓN RESIDUAL	OBSERVACIONES
No.	(m)	(mm)	(mm)	
1895-15 (4)	3,00	51,2	8,24	Grietas en superficie inferior. Pequeñas grietas en superficie superior. Delaminación.
1895-15 (5)	2,00	15,6	0,37	Daño leve en punto de aplicación de la carga.
1895-15 (5)	2,50	17,7	0,46	Grietas pequeñas. Mayor daño en punto de aplicación de la carga.
1895-15 (5)	3,00	24,0	0,66	Grietas.
1895-15 (5)	3,50	FALLA	FALLA	FALLA
1895-15 (6)	1,50	13,84	0,30	Sin daños.
1895-15 (6)	3,50	33,46	4,17	Grietas en superficie inferior.

### 6.6.3 Fotografías ejecución de ensayos



(a)



(b)

Figura 20. Ensayo de resistencia al impacto paneles TIPO II y TIPO III, muestra 1895-15(4), caída de 3,0 m: a) Detalle de delaminación b) detalle de grieta en superficie inferior.

No. de informe: I-1223-15



(a)

(b)

Figura 21. Ensayo de resistencia al impacto paneles TIPO II y TIPO III, muestra 1895-15(5) a) Falla de la muestra, b) detalle de falla sección transversal.

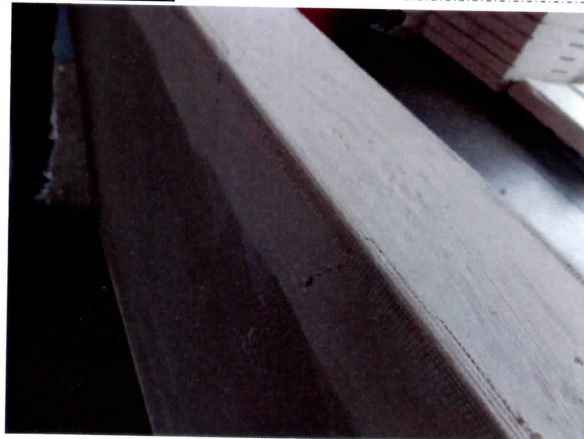


Figura 22. Ensayo de resistencia al impacto paneles TIPO II y TIPO III, muestra 1895-15(5). Detalles de falla de piezas de madera.

No. de informe: I-1223-15



(a)



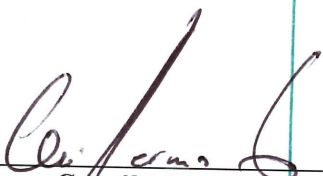
(b)

Figura 23. Ensayo de resistencia al impacto paneles TIPO II y TIPO III, muestra 1895-15(6): a) Grieta en superficie inferior del panel, b) detalle de grieta.

**Aclaraciones:**

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para las muestras indicadas en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Revisó:



Ing. Guillermo González Beltrán, Ph.D.  
Coordinador General de Laboratorios

Aprobó:



Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.  
Director LanammeUCR