



# Ensayos Mecánicos de Paneles Estructurales

**Solicitante: PROPANELES SAS**

***Informe CTM 21/104***

**Responsable: Mg. Edgardo L. Santarelli  
Ing. Pablo N. Manzione**

**Diciembre 2021**

*Centro de ciencia y Tecnología de los Materiales  
Departamento de Mecánica Aplicada - Facultad de  
Ingeniería - UNC  
Buenos Aires 1400 - (8300) - NEUQUÉN - ARGENTINA.  
Email: edgardo.santarelli@fain.uncoma.edu.ar, Tel.:  
++54-299-4490300 int. 210 - 355*



**Informe: CTM 21/104**

IRAM 11596- IRAM 11595

Solicitante: PROPANELES SAS

Neuquén, 27 de octubre de 2021

IRAM 11588- IRAM 11585

Luis PERATA

## 1. Servicio realizado

El presente trabajo tiene por objetivo ensayar paneles estructurales a efectos de evaluarlos en su comportamiento estructural bajo condiciones que representen su funcionamiento en servicio.

A tal efecto, se aplican los requerimientos de las Normas IRAM 11596; *Método de Ensayo de Impacto Blando en Probetas Verticales*, la Norma IRAM 11595; *Paneles Fabricados Para Muros de Edificios. Método de Ensayo de Resistencia al Impacto de la Bola de Acero*; Norma IRAM 11588; *Muros Ciegos de Edificios. Método de Ensayos de Compresión*, y la Norma IRAM 11585; *Paneles para Muros y Tabiques de Edificios*.

En el presente informe se analizan, bajo las normas mencionadas paneles suministrados por el proveedor a efectos de evaluar y obtener características mecánicas de los paneles que puedan ser utilizadas en el diseño resistente de las viviendas construidas por este método.

## 2. Detalles experimentales

### 2.1. Características de las muestras

#### Descripción constructiva de los paneles

La siguiente descripción de la constitución interna de los paneles y datos de las propiedades mecánicas de sus materiales, fueron aportados por el fabricante.

##### 2.1. 1. Material:

### 2. Descripción constructiva de los paneles

La siguiente descripción de la constitución interna de los paneles y datos de las propiedades mecánicas de sus materiales, fueron aportados por el fabricante.

#### 2.1-Descripción General

“**Propanel MGO SIP**” son paneles térmicos estructurales, compuestos por un núcleo de poliestireno expandido (EPS) de alta densidad (15 kg/m<sup>3</sup>) y dos placas MGO óxido sulfato de magnesio. La fabricación consiste en unir estos elementos mediante presión y con adhesivos aplicados en un ambiente controlado, logrando que los elementos trabajen en conjunto entregando una alta resistencia mecánica y térmica.

Este producto está diseñado para ser usado principalmente en muros estructurales de viviendas de 1 ó 2 plantas, ampliaciones, edificaciones comerciales, y como parte de la solución de techumbre.

## 2.2- Formato y ensamblaje

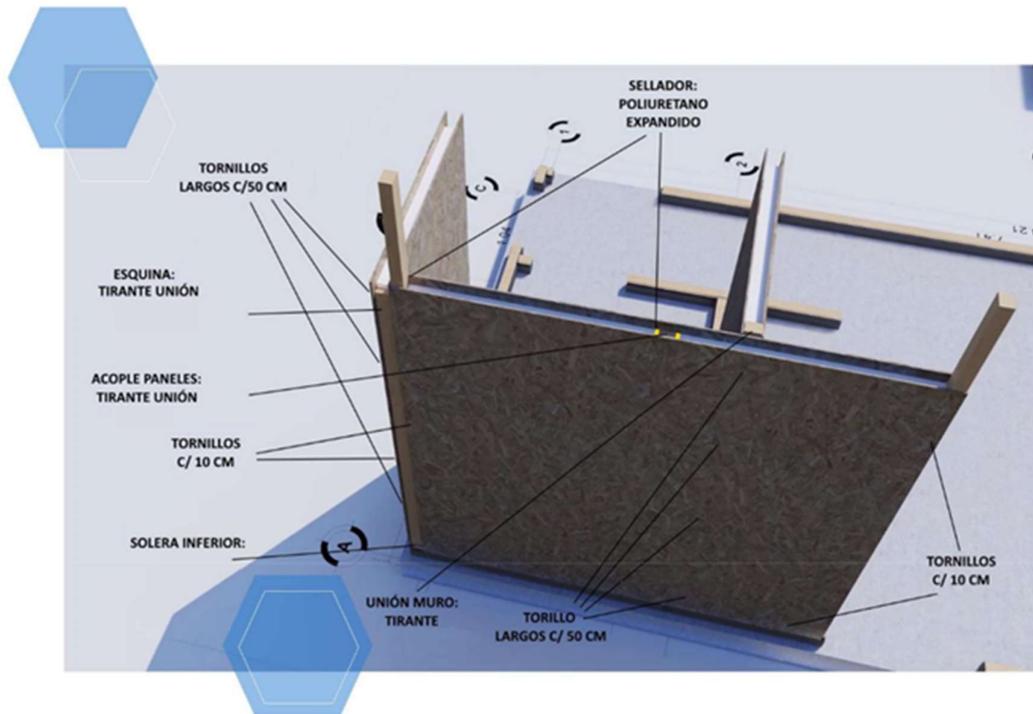
El formato estándar del panel es de 1,22 x 2,44 Mts. El espesor puede variar según la necesidad de proyecto los paneles pueden ser desde 90 mm a 200 mm variando el espesor de los tableros y el núcleo de EPS.

**Clasificación al fuego:** - Autoextinguible, norma ASTM D 4986 - 95  
- Difícilmente inflamable (Grupo B1) norma DIN 4102  
- Grupo 94 HF 1 norma UL 94 Underwriter Laboratories Inc.( USA )

Para “**Propanel MGO SIP**” de 110mm (placas MGO óxido sulfato de magnesio 10mm – EPS 90 mm – placas MGO óxido sulfato de magnesio 10mm), se recomienda utilizar en soleras de arranque y terminación piezas de madera multilaminadas 35mm x 87mm. Para encuentros de muros y esquinas, piezas de madera multilaminadas de 45mm x 87mm.

Antes de comenzar la instalación de muros, se debe trazar el espesor de los paneles sobre la platea o estructura de piso, fijar la solera/pieza de madera multilaminada de 35mm x 87mm cada 40cm. El panel “Propanel MGO SIP” debe quedar completamente apoyado en la solera inferior. En losas de concreto incorporar entre este y la solera de madera multilaminada un cordón elevador de adoquines de hormigón.

Los paneles “**Propanel MGO SIP**” se instalan verticalmente sobre la solera de madera, se recomienda comenzar por una esquina incorporando una pieza de madera de multilaminada dimensionado de 35mm x 87mm en el interior del panel (ver figura 2).



**Figura N° 2: Esquema de unión en esquina y vinculación vertical entre paneles.**

Se instala otro panel en esquina formando un ángulo de 90°. Luego se fija la unión con tornillos para madera de 6mm x 160mm cada 40 cm. Luego se procede a instalar los paneles que conforman el muro, los que se unen entre sí por medio una pieza de madera multilaminada de 35mm x 87mm. (ver figura 2).

Las vinculaciones de los paneles en soleras inferiores/superiores y encuentros verticales se deben realizar con tornillos Tel Fix 6mm x 1 1/2", a 1 cm del borde y cada 10 cm en todo el perímetro. La correcta instalación evitará problemas de continuidad estructural.

Una vez instalados los paneles se procede a la colocación de la solera superior que vincula todo el conjunto. La unión de solera no debe coincidir con una unión de paneles, quedando traslapadas las uniones mínimo 30 cm. Antes de instalar la solera debe aplicarse adhesivo o sellador poliuretánico, luego se fijan los paneles a la solera cada 10 cm (ver figura 2).

### 3. Resultados.

En común acuerdo con el solicitante, se decidió desarrollar los siguientes ensayos:

#### ***3.1. Normas IRAM 11596 ; Método de Ensayo de Impacto Blando en Probetas Verticales***

Para este ensayo se utiliza una bolsa de cuero con arena en su interior. Peso: 30 kgf. Se deja caer la bolsa desde alturas crecientes con movimiento pendular.

Dependiendo de la altura desde donde se deja caer la bolsa se genera una determinada energía de impacto. Luego se miden las flechas instantáneas y las flechas residuales y se observa el deterioro que se produce sobre el revestimiento exterior del panel.

La flecha instantánea es la que se mide bajo carga y la flecha residual ó permanente es la que se mide después de haber retirado la carga.

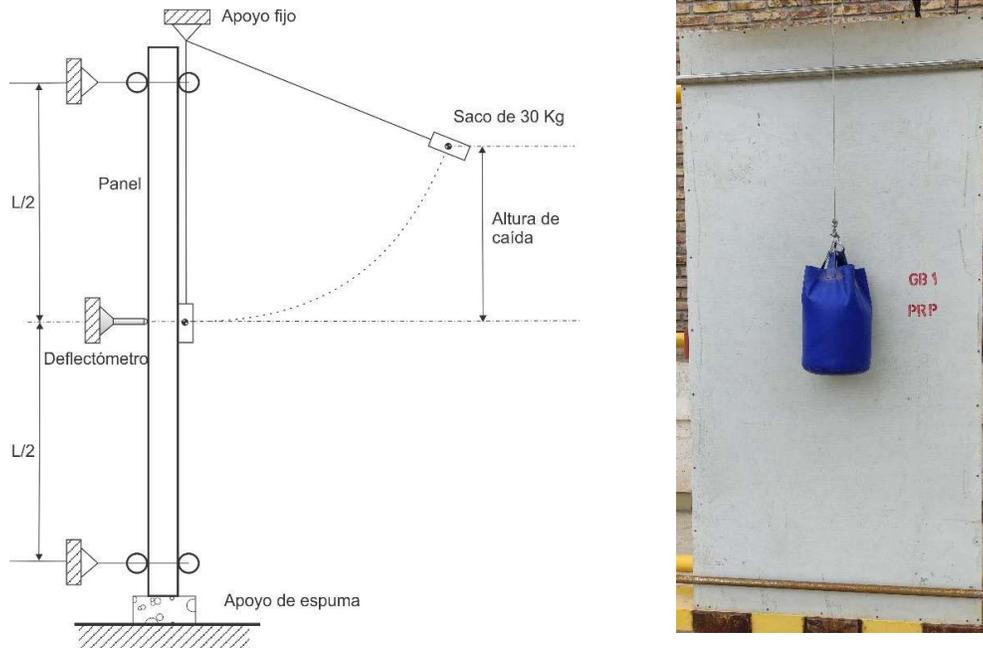
##### **3.1.1. Descripción del panel**

Se ensayan tres muestras de un panel de muro (estructural) externo Composición: placas MGO óxido sulfato de magnesio 10 mm + EPS 90 mm + placas MGO óxido sulfato de magnesio 10 mm, correspondientes a un módulo de 1.22 m de ancho x 2.44 m de alto x 110 mm de espesor y peso nominal de 75 Kg. Las muestras fueron entregadas por el cliente en nuestro Laboratorio listas para el ensayo. El proceso de armado de los tableros no fue supervisado por CECITEMA.

##### **3.1.2. Montaje e instrumentación**

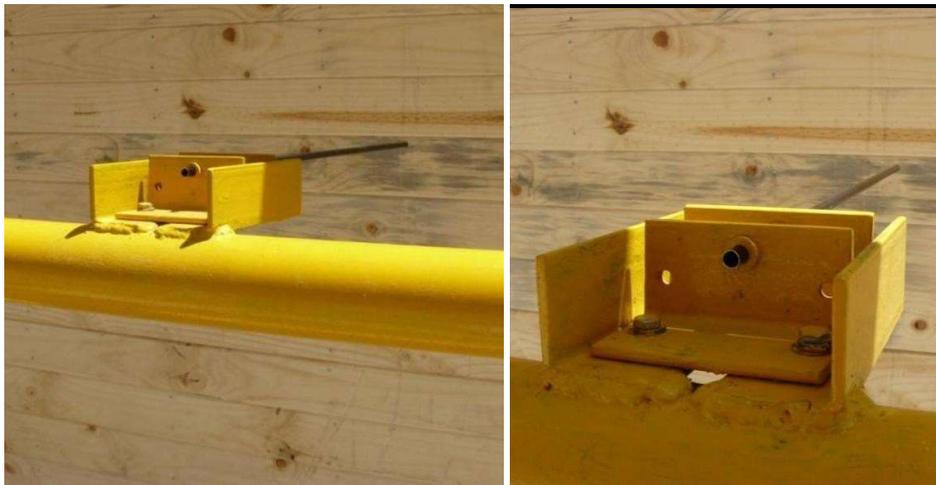
El panel se monta simplemente apoyado sobre una estructura de reacción dispuesto de forma vertical, con una luz entre apoyos de 2.0 m. El montaje del panel se materializa por medio de una serie de tubos de acero colocados en los bordes del panel y un conjunto de abrazaderas metálicas (Ver foto de la Figura N° 2).

Para aplicar el impacto se emplea un saco de lona relleno con arena, con una masa total de 30 kg. Este saco se fija a la estructura, en un punto ubicado sobre el panel, de modo que el impacto sea aplicado al centro del panel, perpendicular a su plano (Esquema de la Figura N° 6).



**Figura N° 6: Esquema del ensayo y foto del proceso de ensayo**

La instrumentación utilizada se define de acuerdo a lo especificado en la norma IRAM 11596. Se emplea un deflectómetro como se muestra en la foto de la **Figura N° 7**, para medir las deformaciones fuera de plano instantánea y residual del panel en el punto de impacto. El deflectómetro se ubica en el eje central de la cara posterior del panel, a la altura de aplicación del impacto.



**Figura N° 7: Foto del deflectómetro y detalle.**

### 3.1.3. Procedimiento de Ensayo

El procedimiento de ensayo consiste básicamente en:

- \_ Fijar el panel a la estructura de reacción y colocar la instrumentación.
- \_ A continuación, se aplican los impactos al panel, aumentando la altura de caída a de 45 cm, 60 cm y 120 cm hasta alcanzar la rotura, o bien, una energía máxima de impacto de 360 Joule. En cada impacto, se miden las deflexiones instantánea y residual del panel por la cara posterior, así como la deformación residual o permanente en la cara de impacto (en el punto de impacto).
- \_ Terminado el ensayo, se observan los daños locales y el estado final del panel.

### 3.1.4. Resultados

En la Tabla 1, se indican los resultados del ensayo siguientes: a) primer daño visible a simple vista en el panel; y b) la deflexión residual para la cara exterior del panel para diferentes niveles de energía de impacto.

Las muestras ensayadas cumplen con los criterios de aceptación para el ensayo de impacto blando, los cuales son:

- a) para una energía de 135 joule con una altura de caída de la bolsa a 45 cm el panel no presenta flecha residual mayor al 0.2% de la altura del muro ensayado (0,44cm), y no es mayor a 0,5 cm.
- b) para una energía de 180 joule con una altura de caída de la bolsa a 60 cm el panel no se sufre deterioro visible; y para una energía de 360 joule con una altura de caída de la bolsa a 120 cm el panel no debe ser atravesado por la bolsa o ser deteriorado de manera tal que comprometa la seguridad de los ocupantes del edificio.

Los resultados presentados en informe sólo son válidos para las muestras identificadas en él, y no pueden ser referidos a partidas o lotes.

- c) Se presentan las Tabla I, a los paneles de composición: placas MGO óxido sulfato de magnesio 10 mm + EPS 90 mm + placas MGO óxido sulfato de magnesio 10 mm.

**TABLA I. PANEL:** placas MGO óxido sulfato de magnesio+ EPS 90 mm + placas MGO óxido sulfato de magnesio

N°	Altura probeta cm	Peso Kg	Impacto		Flecha Instantánea mm	Flecha permanente mm	Observaciones
			Altura (cm)	Energía (J)			
1	243	75	45	135	16	1	El panel no presenta daño aparente durante todo el ensayo.
			60	180	30	1	
			120	360	36	2	
2	243	74	45	135	16	1	El panel no presenta daño aparente durante todo el ensayo.
			60	180	23	1	
			120	360	30	1	
3	244	78	45	135	16	1	El panel no presenta daño aparente durante todo el ensayo
			60	180	18	1.5	
			120	360	29	2	

**Nota:** Si bien la flecha instantánea no está considerada en los criterios de aceptación de la norma aplicada, su determinación puede ser utilizada para verificar las condiciones de prestación del muro, cuando sea un requisito normativo para esta tipología



### 3.2. Normas IRAM 11595; Método de Ensayo de Resistencia al impacto de la bola de acero

Para este Ensayo se utiliza una bola de acero de 5 cm. de diámetro. Se deja caer la bola desde alturas crecientes (escalonadas cada de 25 en 25 cm.) hasta una altura máxima de 2 m. Se realiza sobre el revestimiento exterior. Nuevamente, dependiendo de la altura, se genera una determinada energía de impacto. Luego se miden los diámetros de las improntas (marcas) y la profundidad de las mismas.

#### 3.2.1. Procedimiento de Ensayo

Para cada altura de caída se observan y anotan los deterioros en la cara y contracara del espécimen, cuando la hubiere se anota el diámetro y la profundidad de la impronta producida por la bola de acero en la superficie del espécimen.

#### 3.2.2. Resultados

Las muestras ensayadas cumplen con los criterios de aceptación para el ensayo de impacto blando, los cuales son:

- Para una altura de caída de 50 cm, presentará un diámetro de la huella dejada por la bola, menor o igual a 20 mm
- Para una altura de caída de 75 cm, no se producirá alteración alguna en el resto de la superficie de la muestra que se ensaya,
- Para una altura de caída no mayor que 2 m, no será atravesado por la bola de acero

Los resultados presentados en las Tablas III, sólo son válidos para las muestras identificadas en él, y no pueden ser referidos a partidas o lotes.

En la figura N° 8 se representan gráficamente los valores de las tablas.



**Tabla III: PANEL: Composición** placas MGO óxido sulfato de magnesio+ EPS 90 mm + placas MGO óxido sulfato de magnesio

Muestra	Diámetro de la impronta <sup>(1)</sup>							
	25 cm	50cm	75 cm	100 cm	125 cm	150 cm	175 cm	200 cm
01	0	17	21	29	32	36	39	43
02	0	17	19	30	34	37	41	45
03	0	18	21	29	33	37	42	44

(1) Los valores de la tabla corresponden al diámetro de la impronta de la bola de acero



**Figura N° 8: Representación gráfica del Método de Ensayo de Resistencia al impacto de la bola de acero y fotografía de sus improntas**

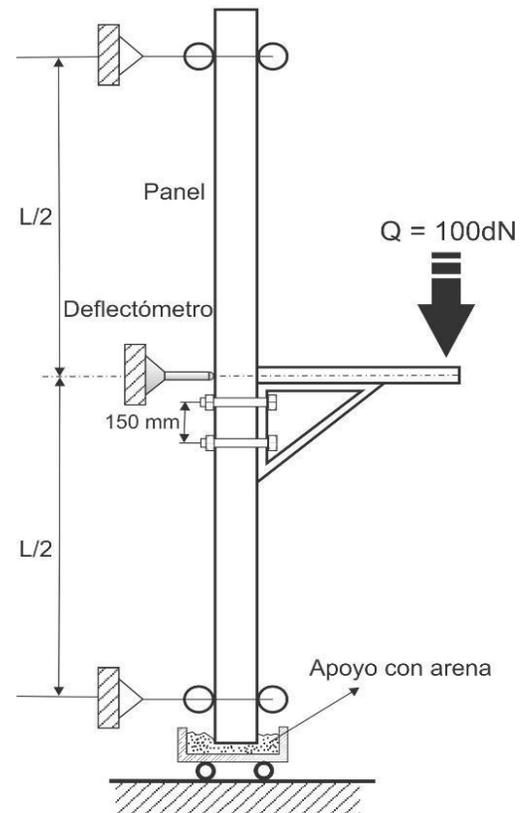
### 3.3. Normas IRAM 11585 ; Método de Ensayo de Cargas Verticales Excéntricas

Sobre el revestimiento interno del panel se colocan 2 ménsulas metálicas que se fijan con tornillos a los pasantes verticales centrales del panel. Se aplica una carga de 50 daN a cada una de las ménsulas durante 24 horas.

#### 3.3.1. Procedimiento de Ensayo

Se ensayan tres paneles como mínimo de acuerdo al esquema siguiente de la figura N° 9 y se lo mantiene cargado durante 24 hs. El dispositivo se fija en la zona considerada menos resistente. En nuestro caso se cargaron en el punto central del panel. Se deja actuar una carga de 100 daN paralela al panel situada a 30 cm y transmitida con dos ménsulas con dos fijaciones distantes entre sí 15 cm. El comportamiento del panel se considerará satisfactorio si no presenta daños ni deformaciones visibles

Figura N°9: Esquema de ensayo de carga vertical excéntrica.



#### 3.3.2. Resultados

En la Tabla IV, se indican los resultados del ensayo. Las muestras ensayadas cumplen con los criterios de aceptación para el ensayo Cargas verticales excéntricas según tabla IV;

**Tabla IV : PANEL placas MGO óxido sulfato de magnesio+ EPS 90 mm + placas MGO óxido sulfato de magnesio**

N°	Altura	Ancho	Espesor	Peso	Impacto		Flecha Instantánea	Flecha permanente	Observaciones
	probeta	probeta	probeta	Kg	Altura (cm)	Energía (J)	mm	mm	
	cm	cm	cm						
1	243	121.6	11	75	45	135	16	1	No se observa deformación permanente
					60	180	30	1	
					120	360	36	2	
2	243	121.6	10.7	74	45	135	16	1	No existe daño permanente
					60	180	23	1	
					120	360	30	1	
3	243.5	122.2	11	78	45	135	16	1	No existe daño permanente
					60	180	18	1.5	
					120	360	29	1.6	

**Nota:** Si bien la flecha instantánea no está considerada en los criterios de aceptación de la norma aplicada, su determinación puede ser utilizada para verificar las condiciones de prestación del muro, cuando sea un requisito normativo para esta tipología



**Figura N° 10: Fotos de los ensayos de carga excéntrica**

Los resultados presentados en informe sólo son válidos para las muestras identificadas en él, y no pueden ser referidos a partidas o lotes.

### **3.4. Normas IRAM 11588 ; Método de Ensayo de Compresión**

En este ensayo se somete al Panel a una carga de compresión escalonada. Su objetivo es determinar las deformaciones que sufre el Panel. Se utilizan compresómetros y deflectómetros a efectos de cuantificar las deformaciones y flechas producidas durante el ensayo.

Se determinan así los valores carga-acortamiento y carga-lateral, instantáneos y permanentes y la carga de rotura.

#### **3.4.1. Procedimiento de Ensayo**

Se ensayan tres paneles como mínimo de acuerdo al esquema siguiente de la figura N° 5. Este ensayo consiste en someter a un módulo aislado del panel, colocado en posición vertical y simplemente apoyado en sus extremos superior e inferior, a la acción de una carga vertical aplicada. La carga de compresión se aplica de forma incremental y cuasi-estática, mediante ciclos de carga – descarga. Durante el ensayo se mide la deformación longitudinal y la deflexión transversal del panel bajo carga máxima y al descargar.

#### **3.4.2. Montaje e Instrumentación**

El panel se monta en forma vertical, apoyándolo entre los platos de la Máquina de Ensayo. La distribución de la carga sobre las caras de apoyo del panel se materializa por medio de un marco de carga de acero que abarcan toda la longitud de la cara de apoyo del panel. Figura N° 11

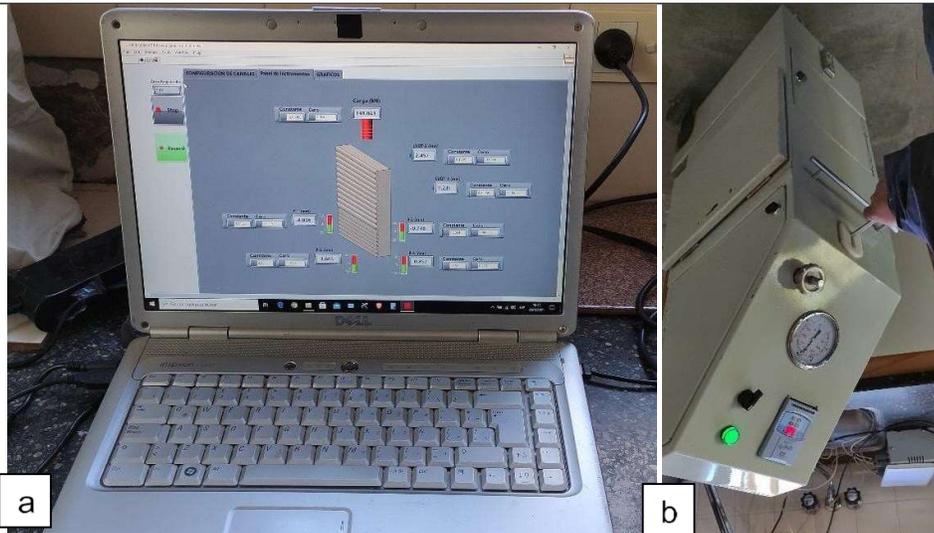


**Figura N°11: Vista general del ensayo de compresión.**

La instrumentación utilizada se adecúa de acuerdo a lo especificado en la Norma IRAM 11588. Se emplean cuatro transductores de desplazamiento contruidos con 4 potenciómetros para medir la deformación longitudinal del panel de manera digital, dos transductores de desplazamiento para medir la deflexión central a media altura del panel del tipo LVDT y una celda de carga de 300



**Figura N° 8: a) Detalles del potenciómetro para medir la deformación longitudinal del panel. b) Detalle de los instrumentos para medir la deflexión central. c) Detalle de la celda de carga**



**Figura N° 12: a) Pantalla del software adquiriendo e indicando los valores de cada instrumento.**

**b) Comando del cilindro hidráulico**

### 3.4.3. Procedimiento de Ensayo

El procedimiento de ensayo consiste, básicamente, en:

- 1) Fijar el panel en la Máquina de Compresión y colocar la instrumentación.
- 2) A continuación, se adquieren los datos de carga y deformación del panel a través de un soft conformando un archivo txt (Figura N° 12). Se aplica la carga de forma incremental, mediante ciclos de carga – descarga, aumentando progresivamente la carga máxima aplicada. El incremento de carga es de aproximadamente de 20 KN y la longitud a medir la deformación es de  $L= 2010$  mm. En cada ciclo de carga se mide la deformación axial y la deflexión central transversal del panel bajo carga máxima y al descargar el panel midiendo la deformación permanente.
- 3) Terminado el ensayo, se observan el modo de falla del panel y los daños locales presentados.

En la Tabla VI, se indican los resultados del ensayo. Las muestras ensayadas cumplen con los criterios de aceptación para el ensayo Cargas verticales.

El cálculo de la media aritmética ( $P_{rm}$ ) de las cargas de rotura ( $P_{ri}$ ) se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$P_{rm} = \sum P_{ri} / n$$

Donde: n es el número de paneles en La desviación normal (S) es:

$$S = [ \sum (P_{ri} - P_{rm})^2 / (n-1) ]^{1/2}$$

El coeficiente de variación  $\delta$  resulta;

$$\delta = S / P_{rm}$$

La carga de rotura característica por compresión ( $P_{rk}$ ) se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$P_{rk} = P_{rm} (1 - K \cdot \delta)$$

Donde k es el coeficiente de variación y es, para muestra de tres paneles (n=3), K= 2.92

### 3.4.2. Resultados

En la Tabla V se indican los resultados de los ensayos de los paneles. Las muestras ensayadas cumplen con los criterios de aceptación para el ensayo Cargas Verticales,

**Tabla de medidas geométricas**

Muestra	Datos geométricos			Peso Kg
	Alto cm	Ancho cm	Espesor cm	
Muestra 1	244.0	122.0	10.7	80.6
Muestra 2	244.8	122.2	11.0	75.8
Muestra 3	243.5	121.9	11.0	77.6

Tabla N° V. Composición placas MGO óxido sulfato de magnesio+ EPS 90 mm + placas MGO óxido sulfato de magnesio

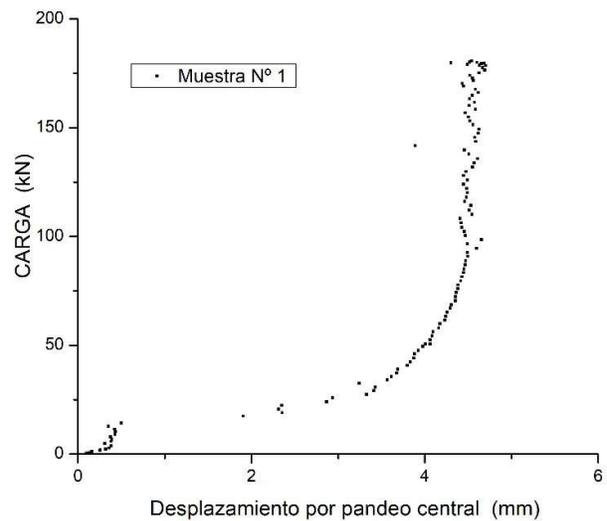
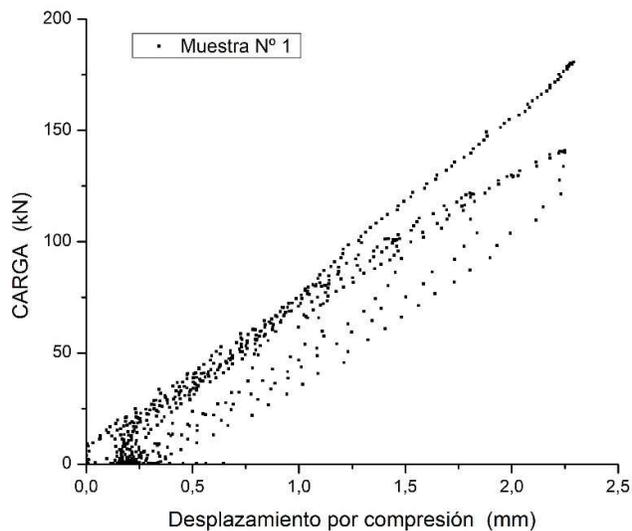
Muestra	Valores Máximos Alcanzados			Valores Permanentes		Observaciones
	Carga KN	Flecha lateral <sup>(1)</sup> mm	Desplazamiento axial <sup>(2)</sup> mm	Flecha lateral mm	Desplazamiento axial mm	
Muestra 1	180.20	4.68	2.29	2.79	0.66	Fractura doble en parante izquierdo
Muestra 2	171.47	4.22	3.18	2.83	0.62	Fractura en ambos parantes
Muestra 3	187.90	0.52	3.91	1.90	0.53	Fractura en ambos parantes

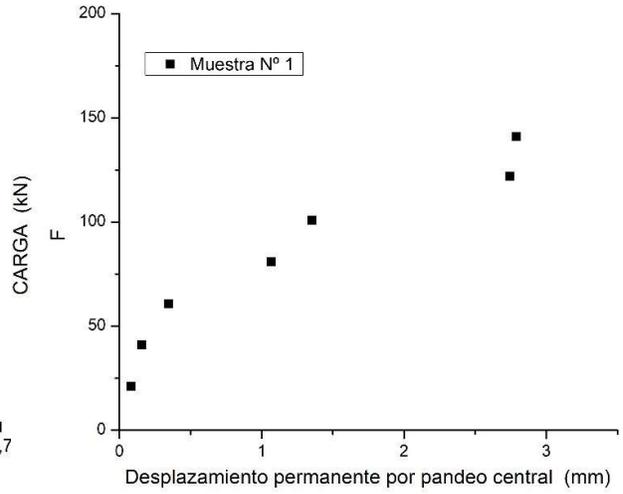
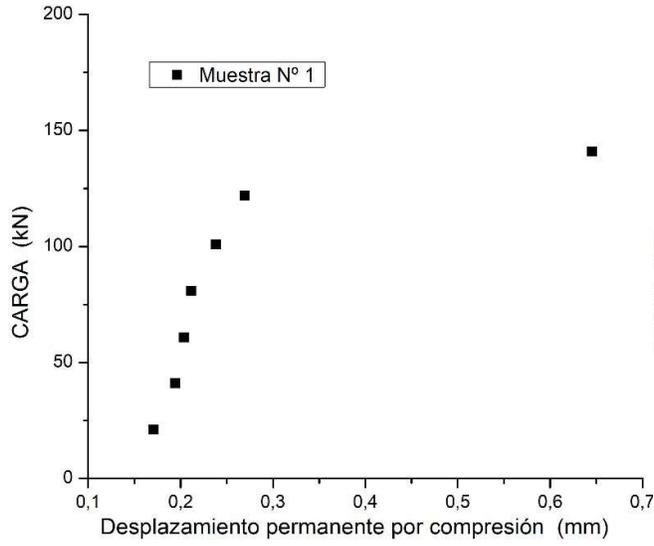
(1) La flecha central por pandeo es el promedio de los dos LVDT

(2) El desplazamiento axial es el promedio de los cuatro potenciómetros

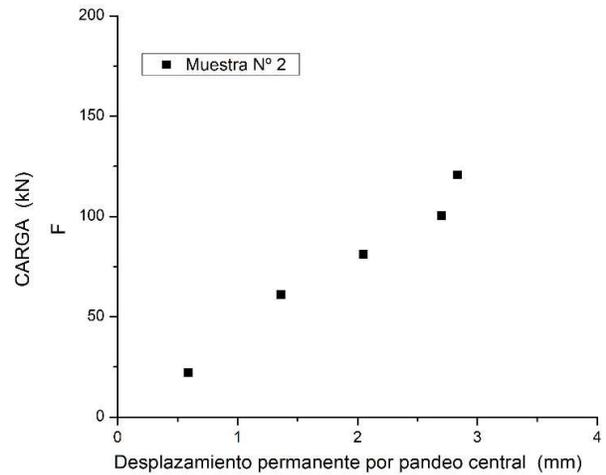
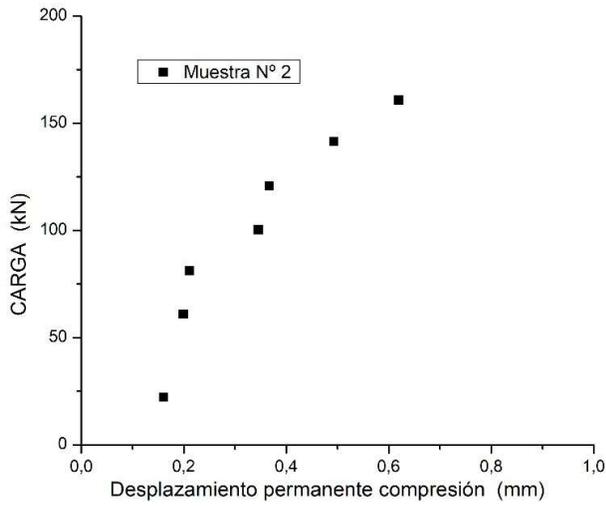
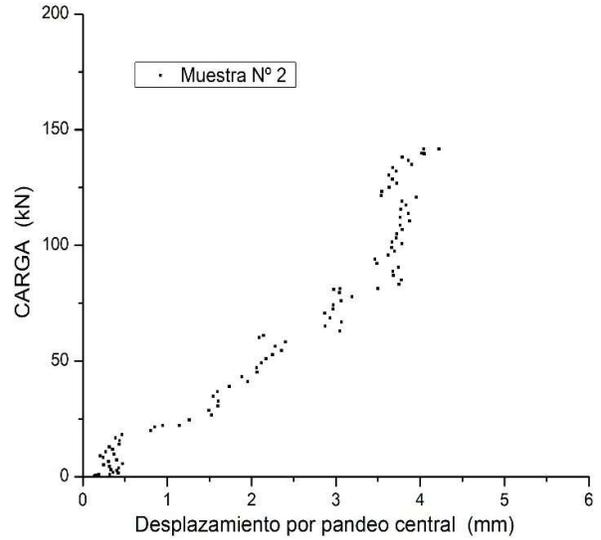
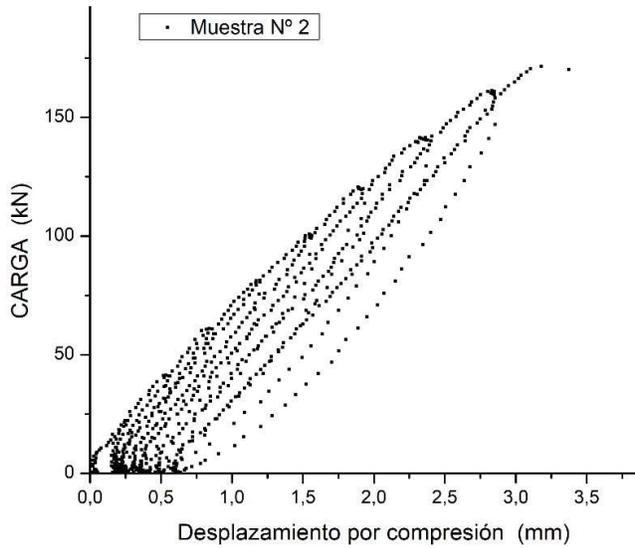
## Registros de los ensayos de compresión

### Muestra 1



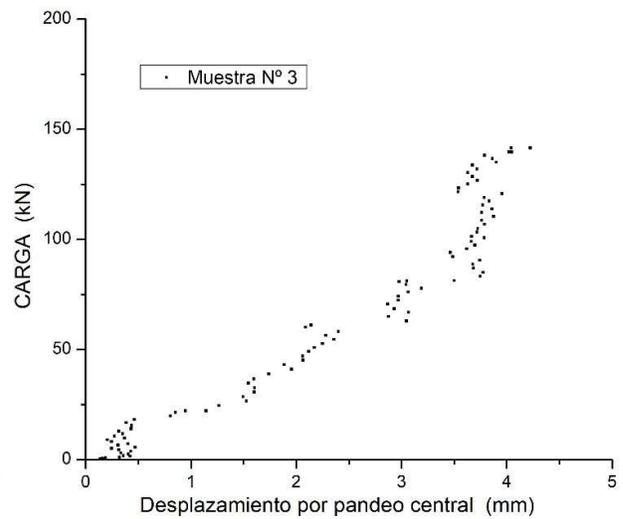
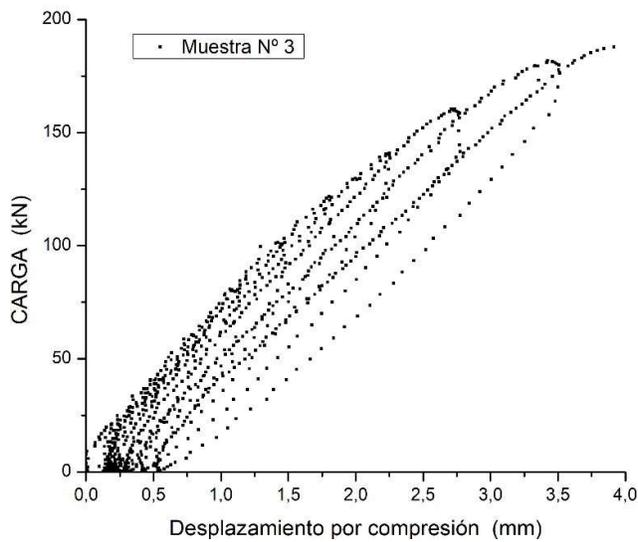


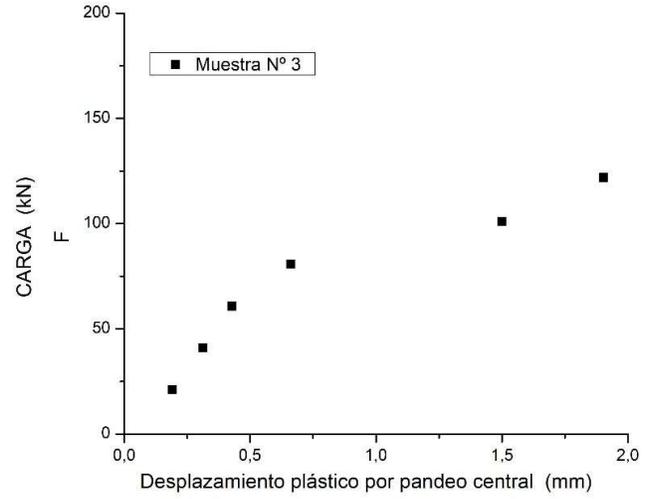
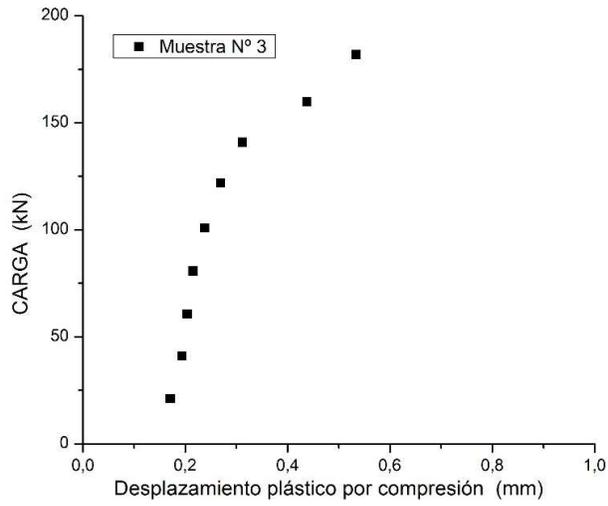
## Muestra 2





### Muestra 3







**Carga Característica por compresión en Paneles de composición de placas MGO óxido sulfato de magnesio+ EPS 90 mm + placas MGO óxido sulfato de magnesio**

$$P_{kr} = 155,9 \text{ KN}$$



**Ing. Pablo N. Manzione**

## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. Norma IRAM 11596 Muros de Edificios. Método de ensayo de Impacto blando en probetas verticales
2. Norma IRAM 11595; Paneles Fabricados Para Muros de Edificios. Método de Ensayo de Resistencia al Impacto de la Bola de Acero;
3. Norma IRAM 11588; Muros Ciegos de Edificios. Método de Ensayos de Compresión,
4. Norma IRAM 11585; Paneles para Muros y Tabiques de Edificios.
5. ASTM D-3043
6. ASTM D -4442
7. Principles of Wood Science and Technology. Kollmann, F.F.P., Coté W. Jr. 1968.