

# Caracterización de propiedades mecánicas de paneles sándwich

Autor

Diego García Torres

Tutor

Manuel Jesús González Castro

Diciembre 2017

# Índice

- **Objetivo**
- **Panel sándwich**
- **Ensayo de flexión**
- **Simulación por el Método de los elementos finitos**
- **Ensayo de fluencia**
- **Conclusiones**

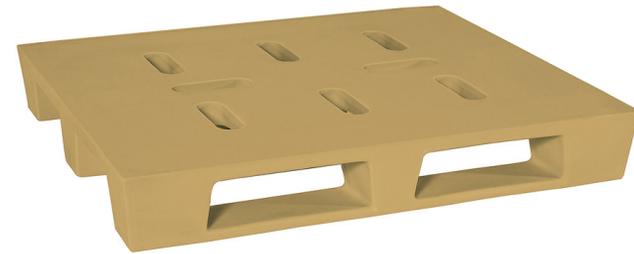


# Objetivo

- **Caracterizar las propiedades mecánicas de los materiales que constituyen el panel sándwich**
- **Reproducir con el MEF el comportamiento del panel sándwich**
- **Determinar de forma aproximada si la fluencia es importante en este tipo de productos**

# Panel sándwich

- Pallet europeo suministrado por Rotogal
- Doble pared de Polietileno con un aislamiento de espuma de Poliuretano de célula cerrada



**700**  
litros

Contenedor  
Isotérmico  
Contenedor  
Isotérmico

Mód. IS-700



Exterior	Interior	Interior Mín.
Altura	Profundidad	Diámetro
Largor/Longhezza	1500 mm	1140 mm
Altura/Altezza	700 mm	500 mm
Profundidad/Profondità	500 mm	440 mm

PLB II, PLB III, EPB

Peso/Volto: 13 kg/26 45 kg/90

**1400**  
litros

Contenedor  
Isotérmico  
Contenedor  
Isotérmico

Mód. IS-1400



Exterior	Interior	Interior Mín.
Altura	Profundidad	Diámetro
Largor/Longhezza	1800 mm	1500 mm
Altura/Altezza	1400 mm	1000 mm
Profundidad/Profondità	500 mm	400 mm

PLB I, PLB II, PLB III, EPB

Peso/Volto: 17 kg/34 45 kg/90

**700**  
litros

Contenedor  
depuración  
Contenedor  
depuración

Mód. ISD-07



Exterior	Interior	Interior Mín.
Altura	Profundidad	Diámetro
Largor/Longhezza	1500 mm	1100 mm
Altura/Altezza	700 mm	500 mm
Profundidad/Profondità	500 mm	400 mm

PLB I, PLB II, PLB III

Peso/Volto: 13 kg/26 45 kg/90

Tapas  
reforzadas  
Tapas  
reforzadas

Mód.



Tapas o gomas reforzadas de gran durabilidad  
opcional y adaptadas a las necesidades del  
cliente.  
Tapas o gomas reforzadas de gran durabilidad  
opcional y adaptadas en necesidades de cliente.

**1000**  
litros

Contenedor  
Isotérmico  
Contenedor  
Isotérmico

Mód. IS-1000



Exterior	Interior	Interior Mín.
Altura	Profundidad	Diámetro
Largor/Longhezza	1500 mm	1140 mm
Altura/Altezza	1000 mm	800 mm
Profundidad/Profondità	500 mm	440 mm

PLB II, PLB III, EPB

Peso/Volto: 13 kg/26 45 kg/90 100 kg/200

**400**  
litros

Contenedor  
depuración  
Contenedor  
depuración

Mód. ISD-04



Exterior	Interior	Interior Mín.
Altura	Profundidad	Diámetro
Largor/Longhezza	600 mm	400 mm
Altura/Altezza	400 mm	300 mm
Profundidad/Profondità	300 mm	200 mm

PLB I, PLB II, PLB III, EPB

Peso/Volto: 13 kg/26 45 kg/90

**800**  
litros

Contenedor  
depuración  
Contenedor  
depuración

Mód. ISD-05



Exterior	Interior	Interior Mín.
Altura	Profundidad	Diámetro
Largor/Longhezza	1000 mm	800 mm
Altura/Altezza	800 mm	600 mm
Profundidad/Profondità	400 mm	300 mm

PLB I, PLB II, PLB III, EPB

Peso/Volto: 13 kg/26 45 kg/90

Pallet  
americano  
Pallet  
americano

Mód. ISD-06



Exterior	Interior	Interior Mín.
Altura	Profundidad	Diámetro
Largor/Longhezza	1200 mm	1000 mm
Altura/Altezza	120 mm	100 mm
Profundidad/Profondità	120 mm	100 mm

PLB I, PLB II, PLB III, EPB

Peso/Volto: 13 kg/26 45 kg/90



# Panel sándwich

## ■ Estructura sándwich expandido

- Piel: elemento resistente, aporta rigidez
- Núcleo: elemento mas ligero, transmite cortante
- Adhesivo: mantiene unidas las pieles al núcleo

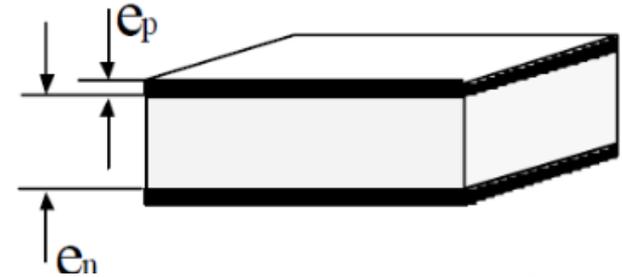
## ■ Propiedades favorables:

- Bajo peso
- Aislamiento térmico y acústico
- Rigidez a flexión

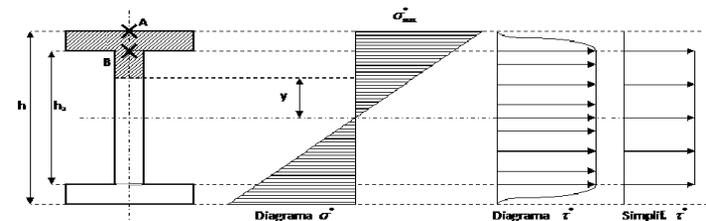
## ■ Propiedades desfavorables:

- Resistencia al fuego
- Punzonamiento

## ■ Comportamiento similar a viga en I en flexión



Espesor núcleo	0	$t$	$3 \cdot t$
Rigidez a flexión	1	7	37
Resistencia	1	3,5	9,25
Peso	1	1,03	1,06



# Ensayo de flexión

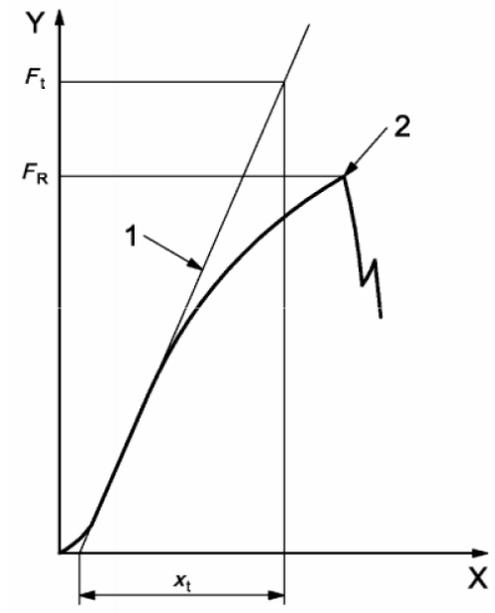
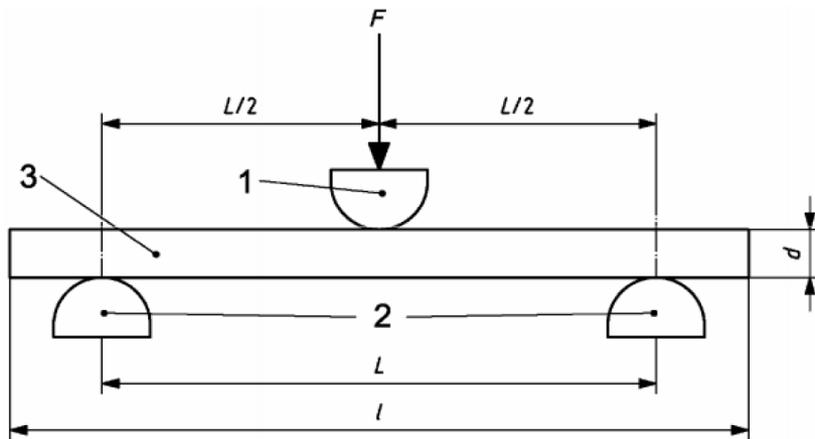
## Objetivo

- Caracterizar las propiedades mecánicas de la piel y el núcleo
- Obtener datos del comportamiento estructural del panel sándwich

## Norma

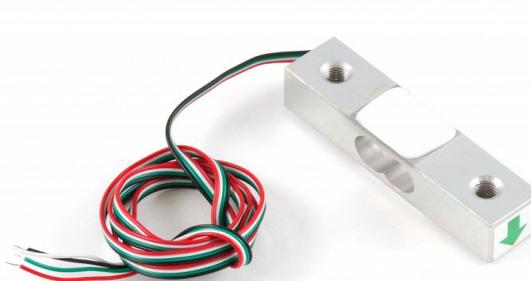
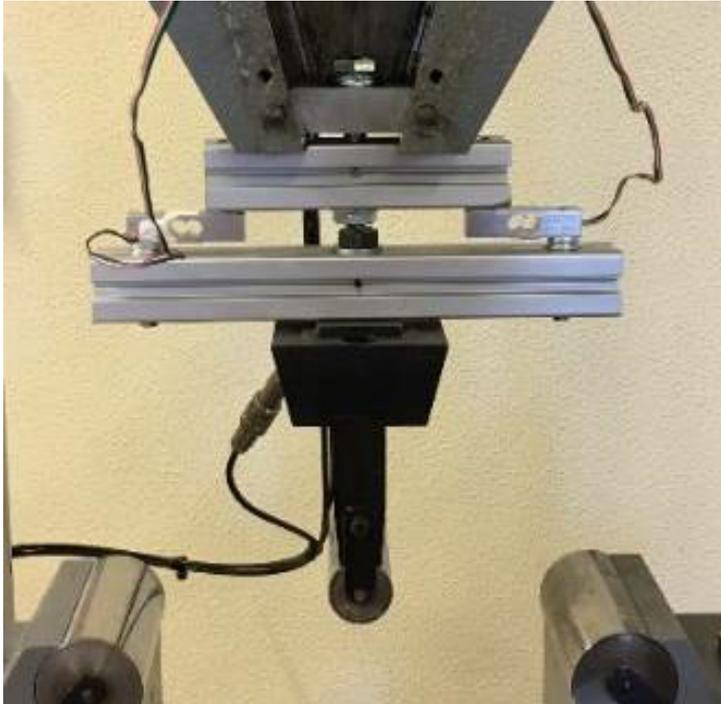
**UNE-ISO 1209-2:2007**

- Módulo aparente de elasticidad en flexión
- Resistencia a la flexión



# Montaje experimental

## ■ Máquina universal de ensayos Servosis ME-402E



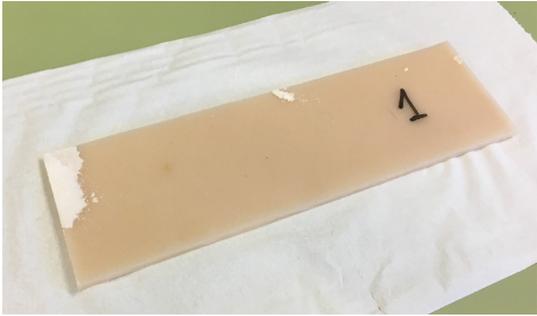
### ■ Amplificación

- Phidget Bridge

### ■ Calibración

- Matlab: Curve Fitting Toolbox

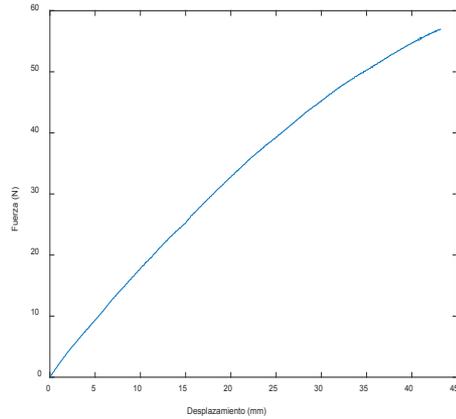
# Probetas



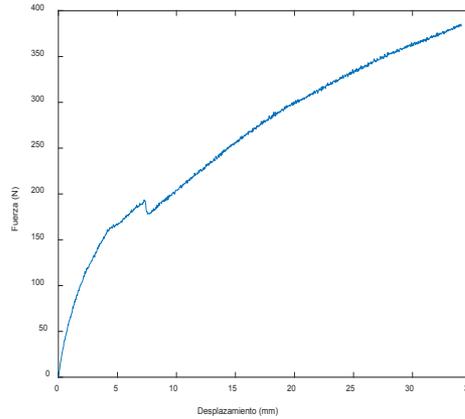
# Ensayo de flexión



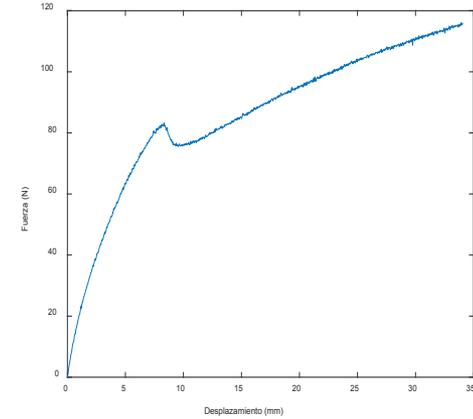
# Resultados



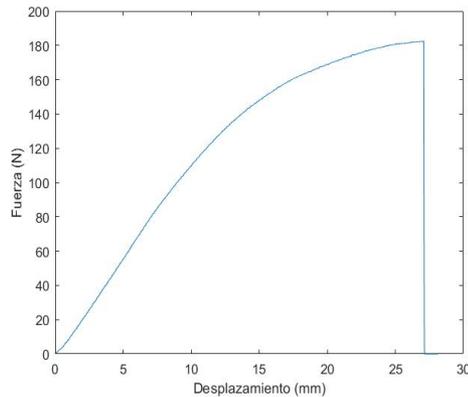
**Probeta 1**



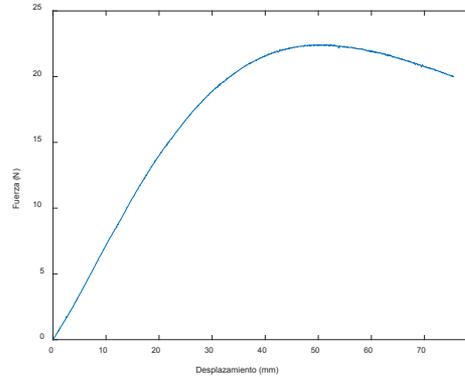
**Probeta 2**



**Probeta 3**



**Probeta 4**



**Probeta 5**

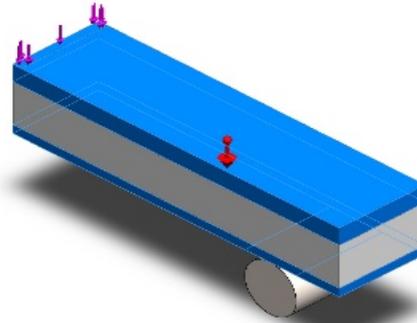
E (MPa)	Probeta 1 (PE)	Probeta 4 (espuma PUR)	Probeta 5 (espuma PUR)
Ensayo	711,43	21,5	22,97
MATWEB	500 - 900	21,5	21,5

# Modelo de elementos finitos

## ■ Materiales

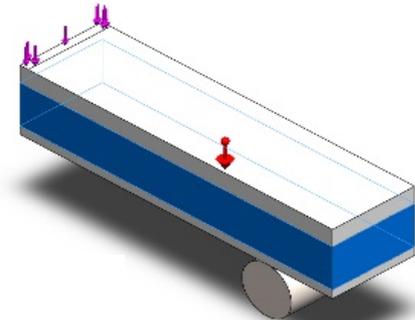
### ■ Polietileno

- $\rho = 936 \text{ kg/m}^3$
- $E = 7.11\text{e}+8 \text{ N/m}^2$
- $\nu = 0.4$



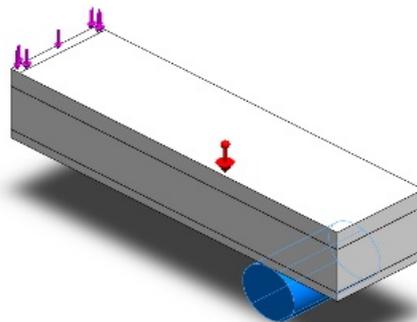
### ■ Espuma de Poliuretano

- $\rho = 40 \text{ kg/m}^3$
- $E = 2.2\text{e}+7 \text{ N/m}^2$
- $\nu = 0.4$



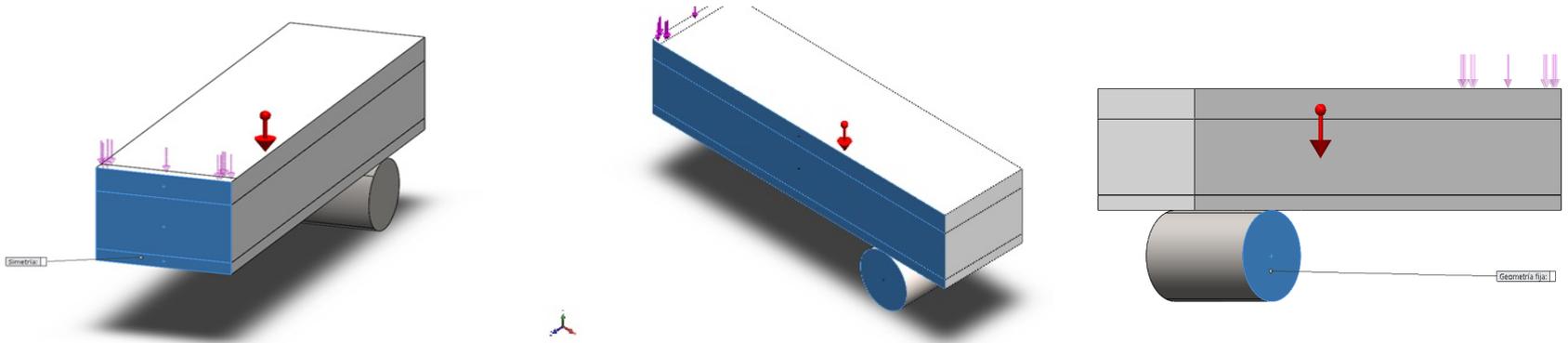
### ■ Acero

- $\rho = 7700 \text{ kg/m}^3$
- $E = 2.1\text{e}+11 \text{ N/m}^2$
- $\nu = 0.28$

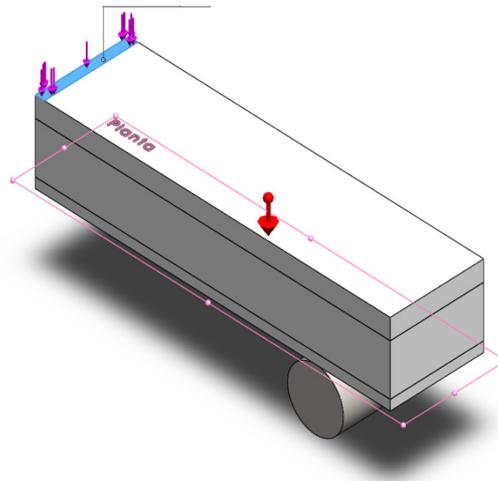


# Modelo de elementos finitos

## ■ Sujeciones

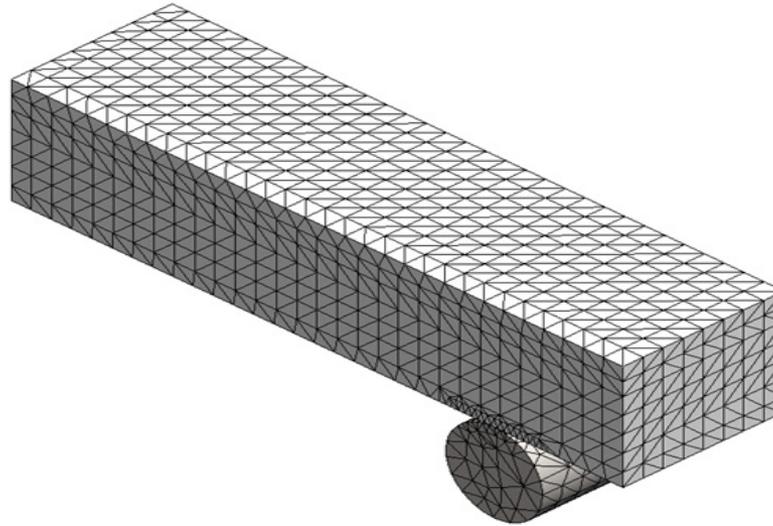


## ■ Cargas

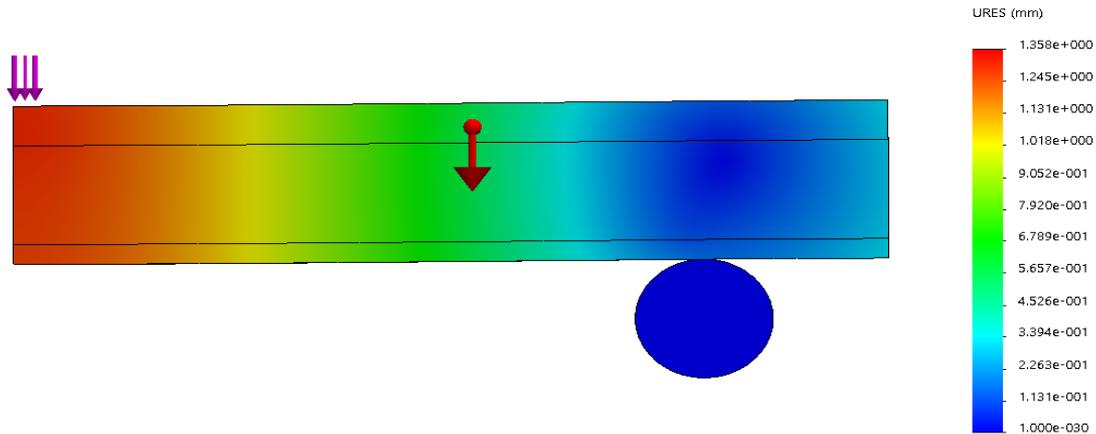


# Modelo de elementos finitos

## ■ Malla

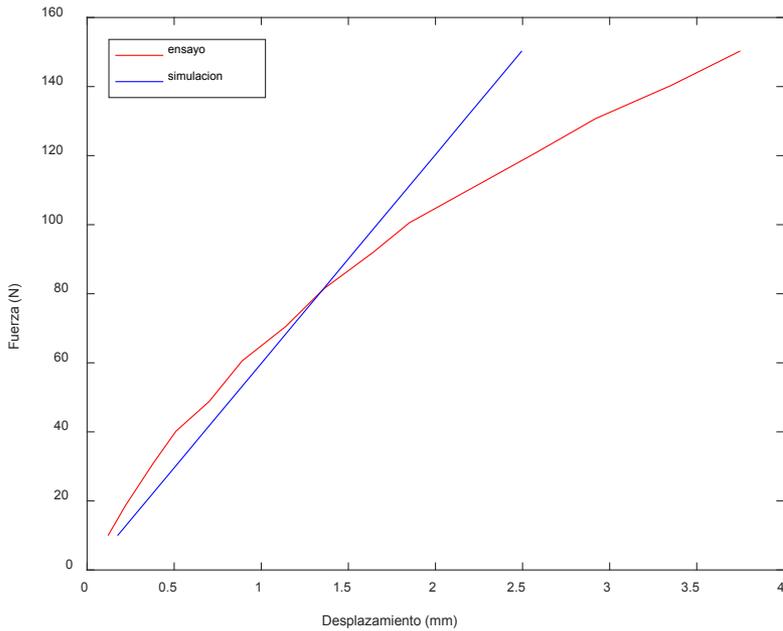


## ■ Resultados

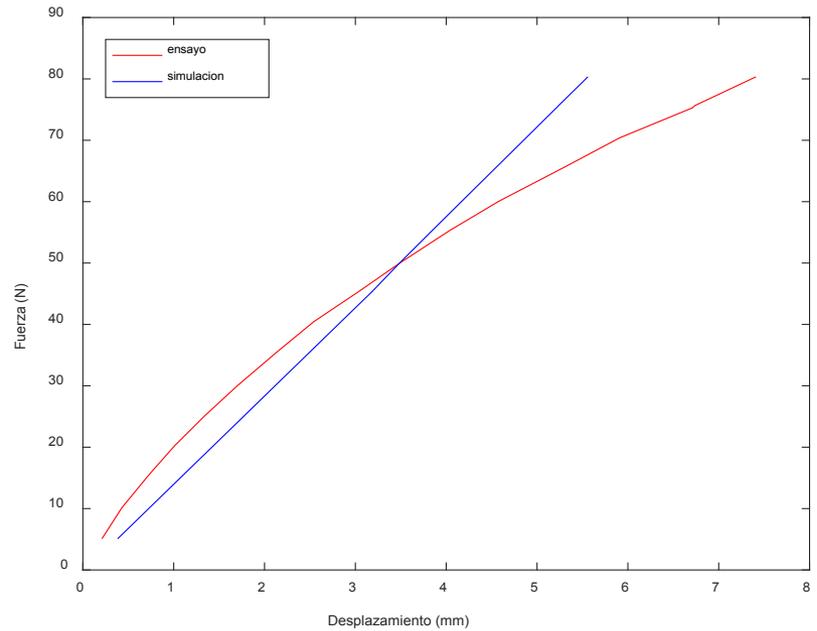


# Comparación: ensayo vs MEF

## ■ Sándwich grueso



## ■ Sándwich delgado



# Ensayo fluencia

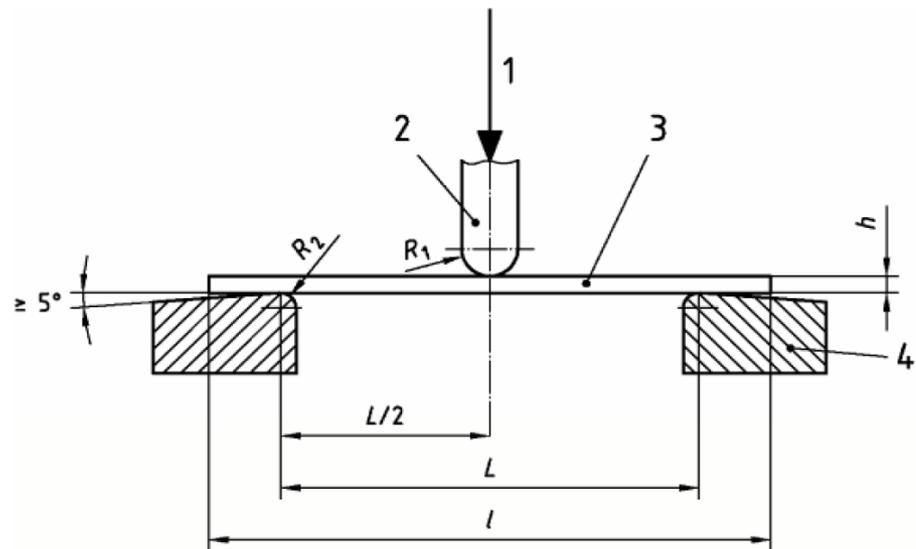
## ■ Objetivo

- Determinar de forma aproximada si la fluencia es importante

## ■ Ensayo de bajo coste: Diseño y construcción de máquina de ensayo

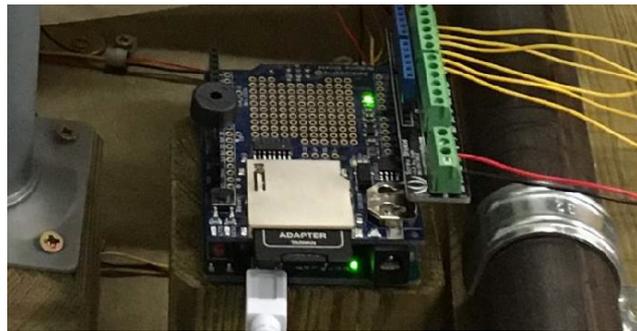
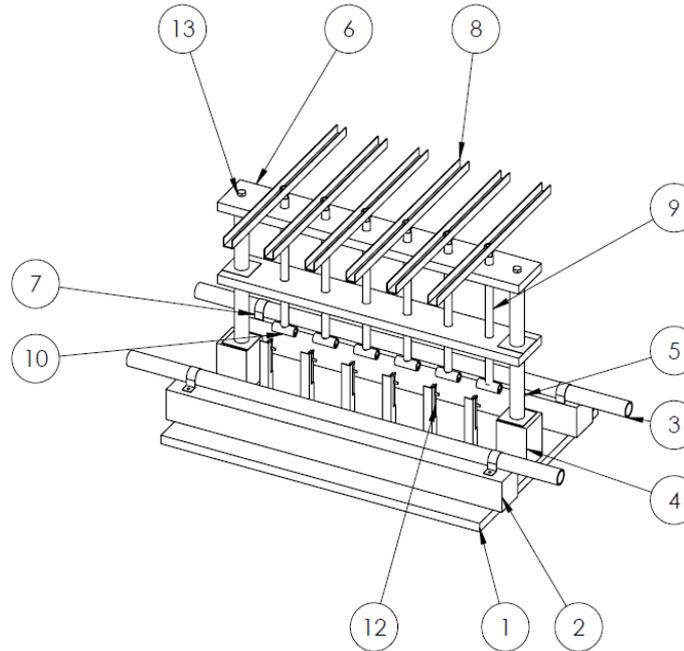
## ■ Norma

*UNE-EN ISO 899-2: 2003*

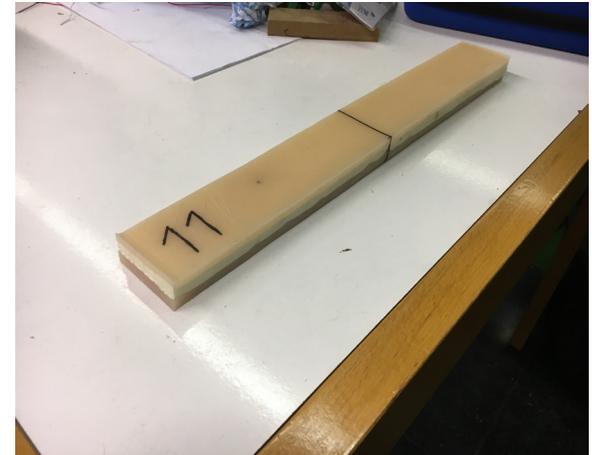
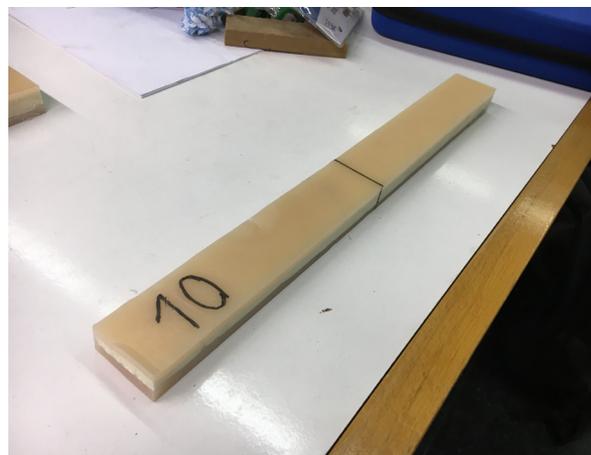
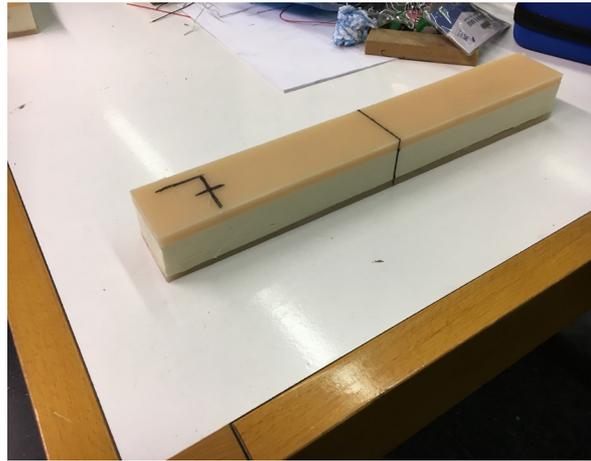


# Montaje experimental

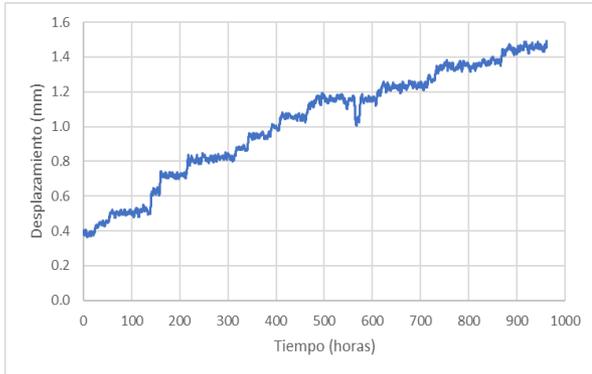
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Tablero	1
2	SopORTE Apoyo	2
3	Apoyo	2
4	SopORTE Pata	2
5	Pata	4
6	Guías	2
7	Grapa metálica	4
8	Perfil U	6
9	Tubo PVC	6
10	Cilindro Punzón	6
11	Probeta	6
12	Potenciometro	6
13	ISO 4017 - M10 x 25-N	2
14	Varilla Roscada	6
15	Hexagon Thin Nut ISO - 4035 - M12 - N	12



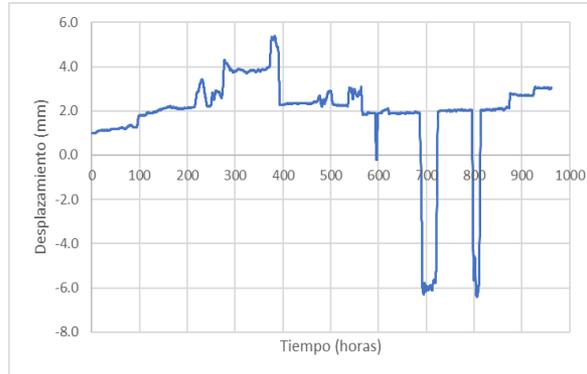
# Probetas



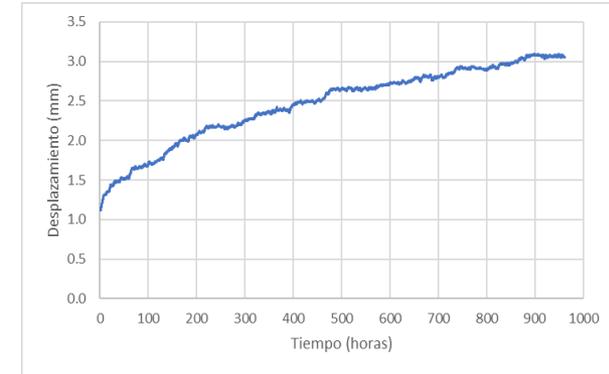
# Resultados: Curvas desplazamiento - tiempo



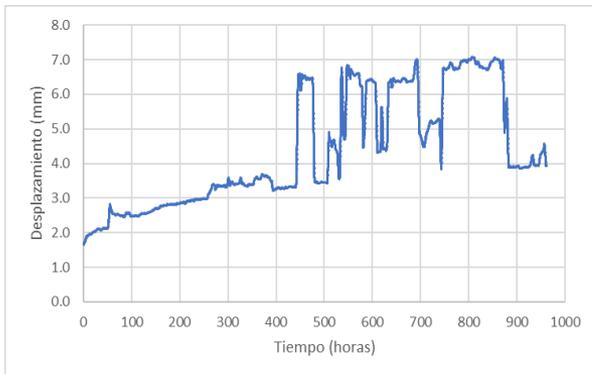
**Probeta 6 (4kg)**



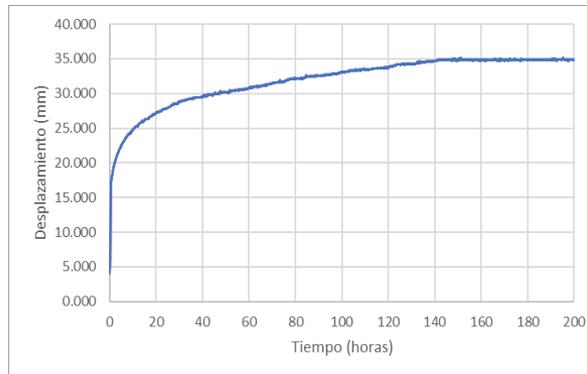
**Probeta 7 (6 kg)**



**Probeta 8 (10 kg)**



**Probeta 9 (14 kg)**



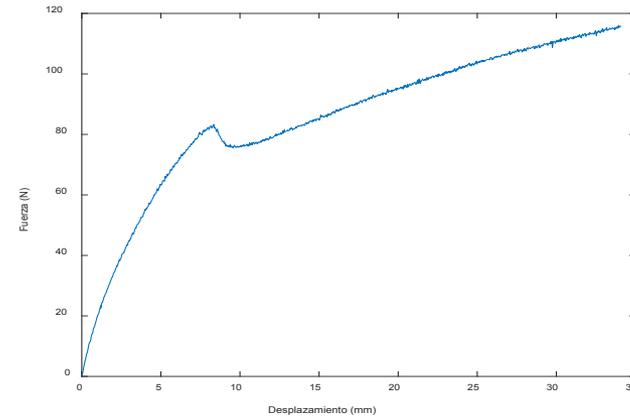
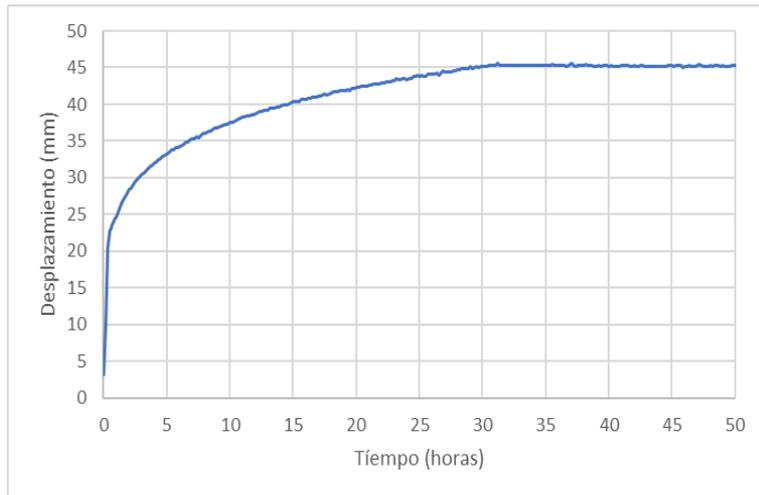
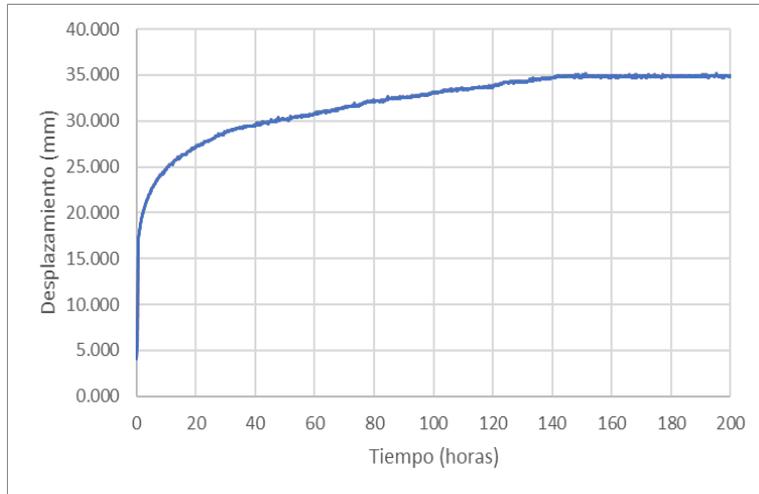
**Probeta 10 (4 kg)**



**Probeta 11 (6 kg)**

# Resultados

## ■ Probetas 10 y 11



# Conclusiones

- **Caracterización de propiedades correcta**
- **Exactitud de los resultados del modelo de elementos finitos**
- **Panel sándwich presenta una importante fluencia**



**GRACIAS**

