

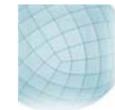


# Fabricación Aditiva de Polímeros

## ¿Adecuada para piezas estructurales?



**Wilco M.H. Verbeeten**  
Grupo de Integridad Estructural  
Universidad de Burgos  
wverbeeten@ubu.es  
Departamento de Ingeniería Civil  
Área de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras



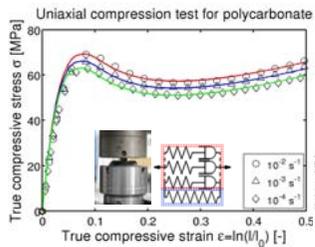
## Capacidad Tecnológica

- ▶ Predecir con precisión la vida útil de un producto polimérico según las especificaciones de carga.
- ▶ Predicción completamente **numérica** del **fallo dúctil** de un componente **inyectado** de polímero **amorfo**:
  - ♦ Caracterización experimental del material.
  - ♦ Modelo constitutivo avanzado.
  - ♦ Simulación del proceso de moldeo por inyección.
  - ♦ Simulación de análisis estructural.
- ▶ Relacionar la historia termodinámica ( $P(t)$ ,  $T(t)$ ,  $\gamma(t)$ ) que experimenta el material durante la fase de procesado con el estado final (= "edad") del material:
  - ♦ Cinética de envejecimiento.

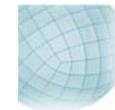
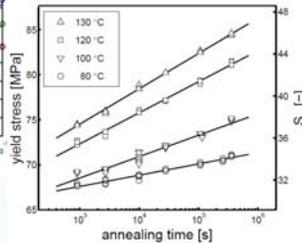
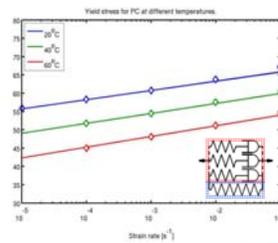


## Capacidad Tecnológica

- ▶ Caracterización experimental del material: PC Lexan 141R
  - ▶ Modelo constitutivo avanzado.
  - ▶ Cinética de envejecimiento.
- Compresión**



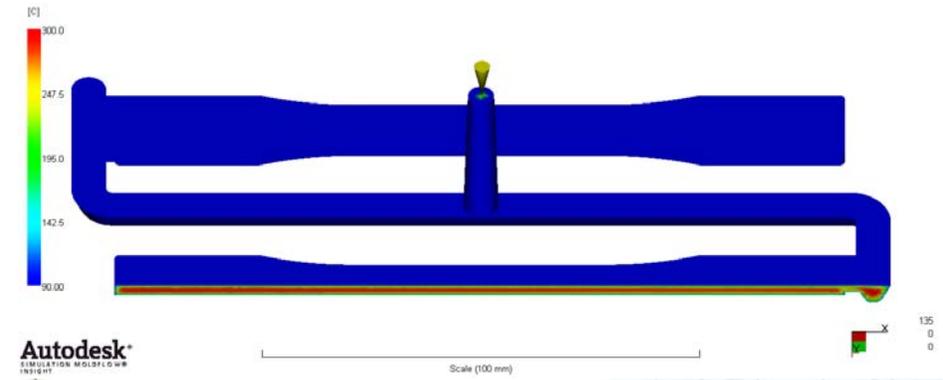
### Tracción



## Capacidad Tecnológica

- ▶ Simulación del proceso de moldeo por inyección.
  - ♦ ASTM 638 type I tensile specimen
  - ♦  $T_{\text{masa}} = 285^\circ\text{C}$ ;  $T_{\text{molde}} = 90^\circ\text{C}$ .
  - ♦ Injection time: 1.4s; Cooling time: 70s.

Temperature  
Time = 3.051[s]

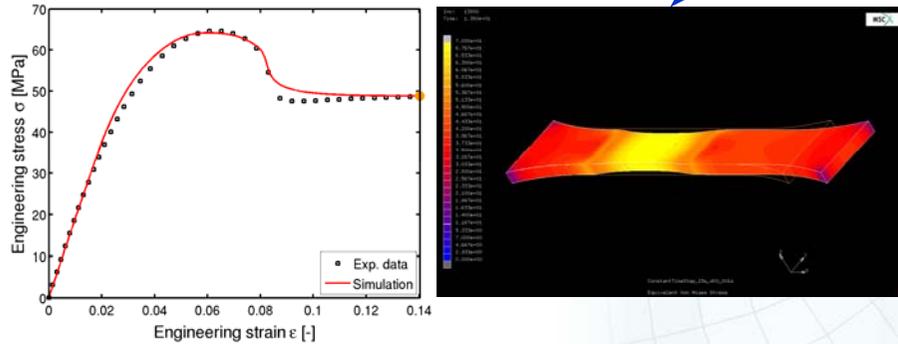
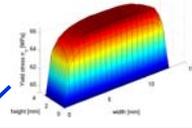




# Capacidad Tecnológica



- ▶ Simulación de análisis estructural.
- ◆ Distribución de tensiones de fluencia.



Fabricación Aditiva de Polímeros: ¿Adecuada para piezas estructurales?

Taller Demostrativo "Fabricación Aditiva Plástica" - FaCyL

4/oct/2019/5

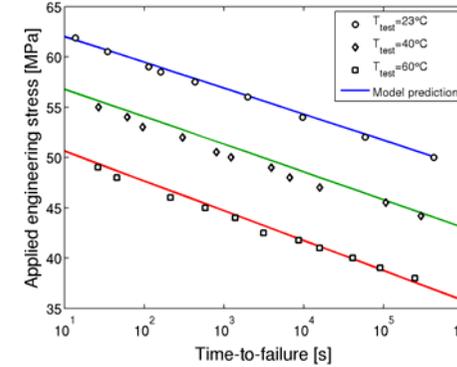


# Capacidad Tecnológica

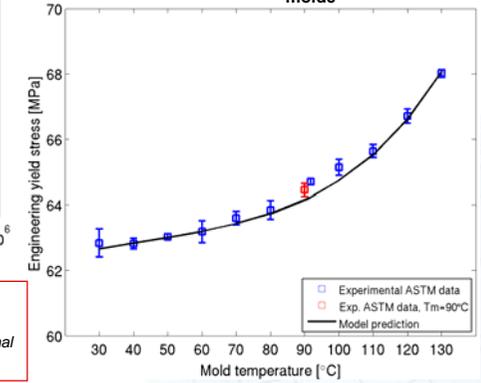


- ▶ Simulación de análisis estructural.

## Fluencia



## Cambio T<sub>molde</sub>



▶ Wilco M.H. Verbeeten, Marc J.W. Kanters, Tom A.P. Engels, Leon E. Govaert, "Yield stress distribution in injection-moulded glassy polymers", *Polymer International* 64(11), 1527-1536, 2015.



Fabricación Aditiva de Polímeros: ¿Adecuada para piezas estructurales?

Taller Demostrativo "Fabricación Aditiva Plástica" - FaCyL

4/oct/2019/6



# Capacidad Tecnológica



## 1) Herramientas experimentales

### Compresión



### Tracción

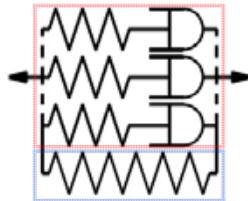


### Compresión planar



## 2) Herramientas numéricas

### Modelos numéricos



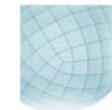
### Simulaciones numéricas



Fabricación Aditiva de Polímeros: ¿Adecuada para piezas estructurales?

Taller Demostrativo "Fabricación Aditiva Plástica" - FaCyL

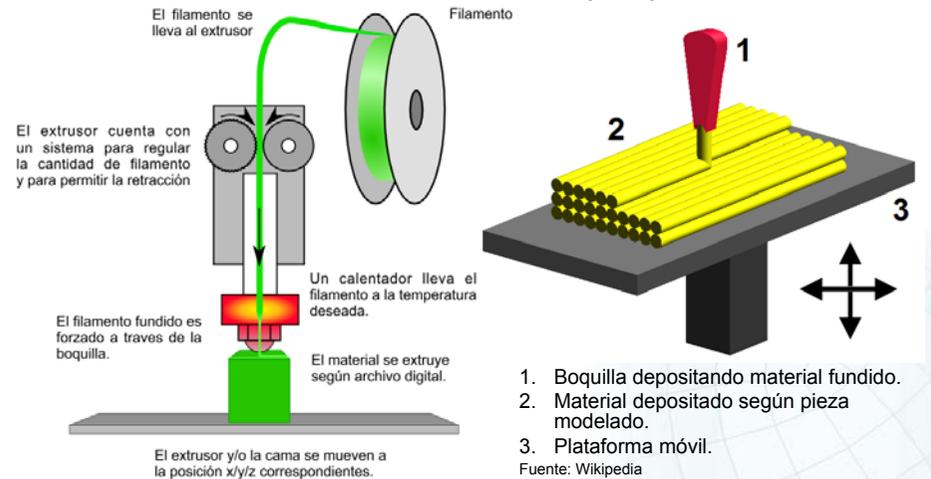
4/oct/2019/7



# Impresión 3D mediante FFF



- ▶ Fabricación con Filamento Fundido (FFF)



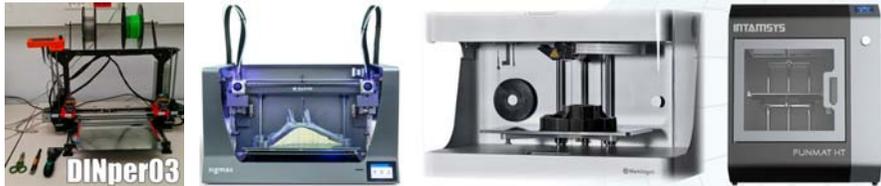
Fabricación Aditiva de Polímeros: ¿Adecuada para piezas estructurales?

Taller Demostrativo "Fabricación Aditiva Plástica" - FaCyL

4/oct/2019/8

## Capacidad Tecnológica

- **Propiedades del producto impreso**
  - ▶ relación material/proceso/propiedades
  - ▶ Comportamiento estructural: impacto, fluencia, fatiga
- **DINper: Diseño Inclusivo Personalizado** 
  - ▶ Diseño de piezas para fines específicos (discapacidad, educación, salud, envejecimiento).



Fabricación Aditiva de Polímeros: ¿Adecuada para piezas estructurales?  
Taller Demostrativo "Fabricación Aditiva Plástica" - FaCyL

4/oct/2019/9

## Laboratorio 3D

### Profesores GIE:

- Miriam Lorenzo Bañuelos (Mécánica)
- Wilco M.H. Verbeeten (MMC)
- Iván Cuesta Segura (MMC)
- Jesús Manuel Alegre Calderón (MMC)

### Profesores DINper:

- José María Cámara Nebreda (Electrónica)
- Beatriz Núñez Angulo (Didáctica)
- Pedro Luis Sánchez Ortega (Electrónica)
- José Antonio Gómez Monedero (Didáctica)
- Rosa Santamaría Conde (Didáctica)



Fabricación Aditiva de Polímeros: ¿Adecuada para piezas estructurales?  
Taller Demostrativo "Fabricación Aditiva Plástica" - FaCyL

4/oct/2019/10

## Fabricación Aditiva/Impresión 3D

- ▶ La impresión 3D dura una eternidad.
- ▶ El proceso de capa por capa produce debilidades en las propiedades mecánicas.
- ▶ Existen demasiadas limitaciones en la opción de materiales.

Joseph DeSimone, TED-talk, marzo 2015, Vancouver  
Introducción del proceso CLIP (Continuous Liquid Interface Production)



Fabricación Aditiva de Polímeros: ¿Adecuada para piezas estructurales?  
Taller Demostrativo "Fabricación Aditiva Plástica" - FaCyL

4/oct/2019/11

## Impresión 3D dura una eternidad

### Características de la impresión 3D:

- ▶ **Series pequeñas:** no es apto para todos los productos.
- ▶ Producción local, a pequeña escala y a medida.
- ▶ Reducción de **costes:** producción en el lugar sin necesidad de útiles y herramientas (moldes).
- ▶ **Personalización.**
- ▶ **Versatilidad:** infinidad de productos con una misma máquina.
- ▶ **Flexibilidad y prototipado rápido:** imaginación, innovación, iteración para mejora del diseño.
- ▶ **Vulneración de los derechos de autor.**
- ▶ **Disminución de puestos de trabajo** ↔ **Nueva industria y sector con nuevos puestos de trabajo.**



Fabricación Aditiva de Polímeros: ¿Adecuada para piezas estructurales?  
Taller Demostrativo "Fabricación Aditiva Plástica" - FaCyL

4/oct/2019/12

# Influencias Impresión 3D



► El proceso de capa por capa **puede** producir debilidades en las propiedades mecánicas.

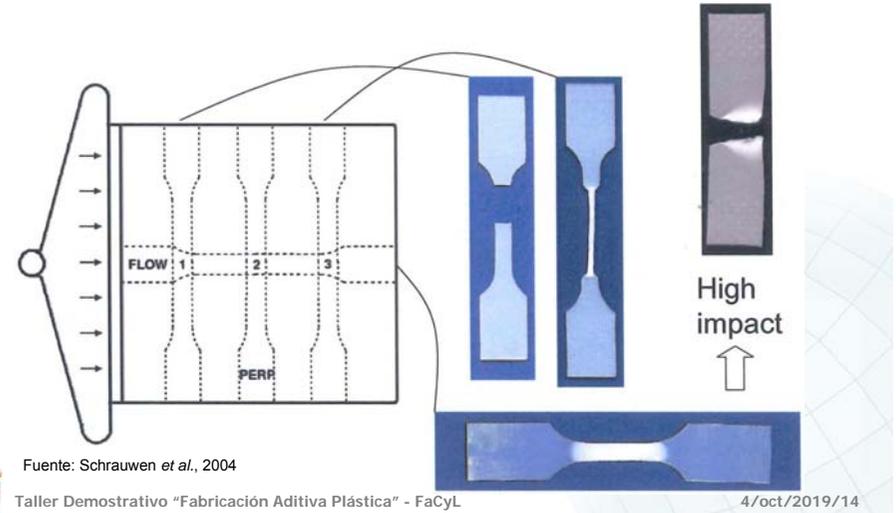
- La impresión 3D introduce **anisotropía**.
- La impresión 3D **no** necesariamente introduce debilidades.
- En cualquier diseño de componentes poliméricos, hay que tener en cuenta el proceso de fabricación:
  - moldeo por inyección
  - moldeo por extrusión
  - termoconformado/moldeo por compresión
  - fabricación aditiva

# Influencia proceso de fabricación



Placa de polietileno moldeada por inyección

**evaluación mecánica:** comportamiento en diferentes posiciones y orientaciones

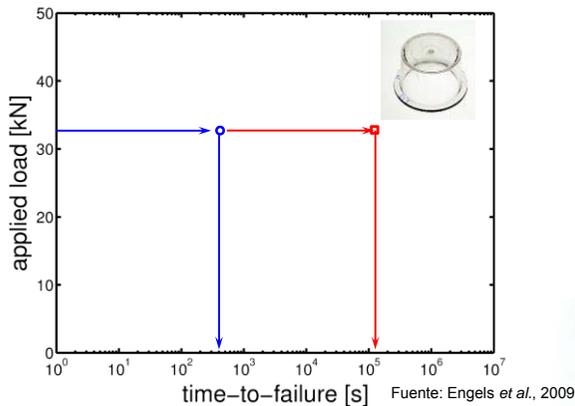


# Influencia proceso de fabricación

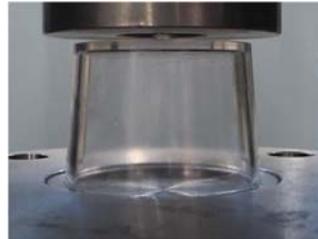


Copa de policarbonato moldeada por inyección

**evaluación mecánica:** carga de fuerza constante 33kN



Temperatura molde: 30°C

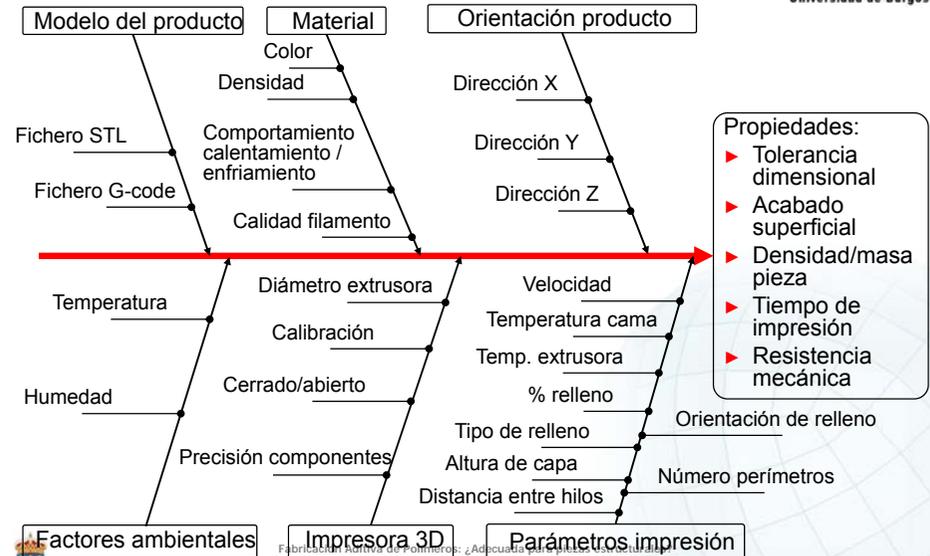


Temperatura molde: 130°C



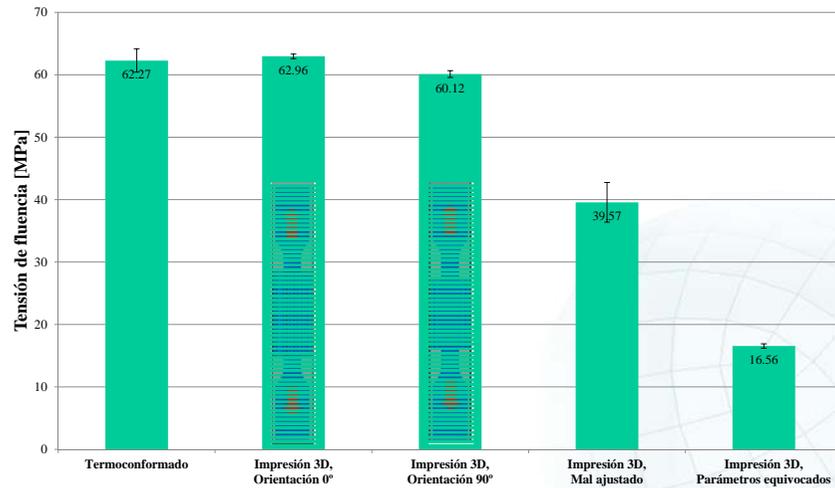
factor de diferencia en propiedades mecánicas:  $\pm 250$

# Influencias Impresión 3D



## Influencias Impresión 3D

Comparación propiedades mecánicas, probetas PLA



## ¿Limitaciones en material?

### Materiales disponibles FFF:

- ▶ **PLA** (Ácido poliláctico)
- ▶ **ABS** (Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno)
- ▶ **HIPS** (Poliestireno de alto impacto)
- ▶ **PVA** (Acetato de polivinilo)
- ▶ **PP** (Polipropileno)
- ▶ **PET-G** (Tereftalato de polietileno)
- ▶ **POM** (Polioximetileno)
- ▶ **PA** (Poliamida = Nylon)
- ▶ **PC** (Policarbonato)
- ▶ **PEEK** (Polieteretercetona)
- ▶ **PEI** (Polieterimida; ULTEM)
- ▶ **TPE** (Elastómero termoplástico)
- ▶ **TPU** (Poliuretano termoplástico)
- ▶ **PVB** (Polivinil butiral)
- ▶ **PLA + Fibra Carbono**
- ▶ **PLA + Fibra Vidrio**
- ▶ **PLA + CaCO<sub>3</sub>**
- ▶ **ABS + Fibra Carbono**
- ▶ **Imitación madera**
- ▶ **Imitación metal**
- ▶ **Imitación bronce**
- ▶ **etc.**



## Laboratorio 3D

### Gracias al trabajo de los alumnos:

- Pablo José Arribas Subiñas
- Carlos D. Jaramillo Vicente
- Marta Antón Alonso
- Mario Ortiz Sanz
- Juan D. Núñez Merino
- Rob Arnold Bik
- Rubén Saiz Ortiz
- Daniel Sáiz González
- Guillermo González Angulo
- Carlos Alonso Salas
- Millán Mateos Fuentes
- Miguel Casado Ortega
- Luis Lázaro Gil
- Lucía Herrero Rodero



# Fabricación Aditiva de Polímeros

## Adecuada para piezas estructurales



**Wilco M.H. Verbeeten**  
Grupo de Integridad Estructural

Universidad de Burgos

[wverbeeten@ubu.es](mailto:wverbeeten@ubu.es)

Departamento de Ingeniería Civil

Área de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras