



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



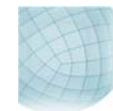
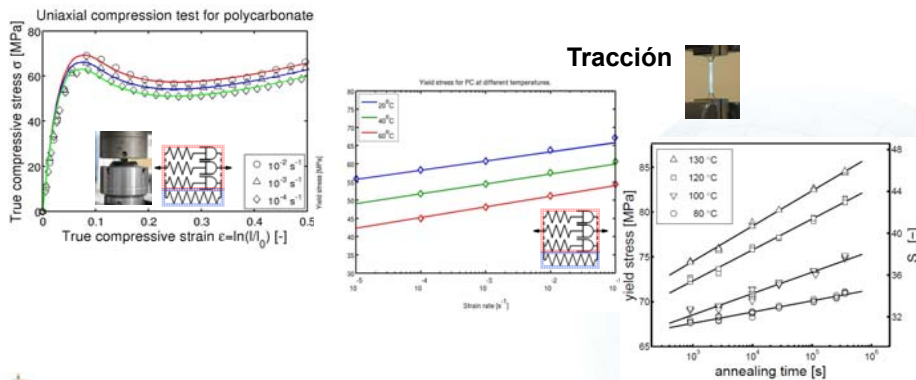
Capacidad Tecnológica

- ▶ 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 ($P(t)$, $T(t)$, $\dot{\gamma}(t)$) que experimenta el material durante la fase de procesado con el estado final (= "edad") del material:
 - ♦ Cinética de envejecimiento.



Capacidad Tecnológica

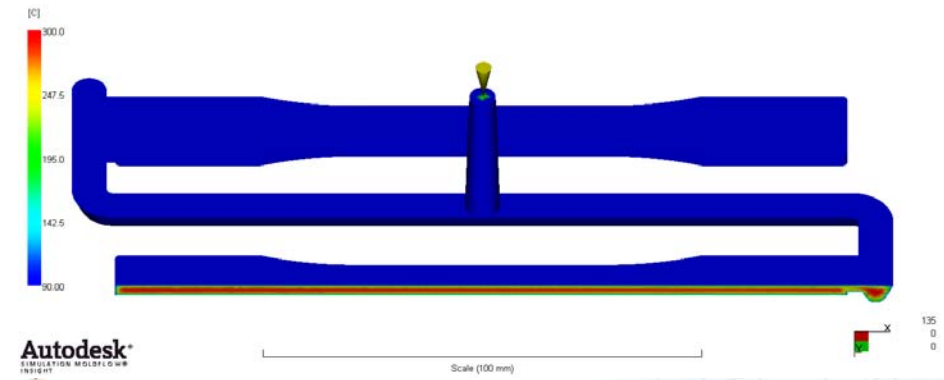
- ▶ Caracterización experimental del material: PC Lexan 141R
- ▶ Modelo constitutivo avanzado.
- ▶ Cinética de envejecimiento.



Capacidad Tecnológica

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

Temperature
Time = 3.051[s]

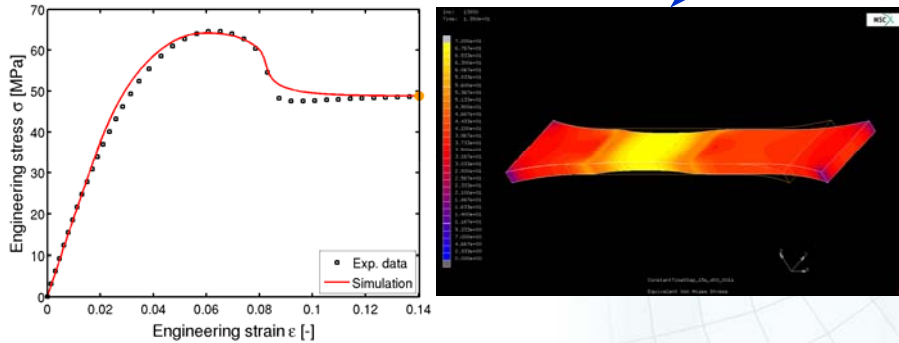
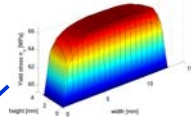




Capacidad Tecnológica



- ▶ 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

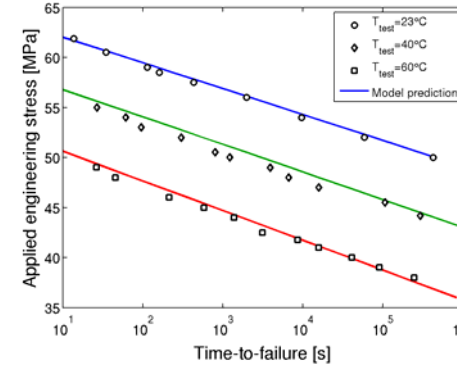


Capacidad Tecnológica

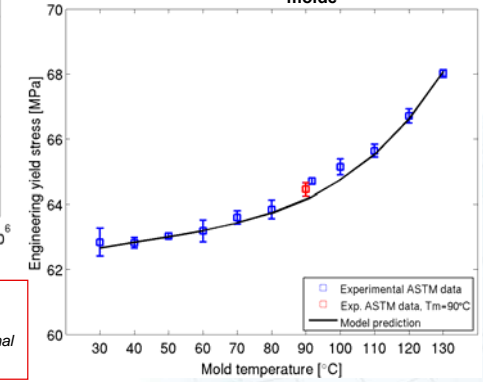


- ▶ Simulación de análisis estructural.

Fluencia



Cambio T_{molde}



▶ 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

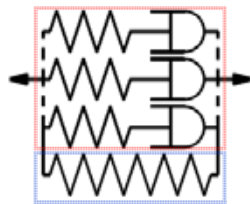


Compresión planar



2) Herramientas numéricas

Modelos numéricos



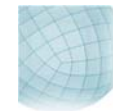
Simulaciones numéricas



Fabricación Aditiva de Polímeros: ¿Adecuada para piezas estructurales?

Taller Demostrativo "Fabricación Aditiva Plástica" - FaCyL

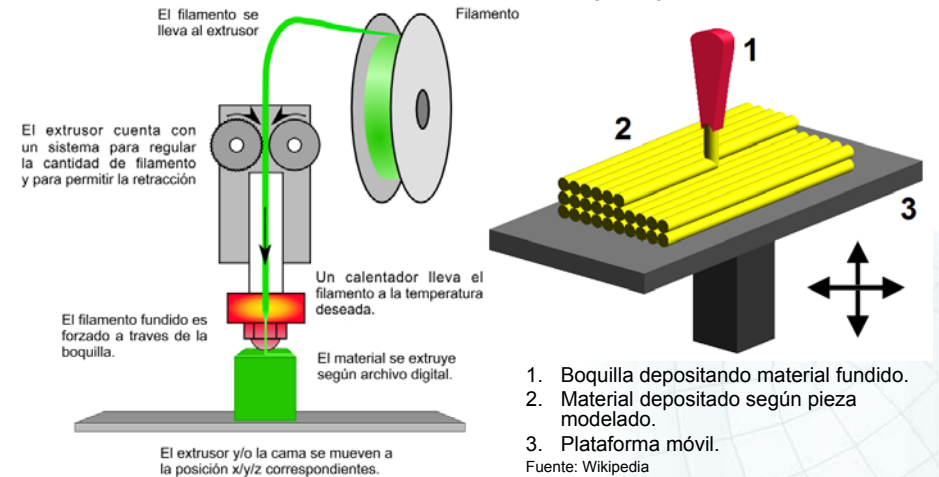
4/oct/2019/7



Impresión 3D mediante FFF



- ▶ Fabricación con Filamento Fundido (FFF)




Fuente: RepRap.org

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

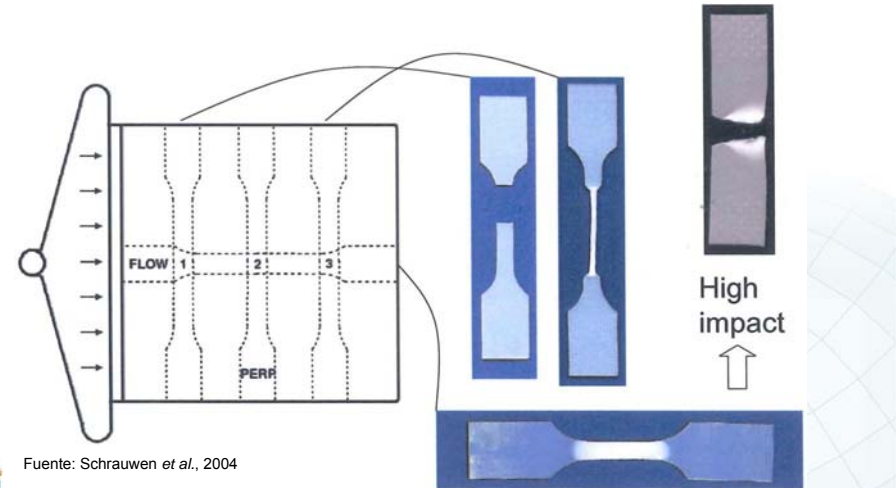


Influencia proceso de fabricación



Placa de polietileno moldeada por inyección

evaluación mecánica: comportamiento en diferentes posiciones y orientaciones

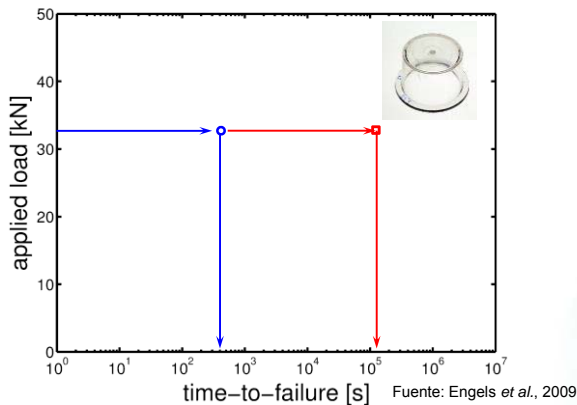


Influencia proceso de fabricación

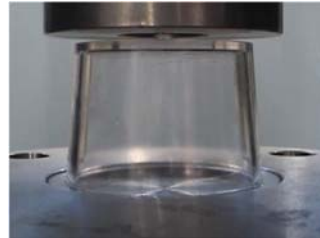


Copa de policarbonato moldeada por inyección

evaluación mecánica: carga de fuerza constante 33kN



Temperatura molde: 30°C



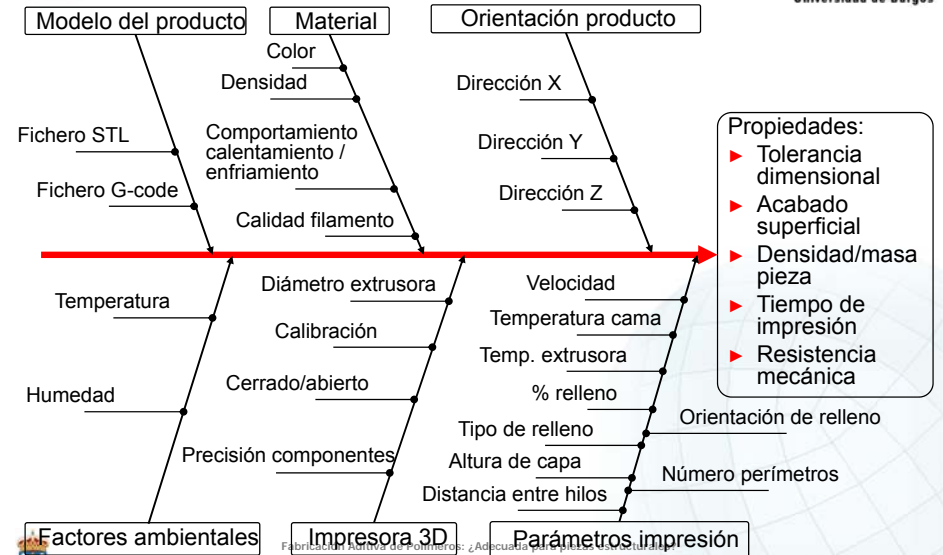
Temperatura molde: 130°C



factor de diferencia en propiedades mecánicas: ± 250

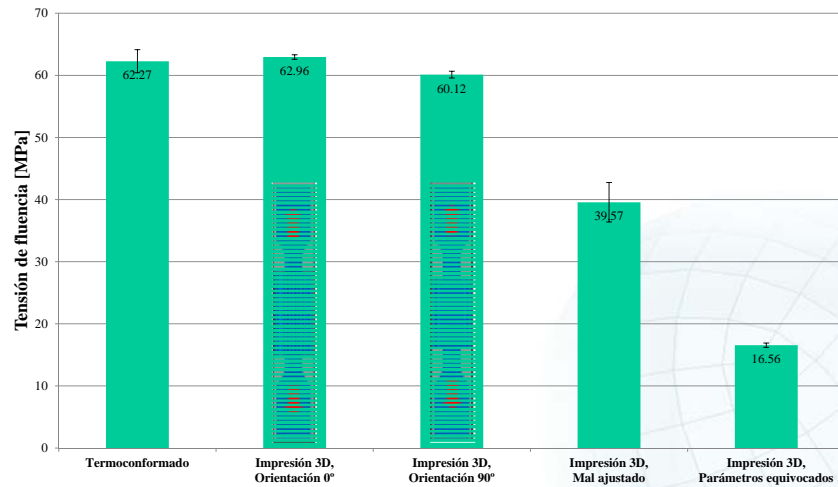


Influencias Impresión 3D



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 + CaCO₃**
- ▶ **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

Departamento de Ingeniería Civil

Área de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras