

# Relajación de tensiones en polímeros compuestos termoplásticos. Análisis experimental y simulación computacional

José Antonio Abadía Durango<sup>1,2</sup>, Jorge Grasa Orús<sup>2</sup>, Carmelo Pina Gadea<sup>3</sup>

<sup>1</sup>BSH Electrodomésticos España S.A.

<sup>2</sup>Applied Mechanics and Bioengineering – AMB

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación - EINA

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)

Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.

Tel. +34-976762707, e-mail: [536965@unizar.es](mailto:536965@unizar.es)

## Resumen

Se presenta en este trabajo una metodología para la caracterización experimental y simulación del comportamiento de polímeros termoplásticos empleados en componentes de cocinas de inducción, sometidos a condiciones de deformación constante. La propuesta incluye técnicas de aceleración en la recopilación de datos y optimización de modelos computacionales existentes. Se muestran resultados y un caso de estudio aplicado a la poliamida 66 con 25 % de fibra de vidrio (PA66-GF25).

## Introducción

Las exigencias de carga, temperatura y vida útil en el diseño de soportes para placas electrónicas de interfaz de usuario en cocinas de inducción (ver figura 1) suelen restringir la selección de materiales a polímeros termoplásticos compuestos. Desarrollar modelos de material capaces de predecir su comportamiento bajo condiciones de relajación de tensiones representa un desafío significativo en la validación teórico-experimental [1].

Debido al elevado tiempo y coste asociados a los ensayos de fluencia conforme a la norma ISO 899 que requieren mantener constante la carga y la temperatura durante largos intervalos, este estudio evalúa alternativas para acelerar la obtención de curvas tensión-deformación necesarias para definir modelos computacionales, tales como el principio de superposición tiempo-temperatura (*Temperature Time Superposition Principle*, TTSP) o el método isotérmico escalonado (*Stepped Isothermal Method*, SIM), de los cuales encontramos ejemplos de su aplicación en la literatura [2] [3].

## Metodología

Se han realizado ensayos con equipos de análisis mecánico dinámico (*Dynamic Mechanical Analysis*,

DMA) y se ha comenzado aplicando la alternativa del enfoque más convencional (TTSP) [2], con el fin de evaluar su aplicabilidad en la caracterización acelerada del comportamiento viscoelástico del material. Se definieron los modos de deformación para en primer lugar determinar la temperatura de transición vítrea del material y aplicar posteriormente el principio de superposición, tras definir una secuencia de cargas y temperaturas para cada modo de deformación, obteniendo así una serie de curvas maestras. De este modo, se ha buscado recoger datos comparables con los obtenidos por métodos convencionales, pero en un tiempo significativamente menor, facilitando así la calibración de modelos constitutivos para simulación computacional.

Además, se ha desarrollado un modelo de elementos finitos del soporte de electrónica de la interfaz de usuario con el objetivo de simular la orientación de la fibra de vidrio resultante del proceso de moldeo por inyección con PA66 reforzada. El modelo permite predecir la distribución espacial de las fibras dentro del componente, información clave para caracterizar la anisotropía del material. Por otro lado, permite también comparar resultados considerando el material isótropo frente a anisótropo utilizando propiedades disponibles en la literatura [4].

## Resultados

La figura 2 muestra el resultado de la aplicación del principio de superposición para un modo de deformación y una carga de ensayo determinados.

En la figura 3 se presentan los resultados obtenidos sobre la orientación de la fibra de vidrio después del proceso de inyección de la poliamida. Esta visualización permite observar cómo las fibras se distribuyen y alinean dentro del soporte, lo cual es fundamental para comprender la anisotropía del material y su influencia en las propiedades mecánicas finales del componente.

En la figura 4 se comparan los valores de tensiones calculados considerando el material tanto isotrópico como anisótropo. Esta comparación permite evaluar el impacto de la orientación de las fibras de vidrio en la respuesta mecánica del componente, mostrando diferencias significativas en la distribución y magnitud de las tensiones según el modelo empleado.

## Conclusiones

La respuesta mecánica del módulo de fluencia (*creep*) está por debajo de la esperada (4-5 veces) debido a influencia de la viscoelasticidad no lineal. Este fenómeno puede estar relacionado con el tipo de control realizado en los ensayos, control por carga en lugar de por deformación, ya que conforme aumenta la temperatura, los valores de deformación iniciales son mayores, alejándonos de la respuesta lineal y, por lo tanto, de las hipótesis de aplicación del TTSP.

En conclusión, la comparación entre los modelos isotrópico y anisotrópico revela diferencias significativas en la distribución de tensiones dentro del componente. Considerar la distribución anisotrópica de tensiones es fundamental para los análisis posteriores de fluencia (*creep*), ya que la orientación de las fibras influye directamente en la respuesta viscoelástica del material bajo cargas prolongadas.

## Agradecimientos

Esos ensayos experimentales han contado con el soporte y apoyo de BSH Electrodomésticos e Instituto Tecnológico de Aragón (ITA) gracias a su inclusión dentro de las líneas de trabajo definidas en su contrato de colaboración.

## REFERENCIAS

- [1]. AL-HAIK, M. S., GARMESTANI, H. et SAVRAN, A., 2004. Explicit and implicit viscoplastic models for polymeric composite. *International Journal of Plasticity*, octubre 2004. Vol. 20, n° 10, pp. 1875-1907. DOI 10.1016/j.ijplas.2003.11.017.
- [2]. ACHEREINER, Frédéric, ENGELSING, Kurt, BASTIAN, Martin et HEIDEMEYER, Peter, 2013. Accelerated creep testing of polymers using the stepped isothermal method. *Polymer Testing*, 2013. Vol. 32, n° 3, pp. 447-454. DOI 10.1016/j.polymertesting.2013.01.014.
- [3]. SCHALNAT, Joanna, DAELEMANS, Lode, DE BAERE, Ives, DE CLERCK, Karen et VAN PAEPEGEM, Wim, 2021. Long-term stiffness prediction of particle filled polymers by dynamic mechanical analysis: Frequency sweep versus creep method. *Polymer Testing*, 1 novembre 2021. Vol. 103. DOI 10.1016/j.polymertesting.2021.107368.
- [4]. AYADI, Abderrahmane, NOURI, Hedi, GUESSASMA, Sofiane et ROGER, Frederic, 2016. Determination of orthotropic properties of glass fibre reinforced thermoplastics using X-ray tomography and multiscale finite element computation. *Composite Structures*, 1 février 2016. Vol. 136, pp. 635-649. DOI 10.1016/j.compstruct.2015.10.041.

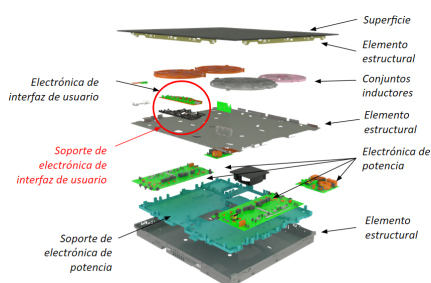


Figura 1. Integración del componente de estudio dentro del aparato

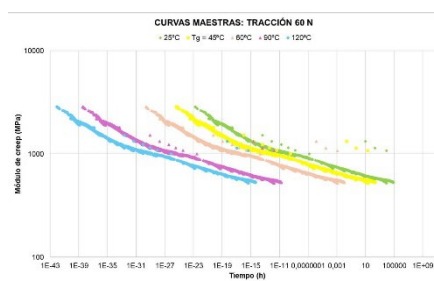


Figura 2. Curvas maestras | Modo tracción | 60N

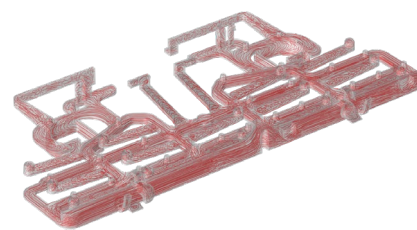


Figura 3. Representación de la orientación de fibra

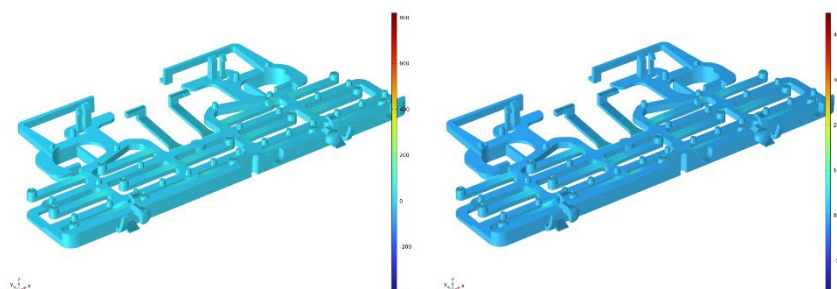


Figura 4. Comparativa | Resultado tensiones | Material isotrópico vs anisotrópico