

## COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL POLICARBONATO

Alfredo Alán Rey Calderón, Alberto Díaz Díaz.  
Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.

Miguel de Cervantes 120, Complejo Industrial Chihuahua, 31136 Chihuahua, Chih. México.

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo es analizar a detalle el comportamiento mecánico del policarbonato (PC) mediante pruebas uniaxiales a tensión y compresión. Se realizaron pruebas uniaxiales monotónicas y de fluencia-recuperación a distintas temperaturas, a distintas velocidades de carga y distintos niveles de esfuerzo. Antes de la realización de las pruebas mecánicas, el material recibió un tratamiento de rejuvenecimiento térmico con la finalidad de eliminar cualquier envejecimiento físico previo y obtener resultados útiles. En cada prueba, el estado de deformaciones se midió mediante galgas extensiométricas. Se observaron efectos de asimetría en el material.

### 1 INTRODUCCIÓN

El comportamiento mecánico de polímeros es complejo: existe dependencia de la velocidad de deformación [1-5], de la temperatura [6-9] y de la presión hidrostática. Shaban [11] expresa que un sólo tipo de experimento (generalmente a tensión) no es suficiente para determinar una caracterización completa de un material. La experimentación realizada incluye pruebas a tensión y compresión con una completa evaluación del estado de deformaciones. Este trabajo puede ayudar a mejorar modelos actuales del PC o crear nuevos y probar la precisión de las predicciones.

### 2 MATERIALES Y MÉTODOS

El material estudiado es PC Makrolon GP (Bayer). Las dimensiones de los especímenes se definieron según normas ASTM [12,13]. Los especímenes recibieron un tratamiento térmico de rejuvenecimiento [14]: 120°C durante 24 hrs y después 155°C durante 24 hrs.

Pruebas mecánicas uniaxiales a tensión y compresión realizadas en una máquina electromecánica de ensayos universal Instron 3318:

- Pruebas monotónicas a distintas velocidades de carga: lenta (1MPa/min), moderada (10MPa/min) y rápida (100MPa/min). Temperaturas usadas: 25, 50, 70 y 90 °C.
- Pruebas cortas de fluencia y recuperación. A 25°C: 30, 35, 40, 45, 50 y 55 MPa. A 50, 70 y 90 °C: 30, 40 y 50 MPa.

### 3 RESULTADOS

- Utilidad del rejuvenecimiento.

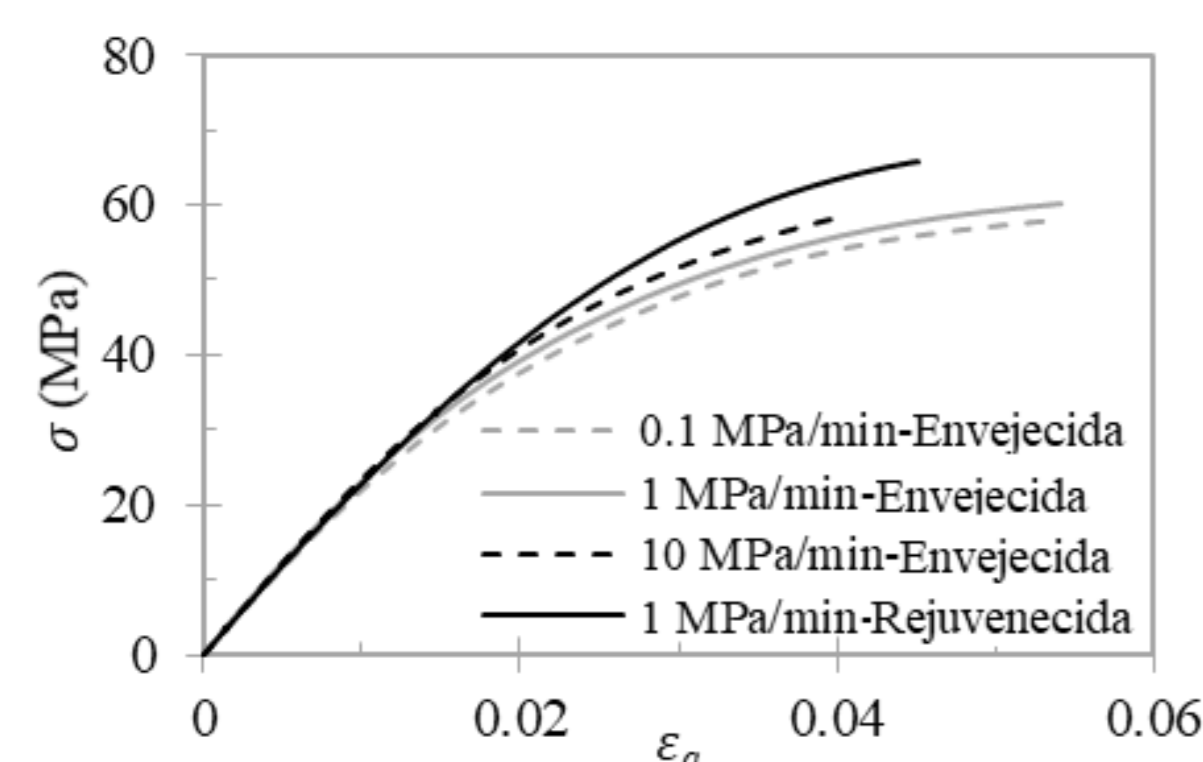


Figura 1. Curvas  $\sigma$  vs  $\epsilon_a$  a tensión a 25°C

- Relación entre  $\epsilon_t$  vs  $\epsilon_a$ .

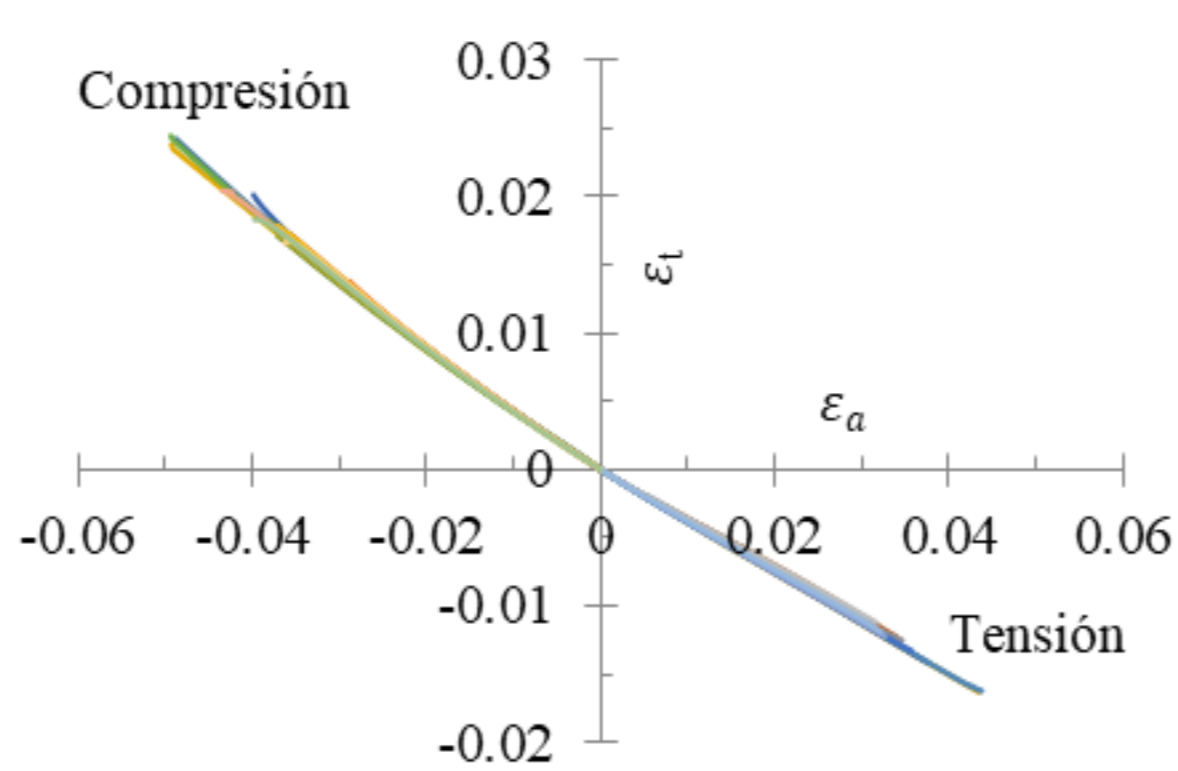


Figura 2. Curvas  $\epsilon_t$  vs  $\epsilon_a$  en pruebas monotónicas uniaxiales (todas las velocidades de carga, todas las temperaturas)

- Viscosidad del PC. Complianza de fluencia axial.  $J_a = \frac{\epsilon_a}{\sigma}$

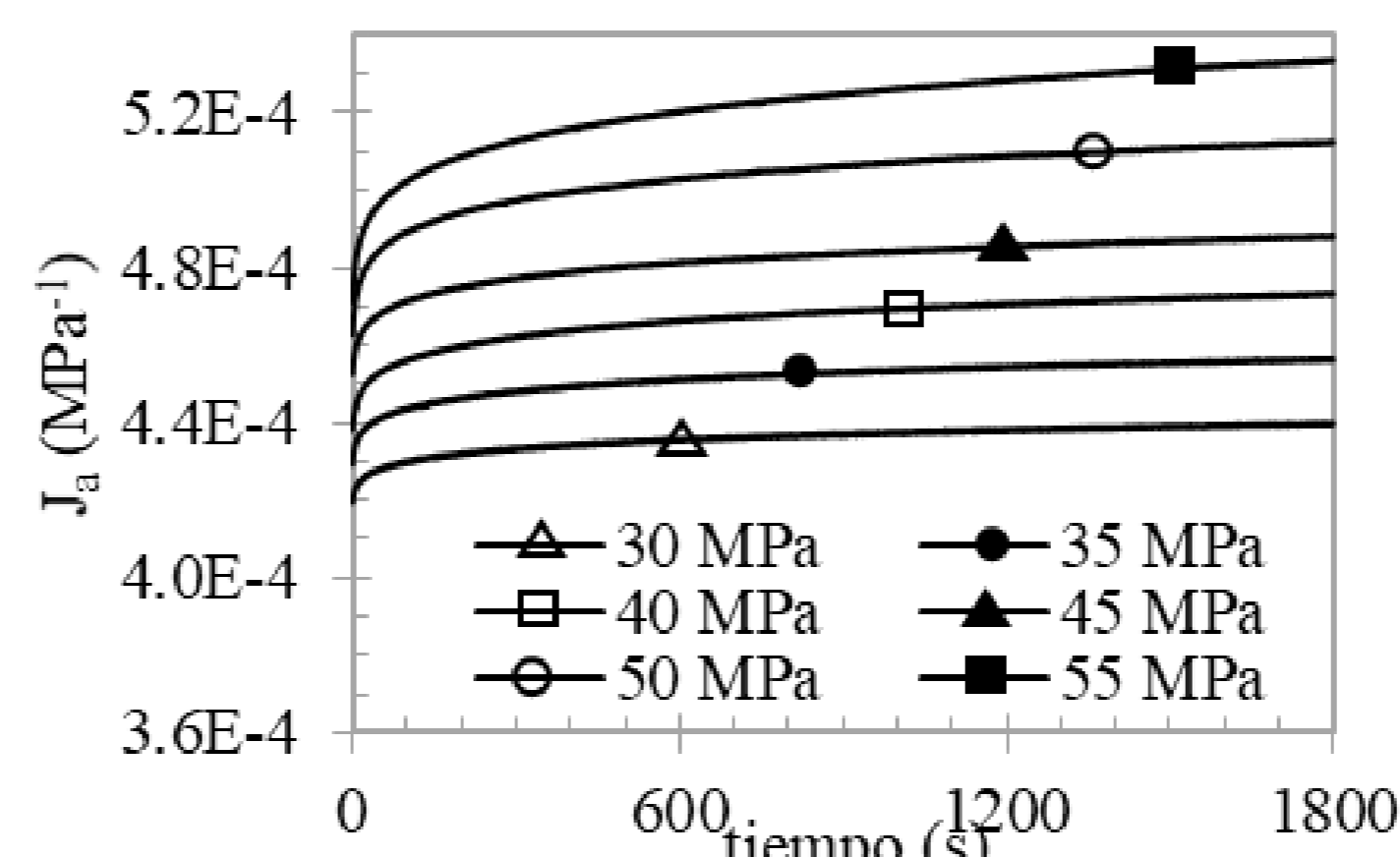


Figura 3. Curvas  $J_a$  vs tiempo a tensión 25°C

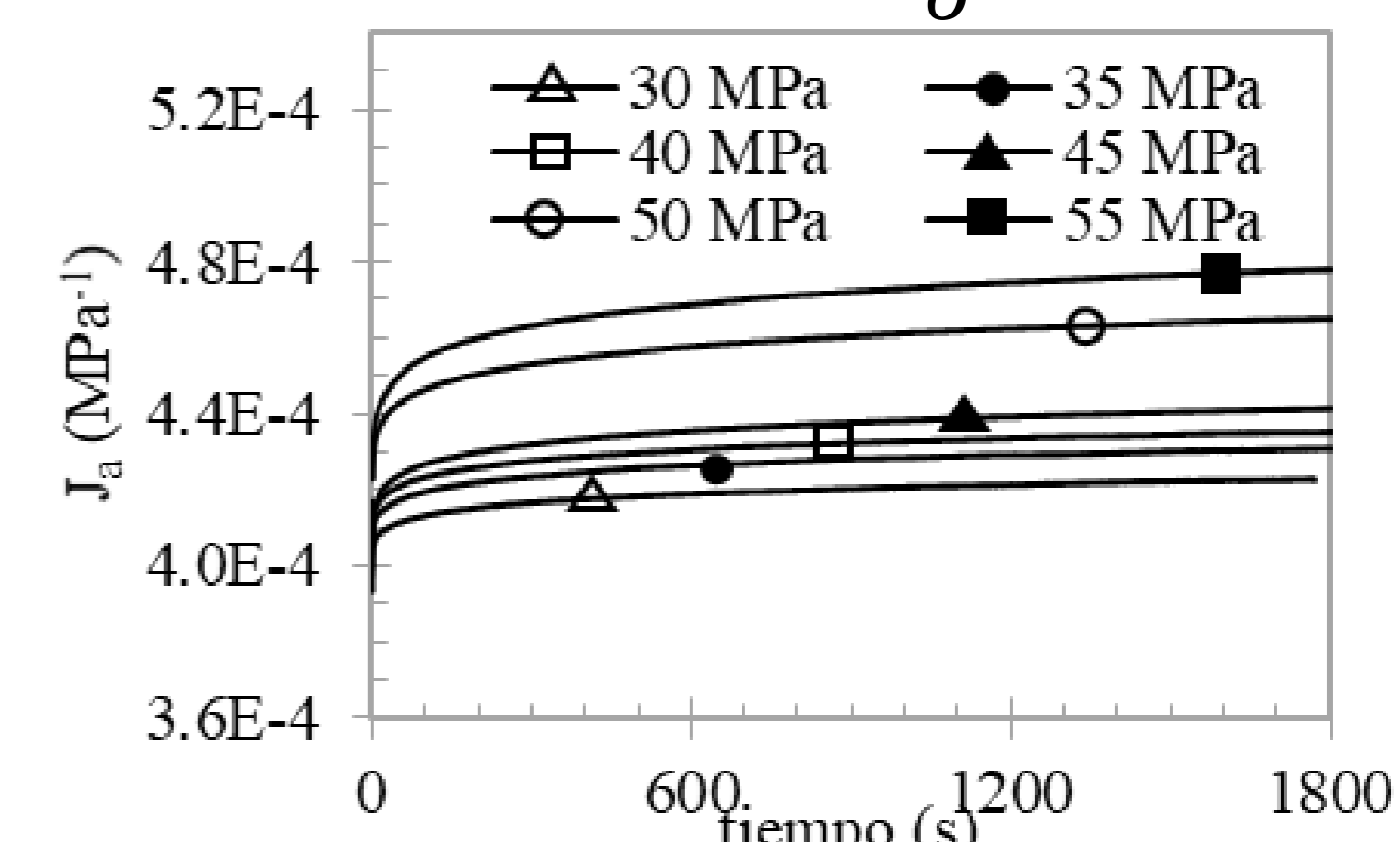


Figura 4. Curvas  $J_a$  vs tiempo a compresión 25°C

- Curva maestra. Fluencia de corta duración (30min).

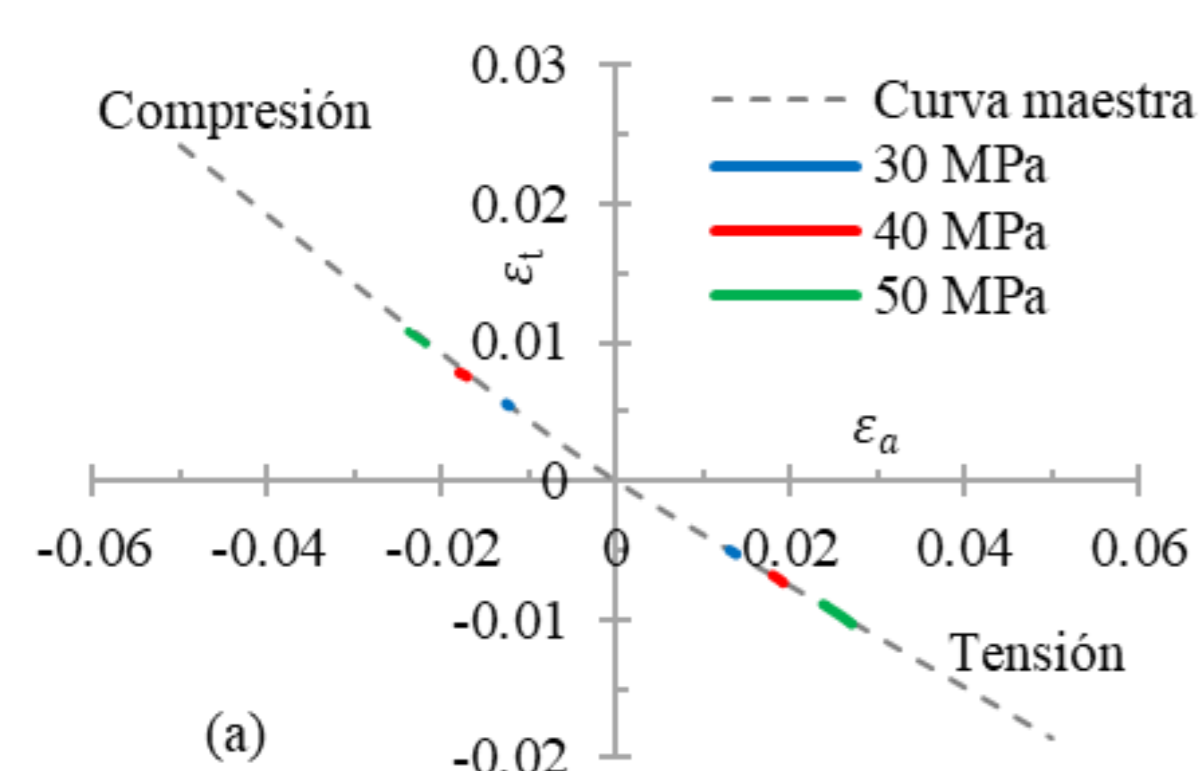


Figura 5. Curvas  $\epsilon_t$  vs  $\epsilon_a$  en pruebas de fluencia (30min) a 50°C

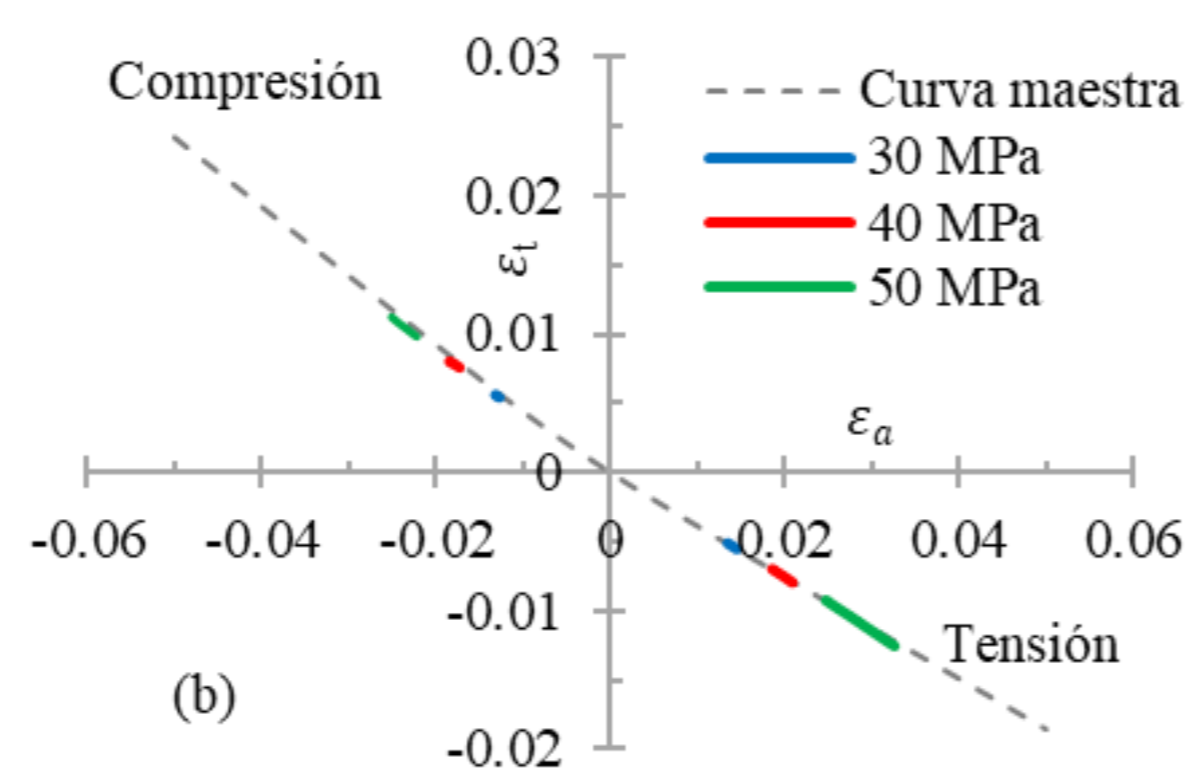


Figura 6. Curvas  $\epsilon_t$  vs  $\epsilon_a$  en pruebas de fluencia (30min) a 70°C

- Curva maestra. Fluencia-recuperación de larga duración (30min).

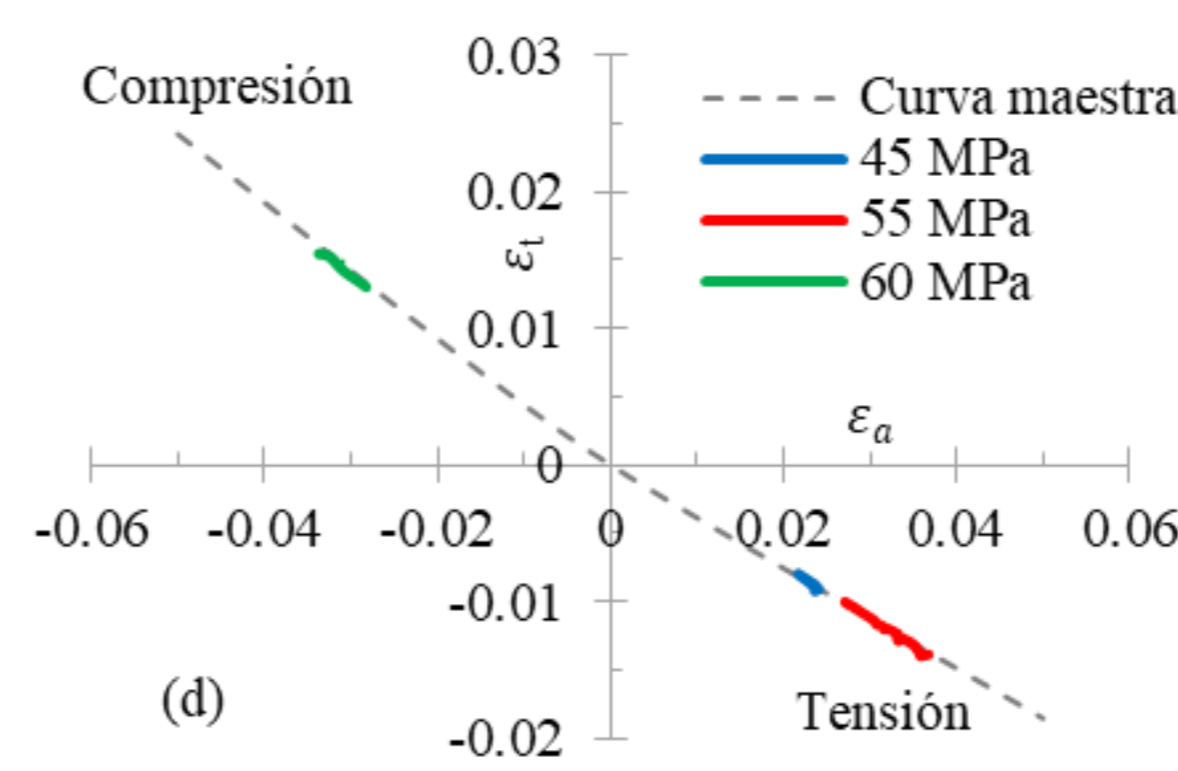


Figura 7. Curvas  $\epsilon_t$  vs  $\epsilon_a$  en pruebas de fluencia de larga duración (24hrs) a 25°C

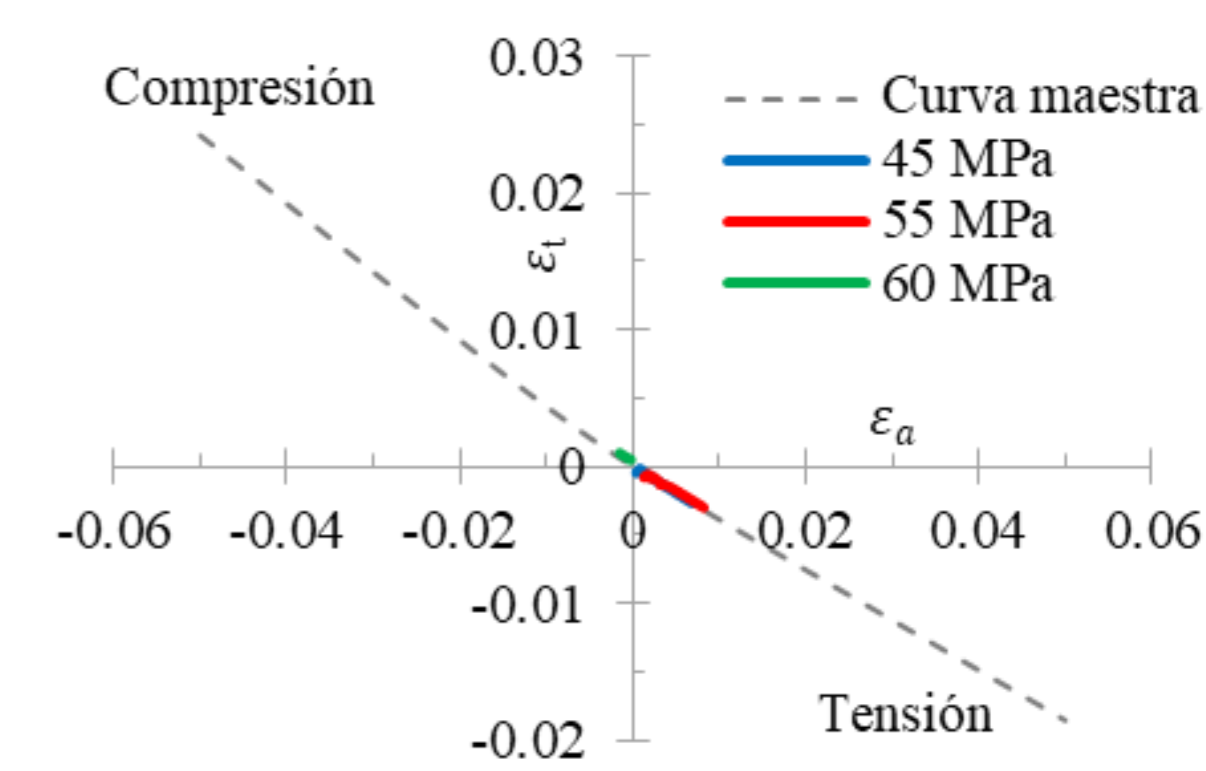


Figura 8. Curvas  $\epsilon_t$  vs  $\epsilon_a$  en etapa de recuperación (48hrs) a 25°C

### 4 CONCLUSIONES

Se investigó el comportamiento mecánico del PC mediante pruebas uniaxiales a tensión y compresión. De este estudio se encontró:

- El efecto de *asimetría* en el PC se confirma, como observa Jazouli [15].
- Se revela una *curva maestra* de  $\epsilon_t$  vs  $\epsilon_a$ . Las curvas experimentales se describen por esta curva maestra.
- En los rangos de esfuerzo y deformación considerados, el PC exhibe un comportamiento *viscoelástico*.
- Los resultados son confiables. Se restablecieron las propiedades originales del PC mediante un rejuvenecimiento térmico antes de la realización de las pruebas. Cualquier historia previa del material fue borrada.

Los resultados mostrados deberán ser considerados en cualquier modelo que pretenda predecir con precisión el comportamiento del PC.

### REFERENCIAS

- [1] L. Cangemi, S. Elkoun, C. G'Sell and Y. Meimon, "Volume Strain Changes of Plasticized Poly(vinylidene fluoride) during Tensile and Creep Tests," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 91, pp. 1784-1791, 2004.
- [2] A. D. Drozdov and Q. Yuan, "The viscoelastic and viscoplastic behavior of low-density polyethylene," *International Journal of Solids and Structures*, vol. 40, pp. 2321-2342, 2003.
- [3] O. U. Colak, "Modeling deformation behavior of polymers with viscoplasticity theory based on overstress," *International Journal of Plasticity*, vol. 21, pp. 145-160, 2005.
- [4] K. Cao, X. Ma, B. Zhang, Y. Wang and Y. Wang, "Tensile behavior of polycarbonate over a wide range of strain rates," *Materials Science and Engineering A*, vol. 527, no. doi: 10.1016/j.mse.2010.03.088, pp. 4056-4061, 2010.
- [5] A. Schiavi, R. Cuccaro and A. Troia, "Strain-rate and temperature dependent material properties of Agar and Gellan Gum used in biomedical applications," *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, vol. 53, pp. 119-130, 2016.
- [6] J. Richeton, S. Abzi, K. Vecchio, F. Jiang and R. Adharapurapu, "Influence of temperature and strain rate on the mechanical behavior of tree amorphous polymers: Characterization and modeling of the compressive yield stress," *International Journal of Solids and Structures*, vol. 43, pp. 2318-2335, 2006.
- [7] J. Mohanraj, D. Barton, I. Ward, A. Dahoun, J. Hiver and C. G'Sell, "Plastic deformation and damage of polyoxymethylene in the large strain range at elevated temperatures," *Polymer*, vol. 47, pp. 5852-5861, 2006.
- [8] K. Cao, Y. Wang and Y. Wang, "Effects of strain rate and temperature on the tension behavior of polycarbonate," *Materials and Design*, vol. 38, pp. 53-58, 2012.
- [9] L. Zhang, X. Yao, S. Zang and Q. Han, "Temperature and strain rate dependent tensile behavior of a transparent polyurethane interlayer," *Materials & Design*, vol. 65, pp. 1181-1188, 1980-2015.
- [10] I. Ward and J. Sweeney, *Mechanical properties of solid polymers*, Third edition ed., Wiley, 2013.
- [11] A. Shaban, R. Mahnen, L. Wilke, H. Potente and H. Ridder, "Simulation of rate dependent plasticity for polymers with asymmetric effects," *International Journal of Solids and Structures*, vol. 44, pp. 6148-6162, 2007.
- [12] ASTM D638-14, "ASTM Compass," [Online]. Available: <https://compass.astm.org/download/D638.39258.pdf>. [Accessed Agosto 2016].
- [13] ASTM D695-15, "ASTM Compass," [Online]. Available: <https://compass.astm.org/download/D695.3083.pdf>. [Accessed Agosto 2016].
- [14] L. C. E. Struik, *Physical aging in amorphous polymers and other materials*, 1977.
- [15] S. Jazouli, W. Luo, F. Brémand and T. Vu-Khanh, "Nonlinear creep behavior of viscoelastic polycarbonate," *Journal of Materials Science*, vol. 41, pp. 531-536, 2006.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Rubén Castañeda Balderas por la realización de las pruebas y a CONACYT por el apoyo económico.