

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIA E INGENIERÍA DEL**  
**TERRENO Y DE LOS MATERIALES**

**TESIS DOCTORAL**  
**COMPORTAMIENTO EN FATIGA DE POLIAMIDAS**  
**REFORZADAS CON FIBRA DE VIDRIO CORTA**

**Autor:**

**JOSÉ ANTONIO CASADO DEL PRADO**

**Directores:**

**D. FEDERICO GUTIÉRREZ-SOLANA SALCEDO**

**D. JUAN ANTONIO POLANCO MADRAZO**

**Tesis Doctoral presentada en la Universidad de Cantabria para la**  
**obtención del título de Doctor en Ciencias Físicas**

**Santander, abril 2001**

## CAPÍTULO 8

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] European Committee for Standardization. CEN/TC 256. prEN 13146-5. Railway applications - Track - Test methods for fastenings systems - Part 5: Determination of electrical resistance. March, 1998.
- [2] Primer Informe Técnico: "Protocolo de homologación de juntas P-2". División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Universidad de Cantabria, marzo 1992.
- [3] Segundo Informe Técnico: "Protocolo de homologación de juntas P-2". División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Universidad de Cantabria, agosto 1992.

- [4] Informe Técnico: “Ensayos de resistencia eléctrica de la sujeción P-3 de vía de ferrocarril”. División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Universidad de Cantabria, junio 1994.
  
- [5] Informe Técnico: “Ensayos de compresión de los topes aislantes NABLA inyectados por Molteplás”. División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Universidad de Cantabria, abril 1995.
  
- [6] Informe Técnico: “Resultados de los ensayos realizados sobre los elementos de la sujeción HM suministrados por Vossloh”. División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Universidad de Cantabria, julio 1995.
  
- [7] Informe Técnico: “Ensayos de homologación de piezas aislantes de plástico de la sujeción J-2 para carril RN-45, de RENFE”. División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Universidad de Cantabria, noviembre 1995.
  
- [8] Informe Técnico: “Comportamiento de la sujeción J-2 en relación a los requisitos para su instalación por administraciones ferroviarias europeas”. LADICIM (Laboratorio de la División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales). Universidad de Cantabria, diciembre 1995.
  
- [9] Plano P16.4721.00 de RENFE. Conjunto de la sujeción elástica P-2.
  
- [10] Polanco, J. A.; Casado, J.A.; Gutiérrez-Solana, F. “Influencia del par de apriete en el comportamiento mecánico de las piezas aislantes P-2 de sujeción de vía de ferrocarril”. Anales de Ingeniería Mecánica. Vol. 6. p (67-72). Septiembre 1992.
  
- [11] TIFSA (Tecnología e Investigación Ferroviaria, S. A.). Especificación Técnica para la homologación, el control y el suministro de las piezas aislantes de plástico de la sujeción J-2, mayo 1994.

- [12] Mantenimiento de Infraestructura de RENFE. Dirección Técnica. Jefatura de Vía. Especificación Técnica: E.T. 03.360.578.3. "Placas acodadas ligeras de sujeción". 1ª Edición, mayo 1998.

- [13] Casado, J. A.; Polanco, J. A.; Gutiérrez-Solana, F. "Influencia de las condiciones ambientales en el comportamiento mecánico de las piezas aislantes P2 de sujeción de vía de ferrocarril". *Anales de Ingeniería Mecánica*. Vol. 4. pp. 89-93. Septiembre, 1993.
- [14] TIFSA (Tecnología e Investigación Ferroviaria, S. A.): Informe de Instrumentación. Sujeciones de carril P2 y Nabla. Línea de Madrid a Alicante, P. K. 391/330. Madrid, septiembre 1992.
- [15] Casado, J.A.; Polanco, J.A.; Gutiérrez-Solana, F. y Guerra, R. "Estudio del efecto del impacto sobre las piezas aislantes de la sujeción P2 de vía de ferrocarril por medio de técnicas experimentales de laboratorio. *Anales de Mecánica de Fractura* 7 pp. 450-456. Marzo, 1994.
- [16] Casado, J.A.; Polanco, J.A.; Gutiérrez-Solana, F. & Guerra, R. "The characterization of the resistance to lateral impact of the insulating part of the P2 rail fastening". Third International Conference: "Structures Under Shock and Impact-94". Madrid, Junio 1994. *Proceedings of the Third International Conference*: 8 pp. 183-190.
- [17] Casado, J. A.; Polanco J. A.; Carrascal I. & Gutiérrez-Solana, F. "Application of the Locati Method to material selection for reinforced polymeric parts subjected to fatigue". International Conference on Fatigue of Composites. Paris, junio 1997. *Proceedings of the Eighth International Spring Meeting*: 8 pp. 454-461.
- [18] ASTM D 883-92d: "Standard Terminology Relating to Plastics".
- [19] De S. K. and White J. R.: "Short fibre-polymer composites". Woodhead Publishing Limited. Cambridge, England. 1996.

- [20] ASTM D 671-90: "Standard Test Method for Flexural Fatigue of Plastics by Constant-Amplitud- of-Force".
- [21] Herman, W.; Hertzberg R. & Manson, J.: "The influence of loading history on fatigue in engineering plastics". Journal of Materials Science, **25** (1990). pp 434-440.
- [22] Pétrault, D.; Bertin, Y.; Ranganathan, N. & Fouquet, J.: "A study in fatigue on polyamide-polymer". Fatigue 93: 5<sup>th</sup> International Conference on Fatigue. Vol 3. pp. 1417-1422.
- [23] Crawford R. J. & Benham P.P. Polymer, volume **16**, 1975, p. 908.
- [24] Young, R. J. "Introduction to polymers". Chapman and Hall. London (1981).
- [25] Ward, I. M. "Mechanical Properties of solid polymers". Wiley-Interscience, London (1971).
- [26] McCrum, N. G., Reed, B. E. & Williams, G. "Anelastic and dielectrics effects in polymeric solids". John Wiley, London (1967).
- [27] Andrews, E. H. (1969). In: "Testing of polymers IV", Ed by W. Brown, Interscience, New York, p. 237.
- [28] Tauchert, T. R. & Afzal, S. M. (1967). Journal of Applied Physics, **38**, p. 4568.
- [29] Foden, E.; Morrow, D. R. & Sauer, J. A. (1972). Journal of Applied Polymer Science, **16**.

- [30] Sauer, J. A.; Foden, E. & Morrow, D. R. (1977). Polymer Engineering Science, **17**.
- [31] Riddell, M. N.; Koo, G. P. & O'Toole, J. L. (1966). Polymer Engineering Science **6**.
- [32] Koo, G. P., Ridell, M. N. & O'Toole J. L. (1967). Polymer Engineering Science **7**.
- [33] Crawford, R. J. & Benham, P. P. (1974). Journal of Materials Science, **9**, p. 18.
- [34] Constable, I., Williams J. G. & Barus, D. J. (1970). Journal of Mechanical Engineering Science, **12**, p. 20.
- [35] Oldyrev, P. P. & Parfeev, V. M. (1974). Polymer Mechanics., **10**, p. 148.
- [36] Oldyrev, P. P. & Parfeev, V. M. (1975). Polymer Mechanics **11**, p. 682.
- [37] Sauer, J. A. & Richardson, G. C. (1980). International Journal of Fracture, **16**, p. 499
- [38] Wyzgoski, M.; Novak, G. & Simon, D.: "Fatigue fracture of nylon polymers". Part 1. Effect of frequency. Journal of Materials Science, **25** (1990) pp. 4501-4510.
- [39] Ferry, J. D. "Viscoelastic properties of polymers". 3rd. ed. Wiley, New York, 1980.
- [40] Mc Crum, N. G.; Buckley, C. P. and Bucknall, C. B. "Principles of Polymer Engineering". Oxford University Press. Oxford (1994).

- [41] Hans-Georg Elias. "An introduction to Polymer Science". VCH Publishers, Inc., New York, USA. (1997).
- [42] Suresh, S. "Fatigue of materials". Cambridge University Press. New York, USA (1991).
- [43] Brostow, W. & Corneliussen, R. "Failure of Plastics". (Vernal H. Kenner). Hanser Publishers. Munich, 1986.
- [44] Rabinowitz, S. & Beardmore, P. "Cyclic deformation and fracture of polymers". Journal of Materials Science **9**, pp. 81-99. (1974).
- [45] Standard Test Method for Flexural Fatigue of Plastics by Constant-Amplitude-of-force. ASTM D671-90. Annual Book of ASTM Standards. Volume 08.01. Plastics (I): C177-D2343. Philadelphia, 1993.
- [46] Hertzberg, R. W. & Manson, J. A. "Fatigue of Engineering Plastics". Academic Press. New York, 1980.
- [47] Herman, W.; Hertzberg, R. & Manson, J. "The influence of loading history on fatigue in engineering plastics". Journal of Materials Science, **25** (1990), pp. 434-440.
- [48] Koo, G. P.; Ridell, N. M. & O'Toole, J. L. "Fatigue properties of Polytetrafluoroethylene and Related Fluoropolymers". Pol. Engineering and Science. July, 1967. pp. 182-188.
- [49] Wyzgoski, M.; Novak, G. and Simon, D. "Fatigue fracture of nylon polymers". Part 1. Effect of frequency. Journal of Materials Science, **25** (1990) pp. 4501-4510.



- [50] Hertzberg R.; Manson J. and Skibo, M. Polymer Engineering and Science **15** (1975), p. 252.
- [51] Zhurkov S. N., Zakrevskii, V. A., Korsukov, V. E. & Kurksenko, V. S. Journal of Polymers Science, A-2, **10**, p. 1509 (1972).
- [52] Kinloch, A. & Young, R. "Fracture Behaviour of Polymers. Elsevier Applied Science. London, 1990.
- [53] Young, R. J. & Lovell P. A.: "Introduction to Polymers". Chapman & Hall. London, 1992.
- [54] Kambour, R. Polymer **5**, p. 143. (1964).
- [55] Kambour, R. Journal of Polymers and Science, A2, **4**, p. 349 (1966).
- [56] Beaham, M.; Bevis and Hull, D. Phil. Mag., **24**, p. 1267 (1971).
- [57] Donald, A. M. & Kramer, E. J. (1980). Phil. Mag., A43, p. 857.
- [58] Argon, A.; Hannoosh, J. and Salama, M. Fracture 1977, Vol. 1, Waterloo, Canada, 1977, p. 445.
- [59] Donald, A.; Kramer, E. and Bubeck R. Journal of Polymers and Science. Polymer Phys. De. 20, p.1129 (1982).
- [60] Mandell, J.; McGarry, F.; Huang, D. and Li, C. (1983). "Some effects of matrix and interface properties on the fatigue of short fiber-reinforced thermoplastics". Polymer Composites 4, pp. 32-9.
- [61] Crawford, R. J.: "Plastics engineering". Oxford, 1983.

- [62] Leach D. & Moore D. "Failure and fracture of short glass fibre-reinforced nylon composites". *Composites*, volume 16, nº 2. April, 1985.
- [63] Beardmore, P. & Rabinowitz, S. (1972). *Journal of Materials and Science*. **7**, p. 720.
- [64] Sato N.; Sato S. & Kurauchi, T. "Fracture Mechanism of Short Glass Fiber Reinforced Polyamide Thermoplastics". *Proceedings of the 4th International Conference on Composites Materials*, 1982. Vol 2.
- [65] Lang R.; Manson, J. & Hertzberg. "Mechanisms of fatigue fracture in short glass fibre-reinforced polymers". *Journal of Materials Science* **22** (1987) pp. 4015-4030.
- [66] Karbhari, V.; Parks, B. & Dolgopolski. *Journal of Materials and Science. Letters*, **8**, p. 220 (1989).
- [67] Horst, J. & Spoormaker, J. "Mechanisms of fatigue in short glass fiber reinforced polyamide 6". *Polymer Engineering and Science*, november 1996. Vol. 36, No. **22**.
- [68] Horst, J.: Ph Thesis: "Influence of fibre orientation on fatigue of short glassfibre reinforced Polyamide". October, 1997.
- [69] Ramos Carpio, M. A. y De María Ruiz, M. R.: "Ingeniería de los materiales plásticos". Madrid, 1988.
- [70] Michaeli, W.; Greif, H.; Kaufmann, H. & Vossebürger, F.: "Introducción a la tecnología de los plásticos". Barcelona, 1992.

- [71] Informe Técnico: Proyecto V-12. "Puesta a punto definitiva de la sujeción P-2". Enero, 1992. TIFSA (Grupo Renfe). Departamento de vía.
- [72] Catálogo de aplicaciones Técnicas y Propiedades: Resinas acetálicas Delrin<sup>®</sup>. Du Pont de Nemours International, S. A.
- [73] W. H. Carothers (1936). US Patents Nos. 2130947 and 2130948.
- [74] Gnauck, B y Fründt, P.: "Iniciación a la química de los plásticos". Barcelona, 1991.
- [75] De C. W. Bunn & E. V. Garner: "Packing of nylon 6.6 molecules in the triclinic unit cell: a form, Proc. Roy. Soc. Lond. 189 A, 39 (1947).
- [76] Shaul M. Aharoni. "n-Nylons: Their Synthesis, Structure and Properties". 1997. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England.
- [77] Brydson, J. "Plastics Materials". Butterworth - Heinemann Ltd. University Press, Cambridge. 1993.
- [78] G. Lubin, Handbook of Composites. Van Nostrand Reinhold, 1982.
- [79] Fernández Navarro, J. M.: "El vidrio". CSIC. Instituto de Cerámica y Vidrio. Madrid, 1985.
- [80] James, Watson & Raghupathi: "Glass Fibers". Composites. Vol 1. Engineered Materials Handbook. ASM International. Ohio, 1987.
- [81] Plueddeman, E. (1974). Mechanism of adhesion through silane coupling agents. Composite Materials, vol. 6. pp. 217-284. Academic Press. New York.

- [82] Catálogo de Propiedades: Engineering Thermoplastics Comparator: Delrin<sup>®</sup> (acetato resinas) - Zytel<sup>®</sup> (Nylon resinas). Du Pont de Nemours International, S. A.
- [83] Ficha Técnica de resinas de Nylon (Technyl<sup>®</sup>). Abaco de tiempo-temperatura-espesor para el acondicionamiento de probetas de PA. Rhone-Poulenc.
- [84] Norma UNE 21-303-83: "Métodos para la medida de la resistividad transversal y superficial de los materiales aislantes eléctricos sólidos".
- [85] Casado, J. A.: Tesina: "Caracterización de Materiales Poliméricos de Inyección de la Pieza Aislante P-2 de vía de Ferrocarril". Octubre, 1994. Universidad de Cantabria.
- [86] Norma UNE 53-280-79 (Norma europea EN 61): "Plásticos reforzados con fibra de vidrio. Determinación de las propiedades en tracción".
- [87] Norma ISO 178-1975 (E). "Plastics. Determination of flexural properties of rigid plastics".
- [88] UNE 53 104. "Materiales Plásticos. Determinación de la resistencia del color de los materiales plásticos a la luz".
- [89] NF F 50-021. "Installations fixes ferroviaires".
- [90] UNE 53-029-82. "Plásticos de la acción de agentes químicos, incluido el agua, sobre los materiales plásticos".

- [91] Wyzgoski, M. G.; Novak, G. E. & Simon, D. L. "Fatigue Fracture of nylon polymers. Part I. Effect of frequency". *Journal of Materials Science* **25** (1990) pp. 4501-4510.
- [92] Jinen, E. "Influence of fatigue damage on tensile creep properties of short carbon fibre reinforced nylon-6-plastic. *Composites*. Volume 20. Number **4**. July 1989.
- [93] Saxena, A. (1988). "A model for predicting the effect of frequency on fatigue crack growth at elevated temperature". *Fatigue of Engineering Materials and Structures* **3**, pp. 247-255.
- [94] *Modern Plastics Encyclopedia*, Mc Graw-Hill, 1986-1987, pp. 426-427.
- [95] Technyl® Poliamidas. Ficha Técnica: TL/E/0486/002. Technyl A 216. Poliamida 6.6 no reforzada. Rhône-Poulenc. Abril 1986.
- [96] Wu, J. B. C. & Li, J. C. M. (1976). *J. Mater. Sci.*, **11**, 434.
- [97] Chau, C. C. & Li, J. C. M. (1981). *J. Mater. Sci.*, **16**, 1858.
- [98] Kambour, R. P. (1973). *J. Polym. Sci. Macromol Rev.*, **7**,1.
- [99] Technyl® Poliamidas. Ficha Técnica: TL/E/0287/014. Technyl C 216. Poliamida de tipo 6 no reforzada. Rhône-Poulenc. Febrero 1987.
- [100] *n-Nylons: Their Synthesis, Structure and Properties*. Shaul M. Aharoni. John Wiley & Sons Ltd. 1997.

- [101] Informe Técnico 99074: “Ensayos de cualificación sobre sistema de sujeción para la vía de Alta Velocidad Madrid-Lleida”. Laboratorio de la División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Universidad de Cantabria. Marzo de 2000.
  
- [102] Informe Técnico 99083: “Ensayos de cualificación sobre sistema de sujeción para la vía de Alta Velocidad Madrid-Lleida”. Laboratorio de la División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Universidad de Cantabria. Marzo de 2000.
  
- [103] Informe Técnico 99084: “Ensayos comparativos sobre diferentes configuraciones de placas acodadas”. Laboratorio de la División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Universidad de Cantabria. Marzo de 2000.
  
- [104] Informe Técnico 99095: “Ensayos de cualificación sobre sistema de sujeción para la vía de Alta Velocidad Madrid-Lleida”. Laboratorio de la División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Universidad de Cantabria. Marzo de 2000.
  
- [105] RENFE. Dirección Ingeniería Civil. Plano P16.0626.00. Placa acodada de guía de plástico (Pag/\*).