

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

- 1.- Las microesferas de vidrio aumentan la temperatura de reblandecimiento de los compuestos. A través de DSC se ha determinado que el máximo incremento en la Tg de los sistemas es de 1.5 °C. La presencia de lubricantes en la formulación del Poliestireno es la causa de la baja temperatura de transición vítrea y de la ineficiencia de los agentes de acoplamiento
- 2.- La eficiencia del proceso de mezcla de doble husillo ha permitido obtener una distribución de carga homogénea a lo largo de las probetas si bien se ha detectado un ligero incremento del número de partículas en la dirección del flujo de inyección. El patrón de flujo generado en la inyección genera la aparición de una monocapa externa rica en polímero y de espesor entre 10 y 40 micras.
- 3.- La distribución de la carga es homogénea y no hay aglomerados de partículas en la dirección longitudinal y transversal de las probetas de manera que las características mecánicas no se verán afectadas por esta variable.
- 4.- De las diversas soluciones analíticas propuestas para la predicción del módulo elástico las más acertadas han resultado ser las que suponen un estado de isotensión en los compuestos. El límite inferior de la regla de las mezclas es una buena aproximación al comportamiento de los sistemas PS-microesferas cuando el contenido de esferas es bajo, mientras que a mayor carga el modelo de Greszczuk o el de Sato y Furukawa representan la mejor aproximación.
- 5.- La evolución de la resistencia a tracción frente al porcentaje de microesferas se puede predecir sin error a través del modelo de Nicolais y Narkis que considera la adhesión nula entre las fases.
- 6.- La aparición de un punto de inflexión definido en las curvas tensión-deformación se asocia al momento de la separación entre la carga y la matriz. El nivel de tensión compresiva actuante sobre las microesferas es independiente del número de partículas existentes.
- 7.- Una de las características mecánicas más relevantes ha sido el gran aumento de la deformación a cedencia y a rotura de los compuestos. El aumento de deformación de la matriz se debe a la aparición de crazing múltiple extensivo a todo el volumen de las probetas.

- 8.- El máximo nivel de deformación se alcanza en la muestra con un 15% en peso de microesferas mientras que mayores cantidades de carga se han revelado inactivas. Este porcentaje constituye el límite aproximado de saturación de la matriz.
- 9.- En condiciones de tracción a baja velocidad, el PS y los compuestos se comportan inicialmente de forma elástica para sucesivamente aparecer la nucleación de microcavidades, su eventual crecimiento, y la aparición y generalización del crazing como principal mecanismo de deformación.
- 10.- En condiciones de compresión el material se ha comportado linealmente hasta alcanzar la tensión de fluencia apareciendo luego ablandamiento por deformación. El mecanismo de deformación en compresión ha sido la cedencia por bandas cizalladura localizadas. La tensión de fluencia a compresión disminuye al incrementar el número de esferas.
- 11.- Las propiedades mecánicas a alta velocidad de deformación pueden describirse satisfactoriamente a través de las técnicas de impacto por caída de dardo. La mejor metodología para la obtención de los parámetros elásticos a alta velocidad de las muestras PS-microesferas es el modelo de flexión de baja energía.
- 12.- En impacto las partículas en moderadas concentraciones suponen un refuerzo del sistema mientras que a altos niveles desencadenan el fallo prematuro. Se ha constatado que el mecanismo de fallo supone inicialmente el despegue de la partícula y la posterior formación de crazing en el entorno de la partícula despegada.
- 13.- La tensión de inicio de crazing en impacto se ha situado en 45 MPa, y la de emblanquecimiento en 18 Mpa.
- 14.- El estudio de la fractura de las mezclas PS-microesferas ha dado lugar a diferentes comportamientos. Cuando el contenido es inferior al 6% predomina la fractura inestable y es de aplicación la LEFM. La muestra del 6% tiene un comportamiento de transición y mayores proporciones de segunda fase estabilizan la fractura.
- 15.- En cantidades moderadas, (10 % en peso) las partículas mejoran la tenacidad a fractura del Poliestireno. Con bajas velocidades de deformación en el poliestireno se generan un pequeño número de crazes estables, la grieta se propaga por el interior de la craze y el valor de K_{IC} es bajo. Cuando existe un número reducido de partículas se generan más crazes por el efecto concentrador de tensiones. La presencia de un manojo de crazes en la punta de la entalla la enroma y hace aumentar el valor de K_{IC} .

- 16.- La energía de fractura G_{IC} también aumenta con la inclusión moderada de microesferas ($\leq 15\%$). Los mecanismos de refuerzo que causan este comportamiento son:
- a.- Incremento de la superficie de fractura por una desviación del plano de propagación de la grieta, experimentalmente se aprecia por un aumento de la rugosidad superficial.
 - b.- Interacción entre el frente de grieta y la fase partícula a través de un mecanismo de anclaje-arqueo de grieta.
 - c.- Deformación extensiva de la matriz por promoción del crazing múltiple.
- 17.- La adición de una cantidad moderada de microesferas produce una mejora de E , K_{IC} y G_{IC} con ϕ siendo más importante el efecto de mejora de K_{IC} frente a ϕ que el del módulo elástico frente a ϕ .
- 18.- En los porcentajes intermedios de carga (10%-15%) el valor de J_{IC} se mantiene aproximadamente constante. Altos porcentajes de carga hacen disminuir los valores de J_{IC} en tanto que el módulo aumenta. El descenso de J_{IC} es debido principalmente a la saturación de la capacidad de fisuración de la matriz, a la sustitución de matriz activa por segunda fase que no es efectiva, al efecto concentrador de tensión de las partículas y a una temprana coalescencia de los vacíos originados en el entorno de las partículas. La mejor aproximación a través del análisis elastoplástico se considera que es el método de Narisawa y el de la curva patrón pues reflejan con mayor confianza la forma de la grieta, estrecha y alargada, con reducida plasticidad en su punta.
- 19.- La presencia de lubricante en el poliestireno estabiliza las crazes y favorece que la grieta se propague por el interior de una única craze, en ese caso la forma de la zona plástica se representa bien a través del modelo de Dugdale verificándose que es aplicable el criterio del COD (20 μm .) y que no depende de la velocidad de deformación. En el resto de composiciones la apertura de grieta aumenta inicialmente como resultado del cambio del mecanismo de deformación a múltiple crazing extensivo para mantenerse constante e independiente de la carga. La constancia de COD respecto a ϕ es síntoma que la matriz controla la rotura de los compuestos en tanto que las partículas son responsables de los mecanismos de refuerzo.
- 20.- A través de la observación de las superficies de fractura se ha comprobado la eficacia de las partículas como elementos desviadores del frente de grieta a pesar de la ausencia de adhesión con la matriz. El camino de fractura tiende a buscar las posiciones ocupadas por las esferas formando un entramado de

matriz que ha sido desgarrada al cambiar de plano la grieta y que tiene origen y fin en las propias partículas.

- 21.- En el régimen de altas velocidades de deformación se ha observado propagación de grieta inestable y fractura frágil. Los valores de la tenacidad a fractura son superiores en impacto con respecto a los encontrados a baja velocidad de deformación. Respecto al porcentaje de carga K_{IC} y G_{IC} mejoran levemente con ϕ hecho que indica la menor actividad de las microesferas como elementos de refuerzo. En impacto, disminuye el tiempo de acción y la eficacia de los procesos de absorción energética por deformación de manera que los incrementos relativos de K_{IC} y G_{IC} son menores.
- 22.- Las superficies de fractura de los compuestos a alta velocidad de deformación se caracterizan por un descenso del emblanquecimiento de la superficie y del nivel de rugosidad superficial. Se manifiestan los mismos mecanismos de refuerzo vistos a baja velocidad, aunque su contribución es menor.
- 23.- A través de un modelo de elementos finitos bidimensional y del conocimiento de las propiedades de cada fase, hemos podido calcular las propiedades elásticas de los sistemas compuestos. Las discrepancias entre los valores simulados y los experimentales han sido pequeñas y se han manifestado a altos niveles de carga, principalmente como consecuencia del efecto de la interfaz.
- 24.- El nivel de concentración de tensión introducido por las partículas es del orden de 2, incrementándose hasta un máximo de 2,5 en la muestra más cargada por efecto del solape entre los campos tensionales de las partículas vecinas.
- 25.- A partir de las distribuciones tensionales entorno a las inclusiones se ha establecido que el proceso de fractura se inicia con la separación previa de fases entorno del polo de la esfera. Seguidamente la grieta interfacial discurre hasta un ángulo de aproximadamente 70° para a partir de ahí iniciarse el crazing. Finalmente una vez formada la craze crece perpendicularmente a la tensión aplicada hacia el ecuador de la partícula adyacente.

CAPÍTULO 8

REFERENCIAS

CAPÍTULO 8

REFERENCIAS

- [Agarwal 1974] Agarwal B.D, Broutman L.J., Fibre Sci Tech. 7 (1974) 63.
- [Agassant 1991] Agassant J.F., Avenas P., Sergent J. Ph., Carreau P.J., "Polymer Processing principles and modeling" Hanser Publishers, Munich (1991).
- [Alberola 1994] Alberola N., Bergeret A., "Physical modeling of the interphase in amorphous thermoplastics /glass bead composites" Polymer Composites, Vol 15, N° 6 (1994) 442-452.
- [Alberola 1997] Alberola N.D., Germain Y. Mele P. "Binary and Ternary Particulate CompositesII. Tensile Behaviour Over a Wide Range of Strain Rates" Journal of Applied Polymer Science 63, (1997),1041-1046.
- [Anderson 1990] Anderson T.L. "Fracture Mechanics, Fundamentals and Applications" CRC Press. (1990).
- [Argon 1977] Argon A.S., Hannoosh J.G., Phil Mag. 36, (1977),1195.
- [Argon 1977-b] Argon A.S. Salama M.M. Materials Science and Engineering, 23, (1977), 219.
- [Asp 1997] Asp L.E, Sjögren B.A., Berglund L.A., "Prediction of Failure Initiation in Polypropylene with Glass Beads " Polymer Composites, Feb 1997, Vol 8 n° 1, pp 9-15.
- [ASTM D-256] ASTM D-256 "Test for impact resistance of plastics and electrical insulating materials" American Society for Testing and Materials . Philadelphia, USA (1969)
- [ASTM D-281-84] ASTM D 281-84 "Standard test method for oil absorption of pigments by spatula rub-out" American Society for Testing and Materials . Philadelphia, USA (1984).
- [ASTM D-638] ASTM D-638, "Test for tensile properties of plastics", American Society for Testing and Materials. Philadelphia, USA (1969)
- [ASTM D-647] ASTM D-647 "Rec. practice of design of molds for test specimens of plastics molding materials", American Society for Testing and Materials. Philadelphia, USA (1969)
- [ASTM D-1238] ASTM D-1238 "Standard Test Method for Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA (1990)

- [ASTM D-1483] ASTM D 1483-84, "Standard test method for oil absorption of pigments by Gardner-Coleman method. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA (1984)
- [ASTM E 399-90] ASTM E 399-90 "Standard test method for plane-strain fracture toughness of metallic materials" American Society for Testing and Materials, ASTM Philadelphia, USA (1990).
- [ASTM E813-81] ASTM E813-81, "Standard test method for J_{IC} , a measure of fracture toughness" American Society for Testing of Materials, Philadelphia USA (1981)
- [ASTM E813-89] ASTM E-813-89 "Standard test method for J_{IC} , a measure of fracture toughness", American Society for Testing of Materials, Philadelphia USA (1989)
- [Bates 1962] Bates T., "Ligand field theory and absorption spectra of transition metal ions in glass" Modern aspects of the vitreous state. Ed. J.D. Mackenzie Vol 2 Cap 5. Ed. Butterworths, London (1962).
- [Benbow 1961] Benbow J.J., "Stable Crack Growth in Plastics" Proc. Phys. Soc. 78, (1961), 970.
- [Berry 1961] Berry J.P., "The Tensile Strength of Polystyrene". Journal of Polymer Science, 50, (1961), 313.
- [Berry 1972] Berry J.P. "Fracture of Polymeric Glasses" in Fracture an Advance Treatise. Vol 7 Ed. H. Leibowitz. Academic Press, New York (1972)
- [Broek 1987] Broek D. "Elementary engineering fracture mechanics" 4^a Ed. Martinus Nijhoff, Dordrecht, (1987).
- [Broutman 1965] Broutman L.J., Mc Garry F.J. " Fracture Surface Work Measurements on Glassy Polymers by a Cleavage Technique, effects of Temperature" Journal of Applied Polymer Science 9, (1965), 589-608.
- [Broutman 1971] Broutman L.J., Sahu, S., "The effect of Interfacial bonding on the Toughness of Glass Filled Polymers" Mater Sci. Eng. 8, (1971), 98 –107.
- [Broutman 1977] Broutman L.J, Panizza G. International Journal of Polymer Materials 1, (1977) 95
- [Brown 1966] Brown W.F., Srawley J.E., " Plane strain crack toughness of high strength metallic materials" American Society for Testing and Materials, ASTM STP 410 Philadelphia, USA, (1966).
- [Brown 1973] Brown H.R., Ward I.M., Polymer 14, (1973), 469.
- [Brown 1991] Brown H.R. Macromolecules, 24, (1991), 2752.
- [Brydson 1989] Brydson J.A., "Plastics Materials" 4th Edition. Butterworth, London (1989).
- [Bucknal 1977] Bucknall C.B. "Toughened Polymers" Applied Science Publishers LTD. London (1977)

- [Bucknall 1988] Bucknall C.B. "The micromechanics of rubber toughening" Makromol Chem. Macromol. Symp. 20/21, (1988), 425-439.
- [Camwell 1973] Camwell L., Hull D., Phil. Mag. 27, (1973), 1135.
- [Casiraghi 1988] Casiraghi T., Castiglioni G., Ronchetti T. J. Mater. Sci. 23, (1988), 459.
- [Cazzaniga 1994] Cazzaniga, L.A., Cohen, R. "Toward a High-impact Isotactic Polystyrene" Polymer Engineering and Science, vol 34, n° 2, (1994), 1005-1010.
- [Chivers 1990] Chivers R.A., Moore D.R. "Further developments in the interpretation of signals from instrumented falling weight impact (IFWI)" Polymer Technol. (1990), 313-321.
- [Clutton 1981] Clutton, E. Q., Williams J.G., Journal of Materials Science, 16, (1981), 2583.
- [Cook 1990] Cook, D.G., Rudin A., Plumtree A., "Fracture Mechanics parameters for Polystyrene under High Speed Impact" Polymer Engineering and Science, V 30, 596-602, May 1990,
- [Cosmos 1992] Cosmos.- Finite element Software. Structural Analysis and Research Corporation. Santa Monica. California (1992).
- [Costas 1986] Costas G., Chieh-Fong H., Schmidt L., "The process of cavity filling including the fountain flow in injection moulding". Polymer Engineering and Science, Vol 26, n° 20, (1986), 1457-1466.
- [Dadvidge 1968] Dadvidge, R.W., Green T.J., Journal of Material Science, 3, (1968), 629.
- [Dai 1986] Dai S.R, Piggott M.R., "Composites containing glass spheres and fibers: II tensile, flexural and shear strengths" Polymer Composites, vol 7 n° 6, (1986), 435-441.
- [Davy 1988] Davy P.J., Guild F.J., "The distribution of interparticle distance and its application in finite-element modelling of composite materials" Proc. R.Soc. Lond. A 418 95-112 (1988)
- [Dekkers 1985] Dekkers M.E.J., Heikens D., "Crazing and shear deformation in glass bead-filled glassy polymers" Journal of Materials Science, 20, (1985), 3873-3880,.
- [Dekkers 1985-b] Dekkers M.E.J., Heikens D., " Stress analysis near the tip of a curvilinear interfacial crack between a rigid spherical inclusion and a polymer matrix" Journal of Materials Science 20 (1985) 3865-3872
- [Delzant 1991] Delzant M. "Les Microspheres creuses en verre à résistance mécanique améliorée pour thermoplastiques allégés actuels" Composites n° 3 Mayo-Junio 1991
- [Díaz 1995] Díaz, M.R., "Fractura de mezclas de poliestireno con estireno-butadieno-estireno". Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) Barcelona (1995).

- [DiBenedetto 1972] DiBenedetto A.T., Wambach A.D., Int. J. Polym Mat., 1, (1972), 159.
- [Döll 1979] Döll W., Schinker M.G., Könczöl L., Int. J. Fracture 15, (1979), R 145.
- [Döll 1983] Döll W. "Optical interference measurements and fracture mechanics analysis of crack tip zones" Advanced Polymer Science 52/53, (1983),105-168.
- [Döll 1992] Doll W. "Fractography and failure mechanism of amorphous thermoplastics" in Fractography and failure mechanisms of polymers and composites. Ed. Anne C. Rounin-Moloney. Elsevier applied science. 387-436. London 1992.
- [Donald 1981] Donald A.M., Kramer E.J., Phil Mag. A43, (1981), 857.
- [Donald 1982] Donald A.M., Kramer E.J., Journal of Material Science, 17, (1982), 1871.
- [Dow Corning 1997] Dow Corning Product Information Z-6032 silane. (1997)
- [Doyle 1975] Doyle M.J. J.Mater. Sci. 10, (1975),159.
- [Dugdale 1960] Dugdale D.S., "Yielding in steel sheets containing slits" Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 8, (1960), 100-104.
- [Echte 1989] Echte A., "Rubber Toughened styrene polymers: A review" Adv. Chem. Ser. 222, (1989),15-67.
- [Einstein 1905] Einstein A., "Über die Von der Molekularkinetischen Theorie der Wärme Geforderto Bewegung von in Rubenden Flüssigkeiten Suspendioten Teilchen" Ann. Physik Vol 17 , (1905), 549.
- [Elf –Atochem 1993] Polystyrene Lacqrene 1540/41 Notice Technique. (1993)
- [EGF 1990-a] European Group of Fracture "A Linear Elastic Fracture Mechanics (LEFM) Standard for determining K_{Ic} y G_{Ic} for plastics" Testing protocol March 1990.
- [ESIS 1991] A Linear Elastic Fracture Mechanics (LEFM) Standard for determining K_{Ic} and G_{Ic} for plastics Appendix 3- High Rate Testing. ESIS Technical Committe 4.
- [Eyring 1936] Eyring H., J. Chem. Phys., 4, (1936), 283
- [Ferrigno 1978] Ferrigno T. H., "Principles of filler selection and use" in Handbook of Fillers and Reinforcement for Plastics. Ed Harry S. Katz y Jhon V. Milewsky. Van Nostrand Reinhold 1978 New York
- [Friedrich1995] Friedrich CHR., Scheuchenplug W., Neuhäusler S., Rösch J., "Morphological and rheological properties of PS melts filled with grafted and ungrafted glass beads" Journal of applied Polymer Science, Vol 57, (1995), 499-508.
- [Forman 1965] Forman R.G., "Effect of plastic deformation on the strain energy release rate in a centrally notched plate subjected to uniaxial tension" ASME 1965.

- [Forwood 1965] Forwood C.T., Forty A.J., Phil Mag. 11, (1965),1067.
- [Furno 1992] Furno J.S., Nauman E.B., "Analysis of the role of adhesion in composites that contain particles" Journal of Materials Science 27 (1992) 1428-1434.
- [Gähde 1986] Gähde J. "About interface problems in kaolin-filled polyethylene" Polymer Composites. Ed. B. Sedlacek. Walter de Gruyter- Berlin 1986.
- [Gent 1984] Gent A.N. "Journal of Material Science" 15, (1984), 2884.
- [Goodier 1933] Goodier J.N. "Concentration of stress around spherical and cylindrical inclusions and flaws" J. Appl. Mech. 55-7, (1933), 39-44.
- [Greco 1987] Greco R., Ragosta G. Plast. Rubber Process applications, 7, (1987), 163.
- [Green 1979] Green D.J., Nicholson P.S., Embury J.D., "Fracture of a brittle particulate composite" Journal of Materials Science 14, (1979),1413-1420.
- [Greszczuck 1966] Greszczuck.J. ASCE Mech Div 92, (1966), 63.
- [Greszczuck 1982] Greszczuck.L.B., "Damage in composites materials due to low velocity impact" en Impact Dynamics Ed. L.B. Greszczuck, J.A Zukas, H.F. Swift y D.R. Curran. Jhon Wiley & Sons, New York 1982.
- [Griffith 1920] Griffith, A.A., "The phenomena of rupture and flow in solids" Philosophical Transactions, Series A, 221, (1920),163-198.
- [Guild 1995] Guild F.J., Kinloch A.J., " Modelling the properties of rubber-modified epoxy polymers" Journal of Materials Science 30 (1995) 1686-1697
- [Guild 1989-a] Guild F.J., Yong R.J, "A predictive model for particulate-filled composite materials part I. hard particles" Journal of materials science 24 (1989) 298-306.
- [Guild 1989-b] Guild F.J., Young R.J, "A predictive model for particulate-filled composite materials part II. soft particles" Journal of materials science 24 (1989) 2454-2460
- [Gupta 1994] Gupta R.K., en "Flow and Rheology in Polymer Composites Manufacturing" Ed. S.G. Advani, Elsevier Publishers, Amsterdam 1994.
- [Guth 1945] Guth E., "Theory of filler reinforcement" J. Appl. Phys. Vol 16, (1945), 20,
- [Hancock 1995] Hancock M., "Filled thermoplastics" en Particulate-filled polymer composites, Ed. Roger Rethon. Longman 1995 pp 279-316
- [Handfeld 1987] Handfeld, J.L. "Styrene Polymers" in Encyclopedia of Polymer Science and Engineering" John Wiley & Sons, New York (1987).
- [Hashemi, 1986] Hashemi S., Williams J.G., "Fracture characterization of tough polymers using the J method", Polym. Eng. Sci., 26, (1986) 760.

- [Hashemi, 1991] Hashemi S., Williams J.G., "Single and multiple-specimen R-curve methods for J_{IC} determination of toughened nylons", J. Mat. Sci., 26, (1991) 621-630.
- [Hashin 1963] Hashin Z.V., Strikman S. J., Mech. Phys. Solids, 11, (1963), 127.
- [Haward 1978] Haward R.N., Daniels H.E., Treloar L.R.G., J. Mater. Sci. 13, (1978), 2092
- [Heredia 1986] Heredia A., Martínez A.B., "Influencia de la interfase en la fractura de un material compuesto con cargas rígidas esféricas. Revista Plásticos Modernos. 366, (1986)
- [Heredia 1987] Heredia A., "Estudio de la Fractura de materiales compuestos por una resina de poliéster y partículas rígidas" Tesis Doctoral. U.P.C. Barcelona 1987
- [Heredia 1989] Heredia A., Martínez A.B., Revista de Plásticos Modernos. 396, (1989), 861-875.
- [Hertzberg 1983] Hertzberg R.W., "Deformation and fracture mechanics of engineering materials" 2^a ed., Wiley & Sons New York, 1983.
- [Hill 1965] Hill R. "Self-Consistent Mechanics of Composite Materials" J. Mech. Phys. Solids., Vol 13 8 (1965) p. 213.
- [Hornsby 1995] Hornsby P.R., "Preparation and mixture characterization of particulate-filled polymer compounds" en Particulate-Filled Polymer Composites Ed. R.Rothon Longman 1995.
- [Huang 1992] Huang Y., Kinloch A.J., "Modelling of the toughening mechanisms in rubber-modified epoxy polymers, part I. Finite element analysis studies" Journal of materials science 27 (1992) 2763-2769.
- [Hugo 1986] Hugo J., Houskova M., "Polypropylene composites- Dependence of the yield stress on the concentration of particulate $CaCO_3$ filler". Polymer Composites. Walter de Gruyter & Co. 1986.
- [Hull 1970] Hull D., "Effects of Crazes on the Propagation of cracks in Polystyrene" Journal of Materials Science 5 (1970) 357-363.
- [Hüls 1993] Hüls "Applications of organofunctional Silanes" DYNASYLAN Hüls Aktiengesellschaft 1993 pp 1-66.
- [Inglis 1913] Inglis, C.E., "Stresses in a plate due to the presence of cracks and sharp corners" Transactions of the Institute of Naval Architects, 55, (1913) 219-241.
- [Irwin 1948] Irwin G.R., "Fracture dynamics, fracturing of metals", American Society for Metals, Cleveland, (1948) 147-166.
- [Irwin 1960] Irwin G.R. "Plastic zone near a crack and fracture toughness, Proc 7th Sagamore conf. (1960) p.4-63.
- [Irwin 1964] Irwin G.R., App Mats. Res. 3, (1964) 65.

- [Ishai 1967] Ishai O, Cohen L.J. *J. Comp. Mat.*, 1 (1967), 390.
- [Ishihara 1986] Ishihara N. Seimira T. Kuramoto M., Uoi M., *Macromolecules* 19, (1986) 2464.
- [ISO/DIS6603/1] Plastics “ Determination of multiaxial impact behaviour of rigid plastics, part 1: Falling Weight method”
- [ISO-DIS 6603/2] Plastics. “Determination of multiaxial impact behaviour of rigid plastics, Part I: Falling Weight Method. Instrumented test”
- [Jancar 1989-a] Jancar J., *J. Mater Sci.* 24, (1989), 3947-3955.
- [Jancar 1989-b] Jancar J., *J. Mat. Sci.* 24, (1989), 4268-4274.
- [Kalthoff 1985] Kalthoff J.F., “On the measurement of dynamic fracture toughness a review of recent work” *Int. J. Fracture* 27, (1985), 277-298.
- [Kambour 1973] Kambour R.P., *Macromolecules* 7, 1 (1973)
- [Kambour 1984] Kambour R.P., “Crazing and Cracking in Glassy Homopolymers” in *Polymer Blends and Mixtures*. Ed. D.J. Walsh, J.S. Higgins and A. Macconachie” NATO ASI Series New York 1984
- [Kanninen 1985] Kanninen M.F., Popelar C.H., “Advanced fracture mechanics” Cap. 3, Oxford University Press, New York, 1985.
- [Kardos 1985] Kardos J.L. in *Molecular Characterization of Composite Interfaces*. Ed H.Ishida, G.Kumar, Plenum Press, New York 1985.
- [Katz 1978] Katz H.S., Milewsky J.V., *Handbook of fillers and reinforcements for plastics*. Van Nostrand Reinhold Co. New York (1978) 301-310.
- [Kenyon 1967] Kenyon A.S., Duffey H.J., *Polym Eng Sci.* 7, 189 July (1967)
- [Kerner 1956] Kerner E.H. “The elastic and thermo-elastic properties of composite media” *Proc. Phys Soc.* 69B, (1956), 808.
- [Kinloch 1983] Kinloch A.J., Young R.J., “Fracture behaviour of polymers” Chapman & Hall, London (1983).
- [Kramer 1974] Kramer E.J. *Journal of Macromoleculal Sciencie* B10, (1974),191.
- [Kramer 1975] Kramer E.J., *Journal of Polymer Sciencie.*, Polymer Physics Ed. 13, (1975) 509.
- [Kramer 1983] Kramer E.J., “Microscopic and molecular fundamentals of crazing” en “Crazing in Polymers” Ed. H.H. Kausch, Springer Verlag Berlin 1983.
- [Kramer 1990] Kramer E.J., Breger L.L., “Fundamentals process of craze growth and fracture “ *Adv. Polym. Sci.* 91/92, (1990), 1-68.

- [Krishnamachari 1994] Krishnamachari S.I. "Applied stress analysis of plastics" Ed. L.J. Broutman. Van Nostrand Reinhold. New York 1994.
- [Krock 1967] Krock R.H., "Modern Composite Materials" Ed. L.J Broutman y R.H Krock, Addison-Wesley. Massachusetts 1967.
- [Lange 1970] Lange F.F., Phil Mag. 22, (1970), 983.
- [Lange 1971] Lange F.F., Radford, K.C.. J., Mater Sci., 6, (1971), 1197.
- [Lange 1975] Lange F.F., "Fracture of brittle matrix, particulate composites" in Mechanics of composite materials. Robert M. Jones Washington Scripta Books Co. 1975
- [Lavengood 1973] Lavengood R.E., Nicolais L., Narkis M., "A deformational mechanism in particulate-filled glassy polymers" Journal of Applied Polymer Science, 17 (1973), 1173-1185.
- [Leidner 1974] Leidner J., Woodhams R.T., "The strength of polymeric composites containing spherical fillers" J. Appl. Polym. Sci. Vol 18, (1974), 1639-1654.
- [Lewis 1970] Lewis T.B., Nielsen L.E., J Appl. Polym. Sci. 14, (1970), 1449.
- [Leydon 1980] Leydon D., and Collins W., "Silylated surfaces" Gordon & Breach. New York 1980
- [Mallick 1975] Mallick P.K., Broutman L.J., "Mechanical and Fracture Behaviour of Glass Bead Filled Epoxy Composites". Materials Science and engineering 18 (1975) 63-73.
- [Manson 1976] Manson J. A., Sperling L. H. "Polymer blends and Composites" Ed. Plenum Press, New York 1976. Cap 12.
- [Marshall 1973] Marshall G.P., Culver L.E., Williams J.G., "Fracture phenomena in polystyrene" International Journal of Fracture. Vol 9, nº 3, septiembre 1973.
- [Martínez 1988] Martínez A.B. "Técnicas de impacto de materiales plásticos y compuestos". UPC 1988
- [Martínez 1990] Martínez, A.B., Maspoch, M.LL., " Determinación de los parámetros de la fractura de PS mediante el protocolo de ensayo del European Group of Fracture" Anales de Mecánica de la fractura, Vol 7 (1990).
- [Martínez 1994-a] Martínez, A.B., Maspoch, M.LL., Díaz M.R., "La fractura del poliestireno, Parte I. Comportamiento a bajas velocidades de sollicitación" Revista de Plásticos Modernos, 459 (1994)
- [Martínez 1994-b] Martínez A.B., Maspoch M.LL. Díaz M.R Anales de Mecánica de la fractura, 11 (1994) pp 297-302.
- [Martínez 1994-c] Martínez, A.B, Arnau J., Sánchez M., Díaz M.R., "Impacto de plásticos. Parte 1: Análisis Estático. Información Tecnológica. Vol 5, nº 6, (1994), 11-18.

- [Martínez 1994-d] Martínez A.B., Arnau J., Santana O., Gordillo A. “Impacto de plásticos: Parte 2. Impacto de baja energía” Información Tecnológica. Vol 5 Nº 6 (1994) 19-24.
- [Martínez 1994-e] Martínez A.B., Arnau J., Maspoch M.LL., Fernández Santín J.M. “Impacto de plásticos: Parte 3. Análisis dinámico” Información Tecnológica. Vol 5 Nº 6 (1994) 25-31,
- [Martínez 1994-f] Martínez, A.B, Arnau J., Maspoch M.LL., Velasco J.I. “Impacto de plásticos. Parte 4:Parámetros de la fractura. Información Tecnológica. Vol 5, nº 6 (1994) 36-40.
- [Martínez 1998] Martínez, A.B, “Modelos y metodologías de cálculo aplicadas al impacto instrumentado por caída de dardo. “ Documento interno. 1998.
- [Maspoch 1992] Maspoch, M.LL., “ Estudio de la fractura de materiales compuestos por una matriz de plástico y partículas elastoméricas “ Tesis Doctoral. UPC (1992)
- [McCrum 1997] McCrum N.G., Buckley C.P., Bucknall C.B., “ Principles of polymer engineering” Oxford University Press, New York (1997).
- [McGee 1981] McGee S., McCullough R.L., Polymer Composites 2, (1981) 149.
- [Mc Murrer 1985] McMurrer, M., “Update: Microspheres“ Plastics Compounding, Nov/Dec 1985 pp16- 31
- [Meddad 1997] Meddad A., Fisa B., “Filler-matrix debonding in glass bead-filled polystyrene” Journal of Materials Science 32, (1997), 1177-1185.
- [Miller 1991] Miller P., Buckley D.J., Kramer E.J., “Microestructure and origin of cross-tie fibrils in crazes” Journal of Material Science 26, (1991), 4445-4454.
- [Mills 1976] Mills N.J., J. Mater. Sci. 11, (1973), 363.
- [Mitchler 1990] Mitchler G.H. “Correlation between craze formation and mechanical behaviour of amorphous polymers” Journal of Material Science, 25, (1990) 2321-2334.
- [Michler 1996] Michler G.H., Starke J.U., “Investigations of micromechanical and failure mechanisms of toughened thermoplastics by electron microscopy” in Toughened Plastics II, Ed. C.Keith Riew and Anthony J. Kinloch American Chemical Society 1996
- [Milewski 1978] Milewski J.V., “Packing concepts in the utilization of filler and reinforcement combinations” Handbook of Fillers and Reinforcements for plastics. Ed. H. S. Katz & J.V. Milewski. Van Nostrand Reinhold (1978), 68.
- [Mittal 1991] Mittal S.K., Chamis C.C. J. of Comp. Tech. and Res., 13 (1991) 14.
- [Morgan 1977] Morgan G.P., Ward I.M., Polymer 18, (1977) 87

- [Murray 1970] Murray J., Hull D., "Fracture surface of polystyrene: Mackerel pattern. Journal of polymer Science Part A, 8, (1970), 583-594.
- [Nafems 1992] Nafems "A finite element primer" Nafems, Glasgow-United Kingdom (1992)
- [Narisawa 1980] Narisawa I., Ishikawa M., Ogawa H., J. Mater Sci. 15, (1980), 2059.
- [Narisawa 1989] Narisawa I., Takemori M.T., Polym. Eng. Sci. 29, (1989), 671.
- [Narkis 1976] Narkis M. "Some mechanical properties of particulate-filled thermosetting and thermoplastic polymers" Journal of Applied Polymer Science. Vol 20, (1976) 1597-1606.
- [Narkis 1978] Narkis M. Nicolais L., Joseph E., "The elastic modulus of particulate-filled polymers". Journal of Applied Polym. Sci. 22, (1978), 2391-2394.
- [Narkis 1978-b] Narkis M., Joseph E., "Particulate-Filled Glassy Polymers" J. Appl. Polym. Sci. Vol 22, (1978), 3531-3537.
- [Newman 1965] Newman S., Strella S., J. Appl. Polym. Sci. 9, (1965), 2297.
- [Nicolais 1971] Nicolais L., Narkis M., Polymer Eng. Sci. 11, (1971), 194.
- [Nicolais 1978] Nicolais L., Joseph E. "The Elastic Modulus of particulate -filled polymers" Journal of Applied Polymer Science. Vol 22, (1978), 2391-2394.
- [Nicolais 1981] Nicolais L. Guerra G. et al. "Mechanical properties of glass-bead filled polystyrene composites" Composites, (January 1991) 33-37.
- [Nielsen 1966] Nielsen L.E. "Simple theory of stress-strain properties of filled polymers" Journal of Appl. Polym. Sci. Vol 10, (1966), 97-103.
- [Nielsen 1967] Nielsen L.E., "Mechanical properties of particulate-filled systems", Journal of Composite Materials 1, (1967), 100-119.
- [Nielsen 1970] Nielsen L.E., J.Appl. Phys., 41 (1970), 4626.
- [Nielsen 1972] Nielsen L.E., "Mechanical properties of polymers and composites" Vol 2. Marcel Dekker, New York, 1972.
- [Nielsen 1994] Nielsen L.E., Landel R.F., "Mechanical properties of polymers and composites" 2^a Ed. Marcel Dekker New York 1994
- [Nimmer 1991] Nimmer R.P. Bankert R.J., Russel E. S. Journal of Comp. Tech. and Res., 13 (1991) 3.
- [Ogadhoh 1996] Ogadhoh S.O., Papanthasiou T.D., "Particle rearrangement during processing of glass-reinforced polystyrene by injection moulding" Composites part A, Vol 27 N°1 (1996), pp. 57-63.

- [Ohlberg 1962] Ohlberg S.M., Golob H.R., Hollabaugh C.M., J. Amer. Ceram. Soc. 45,(1962),1.
- [Orowan 1948] Orowan E., "Fracture and strength of solids" Reports on Progress in Physics, Vol. XII (1948), 185-232.
- [Osswald 1996] Osswald T.A., Menges G. "Materials Science of Polymers for Engineers" ,Ed. Carl Hanser Verlag. Munich 1996.
- [Paul 1960] Paul B., Trans. Met. Soc. AIME 218, (1960), 36.
- [Paris 1979] Paris P.C. Tada H., Zahoor A., Ernst H. "Elastic-Plastic Fracture" ASTM STP 668 American society for Testing and Material, Philadelphia (1979)
- [Pegoraro 1986] Pegoraro M., "Comparison between theoretical and practical mechanical properties of polyolefines-glass beads composites" Polymer Composites. Ed. Walter de Gruyter. 1986
- [Plueddeman 1978] Plueddeman E., "Silane coupling agents" en Additives for plastics Vol 1 Ed. R.B. Seymour. pp 123-167 Academic Press New York 1978
- [Plueddeman 1986] Plueddeman E., " Coupling agents" Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, Wilwy-Intersciencie Publication, Vol 4, New York (1986 2th ed.)
- [Plummer 1987] Plummer J.F. "Microspheres" Encyclopedia of Polymer Science and Engineering. Wiley Intersciencie. Vol 9, 2ª Ed. (1987) pp 788-795.
- [Plummer 1991] Plummer C.J.G., Donald A.M., "Craze fibril breakdown in glassy polymers" Polymer 32, (1991), 409-418.
- [Progelhof 1994] Progelhof R.C., Throne J.L.T., "Polymer engineering principles" Ed. Carl Hanser Verlag. 1994
- [Pukanzsky 1985] Pukanzksy B., et al. Polym Compos. Microsymp Macromol, 67, (1985), 2811.
- [Pukanzsky 1986] Pukánszky B., Tüdos F., Kelen T. "The effect of fillers on the rheological and mechanical properties of polypropylene composites" Polymer Composites. 1986, 168-181.
- [Pukanzsky 1995] Pukánszky B., "Particulate filled polypropylene: Structure and properties" in Polypropylene, Structure, Blends and Composites, Vol 3. Composites Ed. J. Karger Kocsis, Chapman and Hall 1995.
- [Reynolds 1990] Reynolds R.R., Korini K., Chen G. " The mechanics of the interface crack using the finite element method" Transactions of the ASME, 38-43 , 112, 1990.
- [Rice, 1968] Rice J.R., J. Appl. Mech. 35, (1968), 379.
- [Robertson 1968] Robertson R.E., Appl. Polym. Sci. 7 (1968) 201.
- [Roca 1981] Roca R., León J. "Vibraciones mecánicas" Limusa, México, 1981.

- [Rothon 1995] Rothon R.N., Hancock M., "General principles guiding selection and use of particulate materials" en *Particulate-Filled Polymer Composites* Ed. R.Rothon Longman 1995
- [Sahu 1972] Sahu S., Broutman L.J., " Mechanical properties of particulate composites" *Polymer engineering and science*, vol 12 nº 2 ,91-100, March 1972
- [Sakai 1993] Sakai M., Bradt R.C., "Fracture toughness testing of brittle materials " *International Materials Reviews* 38, Nº 2, (1993), 53-78.
- [Salla 1995] Salla J.M., "Calorimetría de polímeros". Curso de doctorado. UPC 1995.
- [Sánchez 1997] Sánchez M., Martínez A.B., et al. "Propiedades mecánicas de compuestos de poliestireno y microesferas de vidrio," en *Materiales Compuestos 97* Ed. J. Güemes, C. Navarro, pp. 313-320. Madrid 1997.
- [Sánchez-Soto 1998-a] Sánchez-Soto M., Velasco J.I., et al. "Fractura de compuestos formados por poliestireno y microesferas de vidrio" *Revista de Plásticos Modernos*. Vol 75. nº 501 1998
- [Sánchez-Soto 1998-b] Sánchez-SotoM., MasPOCH M.LL., Gordillo, " Diseño de piezas de plástico mediante técnicas asistidas por ordenador" *Información Tecnológica* Vol 9, nº 4, 1998.
- [Santana 1997] Santana, O.O "Estudio de la fractura de mezclas de policarbonato con acrilonitrilo-butadieno-estireno". Tesis Doctoral. UPC. 1997.
- [Sato 1962] Sato Y. Furukawa J. " A Molecular Theory of Filler Reinforcement Based upon The Conception of Internal Deformartion" *Rubber Chem. Tech.* 35, (1962),857.
- [Sato 1963] Sato Y. Furukawa J. " A Molecular Theory of Filler Reinforcement Based upon The Conception of Internal Deformartion" *Rubber Chem. Tech.* 36, (1963), 1081-1106
- [Schwartz 1982] Schwartz Seymour S., Goodman Sidney H., "Fillers and reinforcements" in *Plastic Materials and Processes* Van Nostrand Reinhold 1982. pp 472-505.
- [Sha 1995] Sha Y., Hui Y., Ruina A., Kramer E.J., "Continuum and discrete modeling of craze failure at craze tip in a glassy polymer" *Macromolecules*, 28, (1995) 2450-2459.
- [Smith (1959)] Smith T.L. *Trans. Soc. Rheol.* 3, (1959) 113
- [Sneddon 1946] Sneddon I.N. "The distribution of stress in the neighbourhood of a crack in an elastic solid" *Proceedings Royal Society of London*, A-187 (1946) 229-260
- [Sovitec 1996] Sovitec Ibérica S.A. "Microesferas de Vidrio" Informe Técnico. (1996)

- [SRAC 1992] Structural Research and Analysis Corporation. Cosmos/m user guide. Santa Monica, California 1992.
- [Stellbrink 1998] Stellbrink Kuno K. "Micromechanics of Composites". Hanser Publishers (1998)
- [Sumita 1982] Sumita M., Okuma T., Miyasaka K., Ishikawa K., J. Appl. Polym. Sci. 27, (1982), 3059.
- [Sumpter 1973] Sumpter J.D, Turner C.E., Int. J. Fracture, 9, (1973), 320,
- [Timoshenko 1984] Timoshenko S.P., Woinowsky-Krieger S. "Theory of plates and shells" 2 edición Mc Graw-Hill Kogakuska ltd. Tokio 1984.
- [Titov 1975] Titov W.V., Lanham B.J., "Reinforced thermoplastics" Applied Science Publishers London 1975 pp 88-96.
- [Turcsányi 1988] Turcsányi B., Pukánszky B., Tüdös f., Composition dependence of tensile yield stress in filled polymers" Journal of Materials Science Letters 7 (1988) 160-162.
- [Turner 1988] Turner S. "The impact performance of composite materials" en Técnicas de impacto de materiales plásticos y compuestos. Ed. A.B Martínez. UPC 1988.
- [UNE 53-118] UNE 53-118 "Materiales plásticos. Determinación de la temperatura de reblandecimiento VICAT", 1978.
- [UNE 53-090] UNE 53-090. "Determinación del contenido en cenizas de materiales plásticos" Marzo 1976.
- [Van Hartingsveldt 1982] Van Hartingsveldt E.A.A., Van Aarten J.J "Strain-rate dependence of interfacial adhesion in particle-reinforced polymers" Polymer , Vol 32, (1982) nº 8.
- [Velasco 1996] Velasco J.I., "Fractura de compuestos polipropileno-talco" Tesis Doctoral, UPC 1996.
- [Vollenberg 1986] Vollenberg P., Heikens D., "The effects of particle size on the mechanical properties of composites" in Composite Interfaces" Ed. H. Ishida y J.L Koenig (1986) 171-175
- [Vollenberg 1988] Vollenberg P., Heikens D., Ladaan H.C.B., " Experimental determination of thermal and adhesion stress in particle filled thermoplast" Polymer Composites, Vol 9, nº 6, (1988), 382-388.
- [Vollenberg, 1989-a] Vollenberg P.H.T., Heikens D., Polymer 30, (1989), 1656-1662.
- [Vollenberg 1989-b] Vollenberg P.H.T., de Haan J.W., Heinkens D., Polymer 30, (1989), 1663-1668.
- [Vu-Khanh 1988] Vu-Khan T., Determination of impact fracture parameters in ductile polymers. Polymer, 29 (1988), 1979-1984.

- [Vu-Khanh 1990] Vu-Khan T, Fisa B., "Effects of fillers on fracture performance of thermoplastics: strain energy density criterion". Theoretical and Applied Fracture Mechanics 13, (1990), 11-19.
- [Wambach 1968] Wanbach A., K. Trachte A. DiBenedetto J. Composite Mater., 2, (1968), 266.
- [Ward 1983] Ward I.M. "Mechanical properties of solid polymers" 2nd. Ed. Jhon Wiley & Sons London (1983)
- [Watson 1985] Watson W.D., Wallace T., "Polystyrene and Styrene Copolymers" Applied Polymer Science, 364-382. American Chemical Society 1985.
- [Westergaard 1939] Westergaard, H.M. "Bearing pressures and cracks" Journal of Applied Mechanics, 6, (1939), 49-53.
- [Whelan 1995] Whelan A. Craft, J.L. "British Plastics and Rubber", p 29 Nov 1982.
- [Williams 1957] Williams M.L. "On the stress distribution at the base of a stationary crack" Journal of Applied Mechanics, 24, (1957), 109-114.
- [Williams 1964] Williams J.G., Ford H., J Mech. Eng. Sci. 6, (1964), 405-417.
- [Williams 1978] Williams J.G Adv. Polym. Sci. 27, (1978), 67-120.
- [Williams 1984] Williams J.G., "Fracture Mechanics of polymers" Ellis Hoorwood, Chichester 1984.
- [Williams 1987] Williams J.G., Adams G.C. "The analysis of instrumented impact test using a mass-spring model" Int J. Fracture 33, (1987), 209-222.
- [Wool 1989] Wool R.P., Yuan B-L., Mc Garel O. J. Polym. Eng Sci., 29, (1989)1340.
- [Young 1989] Young W. C. "Roark's formulas for stress and strain" 6th Ed. Mc Graw Hill. New York 1989.
- [Young 1994] Young R.J, Lowell P.A. "Introduction to Polymers" 2nd. Edition. Chapman & Hall. London 1994.
- [Zhang 1989] Zhang M.J., Zhu, F.X, Su, X.R., Polym Eng. Sci. 29, (1989), 1142.
- [Zienkiewicz 1982] Zienkiewicz O.C., El método de los elementos finitos. Ed. Reverté. Barcelona (1982)