

Capítulo 7

Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Existe una gran diferencia en los resultados de "rugosidad" entre los dos lados del papel Couché, es necesario tomar en cuenta este parámetro ya que los dos lados se comportan diferentes al momento de trabajar con este material.
- No existe una gran diferencia en los resultados de "rugosidad" entre los dos lados del papel BPL21, esto es debido a que la composición del material es casi pura celulosa.
- El papel BPL21 resultó ser 40% más resistente en la dirección máquina, y el papel Couché 50% más resistente en la misma dirección y realizando una comparación entre ellos el papel BPL21 resultó ser el más resistente.
- En los resultados de rasgado en el papel BPL21 casi no se presenta diferencia debido a que no hay tantos obstáculos para que la grieta se propague contrario a lo que sucede en el papel Couché el cual cuenta con más heterogeneidades.
- El papel Couché presenta más cargas minerales, productos químicos y aditivos que el papel BPL21 como lo muestra los resultados de la prueba de cenizas esto tiene influencia en la resistencia al rasgado y en la "rugosidad".

- El papel BPL21 cuenta con un contenido de fibras más largas que el Couché por esta razón es que el papel más delgado es más resistente que el grueso.
- Observando las imágenes de microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido los dos papeles presentan isotropía estructural pero se presenta anisotropía de acuerdo a los resultados de las propiedades mecánicas.
- El método de Z_{max} arroja resultados más cercanos al esperado teóricamente.
- En el papel couche el exponente de Hurst siempre es mayor en comparación con el BPL21, el papel BPL21 siempre es cercano a $2/3$ aún a 45 grados, en el papel Couché no es así, es cercano en la dirección máquina y transversal pero a 45 grados el valor es el mismo que el observado en superficies de fractura en condiciones tridimensionales.
- En la dirección a 45 grados se obtiene un valor más alto de ζ , tendiente al valor "tridimensional" de 0.78.
- Se puede proponer que el valor de $\zeta=0.78$ reportado para propagación tridimensional rápida, es un valor *atractor* al cual tiende el valor de ζ en condiciones cuasibidimensionales. Así, a medida que el espesor aumenta y/o la dirección de propagación se desvía de las principales direcciones anisotrópicas, ζ se va a aproximar al valor tridimensional de $\zeta=0.78$.

7.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar más experimentos cambiando el ángulo desde 0 a 90 grados en la prueba rasgado para obtener una distribución de fuerza contra ángulo para poder cuantificar la anisotropía.
- Es necesario llevar a cabo más experimentos a longitud de escala mayores para lograr encontrar la longitud de correlación.
- Modelación y simulación multiescalar con métodos que consideren detalles de la estructura a nivel atómico e.g. Dinámica Molecular, para simular el proceso de propagación de la grieta a través del material y observar la interacción con las heterogeneidades presentes en el material.
- Es recomendable aplicar otros métodos para el análisis autoafín, ondeletas, por ejemplo para calcular el exponente de Hurst.
- Por último es interesante analizar más profundamente las estructuras de vaso para ver que tanto influyen en las propiedades mecánicas. Así recomendamos un estudio y análisis para encontrar el origen de estas estructuras.

Referencias bibliográficas

1. Griffith A. A., Philos. Trans. R. Soc. London, vol 221 A, 1920, pp. 163-198; First Int. Congr. Appl. Mech., Delft, p. 55, 1924; this paper has been reprinted with annotations in Trans. Am. Soc.-Met., vol.61, pp. 871-906, 1968.
2. Irwin G.R., Relation of Stress Near a Crack to the Crack Extension Force, Proc. 9th Int. Congr. Appl. Mech., V. VIII, pp. 245-251, 1957.
3. Mandelbrot B.B., Les Objets Fractals: Forme, Hasard et Dimension, Flammarion, Paris, 1975.
4. Balankin, A. S., Galicia-Cortez, M. A., Susarrey, O., Urriolagoitia, G., Avila, R., Campos, S. I., Mendez, J., Bravo-Ortega, A. & Oseguera, J.P., Self-Affine Properties of Rupture Lines in Paper Sheets. Int. J. fracture pp.87, L37-L42, 1997
5. Balankin, A. S., Susarrey, O. & Bravo A., Self-Affine Nature of the Stress-Strain Behavior of Thin Fiber Networks, Physical Review E, Vol.64, 066131, 2001.
6. Balankin, A. S. & Susarrey, O., Mecánica de las Grietas Autoafines en Hojas de Papel Fragilizado, Revista Mexicana de Física 45 (4) 388-392, 1999.
7. Balankin, A. S., Hernández, L.H. Susarrey, O., Urriolagoitia, G., González, J.M. & Martínez, J., Probabilistic Mechanics of Self-Affine Cracks in Paper Sheets. Proc. R. Soc. Lond. A. pp. 455, 2565-2575, 1999.
8. Balankin, A. S., Physics of Fracture and Mechanics of Self-Affine Cracks, Eng. Fracture Mech. 57, pp. 135-204, 1997.
9. Balankin, A. S., Sandoval, F. J., Self Affine Properties of Fracture Surfaces, Revista Mexicana de Física 43, No 4, pp.545-591, 1996.
10. Mandelbrot B.B., Passoja D. E., and Paullay A. J., Fractal Character of Fracture Surfaces of Metals, Nature 308, pp. 721-722, 1984.
11. Bouchaud E., Lapasset G., and Planes J., Europhys. Lett. 13 73, 1990.

12. Fracture surfaces: Aparent Roughness, Relevant Length Scales and Fracture Toughness. E. Bouchaud, J.P. Bouchaud. *Physical Review B*. Vol. 50., Num. 23, pp 50–54. (1994).
13. Maloy K. J., Hansen A., Hinrichsen E. L. And Roux S., *Phys. Rev. Lett.* 68 pp.213, 1992.
14. Milman V. Y., Blumenfeld R., Stelmashenko N. A., and Ball R. C., *Phys. Rev. Lett.* 71 204, 1993.
15. Milman V. Y., Stelmashenko N. A., and Blumenfeld R., *Prog. Mater. Sci.* 38 425, 1994.
16. Daguier Pascal, Henaux Stéphane, Bouchaud Elisabeth and Creuzet Francois, Quantitative Analysis of a Fracture Surface by Atomic Force Microscopy, *Physical Review E*. Vol. 53, No.6, 1996.
17. Long Distance Roughness of Fracture Surfaces in Heterogeneous Materials. Hinojosa M., Bouchaud E., and Nghiem B., *MRS Symp. Proc.* Vol. 539, (1999), pp 203–208.
18. Edgar Reyes Melo, Tesis M.C., Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica U.A.N.L., (1999).
19. Self-Affine Measurements on the Fracture Surfaces of Plastic Materials by AFM., E. Reyes, C. Guerrero, V. González, and M. Hinojosa. *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol. 578, (2000), pp. 357–361.
20. Aldaco Castañeda J. A., Autoafinidad de Superficies de Fractura en una Aleación de Aluminio Silicio, Tesis de Maestría de la Universidad Autónoma de Nuevo León, 2000.
21. Long Distance Surface Roughness of Fracture Surfaces on a Dendritic Aluminium Alloy, J. Aldaco, F. J. Garza, and M. Hinojosa, *MRS Symp. Proc.* Vol., (1999), Vol. 578, pp. 351–356.
22. Guerrero Dib X. E., Propagación de Grietas Autoafines en una Aleación de Aluminio: Caso Bidimensional, Tesis de Maestría de la Universidad Autónoma de Nuevo León, 2001.
23. Kertész, J., Horvásh, V. K. & Weber, F., Self-Affine Rupture Lines in Paper Sheets. *Fractals* 1, pp. 67–74, 1993.

24. Provatas, N., Alava, M.J. & Ala – Nissila, T., Density Correlations in Paper, Phys. Rev. E54, R36–R38, 1996.
25. González V. Jorge L., Mecánica de la Fractura, Limusa, México, España, Venezuela, Colombia, 1988.
26. Marc André Meyers and Krishan Kumbar Ch., Mechanical Metallurgy Principles and Applications, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 133-182, 1984.
27. Revista Científica, año 3, número 22, Mexico, D.F., 2000
28. Uccelli A. "Leonardo da Vinci" Reynal & Co; New York ,1956.
29. Galilei G. "Discorsie Dimostrazioni Matematiche sopra due Nuove Sciebze" ed. Elsevini, Leiden, 1638.
30. Inglis C. E., Trans. Inst. Nav. Archit., vol 55, pt. I, pp. 219-230, 1913.
31. Dieter George Ellwood, Mechanical Metallurgy SI Metric Edition, McGraw Hill, pp. 241-272, 348-374, 1988.
32. Orowan E., Fatigue and Fracture of Metals, symposium at Massachusetts Institute of Technology, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1952.
33. Boyd G.M., Brittle Fracture in Steel Structures, Butterworths, London, 1970.
34. Parker E.R., Brittle Fracture of Engineering Structures, Wiley, New York, 1957.
35. Tipper C. F., The Brittle Fracture Story, Cambridge University Press, London, 1962.
36. Imagen captada once días antes del accidente del Columbia publicada originalmente en el periódico Israeli Maariv, 2003.
37. R. Askeland Donald, La Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Grupo Editorial Iberoamérica, pp. 505-531, 1987.
38. Callister William D., Materials Science and Engineering An Introduction, Department of metallurgical Engineering the University of Utah, 2000.

39. Derek Hull, Fractography observing, measuring and interpreting fracture surface topography, Cambridge University Press, 1999.
40. Engineered Materials Handbook, Ceramics and Glasses, ASM International, Vol. 4, 1991.
41. Chávez Guerrero L., Tesis de Licenciatura de la Universidad Autónoma de Nuevo León, 2001.
42. Salminen, L.I., Tolvanen, A.I., & Alava, M.J., Acoustic Emission From Paper Fracture, Phys. Rev. Lett. 89, 185503, 2003.
43. Barnsley Michael F., Fractals Everywhere Second Edition, Academic Press Professional, pp. 199, 1993.
44. Feder Jens, Fractals, Plenum Press, New York and London, pp. 15, pp. 14, pp.165, pp. 176, pp. 149-162.1988.
45. González Virgilio A., Chacón Oscar, Hinojosa Moisés, and Guerrero Carlos, Statistical Assessment of Self – Affine Methods Applied to Short Profiles, Fractals, Vol. 10, No.3, pp. 373–386, 2002.
46. Bouchaud J.P., Bouchaud E., Lapasset G., and Planes J.; Physics Review Letters, 71 2240, 1993; Bouchaud J.P., Bouchaud E., Lapasset G., and Planes J., Fractals, p.p. 1, 1051, 1993.
47. Ertas D., and Kardar M., Physics Review Letters, 69 929, 1992.
48. Ertas D., and Kardar M., Physics Review E, 48 1227, 1993.
49. Ertas D., and Kardar M., Physics Review Letters, 73 1703, 1994.
50. Roux S. and François; Scr. Metallurgy; 25,1092;1991.
51. Nakano A., Kalia R., and Vashista P.; Physics Review Letters; p.p. 75, 3138;1995.
52. Daguiet, M. Pascal; Effets D'échelle Dans la Rupture des Matériaux Hétérogènes; These de Doctorat de l'Université Paris 6; pp. 32 – 46; Novembre, 1997.
53. Hansen, A.; Hinrichsen, E. L. and Roux, S.; Physics Review Letters; N. 66, p.p.. 2476; 1991.

54. Grolier International, Inc. Nueva Enciclopedia Temática, trigésima segunda edición, quinta reimpresión, Sherman Turnpike, Danbury, Connecticut, U.S.A, Editorial Cumbre, Volumen 5, p.p. 330-331, 1963.
55. Casey J.P. "Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology", 3ª Ed. John Wiley & Sons. New York. 1980.
56. Bristow Anthony J., Kolseth P., "Paper Structure and Properties", Copyright, Marcel Dekker, Inc./ New York, 1986.
57. Scott W.E. "Properties of Paper: An Introduction", TAPPI Press. Atlanta, GA. 1989.
58. Van Den Akker J.A. "Structure and Tensile Characteristics of Paper". TAPPI Vol. 53, Nº 3. March 1970.
59. TAPPI, T 400 sp-97, Sampling and accepting a single lot of paper, paperboard, containerboard, or related product, 1997.
60. UNE 57-080-88, Determinación de la rugosidad o lisura, Parte 2: método Bendtsen, Octubre 1988.
61. UNE 57-066-86, Determinación de la permeabilidad al aire, Parte 2: método Bendtsen, Diciembre 1986.
62. TAPPI, T 494 om-96, Tensile properties of paper and paperboard (using constant rate of elongation apparatus), 1996.
63. TAPPI, T 414 om-98, Internal tearing resistance of paper (Elmendorf - type method), 1998.
64. TAPPI, T 411 om-97, Thickness (caliper) of paper, paperboard, and combinedboard, 1997.
65. TAPPI, T 410 om-98, Grammage of paper and paperboard (weight per unit area), 1998.
66. TAPPI, T 211 om-93, Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C, 1993.
67. TAPPI, T 412 om-94, Moisture in pulp, paper and paperboard, 1994.
68. TAPPI, T 409 om-98, Machine direction of paper and paperboard, 1998.
69. TAPPI, T233 om-95, Fiber length of pulp by classification, 1995.