

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación se llevó a cabo el estudio cinético de la cristalización de vitrocerámicos a partir de tres residuos industriales de alto nivel de generación en la región noreste de México, por medio de un método termoanalítico no isotérmico.

Se confirmó la hipótesis planteada en esta tesis, ya que **es posible** obtener vitrocerámicos a partir de residuos industriales, utilizando dos agentes nucleantes.

Se cumplieron los objetivos propuestos para esta tesis:

Se sintetizaron y caracterizaron vitrocerámicos partiendo de residuos sólidos inorgánicos de alto volumen de generación. Así mismo se caracterizó su cinética de cristalización, elucidando sus parámetros cinéticos y mecanismos dominantes.

Se evaluó el efecto de la presencia de agentes nucleantes sobre la cinética de cristalización, para un vidrio base, tipo piroxeno preparado a partir de tres residuos industriales, con composición (% en peso) SiO_2 $53.34 \pm 0.18\%$, CaO $25.43 \pm 0.15\%$, MgO $8.56 \pm 0.01\%$, Al_2O_3 $10.0 \pm 0.05\%$, Fe_2O_3 $1.75 \pm 0.01\%$, K_2O $0.720 \pm 0.005\%$, TiO_2 $0.401 \pm 0.001\%$, Na_2O $0.37 \pm 0.01\%$ y Cr_2O_3 $0.005 \pm 0.001\%$.

Sin adiciones de agente nucleante, el valor del parámetro de Avrami calculado fue de 1.2 a 1.6 para los materiales sintetizados, arrojando un mecanismo dominante de cristalización del tipo superficial, lo que indica que las impurezas intrínsecamente presentes en los residuos industriales utilizados, no actuaron como promotores de la cristalización en el volumen del vidrio de partida, debido a que su concentración era baja.

Por otro lado, se logró cambiar el mecanismo dominante de cristalización, de superficial a volumétrico, a través de la incorporación de dos agentes nucleantes en la masa vitrificable. Con el uso de cada uno de éstos dos agentes nucleantes por separado, se logró disminuir el valor de la energía de activación de la cristalización, respecto al vidrio en el que no se empleó ninguna ayuda de la cristalización. Ésto indica que los nucleantes empleados realizaron eficazmente su función.

Los intervalos de las energías de activación para la cristalización calculados y válidos para la composición nominal mencionada antes fueron: 482 a 534 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ para el vidrio sin agentes nucleantes, 400 a 482 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ para el vidrio base con 0.5% de Cr_2O_3 añadido y 360 a 380 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ para el vidrio base con 2% de Sb_2O_3 adicionado. El Sb_2O_3 resultó ser el agente nucleante más efectivo para este vidrio, ya que logró disminuir en alrededor de un 25% el valor de la energía de activación de la cristalización calculada, en comparación con el Cr_2O_3 y en un 32% en comparación con el vidrio sin agentes nucleantes.

El análisis de las dos exotermas de cristalización que se obtuvieron por DTA para el vidrio base con adiciones de 0.5% en peso de Cr_2O_3 , produjo un valor del parámetro de Avrami para la primer exoterma de 1.3 a 1.6 y de 2.5 a 4 para la segunda exoterma, lo

que sugiere un mecanismo combinado de cristalización del tipo superficial-volumétrico. Para adiciones del 2% en peso de Sb_2O_3 al vidrio base se determinó una sola exoterma, de la cual se elucidó un parámetro de Avrami de 2.2 a 2.4, el cual sugiere que el mecanismo dominante de cristalización es del tipo volumétrico.

Los mecanismos dominantes de cristalización elucidados a través del análisis cinético, fueron confirmados por microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido.

La variación del tamaño de partícula no tuvo un efecto significativo sobre los mecanismos dominantes de cristalización, ni sobre la energía de activación que se determinaron para cada caso: vidrio sin agentes nucleantes, vidrio con 0.5% en peso de Cr_2O_3 y vidrio con 2% en peso de Sb_2O_3 .

Se determinó la curva de nucleación máxima para el vidrio tipo piroxeno con 0.5% de Cr_2O_3 , encontrándose una temperatura de nucleación máxima de 725°C y una temperatura de 1078.6°C para el crecimiento cristalino.

Se establecieron las rutas de cristalización para los vitrocerámicos sintetizados con 0.5% de Cr_2O_3 , utilizando difracción de rayos-X en polvos. Estas procedieron según el tratamiento térmico aplicado:

- Para tratamiento a las condiciones de nucleación máxima, se obtuvo únicamente la fase diópsido, $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Al})(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_6$.
- Las muestras calentadas a la temperatura del primer pico o exoterma de cristalización precipitaron la fase diópsido después de 46 minutos de tratamiento, que continuó apareciendo como fase única inclusive hasta después

de una hora. En tiempos largos, del orden de las 51 h, se desarrolló también la fase wollastonita, CaSiO_3 .

- Las muestras tratadas a la temperatura del segundo pico de cristalización, precipitaron la fase dióxido dentro de los primeros 10 minutos. A los 27 minutos se formó la fase wollastonita y a tiempos largos de 24 h, se desarrolló anortita, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.

En todos los casos, la fase cristalina predominante fue el dióxido. La cristalización procedió vía separación de fases inmiscibles, según se demostró por MEB.

Se determinaron la resistencia al ataque químico y la microdureza Vickers del vitrocerámico tipo piroxeno con 0.5% en peso de Cr_2O_3 , encontrándose que sus valores superaron a las correspondientes del vidrio de partida. De lo anterior se concluye que las fases cristalinas desarrolladas durante la síntesis de los vitrocerámicos, fueron las responsables de conferir tal mejora en las dos propiedades.

Se utilizaron con éxito tres residuos sólidos industriales de alto volumen de generación en la zona noreste del país, en la vitrificación y en la producción de vitrocerámicos del sistema cuaternario $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, incorporando en la mezcla vitrificable o batch hasta un 85.9% de los residuos. Potencialmente, ésto representa retirar del medio ambiente una cantidad importante de dichos residuos, si se produjeran industrialmente los vitrocerámicos que se sintetizaron en este trabajo.

Por último se concluye que la combinación del proceso vitrocerámico con el reciclaje de residuos industriales, representa una solución adecuada al deterioro medio ambiental, producto de varias actividades industriales, y abre oportunidades para darle valor comercial a los residuos.

RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

- Obtener la curva de nucleación máxima, estudiar la ruta de cristalización y determinar las propiedades mecánicas y químicas de los vitrocerámicos con 2% en peso de Sb_2O_3 , para caracterizarlos de una manera más completa ya que, como pudo constatarse en el presente trabajo, exhibieron una energía de activación de la cristalización menor respecto a los sintetizados con Cr_2O_3 . Ésto implicaría desde el punto de vista industrial, que los vitrocerámicos con un 2% en peso de Sb_2O_3 serían económicamente más viables de producir porque requerirían de temperaturas menores para su síntesis.
- En virtud de las buenas propiedades mecánicas y químicas que los vitrocerámicos con Cr_2O_3 exhibieron en el presente trabajo y a que presentaron energías de activación de la cristalización relativamente altas, convendría intentar su producción por vía petrúrgica o por sinterización, con el objetivo de emplear menos energía en su síntesis. Ésto para que, a futuro, resultara económicamente más atractiva su producción a escala comercial.
- Estudiar otros residuos de alto volumen de generación, tanto para ampliar la gama de propiedades explotables de los vitrocerámicos producidos a partir de ellos, como para su eliminación del medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Olivas Islas, M.R. Cumplimiento ambiental ante el desarrollo económico de México: Retos para el estado de Nuevo León, en libro: Acción jurídica para el desarrollo sostenible, Ed. Vázquez, R. y Eaton, D.W. Fondo de América del Norte para la Cooperación Ambiental.(1998).
2. Rojo, J.C. Un valioso recurso. Obras. 48-53.(1995).
3. Bereznoi, A.I. Glass-ceramics and photo-sitalls. Plenum Press, NY.(1970).
4. Shelestak, L.J., Chávez, R.A., Mackenzie, J.D. y Dunn, B. Journal of Non-Crystalline Solids. 27:83.(1978).
5. Réaumur, M. The art of making a new type of porcelain by very simple and easy methods of transforming glass into porcelain, Part I. Memoires de l'Academie des Sciences, 1739. 370-388.(139).
6. Rincón, J.Ma., Romero, M. y Hernández, M. Proceed. International Workshop on recycling of wastes. UNIDO-Monterrey, N.L., México. October 3-7.(1978).
7. Kitigorodski, I.I. y Bondarov, K.T. Glass ceramics –A new universal material. Soviet Daily Newspaper. Pravda, 22 March 1963.
8. Pavlushkin, N.M. Principles of sital technology. Mashinostroenie. Moscow.(1970).
9. Karyakin, V.A., Kruchinin, Yu.D., Sazonov, A.A., Nagornova, E.A. y Turusheva, G.Yu. Wear-resistant slag sital for compressed-air lines. Steklo i Keramika. 3:30-31.(1982).

10. Trunaev, V.E. Synthesis of iron-containing glass-ceramic materials using slags from lead production. *Steklo i Keramika*. 4:6-7.(1982).
11. Cioffi, R., Pernice, P., Aronne, A., Catauro, M. y Quattroni, G. Glass-ceramics from fly-ash with added Li_2O . *Journal of the European Ceramic Society*. 13:143-148.(1994).
12. Pelino, M., Cantalini, C., Veglio, F. y Plescia, P.P. Crystallization of glasses obtained by recycling goethite industrial wastes to produce glass-ceramic materials. *Journal of Materials Science*. 29:2087-2094.(1994).
13. Barbieri, L., Manfredini, T., Queralt, I., Rincón, J.M. y Romero, M. Vitrification of fly ash from thermal power stations. *Glass Technology*. 38:165-170.(1997).
14. Pelino, M., Cantalini, C. y Rincón, J.Ma. Preparation and properties of glass-ceramic materials obtained by recycling goethite industrial waste. *Journal of Materials Science*. 32:4655-4660.(1997).
15. Boccaccini, A.R., Petitmermet, M. y Wintermantel, E. Glass-ceramics from municipal incinerator fly ash. *The American Ceramic Society Bulletin*. 75-78.(1997).
16. Barbieri, L., Lancellotti, I. y Pellacani, G.C. Vitrification of municipal waste incinerator bottom ash and product properties. *Proceedings of the 18th International Congress on Glass*. San Francisco, CA, USA.(1998).
17. Öveçoğlu, M.L. Microstructural characterization and physical properties of a slag-based glass-ceramic crystallized at 950 and 1100°C. *Journal of the European Ceramic Society*. 18:161-168.(1998).
18. Barbieri, L., Lancellotti, I., Manfredini, T., Queralt, I., Rincón, J.Ma. y Romero, M. Design, obtainment and properties of glasses and glass-ceramics from coal fly ash. *Fuel*. 78:271-276.(1999).
19. Kamaranov, A., Taglieri, G. y Pelino, M. Iron-rich sintered glass-ceramics from industrial wastes. *Journal of the American Ceramic Society*. 82:3012-3016.(1999).

20. Romero, M. y Rincón, J.Ma. Surface and bulk crystallization of glass-ceramic in the $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{ZnO}-\text{PbO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ system derived from a geothite waste. *Journal of the American Ceramic Society*. 82:1313-1317.(1999).
21. Uría, L. y Eduardo, T. Composición de materiales vitrocrystalinos. Patente cubana No. CU22558A1.(1999).
22. Romero, M., Rawlings, R.D. y Rincón, J.Ma. Cristal nucleation and growth in glasses from inorganic wastes from urban incineration. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 271:106-118.(2000).
23. Erol, M., Genç, A., M.L., Yücelen, E., Küçükbayrak, S. y Taptik, Y. Characterization of a glass-ceramic produced from termal power plant fly ashes. *Journal of the European Ceramic Society*. 20:2209-2214.(2000).
24. Barbieri, L., Corradi, A. y Lancellotti, I. Alkaline and alkaline-earth silicate glasses and glass-ceramics from municipal and industrial wastes. *Journal of the European Ceramic Society*. 20:2477-2483.(2000).
25. Barbieri, L., Corradi, A. y Lancellotti, I. Bulk and sintered glass-ceramics by recycling municipal incinerator bottom ash. *Journal of the European Ceramic Society*. 20:1637-1643.(2000).
26. Barbieri, L. Ferrari, A.M., Lancellotti, I., Leonelli, C., Rincón, J.Ma. y Romero, M. Crystallization of $(\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO})-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ glassy systems formulated from waste products. *Journal of the American Ceramic Society*. 83:2515-2520.(2000).
27. Kamaranov, A., Piscicella, P., Cantalini, C. y Pelino, M. Influence of $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ on the crystallization of iron-rich glasses made with industrial wastes. *Journal of the American Ceramic Society*. 83:3153-3157.(2000).
28. Fredericci, C., Zanotto, E.D. y Ziemath, E.C. Crystallization mechanism and properties of a blast furnace slag glass. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 273:64-75.(2000).
29. Erol, M., Küçükbayrak, S., Ersoy-Meriçboyu, A. y Öveçoğlu, M.L. Crystallization behaviour of glasses produced from fly ash. *Journal of the European Ceramic Society*. 21:2835-2841.(2001).

30. Gorokhovskiy, A.V., Gorokhovskiy, V.A., Mescheryakov, D.V., Méndez-Nonell, J., Escalante-García, J.I., Pech-Canul, M.I. y Vargas-Gutiérrez, G. Inorganic wastes in manufacturing of glass-ceramics: slurry of phosphorous fertilizer production and oil shale ash. *Materials Letters*. 51:281-284.(2001).
31. Barbieri, L., Lancellotti, I., Manfredini, T., Pellacani, G.C., Rincón, J.Ma. y Romero, M. Nucleation and crystallization of new glasses from fly-ash originating from thermal power plants. *Journal of the American Ceramic Society*. 84:1851-1858.(2001).
32. Park, Y.J. y Heo, J. Conversion to glass-ceramics from glasses made by MSW incinerator fly ash for recycling. *Ceramics International*. 28:689-694.(2002).
33. Romero, M., Rincón, J.Ma. y Acosta, A. Effect of iron oxide content on the crystallisation of a diopside glass-ceramic glaze. *Journal of the European Ceramic Society*. 22:883-890.(2002).
34. Barbieri, L., Corradi, A., Lancellotti, I., Novaes, A.P. y Alarcón, O.E. Nucleation and Crystal Growth of a $MgO-CaO-Al_2O_3-SiO_2$ glass with added steel fly ash. *Journal of the American Ceramic Society*. 85:670-674.(2002).
35. Erol, M., Demirler, U., Küçükbayrak, S., Ersoy- Meriçboyu, A. y Öveçoğlu, M.L. Characterization investigations of glass-ceramics developed from Seritömer thermal power plant fly ash. *Journal of the European Ceramic Society*. 23:757-763.(2003).
36. Francis, A.A. Non-isothermal crystallization kinetics of a blast furnace slag glass. *Journal of the American Ceramic Society*. 83:1859-1863.(2005).
37. Peng, F., Liang, K. y Hu, A. Nano-crystal glass-ceramics obtained from high alumina coal fly ash. *Fuel*. 84:341-346.(2005).
38. Bernardo, E., Varrasso, M., Cadamuro, F. y Hreglich, S. Vitrification of wastes and preparation of chemically stable sintered glass-ceramic products. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 352:4017-4023.(2006).
39. Bernardo, E., Castellan, R., Hreglich, S. y Lancellotti, I. Sintered sanidine glass-ceramics from industrial wastes. *Journal of the European Ceramic Society*. 26:3335-3341.(2006).

40. Kavouras, P., Ioannidis, Th.A., Kehagias, Th., Tsilika, I., Chrissafis, K., Kokkou, S., Zouboulis, A. y Karakostas, Th. EAFD-loaded vitreous and glass-ceramic materials. *Journal of the European Ceramic Society*. 27:2317-2323.(2007).
41. Mejía-Ramírez, E., Gorokhovskiy, A. y Escalante-García, J.I. Crystallization behavior of glasses in the system of $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ with high contents of nickel oxide. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 353:366-373.(2007).
42. Mejía-Ramírez, E., Gorokhovskiy, A. y Escalante-García, J.I. Glass-ceramics based on hazardous industrial wastes as a material to produce containers to confine other toxic wastes. *Glass Science and Technology*. En prensa.
43. Monteiro, R.C.C., Figueredo, F. y Fernández, M.H.V. Properties and microstructure of sintered glass ceramics made from incinerator bottom ash. *Glass Science and Technology*. En prensa.
44. Gómez, E., Amutha Rani, D., Cheeseman, C.R., Boccaccini, A.R. y Deegan, D. Glass-ceramics from plasma treated air pollution control residues of waste incineration. *Glass Science and Technology*. En prensa.
45. Ray, C.S., Huang, W. y Day, D.E. Crystallization kinetics of lithia-silica glasses: Effect of composition and nucleating agent. *Journal of the American Ceramic Society*. 70:599-603.(1987).
46. Ray, C.S., Huang, W. y Day, D.E. Crystallization kinetics of lithia-silica glass: Effect of sample characteristics and thermal analysis measurement techniques. *Journal of the American Ceramic Society*. 74:60-66.(1991).
47. Xu, X.J., Ray, Ch.S. y Day, D.E. Nucleation and crystallization of $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{CaO}\cdot 3\text{SiO}_2$ glass by differential thermal analysis. *Journal of the American Ceramic Society*. 74:909-914.(1991).
48. Bansal, N.P., Doremus, R.H., Bruce, A.J. y Moynihan, C.T. Kinetics of crystal ization of $\text{ZrF}_4-\text{BaF}_2-\text{LaF}_3$ glass by differential scanning calorimetry. *Journal of the American Ceramic Society*. 66:233-238.(1983).
49. Marotta, A., Buri, A., Branda, F. y Saiello, S. Nucleation and crystallization of $\text{Li}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$ glass –A DTA study, in *Advances in Ceramics*. Edited by Simmons, J.H.,

- Uhlmann, D.R. and Beall, G.H. American Ceramic Society, Columbus, OH. 4:146-152.(1982).
50. Matusita, K. y Sakka, S. Kinetic study on crystallization of glass by differential thermal analysis –Criterion on application of Kissinger plot. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 38-39:741-746.(1980).
 51. Sestak, J. The applicability of DTA to the study of crystallization kinetics of glasses. *Physics and Chemistry of Glasses*. 15:137-140.(1974).
 52. Ozawa, T. Kinetics of nonisothermal crystallization. *Polymer*. 12:150-158.(1971).
 53. Kissinger, H.E. Variation of peak temperature with heating rate in differential thermal analysis. *Journal of Research of the National Bureau of Standards (U.S.)*. 57:217-221.(1956).
 54. Augis, J.A. y Bennett, J.E. Calculation of the Avrami parameters for heterogeneous solid-state reactions using a modification of the Kissinger method. *Journal of Thermal Analysis*. 13:283-292.(1978).
 55. Thakur, R.L. Determining the suitability of nucleating agents for glass ceramics, in *Advances in nucleation and crystallization of glasses*, American Ceramic Society Glass Division Symposia, Ed. by Hench, L.L., American Ceramic Society, Columbus, OH. 166-172.(1971).
 56. Chen, H.S. A method for evaluating viscosities of metallic glasses from the rates of thermal transformations. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 27:257-263.(1978).
 57. Borchardt, H.J. Initial reaction rates from DTA, *J. Inorg. Nucl. Chem*. 12: 252-254.(1960).
 58. Piloyan, G.O., Ryabchikov, I.D. y Novikova, O.S. Determination of activation energies of chemical reactions by differential thermal analysis. *Nature*. 212: 1229.(1966).
 59. Coats, A.W. y Redfern, J.P. Kinetic parameters from thermogravimetric data. *Nature*. 201: 68-69.(1964).

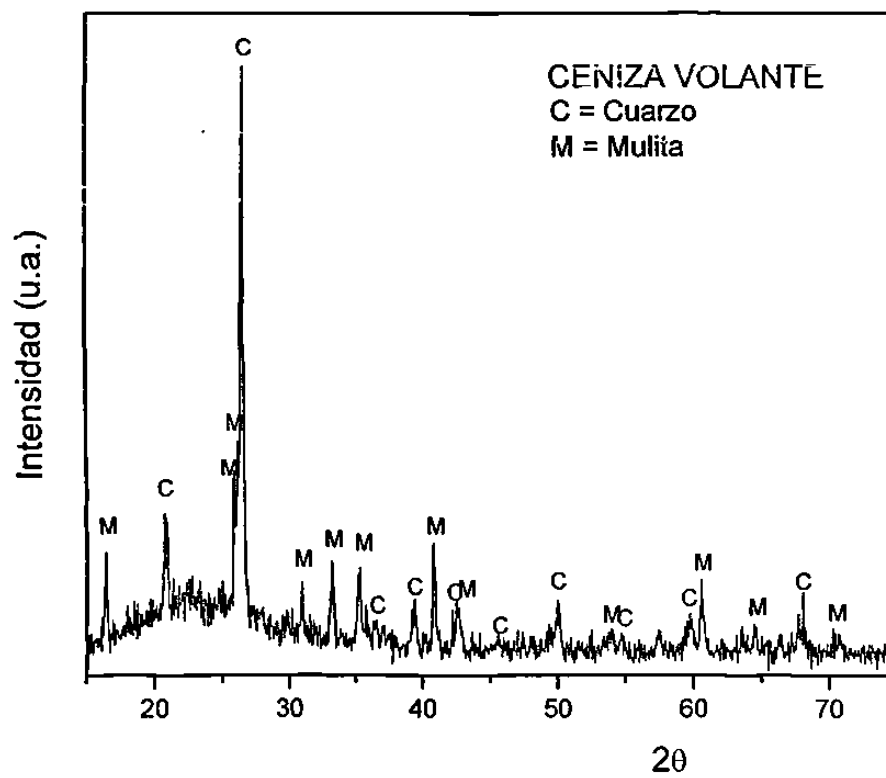
60. Yinnon, H. y Uhlmann, D.R. Applications of thermoanalytical techniques to the study of crystallization kinetics in glass forming liquids, Part I: Theory. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 54:253-275.(1983).
61. Weinberg, M.C. On the analysis of nonisothermal thermoanalytic crystallization experiments. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 127:151-158.(1991).
62. Johnson, W.A. y Mehl, R.F. Reaction kinetics in processes of nucleation and growth. *Trans. Am. Inst. Min., Metall. Pet. Eng.* 135:416-442.(1939).
63. (a) Avrami, M. Kinetics of phase change: I. General theory. *Journal of Chemistry and Physics*. 7:1103-1112.(1939). (b) Avrami, M. Kinetics of phase change: II. Transformation-time relations for random distribution of nuclei. *ibid*, 8:212-224.(1940). (c) Avrami, M. Kinetics of phase change: III. Granulation, phase change and microstructure. *ibid*, 9:177-84. (1941).
64. Ray, Ch.S. y Day, D.E. Determining the nucleation rate curve for lithium disilicate glass by differential thermal analysis. *Journal of the American Ceramic Society*. 73:439-442.(1990).
65. Ray, C.S. y Day, D.E. Nucleation and crystallization in glasses as determined by DTA. *Ceramic Transactions*. 30:207-223.(1993).
66. Kissinger, H.E. Reactive kinetics in differential thermal analysis. *Anal. Chem.*, 29: 1702-1706.(1957).
67. Weinberg, M.C. Interpretation of DTA experiments used for crystal nucleation rate determinations. *Journal of the American Ceramic Society*. 74:1905-1909.(1991).
68. Kelton, K.F. Estimation of the nucleation rate by differential scanning calorimetry. *Journal of the American Ceramic Society*. 75:2449-2452.(1992).
69. Pisciella, P., Crisucci, S., Karamanov, A. y Pelino, M. Chemical durability of glasses obtained by vitrification of industrial wastes. *Waste Managment*. 21:1-9.(2001).
70. Sehgal, J., Nakao, Y., Takahashi, H. e Ito, S. Brittleness of glasses by indentation. *Journal of Materials Science Letters*. 14:167-169.(1995).

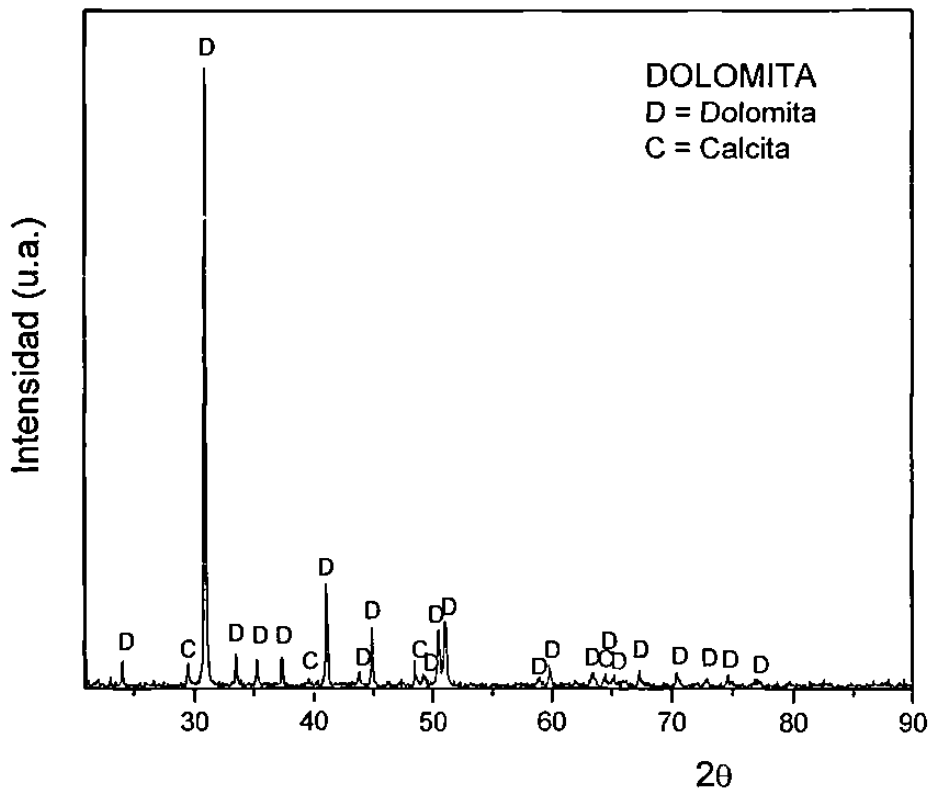
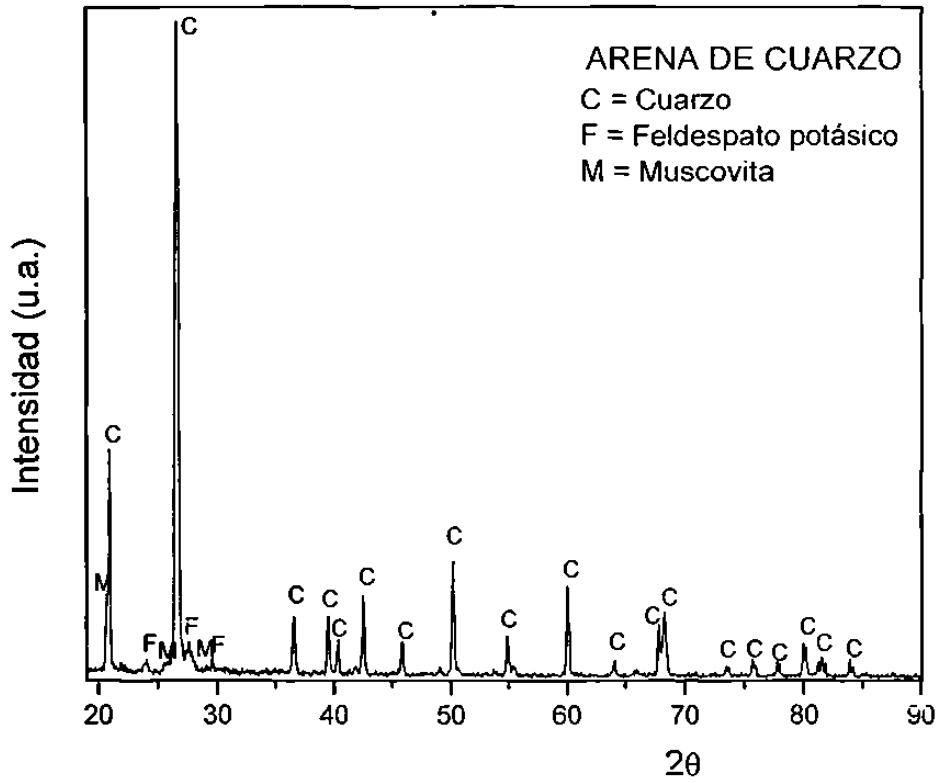
71. Boccaccini, A.R. Assessment of brittleness in glass-ceramics and particulate glass matrix composites by indentation data. *Journal of Materials Science Letters*. 15:1119-1121.(1996).
72. Sehgal, J. e Ito, S. A new low-brittleness glass in the soda-lime-silica glass family. *Journal of the American Ceramic Society*. 81:2485-2488.(1998).
73. Sehgal, J. e Ito, S. Brittleness of glass. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 253:126-132.(1999).
74. Ito, S. Structural study on mechanical behavior of glass. *Journal of the Ceramic Society of Japan*. 112:477-485.(2004).
75. Lawn, B.R. y Marshall, D.B. Hardness, toughness and brittleness: An indentation analysis. *Journal of the American Ceramic Society*. 62:347-350.(1979).
76. Standard test method for microhardness of materials, ASTM E384-89 (Reaprobada en 1997).
77. Salama, S.N. y Salman, S.M. Crystallization characteristics of iron-containing spodumende-diopside glasses. *Journal of the European Ceramic Society*. 12:61-69.(1993).
78. De Vekey, R.C. y Majumdar, A.J. Nucleation and crystallization studies of some glasses in the CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ system. *Mineralogical Magazine*. 37:771-779.(1970).
79. Xu, X., Li, J. Y Yao, L. The crystal nucleation of Li-Al-O-N glasses. *J. Shanghai Inst. Build. Mater.* 2:104-109.(1989).
80. Öveçoğlu, M.L., Kuban, B. y Özer, H. Characterization and crystallization kinetics of a diopside-based glass-ceramic developed from glass industry raw materials. *Journal of the European Ceramic Society*. 17:957-962.(1997).
81. Kuban, B. SiseCam Research Center Final Report No. 331.(1992).

82. Lacourse, W.C. y Likitvanichkul, S. Apatite-wollastonite glass-ceramics. *Journal of Materials Science*. 33:5901-5904.(1998).
- 83.
84. (a) Thakur, R.L. y Thiagarajan, S. Studies in catalyzed crystallization of glasses: A DTA method. *Cent. Glass Ceram. Res. Inst. Bull.* 13:33-45.(1966). (b) Thakur, R.L. y Thiagarajan, S. Kinetics of bulk crystallization of glasses. *Cent. Glass and Ceram. Res. Inst. Bull.* 15:67-70.(1968).
85. Clinton, D., Mercer, R.A. y Miller, R.P. *Journal of Materials Science*. 5:171(1970).
86. (a) Rogers, P.S. y Williamson, J. The nucleation of crystalline phases in silicate glasses containing iron oxides. *Glass Technology*. 10:128-133.(1969). (b) Williamson, J., Tippe, A.J. y Rogers, P.S. Influence of iron oxides on kinetics of crystal growth in CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ glasses. *Journal of the Iron and Steel Institute*. 206:898-903.(1968).
87. Buri, A., Marotta, A. y Giordano, O.P. *Proc. 9th. Inter. Congr. Glass*. I:343(1971). International Commission on Glass, Charleroi.
88. Archivo de difracción de polvos, ficha No. 41-1370. Edición de base de datos 2000, Joint Committee on Powder Diffraction Standards del International Centre for Diffraction Data. Swathmore, Pensilvania, E.U.A.
89. Archivo de difracción de polvos, ficha No. 19-0249. Edición de base de datos 2000, Joint Committee on Powder Diffraction Standards del International Centre for Diffraction Data. Swathmore, Pensilvania, E.U.A.
90. Archivo de difracción de polvos, ficha No. 20-0020. Edición de base de datos 2000, Joint Committee on Powder Diffraction Standards del International Centre for Diffraction Data. Swathmore, Pensilvania, E.U.A.
91. De Veckey, R.C. y Majumdar, A.J. The effect of fabrication variables on the properties of cordierite-based glass-ceramics. Part 2. The effect of composition. *Glass Technology*. 15:71-80.(1974).

APÉNDICES

APÉNDICE A

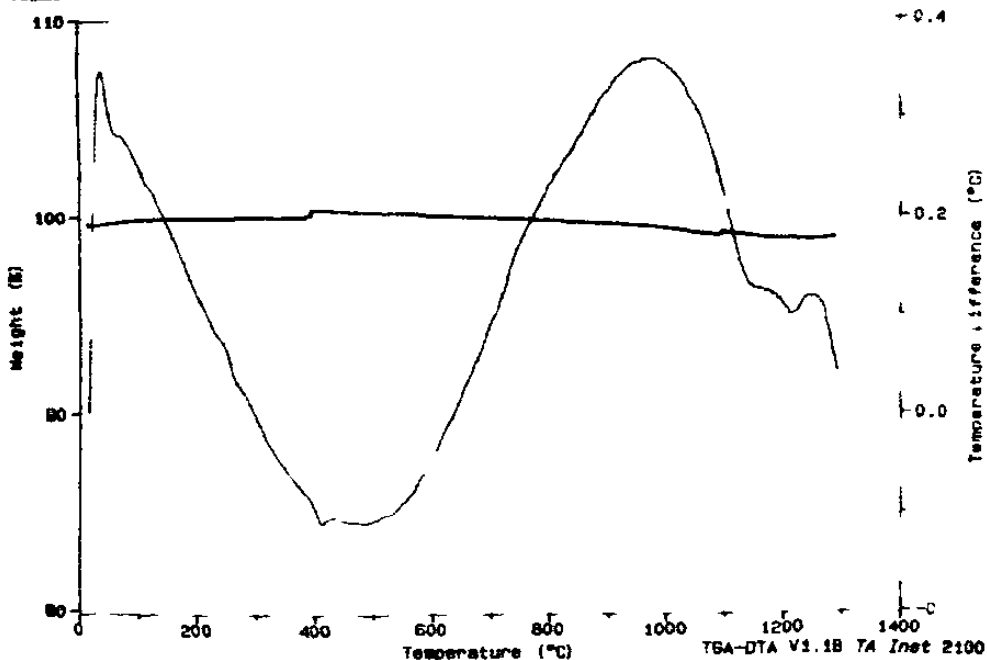
**DIFRACCIÓN DE RAYOS-X EN POLVOS Y ANÁLISIS TÉRMICOS
DIFERENCIALES/TERMOGRAVIMÉTRICOS SIMULTÁNEOS DE LOS RESIDUOS
UTILIZADOS**



Sample: CENIZA VOLANTE CFE
 Size: 13.5761 mg
 Method: ANABEL
 Comment: RAMPA 10°C/MIN HASTA 1300C ATM N2 100ML/MIN

TGA DTA

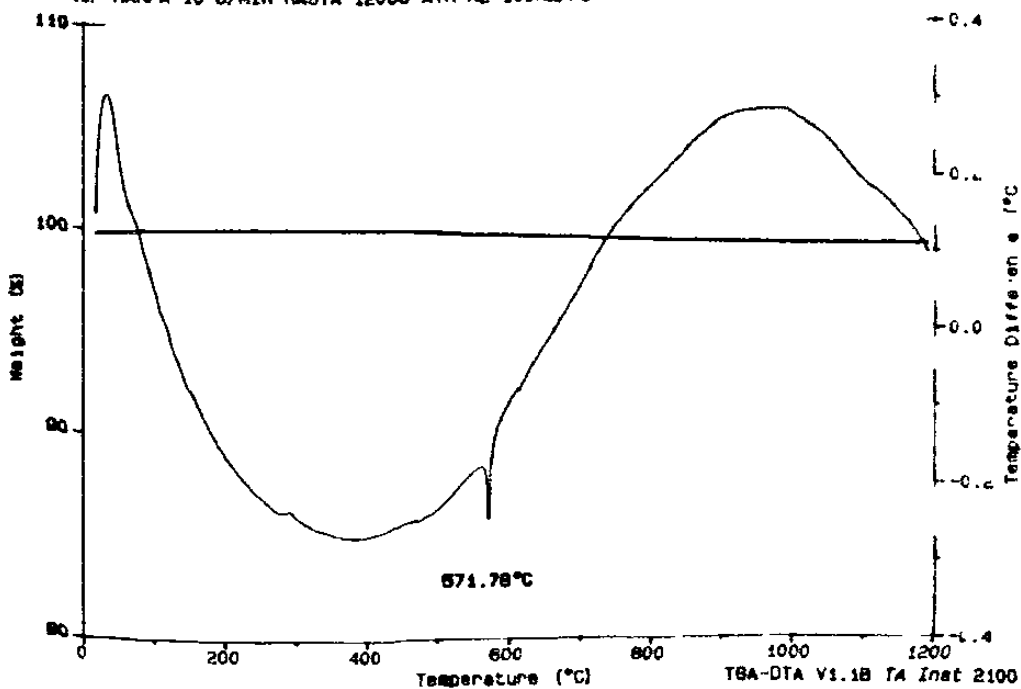
File: C:RESIDUO1
 Operator: ANABEL ALVAREZ
 Run Date: 18-Dec-00 10:48



Sample: ARENA CANOITAS
 Size: 24.5063 mg
 Method: ANABEL
 Comment: RAMPA 10°C/MIN HASTA 1200C ATM N2 100ML/MIN

TGA DTA

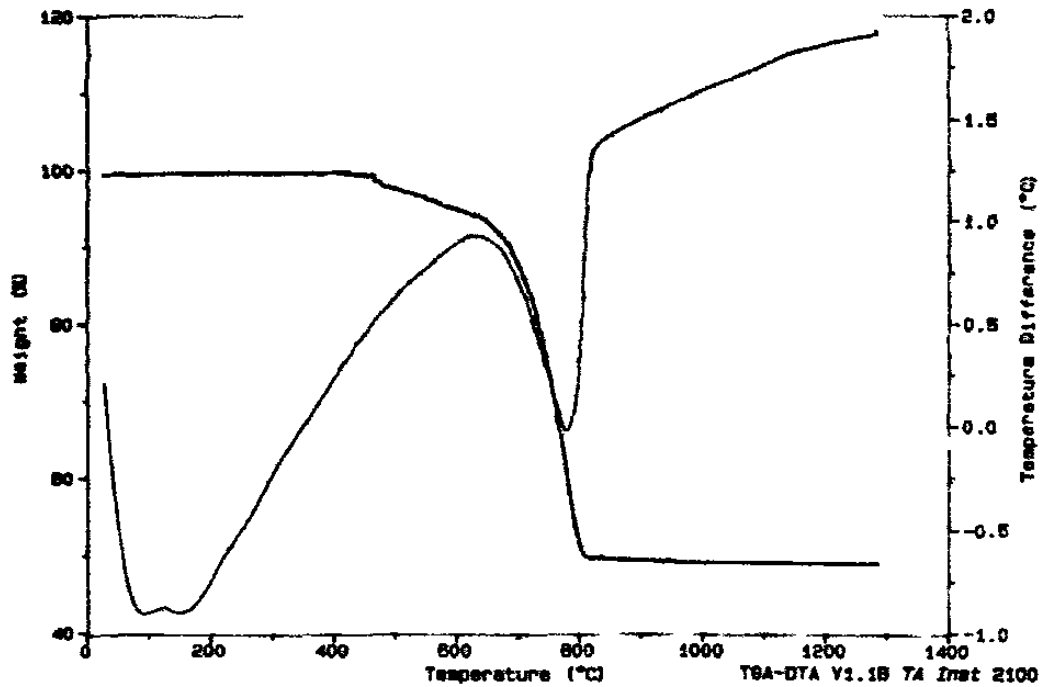
File: C:RESIDUO
 Operator: ANABEL ALVAREZ
 Run Date: 15-Dec-00 11:01



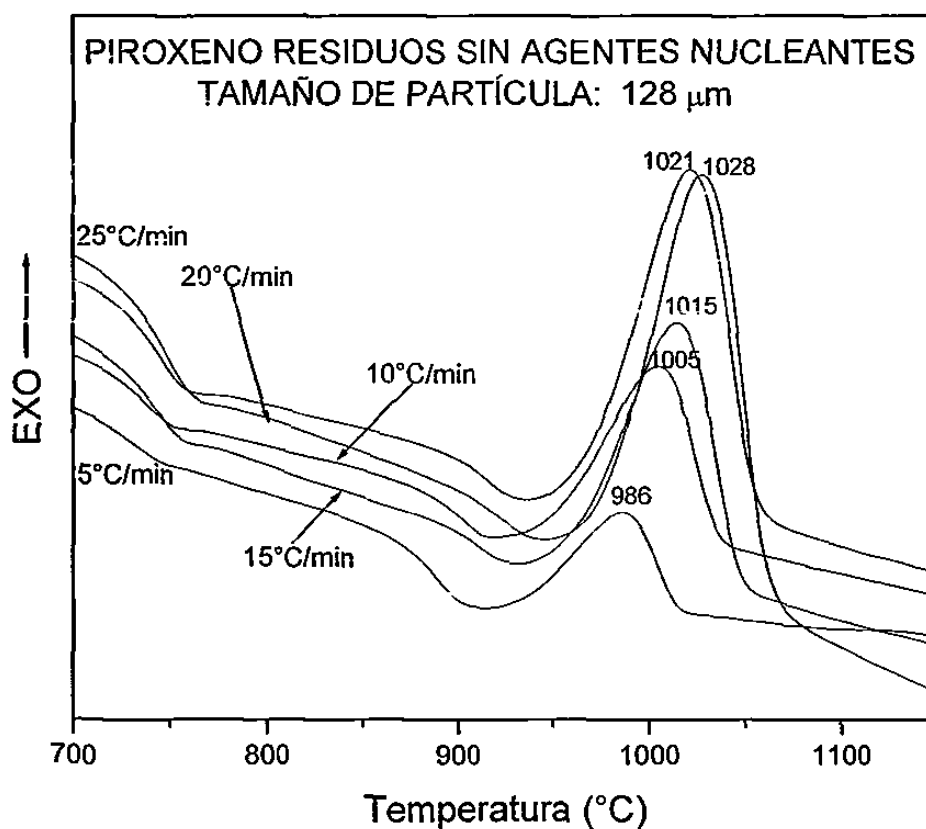
Sample: FINOSOLONITA
Size: 10.6398 mg
Method: BRENDIA
Comment: Rampa 20°C/min, 1300°C, Atmosfera NITROGENO

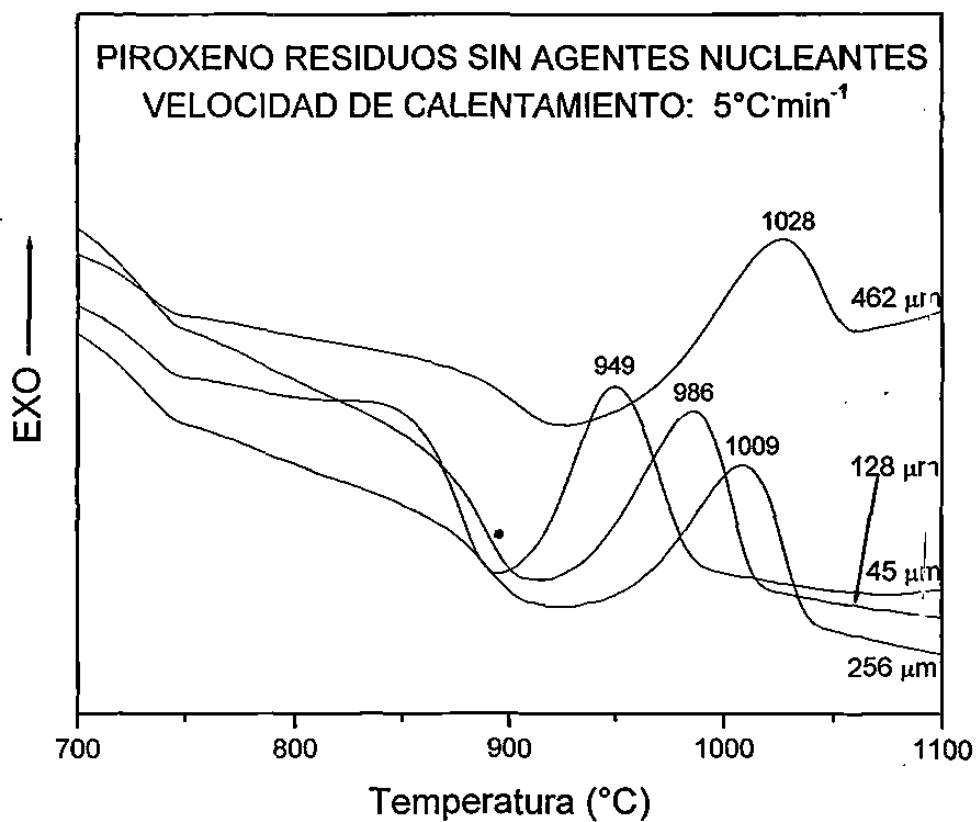
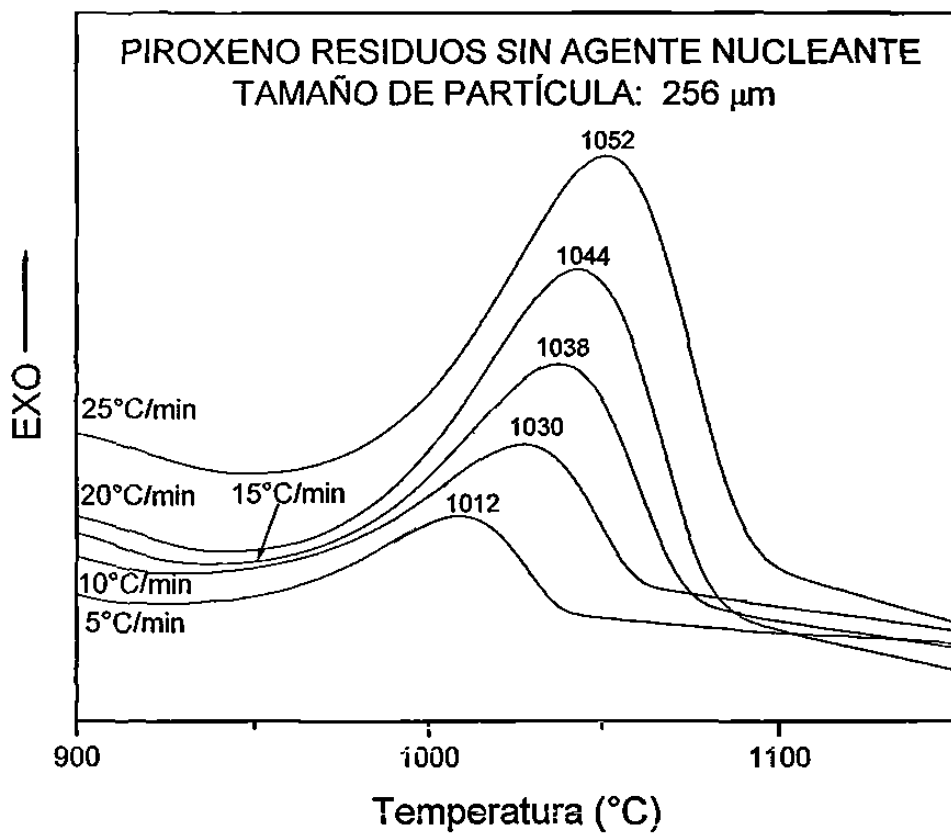
TGA-DTA

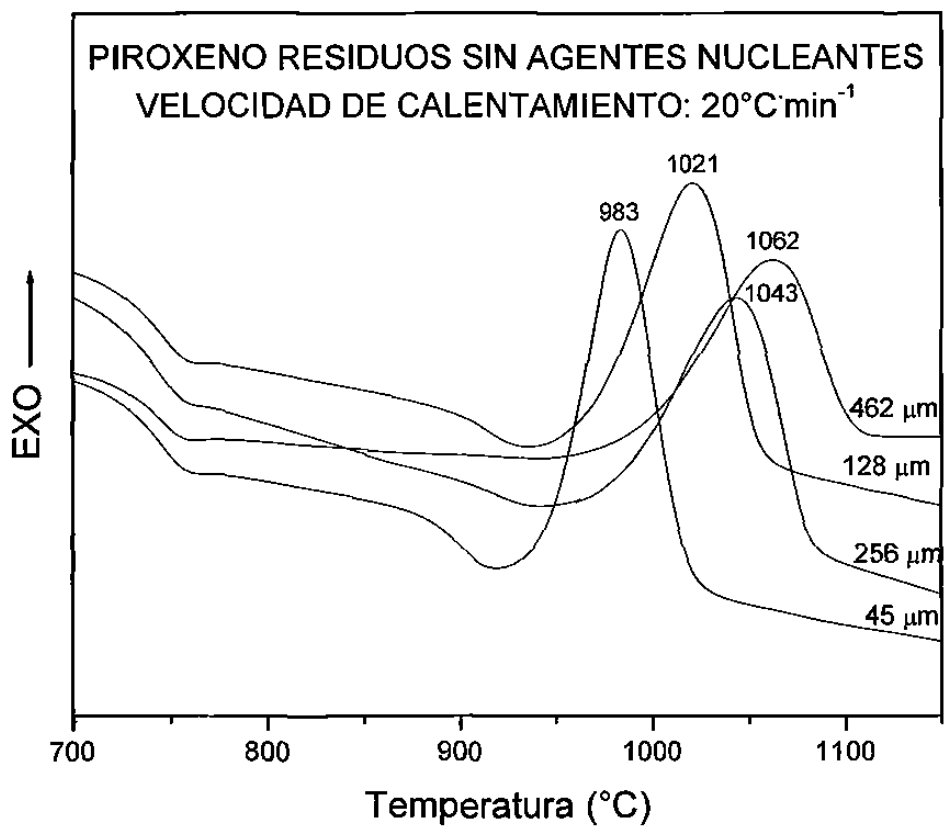
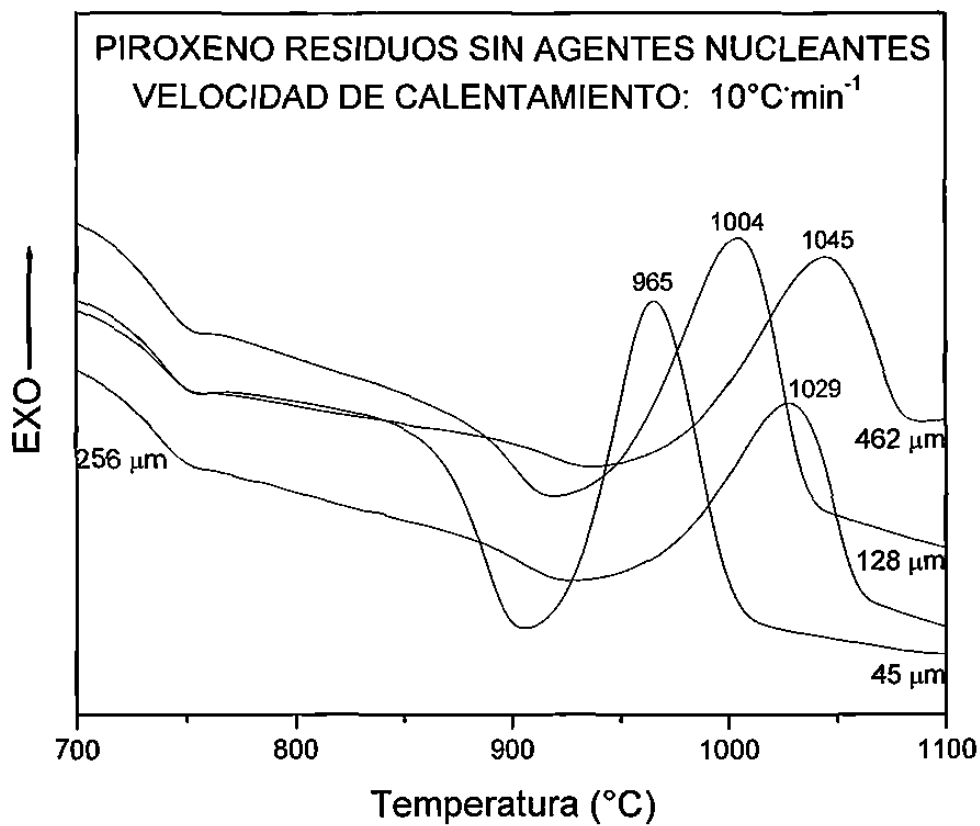
File: C:\FINOS
Operator: BRENDIA
Run Date: 17-Feb-00 08:20

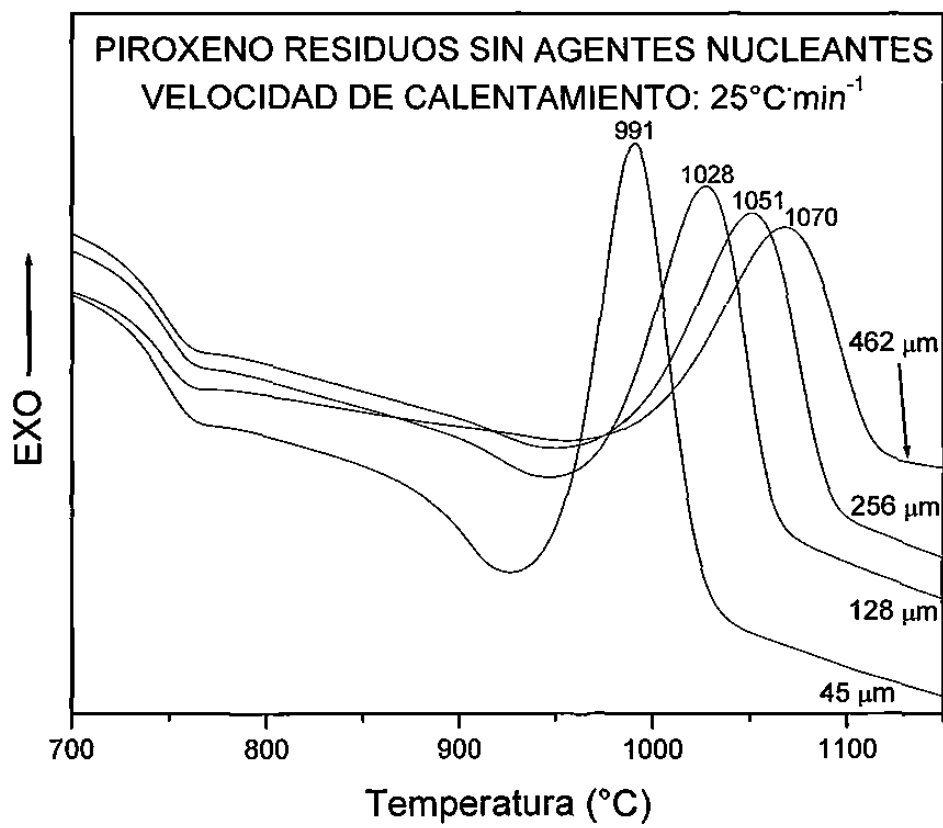


APÉNDICE B

**CURVAS DE DTA PARA VIDRIO TIPO PIROXENO SIN AGENTES NUCLEANTES
A DIFERENTES VELOCIDADES DE CALENTAMIENTO Y TAMAÑOS DE
PARTÍCULA**

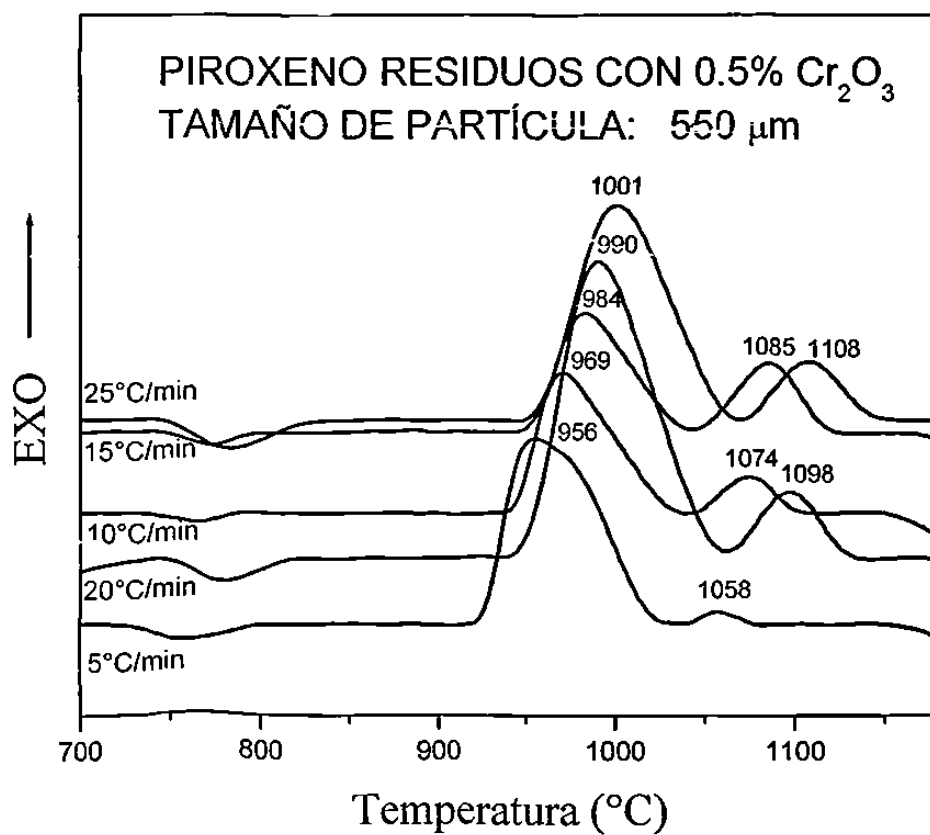


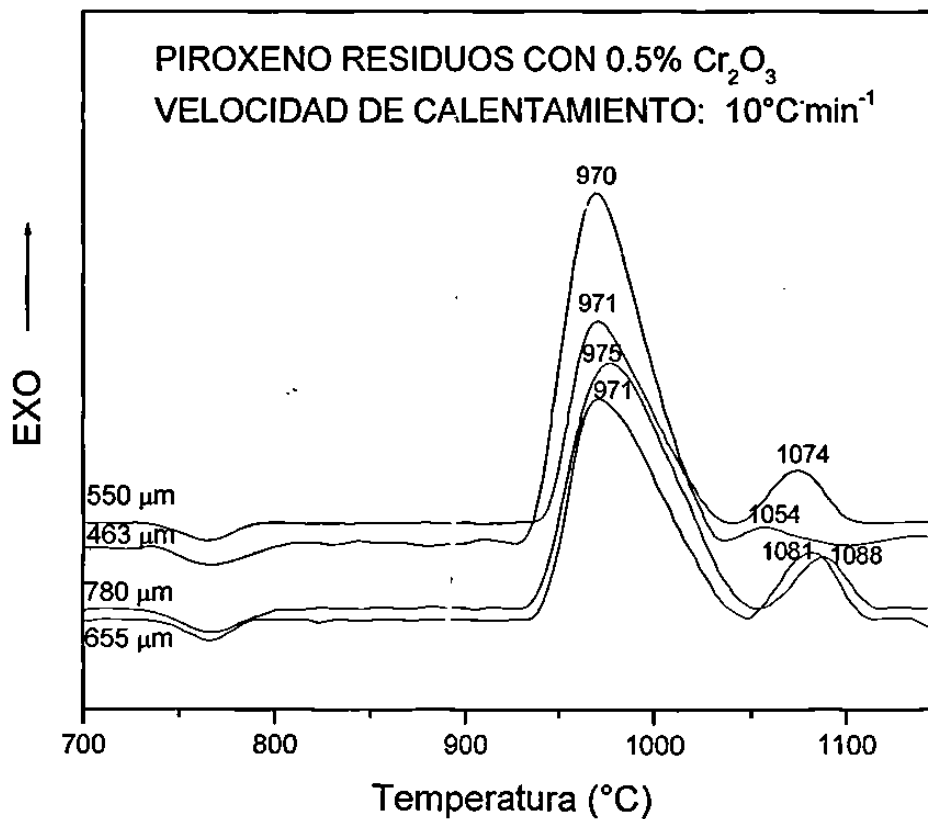
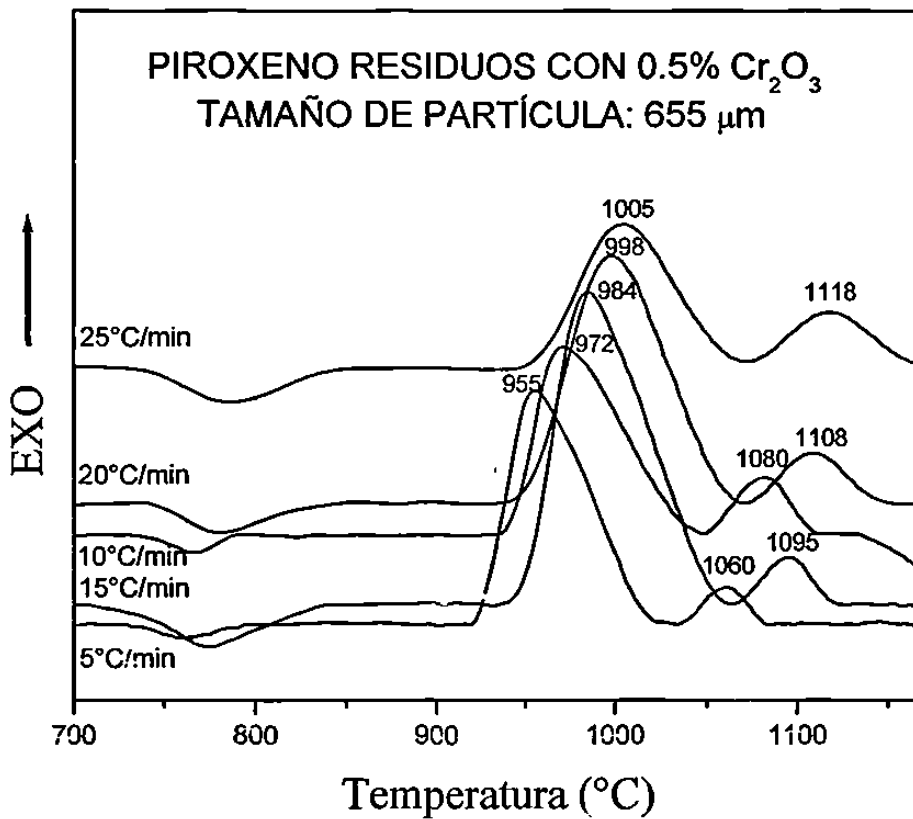


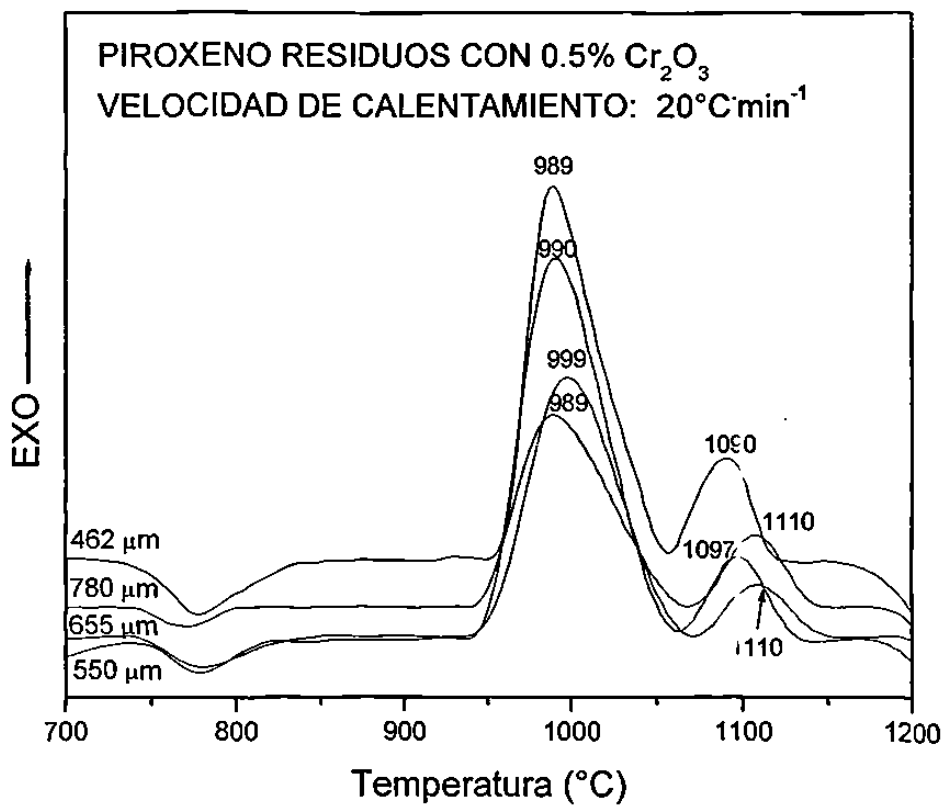
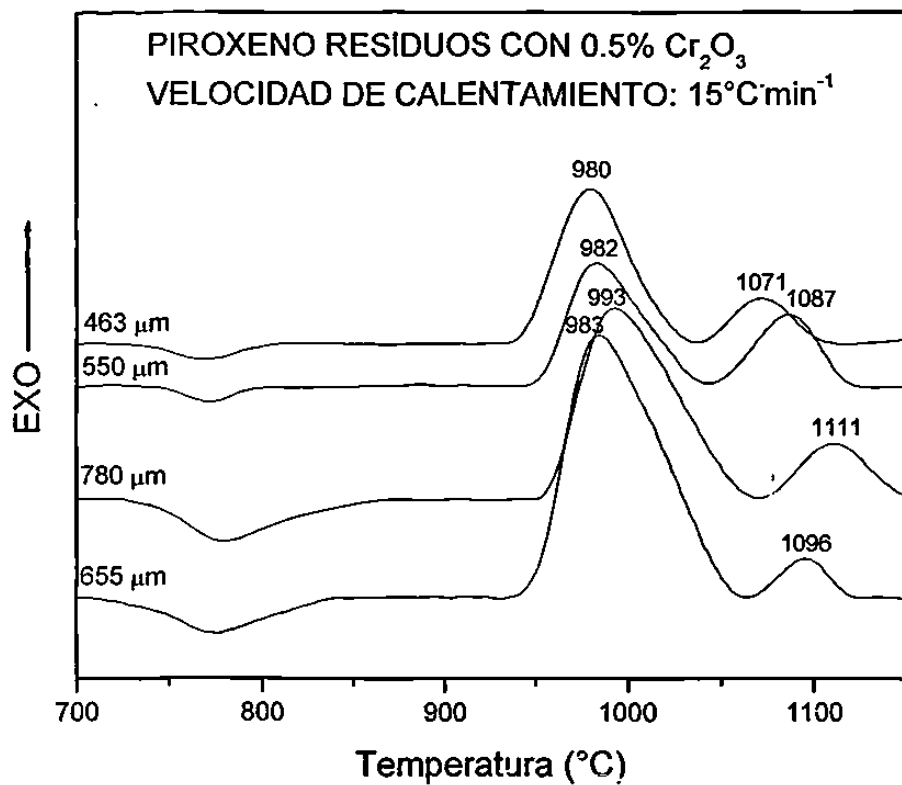


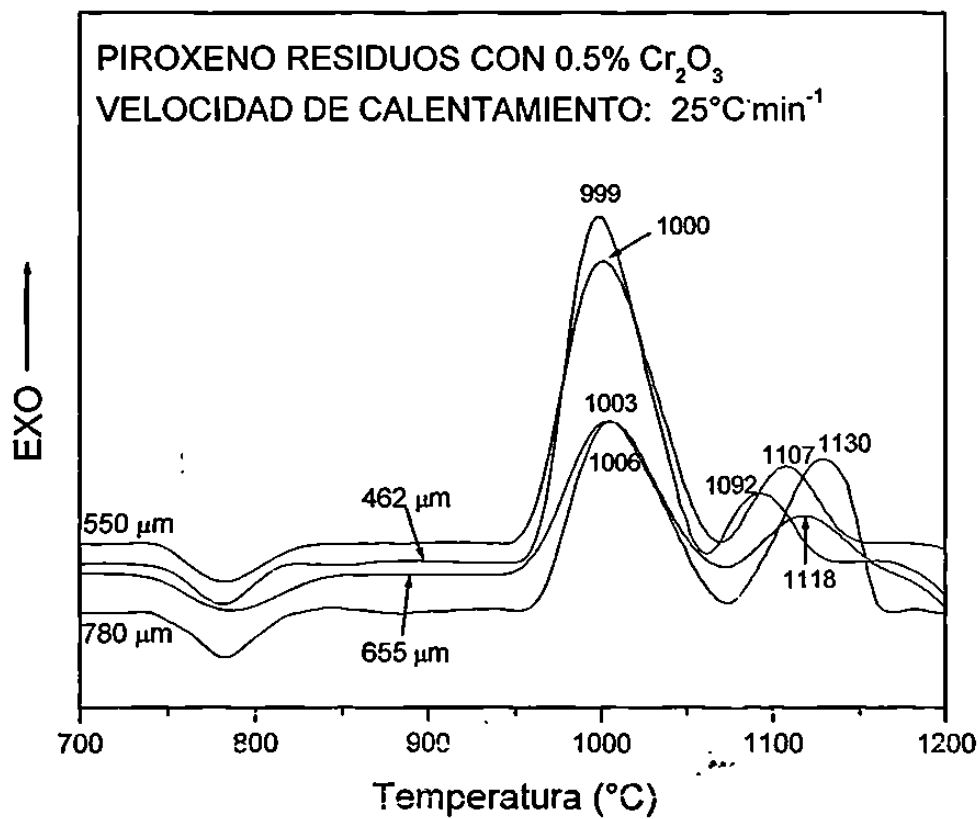
APÉNDICE C

**CURVAS DE DTA PARA VIDRIO TIPO PIROXENO CON 0.5% EN PESO DE Cr_2O_3
A DIFERENTES VELOCIDADES DE CALENTAMIENTO Y TAMAÑOS DE
PARTÍCULA**

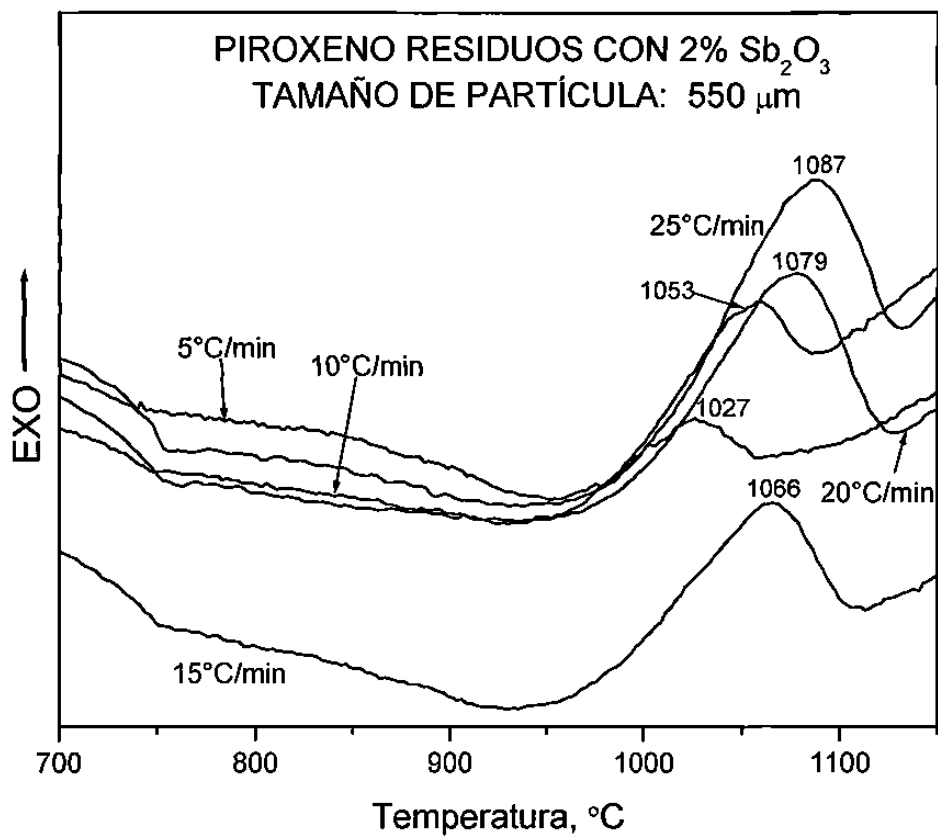


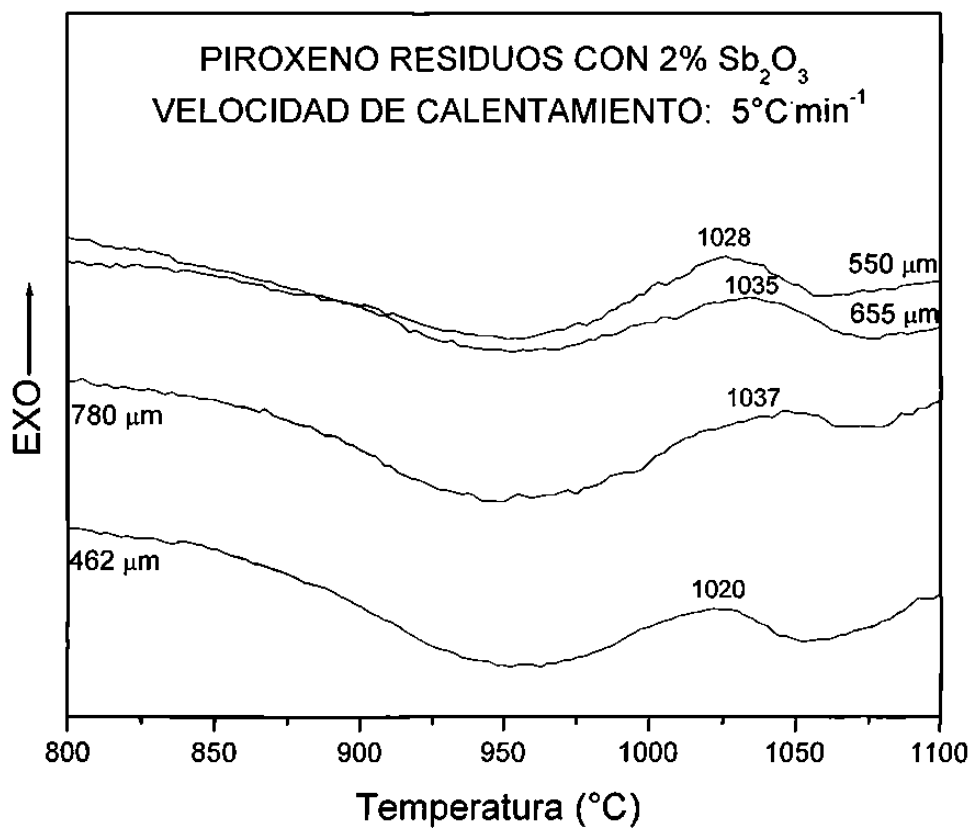
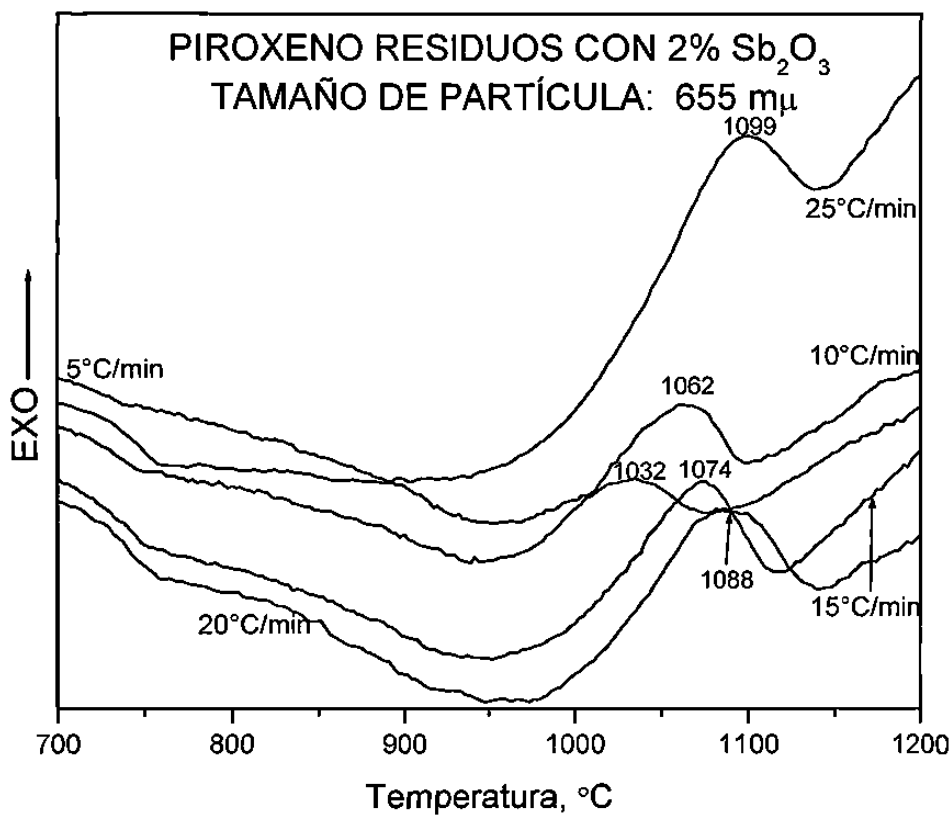


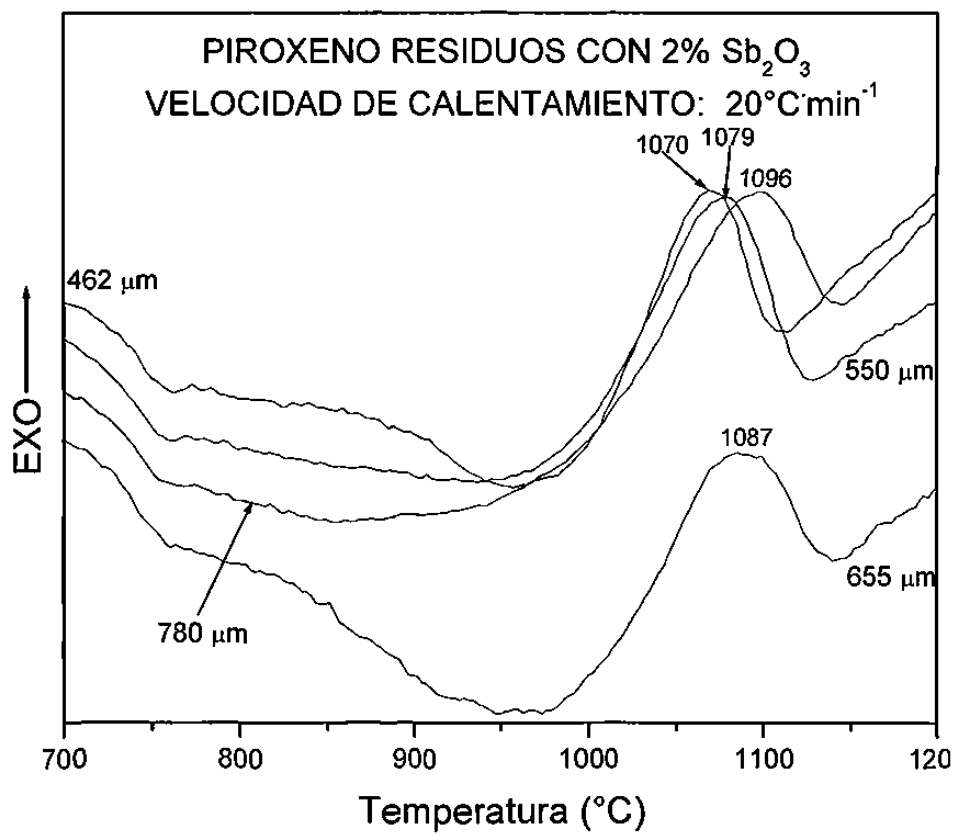
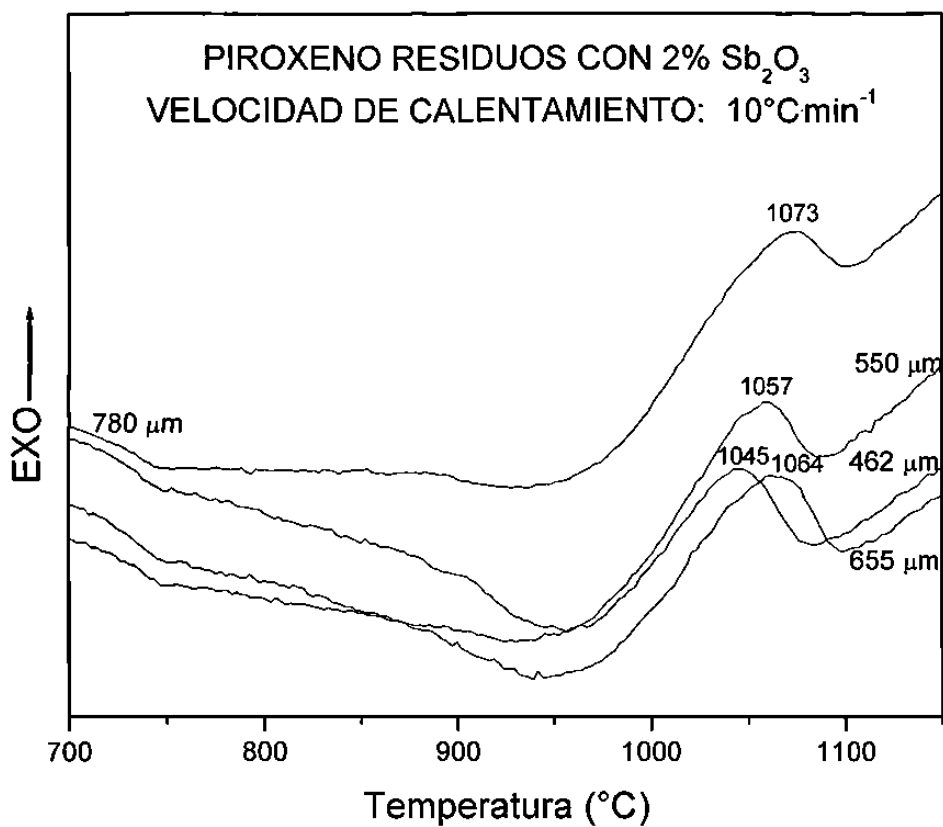


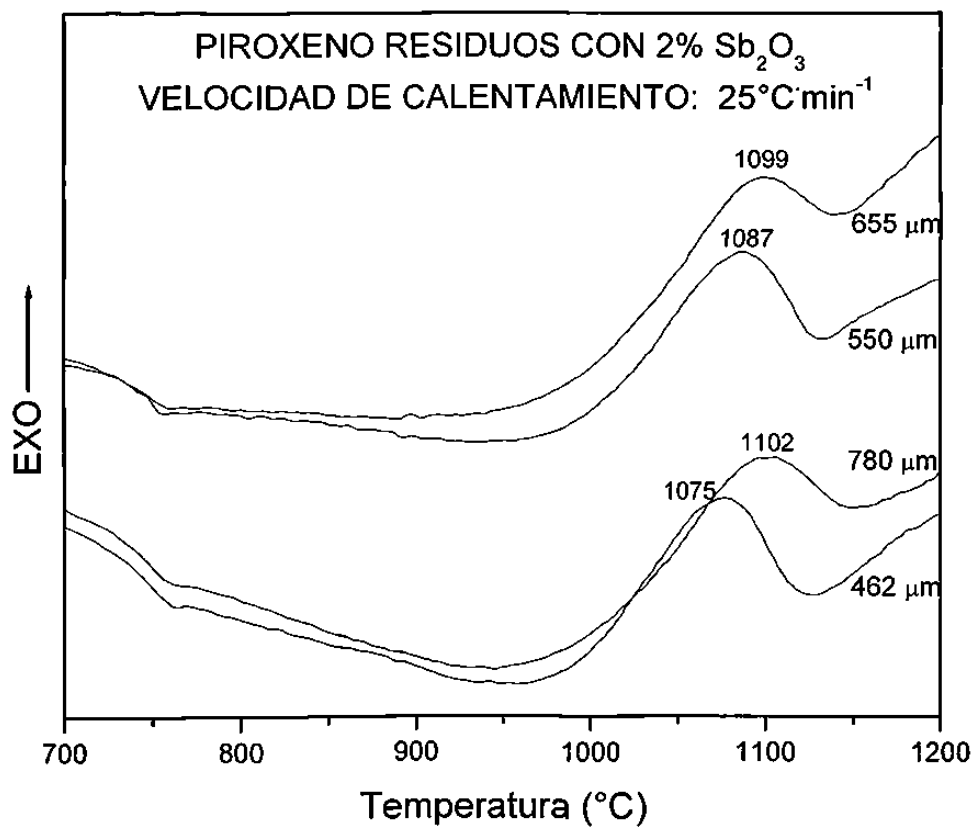


APÉNDICE D

**CURVAS DE DTA PARA VIDRIO TIPO PIROXENO CON 2% EN PESO DE Sb_2O_3
A DIFERENTES VELOCIDADES DE CALENTAMIENTO Y TAMAÑOS DE
PARTÍCULA**







RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Anabel Alvarez Méndez

Candidata para el Grado de

Doctor en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Cerámica

Tesis: ESTUDIO CINÉTICO DE LA FORMACIÓN DE VITROCERÁMICOS A PARTIR DE RESIDUOS INDUSTRIALES INORGÁNICOS

Campo de Estudio: Ciencias Químicas

Biografía:

Datos Personales: Nacida en Monterrey, N.L., el 27 de Septiembre de 1965, hija de María Inocencia Méndez González y Antonio Alvarez López.

Educación: Egresada de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Grados obtenidos: Ingeniería Química en 1987 Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Cerámica en 1997.

Experiencia Profesional: Ingeniero de Proyectos en Vitro Tec Fideicomiso de Octubre de 1986 a Noviembre de 1990. Jefe de Ingeniería del Producto en Vitro Crisa Crimesa, S.A. de C.V. de Enero de 1991 a Octubre de 1992. Investigador de Tiempo Completo en la Facultad de Ciencias Químicas de la U.A.N.L. de Noviembre de 1992 a la fecha.

