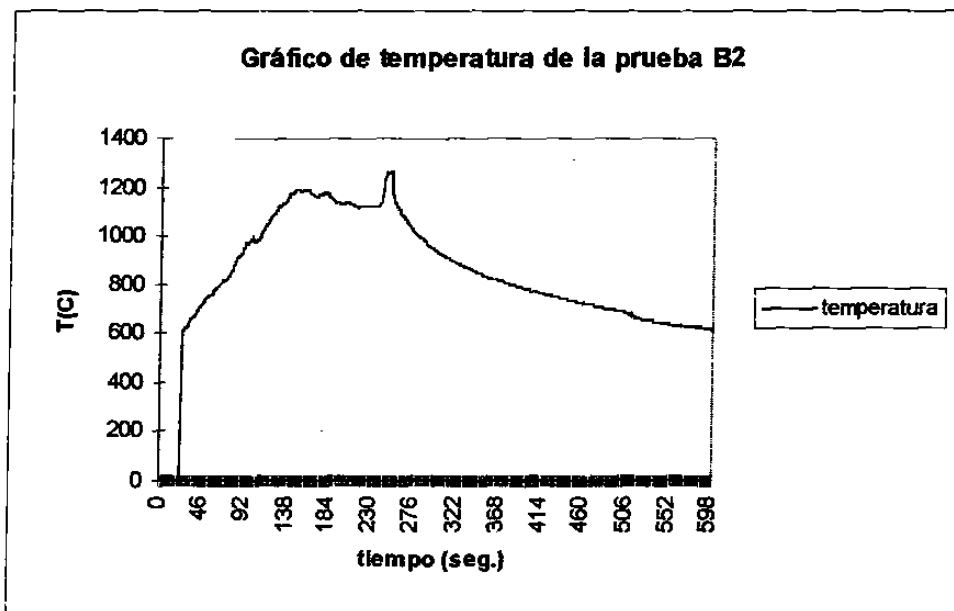
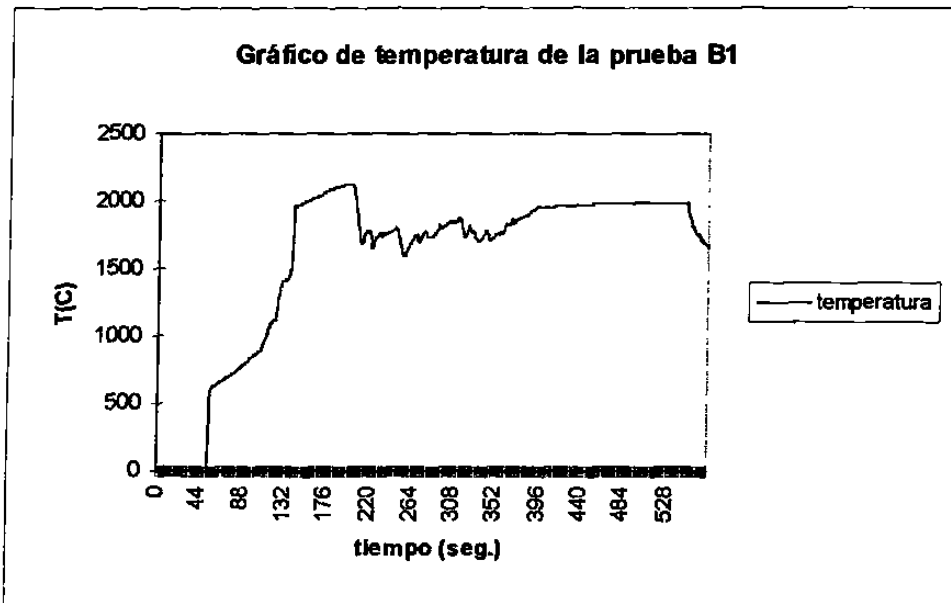
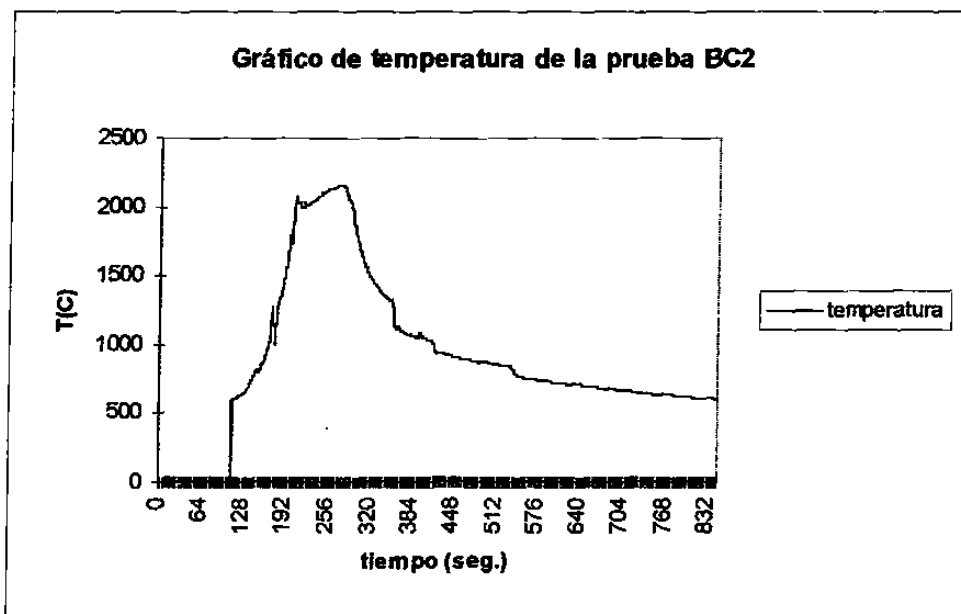
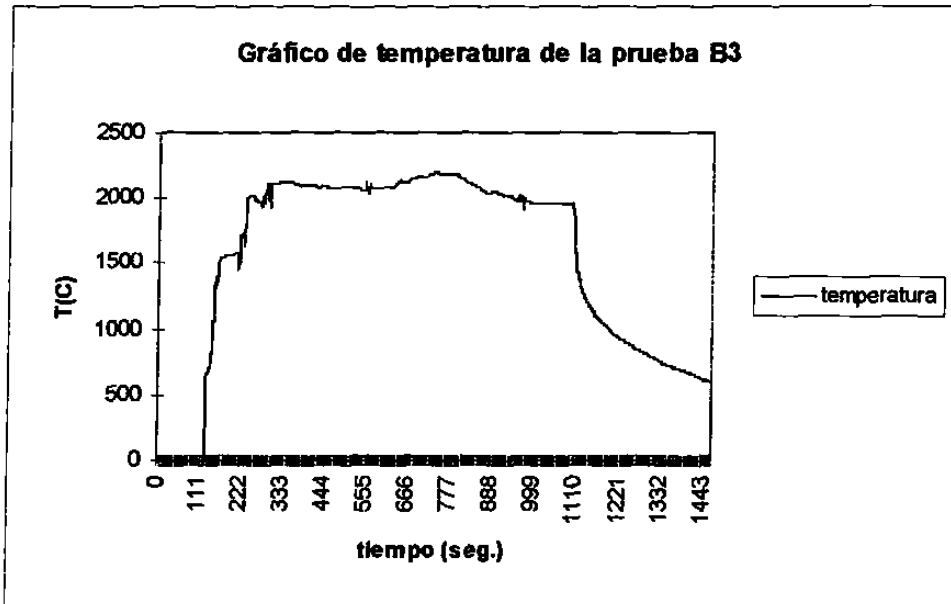
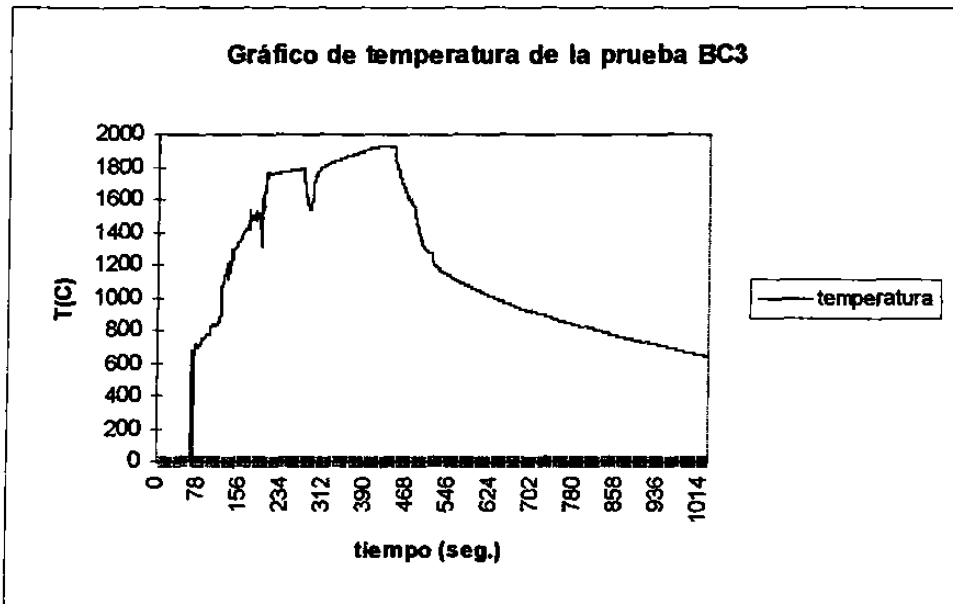


## Apéndice C

Gráficos de monitoreo de temperatura y potencia reflejada en las pruebas de obtención de  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$







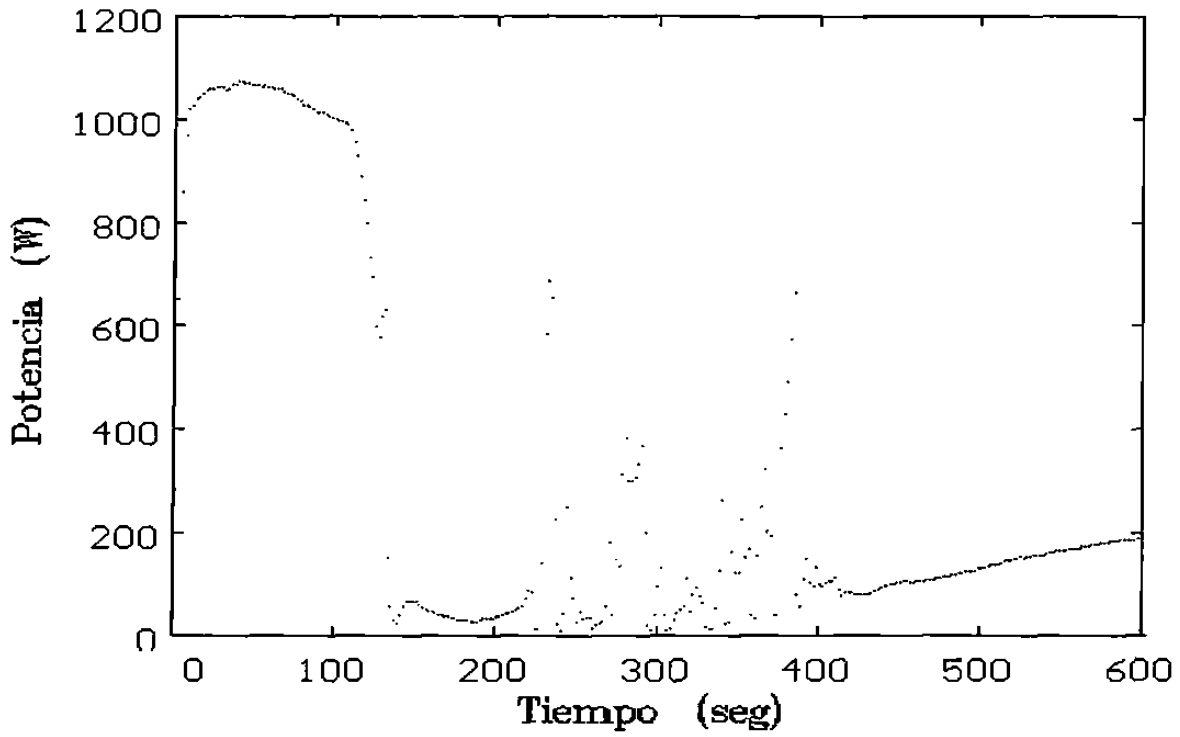


Gráfico de potencia reflejada de la prueba B1

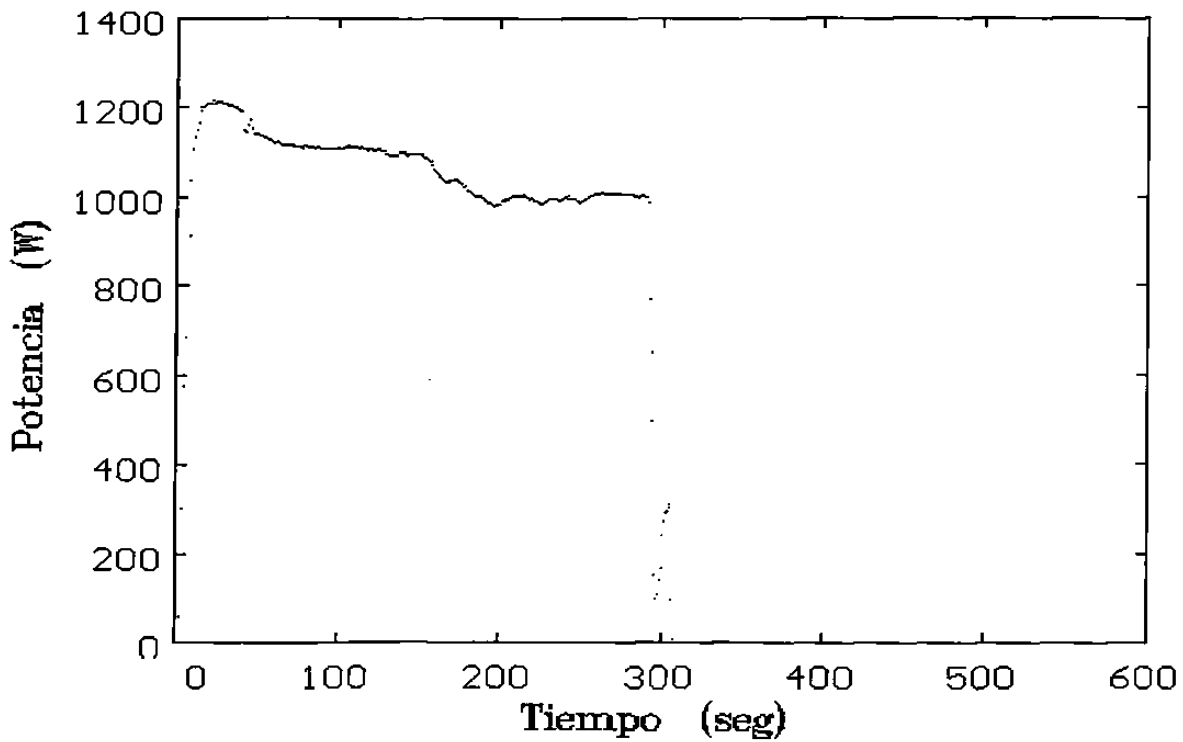


Gráfico de potencia reflejada de la prueba B2

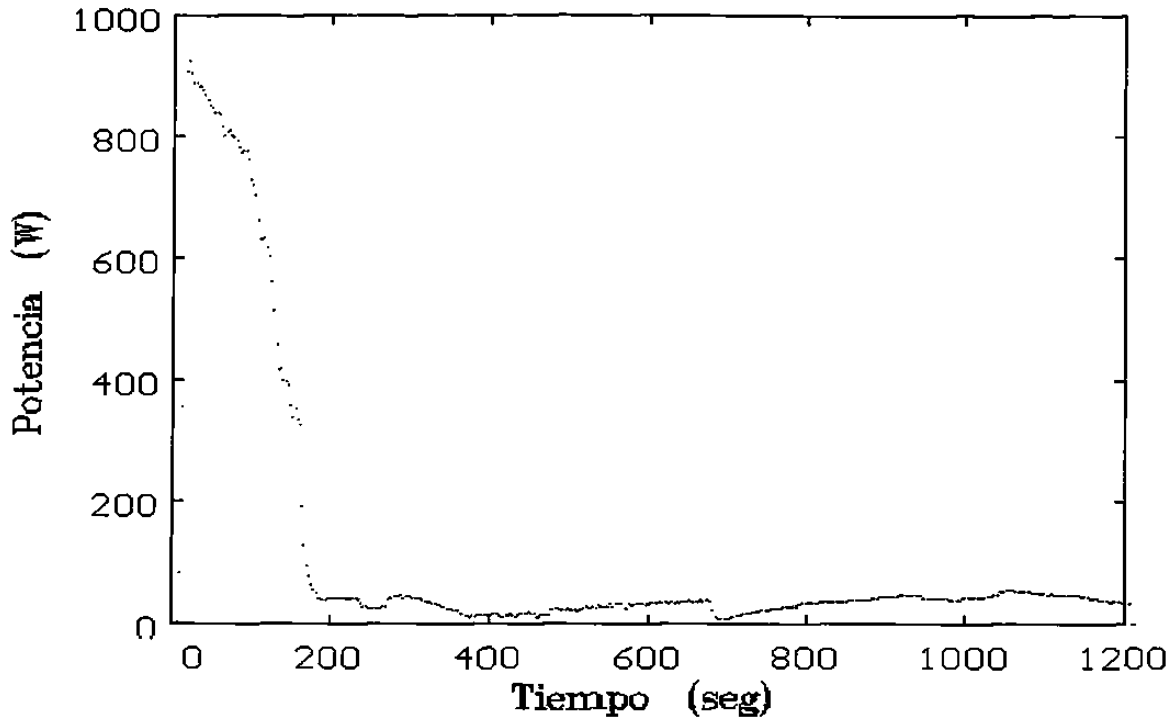


Gráfico de potencia reflejada de la prueba B3

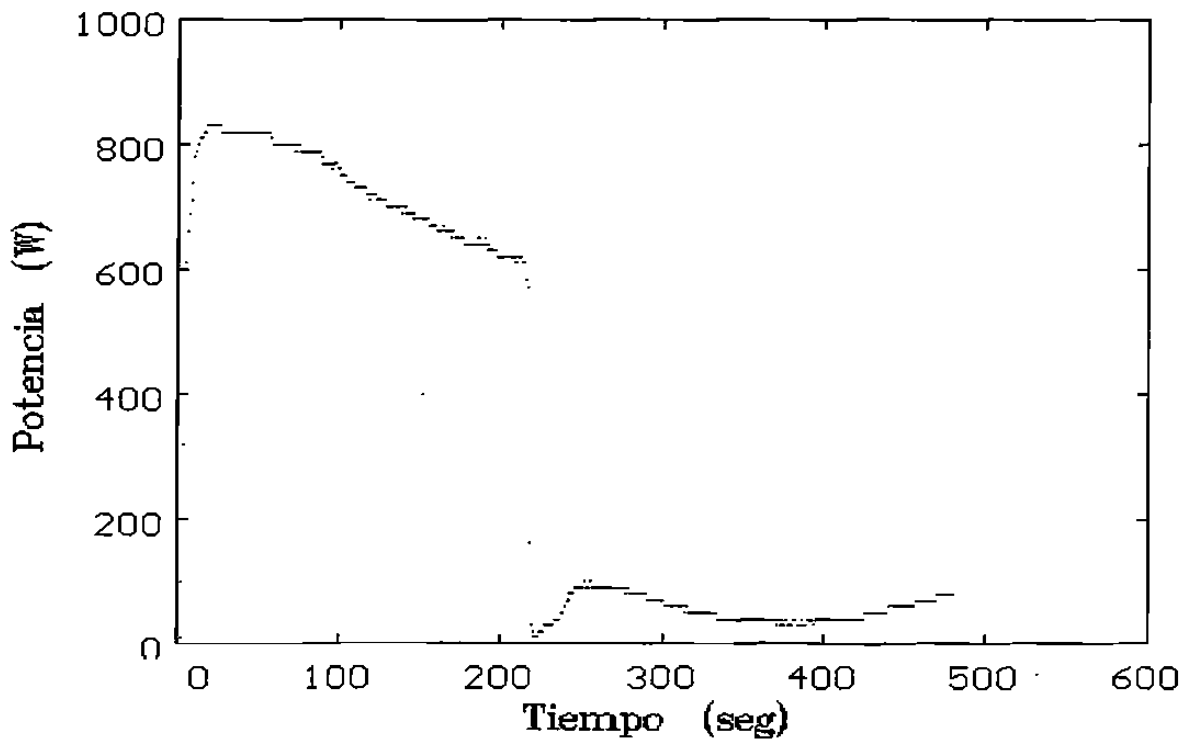


Gráfico de potencia reflejada de la prueba BC1

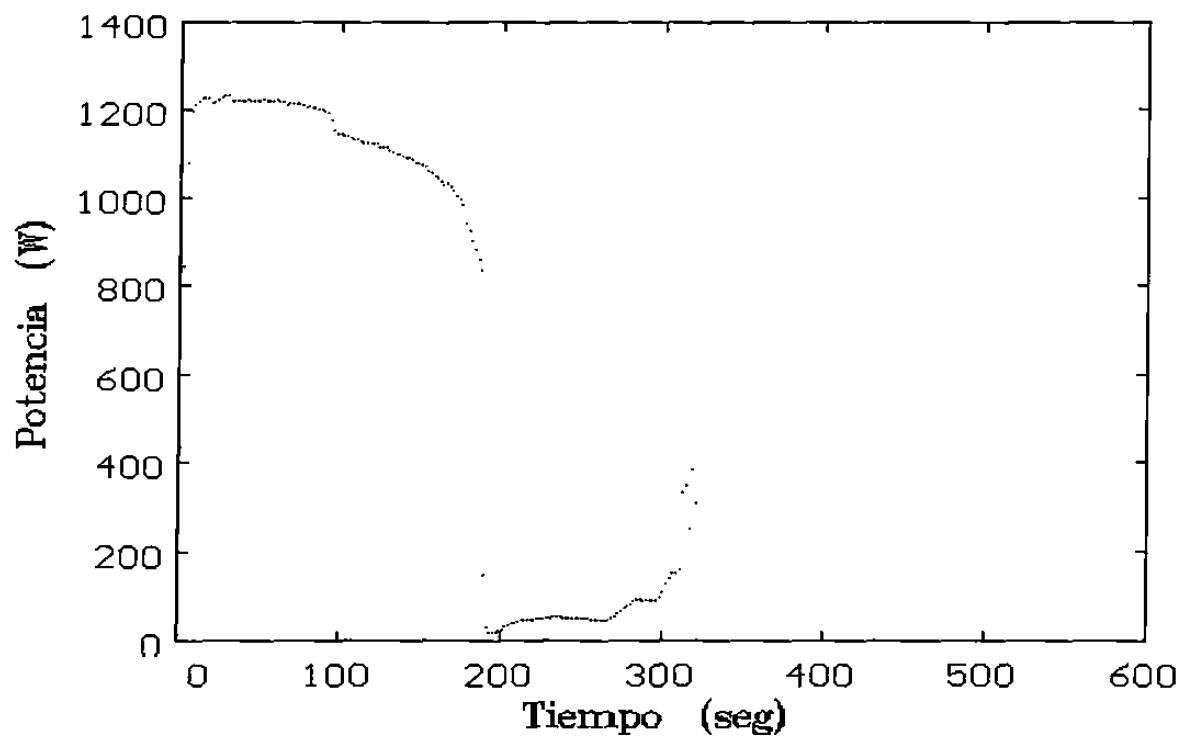
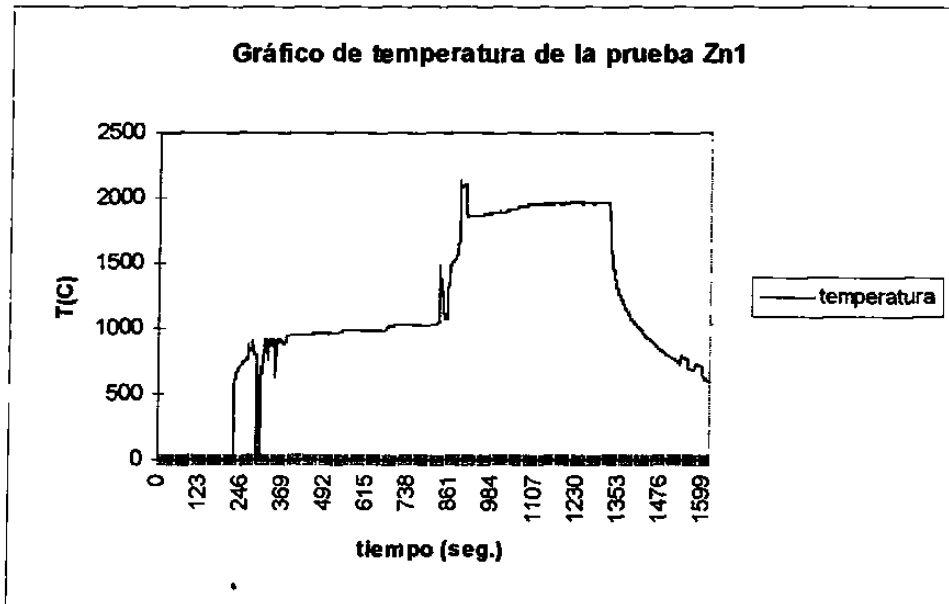


Gráfico de potencia reflejada de la prueba BC2

## Apéndice D

Gráficos de monitoreo de temperatura y potencia reflejada en las pruebas de obtención de  $\text{BaTiO}_3$  y  $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$





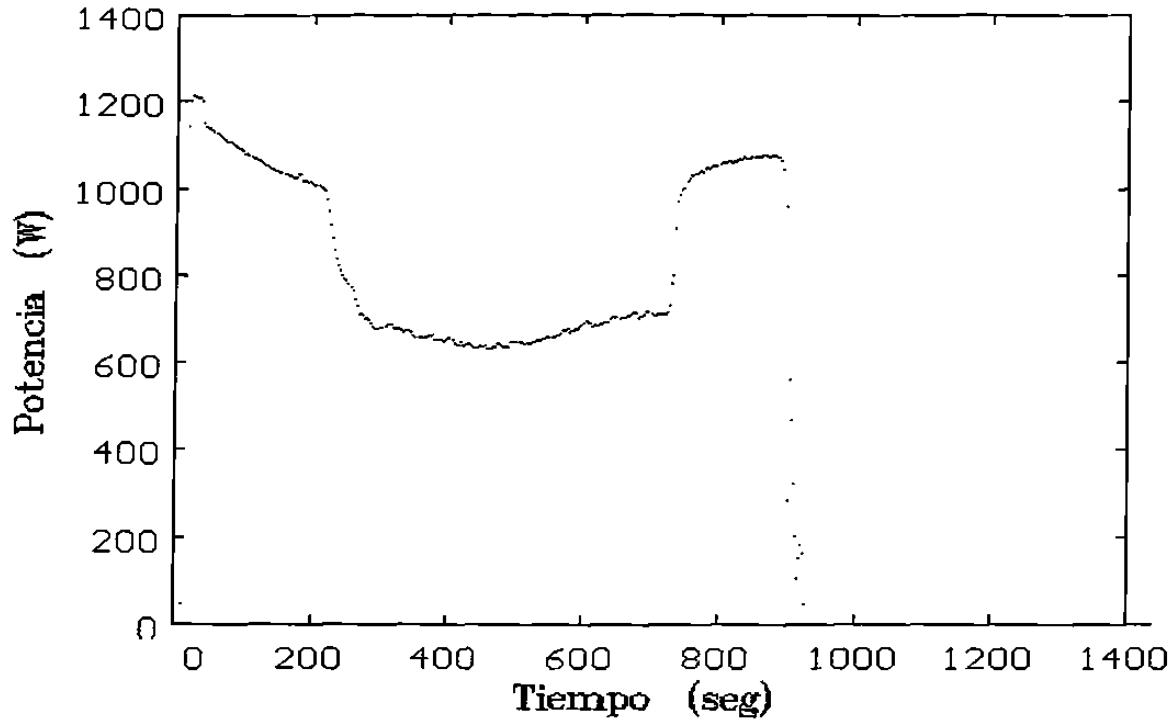


Gráfico de potencia reflejada de la prueba Zn1

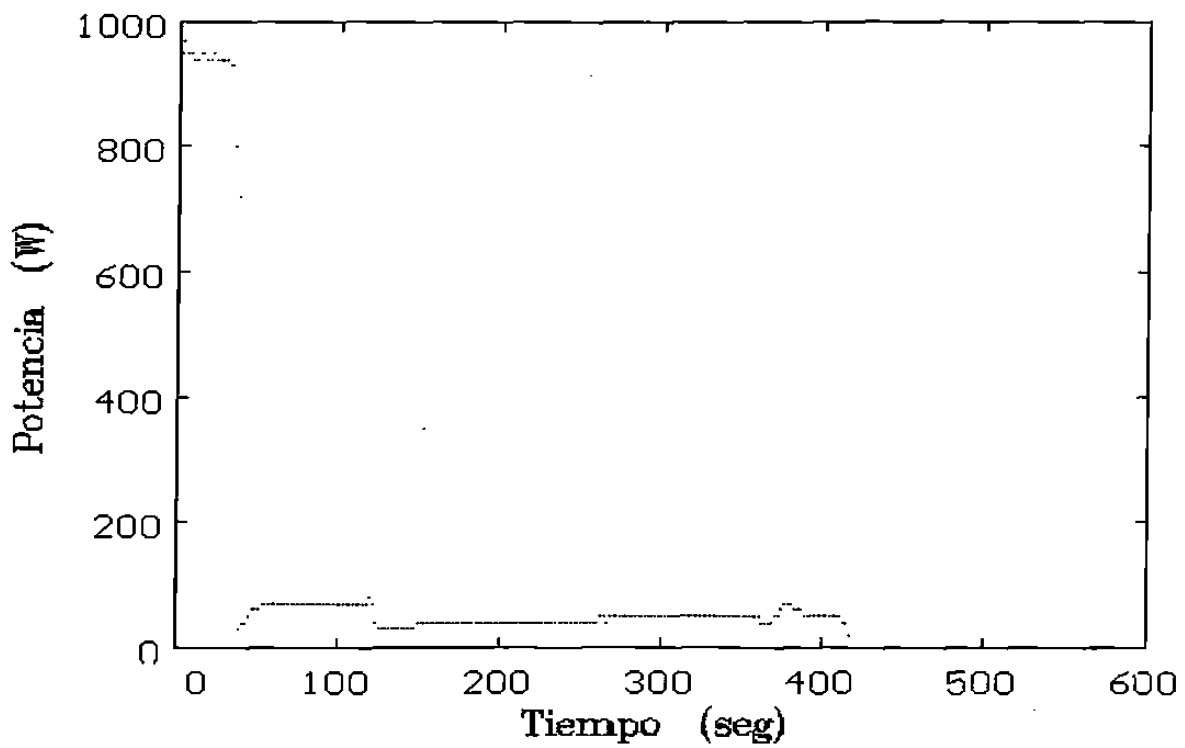


Gráfico de potencia reflejada de la prueba T1

## Apéndice E

### Determinación de la energía electromagnética consumida en el sistema total de cada experimento.

De acuerdo al manual del equipo, a la potencia determinada en el sistema de control, se le restarán 150 W los cuales son utilizados por el mismo sistema, así, se tomará en cuenta este dato para la resolución de la cantidad de energía aplicada en cada experimento. De tal forma que la energía total en el sistema será:

$$E = P_{fuente} - \int_{t.inicial}^{t.final} P dt$$

donde E es la energía total en el sistema,  $P_{fuente}$  es la potencia aplicada (en los exp. de 1000 W aquí se calcula con 850 W y así con las demás potencias utilizadas), la integral es el área bajo la curva de los gráficos de potencia reflejada en el experimento.

# Referencias

1. A.C. Metaxas and R.J. Meredith, *Industrial Microwave Heating*, Peter Peregrinus Ltd 1993.
2. G.Roussy and J.A.Pearce, *Foundations and Industrial Applications of microwaves and radio frequency fields*, John Wiley and Sons. 1995.
3. Laurel M. Sheppard, *Manufacturing Ceramics with microwaves: The potential for Economical Production*, Ceramic Bulletin, Vol. 67, No. 10, 1988.
4. Pamela Davis, Jon Binner, Tom Cross and John Fernie, *The characterisation of microwave joined alumina ceramics*, 8th CIMTEC, Florence, Italy. 29 June-4 July 1996.
5. Yi Fang, Dinesh K Agrawal, Della M. Roy and Rustum Roy, *Fabrication of porous hidroxyapatite ceramics by microwave processing*, J. Mater. Res., Vol 7, No. 2, Feb 1992.
6. Joseph E. Godwill, Robert J. Schmitt and David A. Purta *New developments in microwave treatment of steel mill sludges*, Iron and Steel Engineer, February 1996.
7. William E. Lee and W. Mark Rainforth, *Ceramic Microstructures*, Chapman & Hall, First Edition 1994.
8. Alan Castillo, *Estudio Experimental de Fusión de Magnesia (MgO) para la Industria de Refractarios*, Tesis de Maestria, U.A.N.L., México, 1992.

9. Ana Maria Arato Tovar, *Obtención de Circonia Estabilizada con MgO*, Tesis de Maestria, U.A.N.L., México, 1995.
10. *Engineered Materials Handbook*, Vol. 4, *Ceramics and Glasses*, ASM International 1991.
11. W.D. Kingery, *Introduction to Ceramics*, Second Edition, John Wiley & Sons, 1976.
12. Comunicación Privada con la Ing. Lorena Matus, Peñoles, 1997.
13. O. Ruff., F. Ebert and E. Stephan, *Z. anorg. U. allgem. Chem.*, 180, 219, 1929.
14. David Halliday and Robert Resnick, *Fundamentos de Física*. Ed. CECSA, México 1978.
15. Ira N. Levine, *Fisico-química*, 3a. Edición, Mc Graw-Hill, 1991.
16. Andrei V. Gaponov, Grekhov Victor L. Granatstein, *Applications of High-Power Microwaves*, Artech House 1994.
17. Jacques Thuery, *Microwaves: Industrial, Scientific and Medical Applications*, Edited by Edward H. Grant, King's College London, 1992.
18. Robert M. Rose, Lawrence A. Sheppard, John Wulff, *Ciencia de los materiales IV - propiedades electrónicas*, Edit. LIMUSA, 1978.
19. W.W. Ho, *High temperature dielectric properties of polycrystalline ceramics*, M.R.S., Vol. 124, 1988.
20. J. Carlton Gallawa, *Hornos de microondas*, Ed. Prentice Hall, 1992.
21. J. Aguilar, I. Gomez, J. Morales, M. Gonzalez and I. Alvarez, *Microwaves for Reduction of Iron Ore*, Proceedings 2nd International Conference on Beam Processing of Advanced Materials, 1995.

22. J.A. Aguilar, M. Gonzalez and I. Gomez, *Microwaves as an Energy Source for Producing Magnesia-Alumina Spinel*, The Journal of Microwave Power & Electromagnetic Energy, Vol. 32, Number 2, 1997.
23. J. Aguilar, I. Gómez & M. Gonzalez, *Fabrication of Calcium Zirconium Oxide Ceramics by Microwave Processing*, Proceedings 31st Microwave Power Symposium, July 1996.
24. A. Rodriguez, J. Rodriguez, J. Mendoza, *Caracterización de fases de corrosión en refractarios de alumina sometidos a altas temperaturas en un horno de microondas*, International Materials Research Congress, 1997.
25. Tasaburo Saji, *Microwave Sintering of Large Products*, M.R.S. Proceedings, Vol. 430, 1996.
26. S.J. Oda and I.S. Balba, *Microwave Processing at Ontario Hydro Research Division*, MRS, Vol. 124, 1988.
27. Vijay K. Varadan, Yushieh Ma, Akhlesh Lakhtadia, *Microwave Sintering of ceramics*, MRS, Vol. 124.
28. J. Aguilar, I. Gómez, M. Gonzalez and J. Morales, *Description of the Heating Behavior of some Ceramic Materials in a Microwave Field*, Proceedings 32<sup>nd</sup>. Microwave Power Symposium, 1997.
29. M. Arai, J.G.P. Binner, G.E. Carr and T.E. Cross, *High Temperature Dielectric Property Measurements of Engineering Ceramics*, ACer'S, Microwaves II. 1995.
30. Yet Ming Chiang, Dunbar Birnie III, W. David Kingery, *Physical Ceramics*, John Wiley & Sons 1997.

31. Arthur Von Hippel, *Dielectric Materials and Applications*, Artech House Edit., 2<sup>nd</sup> Edition, 1954.
32. C. Gómez, V. Torres, G. Miranda, H. Balmori, *Compactación Isostática y Uniaxial en Frío de polvo de Titanato de Bario*, Memorias del II Congreso Internacional de Materiales, Octubre de 1995.
33. Reitz-Milford, *Fundamentos de la Teoría Electromagnética*, 1a. Edición, UTEHA, 1981.
34. Kubachewski and Alcock, *Metallurgical Thermochemistry*, 5th Edition, Pergamon Press, 1979.
35. CE Hocombe, HD Kimrey, NL Dykes and Forrester, *A container for heating materials with microwave energy*, 1997.
36. Darling and H.P. Abicht, *Microwave Sintering of BaTiO<sub>3</sub> based Ceramics*, The Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, Vol. 31, number 4, 1996.
37. D. Dadon, D. Gershon, *Observation of an electromagnetically driven temperature wave in porous Zinc Oxide during microwave heating*, MRS, Vol. 430, 1996.
38. James M. Hill and Timothy R. Marchant, *Modelling microwave heating*, Appl. Math. Modelling, Vol. 20, January 1996.
39. D. Lynn Johnson and Hunghai Su, *Microwave Plasma sintering of alumina*, MRS, Vol. 430, 1996.
40. T.Y. Tien, *Electrical Conductivity in the System ZrO<sub>2</sub>-CaZrO<sub>3</sub>*, Journal of The American Ceramic Society, Vol 47, No. 9, Sep. 1963.

41. Andrea Hicketier, *Sinter-und/oder Schmelzmagnesiaherstellung*, Institut für Mechanische, Verfahrenstechnik und Umweltverfahrenstechnik der Technischen Universität Clausthal, 1998.
42. R.E. Carter, *Mechanism of solid-state reaction between magnesium oxide and aluminum oxide and between magnesium oxide and ferric oxide*, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 44, No. 3, March 1961.
43. Hanling Zhang, Shixi Ouyang, Hanxing Liu and Yongwei Li, *Ba<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> Kinetics and Mechanism of the Microwave Synthesis of Barium Titanate*, MRS, Vol. 430, 1996.



## LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.1. Esquema del proceso de obtención de materiales cerámicos	16
Fig. 2.2. Las tres fases de compactación para el aglomerado de polvos, a) gránulos esféricos empacados, b) gránulos empacados deformados, c) pieza presionada	16
Fig. 2.3. Microestructuras típicas de (a) un refractario y (b) un cerámico	17
Fig. 2.4. Diagrama de interrelación sólido-líquido-porosidad	17
Fig. 2.5. Estructura cristalina del cloruro de sodio (NaCl)	18
Fig. 2.6. Estructura Fluorita	18
Fig. 2.7. Celda unitaria del corindón ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	19
Fig. 2.8. Estructura cristalina perovskita	20
Fig. 2.9. Estructura cristalina tipo espinel	20
Fig. 2.10. Estructura hexagonal (pero no HC) del grafito cristalino	21
Fig. 2.11. Diagrama termodinámico de fases MgO- $\text{Al}_2\text{O}_3$	21
Fig. 2.12. Diagrama termodinámico de fases CaO- $\text{ZrO}_2$	22
Fig. 3.1. Una onda plana en la que se muestran los vectores E y H, la onda se mueve en la dirección z	36
Fig. 3.2. (a) Moléculas con momentos dipolares eléctricos permanentes, orientados al azar en ausencia de un campo eléctrico externo. (b) Al aplicar un campo eléctrico se produce un alineamiento parcial de los dipolos	36
Fig. 4.1. Micrografía de una sección de una muestra de CaO y $\text{ZrO}_2$ en S.E.M. antes de ser procesada, las partículas mas oscuras son de óxido de calcio y las mas brillantes son de óxido de circonio	42
Fig. 4.2. Micrografía de una sección de muestra de MgO y $\text{Al}_2\text{O}_3$ en S.E.M. antes de ser procesada	42
Fig. 4.3. Micrografía de una sección de una muestra de $\text{TiO}_2$ y $\text{BaCO}_3$ en S.E.M. antes de ser procesada	43
Fig. 4.4. Micrografía de una sección de una muestra de ZnO y $\text{Al}_2\text{O}_3$ en S.E.M. antes de ser procesada	43
Fig. 4.5. Representación esquemática del arreglo experimental utilizado	44
Fig. 5.1. Gráfico de probabilidad normal de acuerdo a los efectos de las variables e interacciones para las pruebas de $\text{CaZrO}_3$	53

Fig. 5.2. Gráficos de comportamiento individual de las variables A, B, y C para las pruebas de $\text{CaZrO}_3$	54
Fig. 5.3. Gráficos de interacción entre las variables A, B y C para las pruebas de $\text{CaZrO}_3$	55
Fig. 5.4. Fotografía de microscopía óptica de $\text{CaZrO}_3$ procesado por electrofusión	56
Fig. 5.5. Fotografía de microscopía óptica de $\text{CaZrO}_3$ procesado por microondas a 1500 W	56
Fig. 5.6. Micrografías en M.E.B. de $\text{CaZrO}_3$ obtenido convencionalmente	57
Fig. 5.7. Micrografías en M.E.B. de $\text{CaZrO}_3$ obtenido con microondas a 1500 W, a) 1000X y b) 2000X	58
Fig. 5.8. Fotografía por microscopía óptica de una muestra de $\text{CaZrO}_3$ procesado a 1500 W	58
Fig. 5.9-a. Difractograma de R-X de una muestra de $\text{CaZrO}_3$ procesado por por microondas tipo casero	59
Fig. 5.9-b. Difractograma de R-X de una muestra de $\text{CaZrO}_3$ procesado por microondas a 1500 W	59
Fig. 5.10. Micrografía en M.E.B. de una muestra de espinel $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ procesado convencionalmente	60
Fig. 5.11. Micrografías en M.E.B. de muestras de espinel $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ procesados con microondas tipo casero (a) y de B3 (b)	61
Fig. 5.12. Difractogramas de R-X de muestras de $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ , a) microondas tipo casero y b) B3	62
Fig. 5.13. Difractogramas de R-X de una muestra de $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$	63
Fig. 5.14. Difractograma de R-X de una muestra de $\text{BaTiO}_3$	63
Fig. 5.15. Micrografía en M.E.B. de $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$ procesado en microondas	64
Fig. 5.16. Micrografía en M.E.B. de $\text{BaTiO}_3$ procesado en microondas	64
Fig. 6.1. Gráfico de temperaturas de las pruebas A3, A4 y Z7	87
Fig. 6.2. Gráficos de potencia reflejada de las pruebas A3 y Z7	87
Fig. 6.3. Gráficos de temperatura de las pruebas B1 y B3	88
Fig. 6.4. Gráficos de potencia reflejada de las pruebas B1 y B3	88
Fig. 6.5. Micrografías de una muestra de $\text{CaZrO}_3$ a) parte central de la muestra y b) borde de la muestra	89
Fig. 6.6. Esquema de las tres diferentes zonas	89

Fig. 6.7a. Micrografías de una muestra de $\text{CaZrO}_3$ de la zona 1	90
Fig. 6.7b. Micrografías de una muestra de $\text{CaZrO}_3$ de la zona 2	91
Fig. 6.7c. Micrografías de una muestra de $\text{CaZrO}_3$ de la zona 3	92
Fig. 6.8. Micrografía de una muestra de espinel $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ procesado en microondas	93
Fig. 6.9. Micrografías en M.E.B. de BC1 (a), BC2 (b) BC3 (c)	94
Fig. 6.10. Micrografías de M.E.B. de una muestra BC1, a) centro y b) borde de la muestra	95
Fig. 6.11. Gráficos de temperatura de las pruebas B1 y BC2	96
Fig. 6.12. Fotografía de dos muestras de $\text{BaTiO}_3$ procesadas con microondas	96
Fig. 6.13. Gráfico de potencia contra temperatura tipo s	97
Fig. 6.14-a. Fotografía de un experimento donde se muestra la cavidad y colocación del crisol	97
Fig. 6.14-b. Secuencia de fotografías de un experimento donde se muestra la formación de una flama identificada como CO	98
Fig. 6.14-c. Secuencia de fotografías de un experimento donde la flama se extiende y se separa del crisol	99
Fig. 6.14-d. Fotografía de un experimento donde se muestra una nube "ionizada" en el techo de la cavidad	100
Fig. 6.15. Datos isotérmicos de conductividad - composición para el sistema $\text{ZrO}_2\text{-CaO}$ [40]	100
Fig. 6.16. Micrografía de una muestra de espinel $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$ procesado en microondas donde se observa la formación en capas de los granos	101
Fig. 6.17. Gráfico de potencia reflejada contra temperatura de la prueba Z7	101
Fig. 6.18. Gráfico de potencia reflejada contra temperatura de la prueba B1	102
Fig. 6.19. Gráficos de potencia reflejada de pruebas para obtener $\text{CaZrO}_3$ y $\text{BaTiO}_3$	102

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Algunos minerales naturales utilizados como materia prima para los cerámicos	22
Tabla 2.2. Tipos de estructuras y coordinaciones normalmente presentadas por los cerámicos	23
Tabla 4.1. Tabla de variables para obtener la perovskita $\text{CaO-ZrO}_2$	45
Tabla 4.2. Tamaño de partícula de los materiales utilizados	45
Tabla 4.3. Dimensiones de las muestras a procesar	45
Tabla 4.4. Densidades aparentes de las muestras compactadas	45
Tabla 5.1. Tabla de análisis de diseño en las pruebas de obtención de $\text{CaZrO}_3$	65
Tabla 5.2. Cálculos de energía electromagnética absorbida en cada experimento de obtención de $\text{CaZrO}_3$	65
Tabla 5.3. Densidades aparentes de muestras de $\text{CaZrO}_3$	66
Tabla 5.4. Tabla de temperatura máxima alcanzada en las pruebas de obtención de $\text{MgAl}_2\text{O}_4$	66
Tabla 5.5. Cálculos de energía electromagnética absorbida en cada experimento de obtención de $\text{MgAl}_2\text{O}_4$	66
Tabla 5.6. Tabla de densidades de las muestras de espinel alúmina-magnesio	67

