

# CAPÍTULO 7

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

Actualmente no se conoce que los fabricantes de magnesia fundida por horno de arco eléctrico hayan desarrollado algún estudio con el que se tenga la capacidad de predecir numéricamente resultados de productividades de hornos para este proceso. Por el contrario los consultores sugieren el dominio de la operación de fusión por el campo del "arte" dejando la parte "tecnológica" al diseño original del horno y los equipos periféricos.

El modelo ha sido validado en la planta de fusión de magnesia del Grupo Industrial Peñoles lo que demuestra que puede ser usado como una herramienta de acciones en la fusión misma o para discernir modificaciones en el modo de operación previendo los resultados que se puedan obtener. De igual forma puede ser utilizado para el diseño de unidades de fusión en el cálculo de capacidades y costos de producción así como costos de energía.

Los conceptos de velocidad de electrodos, corriente de arco, nivel de voltaje del transformador y tamaño de grano de materia prima (densidad aparente) manejados en este trabajo colocan inicialmente al conocimineto y al control del proceso en un camino hacia el campo de la "técnica" y la "tecnología" dejando al "arte" en un segundo término; éste último es algo inherente del proceso mismo ya que aunque numéricamente se determinen valores exactos de variables del proceso con

resultados esperados exactos, en la práctica es un "arte" lograr las condiciones que para ello teóricamente son especificadas. El "arte" se conserva por el vacío que aún perciste entre conocer el estado térmico de la carga y su comportamiento eléctrico.

No obstante con este trabajo se han determinado efectos que tanto las variables mencionadas arriba como las propiedades físicas del material tienen sobre el desempeño del horno. Quedando determinante el efecto negativo que las altas velocidades de los electrodos tienen sobre el desempeño del horno, además de que las altas velocidades a corrientes de arco constantes durante la fusión es provocado por la alta conductividad que la materia prima fina presenta; mientras que en fusiones con materia prima gruesa las velocidades de electrodos conseguidas son lentas y con efecto positivo sobre el desempeño del horno. Por otro lado, las fusiones realizadas con material mezclado (fino y grueso) presentan un bajo desempeño por el efecto mencionado en la velocidad de los electrodos por la presencia de material fino.

Por lo anterior y de acuerdo a los resultados de este trabajo se determina que para cada tamaño de grano de materia prima (densidad aparente) que se alimenta al horno se requiere de un modo de operación único que permita obtener altas productividades y bajos consumos de energía.

Por otro lado, se concluye que para cualquier valor de velocidad manejada, cualquier voltaje y cualquier tamaño de grano de materia prima no se requiere suministrar la máxima potencia disponible del sistema (factor de potencia =  $1/\sqrt{2}$ ) para alcanzar la productividad máxima del horno; por el contrario, se determina la existencia de un rango de corriente de arco para cada nivel de voltaje disponible en el transformador del horno y para cada valor de velocidad de electrodos, en los que se pueden obtener las máximas productividades y los mínimos consumos de energía; el rango de corriente referido corresponde a un factor de potencia mayor a  $1/\sqrt{2}$ .

Se descarta la posibilidad de determinar topológicamente calidades distintas y constantes de producto (tamaño de cristal y BSG) en el interior del lingote obtenido al final de cada fusión,

confirmándose que los análisis de una muestra representativa de todo el lingote seguirá siendo el índice más confiable para medir la calidad del producto obtenido.

A la fecha el modelo ha sido implementado en un programa de lenguaje lineal al que se le han implementado rutinas de gráficas de desplazamiento de electrodos por fase eléctrica así como los parámetros eléctricos necesarios durante cada fusión. Actualmente se esta trabajando en la implementación por computadora del modelo al proceso de fusión directamente (**Apéndice**).

En la planta MAGNELEC del Grupo Peñoles se esta trabajando con los conceptos y variables que el modelo sugiere para controlar las fusiones, con lo que se han obtenido mejores resultados de productividad que en tiempos anteriores.

Para trabajos analíticos futuros se sugiere un acoplamiento de un modelo térmico al que aquí se ha desarrollado. Este acoplamiento sería posible en la parte del análisis de velocidad de calentamiento de la carga para calcular la energía absorbida por el material dispuesto para fundirse y el que lo rodea; con ello podría incrementarse la precisión del cálculo.

Por otro lado, para trabajos prácticos futuros se sugiere un análisis de pruebas en planta con distintas granulometrías de materia prima y distintos modos de operación, con los que se obtengan resultados básicos para determinar modos prácticos de operación con altos índices de desempeños del horno.

# CAPÍTULO 8

## SUGERENCIAS AL PROCESO

- Con la finalidad de seguir evaluando el proceso y el producto se sugiere registrar las variables con las que aquí se han trabajado, principalmente:
  - **Granulometría de la materia prima**
  - **Corriente de operación del arco**
  - **Nivel de voltaje del transformador**
  - **Velocidad de levantamiento de electrodos**
- Tomar en cuenta que si se baja el voltaje cambiando el nivel del transformador con la finalidad de controlar la velocidad de los electrodos, la potencia disminuye y por lo tanto se requiere una velocidad todavía menor. Por lo que se recomienda hacer uso de las curvas estáticas de potencia del transformador con las que se puedan definir los valores de corriente en cada nivel del transformador para un mismo valor de potencia suministrado.
- Se recomienda hacer clasificaciones de materia prima en distintos tamaños y realizar pruebas con ellas en distintos modos de operación con el objeto de determinar el punto óptimo para cada tamaño clasificado.

# CAPÍTULO 9

## APORTACIONES

### 9.1. Aportación Industrial

Una propuesta de operación presentada en MAGNELEC S.A. de C.V.<sup>44)</sup> está siendo aplicada. En el primer mes de aplicación del modo sugerido la productividad de la planta se incrementó un 4 % comparado con productividades obtenidas hasta 1996; en el segundo mes el incremento de la productividad fue de 10 % y en el tercer mes fue del 20 % más. La diferencia en los resultados se presenta porque poco a poco los operarios del horno han ido comprendiendo los nuevos conceptos de operación sugeridos y los han estado aplicando, además de que en el proceso se ha estado depurando el tamaño de grano de materia prima siendo éste cada vez más uniforme. Sostener esta mejora durante 9 meses más significaría alcanzar la capacidad instalada de la planta.

### 9.2. Aportación Tecnológica

Se ha logrado transferir una parte del modo de operación del Horno de Arco Eléctrico para fundir Magnesia grado refractario desde el *arte* al campo de la *técnica* o *tecnología*. Actualmente en MAGNELEC S.A. de C.V. se opera el horno de acuerdo a las predicciones del modelo y con ello se tiene una visión más amplia del proceso y las expectativas de productividad han mejorado.

# LITERATURA

- 1) Kluss, E.: "Die Probleme des elektrischen Lichtbogen- und Widerstandsofens", Springer, Berlin 1951, s. 2/11.
- 2) Lauster, F.: "Elektrowärmetechnik", Teubner, Stuttgart 1963, s. 109.
- 3) Lünig, H.: "Lichtbogenstahlschmelzöfen als elektrische Verbraucher und Möglichkeiten zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit", Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 106, 1961, s. 273.
- 4) Como 3), p. 276.
- 5) Ameling, D.: "Über den Zusammenhang zwischen den elektrischen Bedingungen und den Strahlungsverhältnissen des Lichtbogens am Elektrolichtbogenofen bei Einstellung verschiedener Arbeitspunkte im elektrischen Leistungsschaubild", Diplomarbeit, TU Clausthal, 1966, s. 10.
- 6) Schwabe, W. E.: "Principles of High Production Electric Steel Furnace Operation", Elektrowärme-kongress, Wiesbaden 1963, N 123, s. 4.
- 7) Como 2), s. 110.
- 8) Sommer, F. und E. Plöckinger: "Elektrostahlerzeugung", 2. Auflage, Stahleisen, Düsseldorf, 1964, s. 128/131.
- 9) Ottmar, H.: "Leistungsmöglichkeiten eines 50-t-Lichtbogenofens", Stahl und Eisen 86, 1966, s. 201/207.
- 10) Como 8), s. 273/274.
- 11) Gieck, K.: "Technische Formelsammlung", Gieck Verlag, 1989, s. Z1.
- 12) Power, T.: "Fused minerals - the high purity high performance oxides", Industrial Minerals, July 1985, p. 35.
- 13) O'Driscoll, M.: "Fused Magnesia. The blender's choice", Industrial Minerals, January 1996, p. 19.
- 14) Schwabe, W. E.: "Arc Heat Transfer and Refractory Erosion in Electric Steel Furnace", Proceedings of Electric Furnace Conference, 1962. p. 195.
- 15) Lizcano Z., C. J.: "Balance Termodinámico de la Fabricación de Acero", Tesis de Maestría, Doctorado en Ing. de Materiales, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, UANL, México, Abril 1996.
- 16) Castillo R., G. A.: "Fusión de Magnesia en Horno de Arco Eléctrico y su Caracterización para la Industria Refractaria", Tesis de Maestría, Doctorado en Ing. de Materiales, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, UANL, México, 1992.

- 17) Kingeri, H.D.: "Introduction to Ceramics", 2nd. Ed., John Wiley and Sons. N.Y., 1960. p. 448.
- 18) Como 1), p. 11.
- 19) Heiss, W.D.: "Modelling and Simulation of Electric Smelting furnaces", Ironmaking and Steelmaking, 1982, Vol. 9, No. 5, p. 217.
- 20) Heiss, W.D.: "Fields, Power Density and Effective Resistance in the Electrode and Furnace of an Electric Smelter", Elektrowärme International 39 B5, Oktober 1981, s. B 243.
- 21) Heiss, W.D.: "Mathematical Model of an Electric Smelting Furnace II", Elektrowärme International 37 B6, Dezember 1979, s. B 304.
- 22) Heiss, W.D.: "Mathematical Model of an Electric Smelting Furnace", Elektrowärme International 36 B2, April 1978, s. B 111.
- 23) Ma, T.L.W. and Lavers, J.D.: "A Finite-Element Package for the Analysis of Electromagnetic Forces and Power in an Electric Smelting Furnace", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-22, No. 4, July/August 1986, p. 578.
- 24) Ma, T.L.W. and Lavers, J.D.: "A Finite-Element Iterative Simulation of Coupled Electrothermal Effects in an Electric Smelting Furnace", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. MAG-21, No. 6, November 1985, p. 2416.
- 25) Bretthauer, K.: Comunicación personal, Institut für Elektrotechnik, TU Clausthal, Mayo 1995.
- 26) Stefan, J.: "Stefans Problem", Ann. Phys. und Chem., (Wiedemann) N.F., Vol. 42, 1891, s. 269-286.
- 27) Neumann, F.: "Die Partiellen Differentialgleichungen der Mathematischen Physik", Riemann-Weber, Vol. 2, 1912, s. 121.
- 28) Dusenberre, G.M.: "Numerical Methods for Transient Heat Flows", Trans. ASME, Vol. 67, 1945, p. 703.
- 29) Doherty, P.C.: "Hot Pipe", U.S. Geological Survey Computer Contribution, No. 4, 1970.
- 30) Rolph, W.D. and Bathe, D.: "An Efficient Algorithm for Analysis of Nonlinear Heat Transfer With Phase Changes", Int. J. Num. Meth. Engr., Vol. 18, 1982, p. 119-134.
- 31) Hashemi, H.T. and Sliepcevich, C.M.: "A Numerical Method for Solving Two-Dimensional Problems of Heat Conduction With Change of Phase", Chem. Eng. Prog. Symp. Series, No. 79, Vol. 63, 1967, p. 34-41.
- 32) Comini, G.; Del Giudice, S.; Lewis, R.W. and Zienkiwicz, O.C.: "Finite Element Solution of Non-linear Heat Conduction Problems With Special Reference to Phase Change", Int. J. Num. Meth. Engr., Vol. 8, 1974, p. 613-624.

- 33) Pham, Q.T.: "A Fast Unconditionally Stable Finite-Difference Scheme for Heat Conduction With Phase Change", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 28, No. 11, 1985, p. 2079-2080.
- 34) Meyer, G.H.: "Multi-Dimensional Stefan Problems", *SIAM J. Numer. Anal.* Vol. 10, No. 3, 1973, p. 522-538.
- 35) Shamsunder, N. and Sparrow, E.M.: "Analysisi of Multi-Dimensional Conduction Phase Change Via The Enthalpy Model", *ASME Journal of Heat Transfer*, Vol. 97, 1975, p. 333-340.
- 36) Crowley, A.B.: "Numerical Solution of Stefan Problems", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 21, 1978, p. 215-219.
- 37) Bell, G.E. and Wood, A.S.: "On the Performance of the Enthalpy Method in the Region of a Singularity", *Int. J. Num. Meth. Engr.*, Vol. 19, 1983, p. 1583-1592.
- 38) Tacke, K.H.: "Discretization of the Explicit Enthalpy Method for Planar Phase Change", *Int. J. Num. Meth. Engr.*, Vol. 21, 1985, p. 543-547.
- 39) Pham, Q.T.: "A Fast Unconditionally Stable Finite-Difference Scheme for Heat Conduction With Phase Change", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 28, No. 11, 1985, p. 2081-2084.
- 40) Tacke, K.H.: "Discretization of the Explicit Enthalpy Method for Planar Phase Change", *Int. J. Num. Meth. Engr.*, Vol. 21, 1985, p. 548-554.
- 41) Blanchard, D. and Fremond, M.: "The Stefan Problem: Computing Without the Free Boundary", *Int. J. Num. Meth. Engr.*, Vol. 20, 1984, p. 757-771.
- 42) Scholz, R.: Comunicación personal, Intitut für Wärmetechnik und Industrieofenbau, TU Claustahl, Junio 1995.
- 43) Leers, K.J.: Comunicación personal, Institut für Nichtmetallische Werkstoffe, TU Clausthal, Julio 1995.
- 44) Castillo R., G.A.: "Reporte Técnico de Proyecto", MAGNELEC S.A de C.V., Peñoles, Ramos Arízpe, Coah., México, Diciembre de 1996.
- 45) Jeschar, R.: "Vorlesung über Technische Thermodynamik", Teil I, Institut für Wärmetechnik und Industrieofenbau, TU Clausthal, Deutschland, 1995.
- 46) Perry, R.H. and Green, D.: "Perry's Chemical Engineer's Handbook", Sixth Edition, McGraw-Hill, USA, 1984, p. 4-52.
- 47) Das, T.K.: Comunicación personal, Servicios Industriales Peñoles S.A. de C.V., México, 1995.



# ÍNDICE DE FIGURAS

página

Fig. 1. Diagrama de circuito básico de un HAE para fusión de Magnesia.....	11
Fig. 2. Diagrama eléctrico equivalente de HAE (circuito fundamental).....	12
Fig. 3. Circuito equivalente de operación del HAE.....	15
Fig. 4. a) Circuito equivalente simplificado del HAE, b) Gráfica de posición del vector de corriente $\vec{I}$ .....	16
Fig. 5. a) Diagrama vectorial de corrientes y b) Diagrama vectorial de potencias; Kluss <sup>1)</sup> .....	18
Fig. 6. Diagrama vectorial de corriente completo del HAE; se descarta la corriente en vacío del Transformador.....	23
Fig. 7. Diagrama vectorial de potencias completo del HAE; se descarta la corriente en vacío del Transformador.....	24
Fig. 8. Diagrama de potencias de un Horno de Arco Eléctrico con líneas de factor de potencia.....	29
Fig. 9. Diagrama de curvas características de potencias relativas de un HAE.....	35
Fig. 10. Diagrama de potencias completo con las curvas de potencias relativas útil del horno y pérdida real.....	38
Fig. 11. Geometría de la coraza con dimensiones relativas al radio inferior.....	44
Fig. 12. Geometría del carro del horno con dimensiones relativas al radio.....	44
Fig. 13. Circuito equivalente fundamental del HAE usado en este trabajo.....	48
Fig. 14. Diagrama de potencias para cuatro niveles de voltaje del horno de arco eléctrico para fusión de magnesia de SIPSA de C.V.....	49
Fig. 15. Diagrama de potencias completo para el voltaje del nivel 1 del Horno de Arco Eléctrico para fusión de Magnesia de SIPSA de C.V.....	51
Fig. 16. Diagrama de potencias completo para el voltaje del nivel 2 del Horno de Arco Eléctrico para fusión de Magnesia de SIPSA de C.V.....	53
Fig. 17. Diagrama de potencias completo para el voltaje del nivel 3 del Horno de Arco Eléctrico para fusión de Magnesia de SIPSA de C.V.....	54
Fig. 18. Diagrama de potencias completo para el voltaje del nivel 4 del Horno de Arco Eléctrico para fusión de Magnesia de SIPSA de C.V.....	56
Fig. 19. Diagrama de potencias completo para el voltaje del nivel 5 del Horno de Arco Eléctrico para fusión de Magnesia de SIPSA de C.V.....	57

<b>Fig. 20. Diagrama de potencias completo para el voltaje del nivel 6 del Horno de Arco Eléctrico para fusión de Magnesia de SIPSA de C.V.....</b>	<b>59</b>
<b>Fig. 21. Diagrama de potencias completo para el voltaje del nivel 7 del Horno de Arco Eléctrico para fusión de Magnesia de SIPSA de C.V.....</b>	<b>60</b>
<b>Fig. 22. Diagrama de potencias completo para el voltaje del nivel 8 del Horno de Arco Eléctrico para fusión de Magnesia de SIPSA de C.V.....</b>	<b>62</b>
<b>Fig. 23. Diagrama de potencias completo para el voltaje del nivel 9 del Horno de Arco Eléctrico para fusión de Magnesia de SIPSA de C.V.....</b>	<b>63</b>
<b>Fig. 24. Diagrama de potencias completo para el voltaje del nivel 10 del Horno de Arco Eléctrico para fusión de Magnesia de SIPSA de C.V.....</b>	<b>65</b>
<b>Fig. 25. Diagrama de potencias completo para el voltaje del nivel 11 del Horno de Arco Eléctrico para fusión de Magnesia de SIPSA de C.V.....</b>	<b>66</b>
<b>Fig. 26. Diagrama de potencias completo para el voltaje del nivel 12 del Horno de Arco Eléctrico para fusión de Magnesia de SIPSA de C.V.....</b>	<b>68</b>
<b>Fig. 27. Diagrama de flujo representativo del proceso de obtención de Magnesia Electrofundida.....</b>	<b>69</b>
<b>Fig. 28. Representación de la distribución de energías en el sistema aquí considerado.....</b>	<b>75</b>
<b>Fig. 29. Representación del balance de materia en el horno de arco eléctrico.....</b>	<b>76</b>
<b>Fig. 30. Geometría de la mitad de la coraza del horno en los ejes coordenados <math>f(x)</math> vs. <math>X</math>.....</b>	<b>78</b>
<b>Fig. 31. Comparación del consumo de energía entre datos de planta y cálculos teóricos del experimento 1-1.....</b>	<b>92</b>
<b>Fig. 32. Comparación del consumo de energía entre datos de planta y cálculos teóricos del experimento 1-2.....</b>	<b>92</b>
<b>Fig. 33. Comparación del consumo de energía entre datos de planta y cálculos teóricos del experimento 1-3.....</b>	<b>93</b>
<b>Fig. 34. Comparación del consumo de energía entre datos de planta y cálculos teóricos del experimento 1-4.....</b>	<b>93</b>
<b>Fig. 35. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 1-1.....</b>	<b>94</b>
<b>Fig. 36. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 1-2.....</b>	<b>94</b>
<b>Fig. 37. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 1-3.....</b>	<b>95</b>
<b>Fig. 38. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 1-4.....</b>	<b>95</b>
<b>Fig. 39. Resultados del modelo y de la prueba 1-1, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>97</b>
<b>Fig. 40. Resultados del modelo y de la prueba 1-2, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>97</b>

<b>Fig. 41. Resultados del modelo y de la prueba 1-3, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>98</b>
<b>Fig. 42. Resultados del modelo y de la prueba 1-4, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>98</b>
<b>Fig. 43. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 1-1 de las preliminares.....</b>	<b>99</b>
<b>Fig. 44. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 1-2 de las preliminares.....</b>	<b>100</b>
<b>Fig. 45. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 1-3 de las preliminares.....</b>	<b>100</b>
<b>Fig. 46. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 1-4 de las preliminares.....</b>	<b>101</b>
<b>Fig. 47. Resultados reales y teóricos del consumo específico de energía en función de la velocidad de levantamiento de los electrodos para las pruebas preliminares.....</b>	<b>105</b>
<b>Fig. 48. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 1-1 de las preliminares.....</b>	<b>106</b>
<b>Fig. 49. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 1-2 de las preliminares.....</b>	<b>107</b>
<b>Fig. 50. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 1-3 de las preliminares.....</b>	<b>107</b>
<b>Fig. 51. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 1-4 de las preliminares.....</b>	<b>108</b>
<b>Fig. 52. Muestra 1-2/I con cristales incompetentes y con una intensa porosidad irregular intercrystalina.....</b>	<b>110</b>
<b>Fig. 53. Muestra 1-3/I con distribución de cristales no homogénea y porosidad fina intracrystalina.....</b>	<b>110</b>
<b>Fig. 54. Relación de energía consumida teórica y real de las pruebas del grupo 2.....</b>	<b>111</b>
<b>Fig. 55. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 2-1-1.....</b>	<b>113</b>
<b>Fig. 56. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 2-1-2.....</b>	<b>113</b>
<b>Fig. 57. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 2-1-3.....</b>	<b>113</b>
<b>Fig. 58. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 2-2-1.....</b>	<b>113</b>
<b>Fig. 59. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 2-2-2.....</b>	<b>114</b>
<b>Fig. 60. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 2-2-3.....</b>	<b>114</b>
<b>Fig. 61. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 2-3-1.....</b>	<b>114</b>
<b>Fig. 62. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 2-3-2.....</b>	<b>114</b>

<b>Fig. 63. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 2-3-3.....</b>	<b>115</b>
<b>Fig. 64. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 2-4-1.....</b>	<b>115</b>
<b>Fig. 65. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 2-4-2.....</b>	<b>115</b>
<b>Fig. 66. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 2-4-3.....</b>	<b>115</b>
<b>Fig. 67. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 2-5-1.....</b>	<b>116</b>
<b>Fig. 68. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 2-5-2.....</b>	<b>116</b>
<b>Fig. 69. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante el experimento 2-6-1.....</b>	<b>116</b>
<b>Fig. 70. Resultados del modelo y de la prueba 2-1-1, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>122</b>
<b>Fig. 71. Resultados del modelo y de la prueba 2-1-2, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>122</b>
<b>Fig. 72. Resultados del modelo y de la prueba 2-1-3, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>122</b>
<b>Fig. 73. Resultados del modelo y de la prueba 2-2-1, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>122</b>
<b>Fig. 74. Resultados del modelo y de la prueba 2-2-2, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>123</b>
<b>Fig. 75. Resultados del modelo y de la prueba 2-2-3, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>123</b>
<b>Fig. 76. Resultados del modelo y de la prueba 2-3-1, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>123</b>
<b>Fig. 77. Resultados del modelo y de la prueba 2-3-2, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>123</b>
<b>Fig. 78. Resultados del modelo y de la prueba 2-3-3, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>124</b>
<b>Fig. 79. Resultados del modelo y de la prueba 2-4-1, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>124</b>
<b>Fig. 80. Resultados del modelo y de la prueba 2-4-2, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>124</b>
<b>Fig. 81. Resultados del modelo y de la prueba 2-4-3, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>124</b>
<b>Fig. 82. Resultados del modelo y de la prueba 2-5-1, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>125</b>
<b>Fig. 83. Resultados del modelo y de la prueba 2-5-2, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>125</b>
<b>Fig. 84. Resultados del modelo y de la prueba 2-6-1, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>125</b>
<b>Fig. 85. Comportamiento de la productividad por fase eléctrica en función de la densidad de           materia prima.....</b>	<b>125</b>
<b>Fig. 86. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico           en la prueba 2-1-1.....</b>	<b>127</b>
<b>Fig. 87. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico           en la prueba 2-1-2.....</b>	<b>127</b>
<b>Fig. 88. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico           en la prueba 2-1-3.....</b>	<b>128</b>

<b>Fig. 89. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-2-1.....</b>	<b>128</b>
<b>Fig. 90. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-2-2.....</b>	<b>129</b>
<b>Fig. 91. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-2-3.....</b>	<b>129</b>
<b>Fig. 92. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-3-1.....</b>	<b>130</b>
<b>Fig. 93. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-3-2.....</b>	<b>130</b>
<b>Fig. 94. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-3-3.....</b>	<b>131</b>
<b>Fig. 95. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-4-1.....</b>	<b>131</b>
<b>Fig. 96. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-4-2.....</b>	<b>132</b>
<b>Fig. 97. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-4-3.....</b>	<b>132</b>
<b>Fig. 98. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-5-1.....</b>	<b>133</b>
<b>Fig. 99. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-5-2.....</b>	<b>133</b>
<b>Fig. 100. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-6-1.....</b>	<b>134</b>
<b>Fig. 101. Resultados reales y calculados del consumo específico de energía en función de la velocidad de levantamiento de electrodos para las pruebas 2-1.....</b>	<b>136</b>
<b>Fig. 102. Resultados reales y calculados del consumo específico de energía en función de la velocidad de levantamiento de electrodos para las pruebas 2-2.....</b>	<b>136</b>
<b>Fig. 103. Resultados reales y calculados del consumo específico de energía en función de la velocidad de levantamiento de electrodos para las pruebas 2-3.....</b>	<b>136</b>
<b>Fig. 104. Resultados reales y calculados del consumo específico de energía en función de la velocidad de levantamiento de electrodos para las pruebas 2-4.....</b>	<b>136</b>

<b>Fig. 105. Resultados reales y calculados del consumo específico de energía en función de la velocidad de levantamiento de electrodos para las pruebas 2-5 y 2-6.....</b>	<b>137</b>
<b>Fig. 106. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-1-1.....</b>	<b>138</b>
<b>Fig. 107. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-1-2.....</b>	<b>138</b>
<b>Fig. 108. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-1-3.....</b>	<b>139</b>
<b>Fig. 109. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-2-1.....</b>	<b>139</b>
<b>Fig. 110. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-2-2.....</b>	<b>140</b>
<b>Fig. 111. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-2-3.....</b>	<b>140</b>
<b>Fig. 112. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-3-1.....</b>	<b>141</b>
<b>Fig. 113. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-3-2.....</b>	<b>141</b>
<b>Fig. 114. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-3-3.....</b>	<b>142</b>
<b>Fig. 115. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-4-1.....</b>	<b>142</b>
<b>Fig. 116. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-4-2.....</b>	<b>143</b>
<b>Fig. 117. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-4-3.....</b>	<b>143</b>
<b>Fig. 118. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-5-1.....</b>	<b>144</b>
<b>Fig. 119. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-5-2.....</b>	<b>144</b>
<b>Fig. 120. Resultados del consumo específico de energía por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba 2-6-1.....</b>	<b>145</b>

<b>Fig. 121. Desplazamiento de los electrodos durante la prueba 3-1 del Grupo 3.....</b>	<b>149</b>
<b>Fig. 122. Desplazamiento de los electrodos durante la prueba 3-2 del Grupo 3.....</b>	<b>149</b>
<b>Fig. 123. Desplazamiento de los electrodos durante la prueba 3-7 del Grupo 3.....</b>	<b>150</b>
<b>Fig. 124. Desplazamiento de los electrodos durante la prueba 3-9 del Grupo 3.....</b>	<b>150</b>
<b>Fig. 125. Desplazamiento de los electrodos durante la prueba 3-10 del Grupo 3.....</b>	<b>151</b>
<b>Fig. 126. Desplazamiento de los electrodos durante la prueba 3-11 del Grupo 3.....</b>	<b>151</b>
<b>Fig. 127. Desplazamiento de los electrodos durante la prueba 3-17 del Grupo 3.....</b>	<b>152</b>
<b>Fig. 128. Desplazamiento de los electrodos durante la prueba 3-18 del Grupo 3.....</b>	<b>152</b>
<b>Fig. 129. Resultados de productividad y consumo de energía específica en % de variación con respecto al valor promedio manejado en operación normal de la planta. Pruebas Grupo 3... </b>	<b>154</b>
<b>Fig. 130. Fotografía del interior del lingote de la prueba 3-17 mostrando cristales del orden de 10<sup>9</sup> cm.....</b>	<b>156</b>
<b>Fig. 131. Fotografía del interior del lingote de la prueba 3-3 mostrando una masa de MgO fundido con pequeños cristales.....</b>	<b>156</b>
<b>Fig. 132. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante la prueba F-1.....</b>	<b>159</b>
<b>Fig. 133. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante la prueba F-2.....</b>	<b>159</b>
<b>Fig. 134. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante la prueba F-3.....</b>	<b>160</b>
<b>Fig. 135. Comportamiento de los electrodos de las tres fases durante la prueba F-4.....</b>	<b>160</b>
<b>Fig. 136. Resultados del modelo y de la Prueba F-1, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>161</b>
<b>Fig. 137. Resultados del modelo y de la Prueba F-2, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>161</b>
<b>Fig. 138. Resultados del modelo y de la Prueba F-3, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>162</b>
<b>Fig. 139. Resultados del modelo y de la Prueba F-4, de productividad por fase eléctrica.....</b>	<b>162</b>
<b>Fig. 140. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba F-1.....</b>	<b>163</b>
<b>Fig. 141. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba F-2.....</b>	<b>163</b>
<b>Fig. 142. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba F-3.....</b>	<b>164</b>
<b>Fig. 143. Resultados de la productividad por fase eléctrica en función del punto de trabajo eléctrico en la prueba F-4.....</b>	<b>164</b>
<b>Fig. 144. Resultados reales y calculados del consumo específico de energía en función de la velocidad de levantamiento de los electrodos para las pruebas finales.....</b>	<b>165</b>

<b>Fig. 145. Acoplamiento de las curvas de productividad y consumo específico de energía con resultados según las condiciones operativas de la prueba F-1.....</b>	<b>166</b>
<b>Fig. 146. Acoplamiento de las curvas de productividad y consumo específico de energía con resultados según las condiciones operativas de la prueba F-2.....</b>	<b>167</b>
<b>Fig. 147. Acoplamiento de las curvas de productividad y consumo específico de energía con resultados según las condiciones operativas de la prueba F-3.....</b>	<b>168</b>
<b>Fig. 148. Acoplamiento de las curvas de productividad y consumo específico de energía con resultados según las condiciones operativas de la prueba F-4.....</b>	<b>169</b>
<b>Fig. 149. Porcentaje de mejora en tamaño de cristal, relativo al tamaño promedio obtenido en operación normal.....</b>	<b>170</b>
<b>Fig. 150. Influencia del nivel de voltaje del transformador y del factor de potencia de operación sobre la productividad del horno para un tiempo de fusión de 2.5 hrs., velocidad de electrodos de 35 cm/h y densidad de carga de materia prima en el interior del horno de 2.2 gr/cm<sup>3</sup>.....</b>	<b>171</b>



# ÍNDICE DE TABLAS

	página
Tabla 1. Cálculos del diagrama de potencias relativas con eficiencia eléctrica y factor de potencia de la Fig. 10.....	39
Tabla 2. Características principales del transformador de HAE de SIPSA.....	44
Tabla 3. Porcentaje de reactancias del transformador del horno para los distintos niveles de voltaje.....	46
Tabla 4. Datos del diagrama de potencias para el voltaje del nivel 1 de HAE para fusión de SIPSA de C.V.....	52
Tabla 5. Datos del diagrama de potencias para el voltaje del nivel 2 de HAE para fusión de SIPSA de C.V.....	52
Tabla 6. Datos del diagrama de potencias para el voltaje del nivel 3 de HAE para fusión de SIPSA de C.V.....	55
Tabla 7. Datos del diagrama de potencias para el voltaje del nivel 4 de HAE para fusión de SIPSA de C.V.....	55
Tabla 8. Datos del diagrama de potencias para el voltaje del nivel 5 de HAE para fusión de SIPSA de C.V.....	58
Tabla 9. Datos del diagrama de potencias para el voltaje del nivel 6 de HAE para fusión de SIPSA de C.V.....	58
Tabla 10. Datos del diagrama de potencias para el voltaje del nivel 7 de HAE para fusión de SIPSA de C.V.....	61
Tabla 11. Datos del diagrama de potencias para el voltaje del nivel 8 de HAE para fusión de SIPSA de C.V.....	61
Tabla 12. Datos del diagrama de potencias para el voltaje del nivel 9 de HAE para fusión de SIPSA de C.V.....	64
Tabla 13. Datos del diagrama de potencias para el voltaje del nivel 10 de HAE para fusión de SIPSA de C.V.....	64
Tabla 14. Datos del diagrama de potencias para el voltaje del nivel 11 de HAE para fusión de SIPSA de C.V.....	67
Tabla 15. Datos del diagrama de potencias para el voltaje del nivel 12 de HAE para fusión de SIPSA de C.V.....	67
Tabla 16. Análisis típico del material de recicló.....	84

<b>Tabla 17. Análisis típico del material de Química del Rey.....</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 18. Granulometría típica del material de Química del Rey.....</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 19. Granulometría típica del material de recicló.....</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 20. Condiciones de operación de pruebas preliminares.....</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 21. Condiciones de operación de pruebas del grupo 2.....</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 22. Condiciones de operación de pruebas del grupo 3.....</b>	<b>87</b>
<b>Tabla 23. Condiciones de operación de pruebas finales.....</b>	<b>87</b>
<b>Tabla 24. Datos leídos y calculados para el consumo de energía de las Pruebas Preliminares.....</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 25. Datos colectados de altura de electrodos durante las pruebas preliminares.....</b>	<b>95</b>
<b>Tabla 26. Resultados de productividad por fase eléctrica de pruebas preliminares.....</b>	<b>96</b>
<b>Tabla 27. Resultados del consumo de energía por fase eléctrica y trifásico de pruebas preliminares....</b>	<b>104</b>
<b>Tabla 28. Tamaño de cristal promedio y BSG de pruebas preliminares.....</b>	<b>110</b>
<b>Tabla 29. Consumos de energía de pruebas del grupo 2.....</b>	<b>111</b>
<b>Tabla 30. Datos colectados de altura de electrodos durante el experimento 2-1.....</b>	<b>117</b>
<b>Tabla 31. Datos colectados de altura de electrodos durante el experimento 2-2.....</b>	<b>117</b>
<b>Tabla 32. Datos colectados de altura de electrodos durante el experimento 2-3.....</b>	<b>118</b>
<b>Tabla 33. Datos colectados de altura de electrodos durante el experimento 2-4.....</b>	<b>118</b>
<b>Tabla 34. Datos colectados de altura de electrodos durante el experimento 2-5 y 2-6.....</b>	<b>119</b>
<b>Tabla 35. Resultados de análisis de malla de materia prima para algunos experimentos.....</b>	<b>119</b>
<b>Tabla 36. Resultados de productividad por fase eléctrica de pruebas 2-1, 2-2 y 2-3.....</b>	<b>120</b>
<b>Tabla 37. Resultados de productividad por fase eléctrica de pruebas 2-4, 2-5 y 2-6.....</b>	<b>121</b>
<b>Tabla 38. Resultados del consumo de energía por fase eléctrica de prueba 2-1.....</b>	<b>134</b>
<b>Tabla 39. Resultados del consumo de energía por fase eléctrica de pruebas 2-2, 2-3, 2-4, 2-5 y 2-6.....</b>	<b>135</b>
<b>Tabla 40. Tamaño de cristal promedio y BSG de pruebas del Grupo 2.....</b>	<b>146</b>
<b>Tabla 41. Composición química de material de recicló.....</b>	<b>147</b>
<b>Tabla 42. Resultados de productividad por fase eléctrica de pruebas F-1, F-2, F-3 y F-4.....</b>	<b>161</b>
<b>Tabla 43. Resultados del consumo de energía por fase eléctrica de pruebas F-1, F-2, F-3 y F-4.....</b>	<b>165</b>
<b>Tabla 44. Tamaño de cristal promedio y BSG de pruebas finales.....</b>	<b>170</b>

# APÉNDICE

## Presentación del Programa Lineal del Modelo

Aquí se presentan las pantallas de trabajo del modelo hasta ahora desarrollado, el programa ha sido codificado en un lenguaje de programación lineal, se planea en corto ser usado en el proceso de planta mediante un adquisidor de datos con lo que puedan tomarse acciones correctivas por desviaciones del proceso en el momento de la fusión. Actualmente el programa funciona con datos de altura de electrodos y corrientes de arco a intervalos de tiempo fijados, originales de fusiones reales previamente almacenados en archivos y desde dónde son leídos.

El programa muestra básicamente dos pantallas: la primera de ellas muestra en un recuadro superior izquierdo los datos técnicos de la fusión que se esta corriendo, dónde se indican el Tap del transformador seleccionado, el voltaje de Tap, el tiempo transcurrido de la fusión, la energía total instantánea, el factor de potencia activo y reactivo instantáneo, la altura de los electrodos instantánea de cada fase eléctrica así como su velocidad promedio su corriente de arco, las potencias de suministro eléctrico activa y reactiva todas instantáneas

Se muestra además una gráfica de altura de electrodos contra tiempo de fusión y paralelo a esta gráfica se observa la figura de un horno de arco eléctrico para fusión de MgO, con el que se simula físicamente el desplazamiento independiente de los electrodos.

La segunda pantalla consiste de una gráfica con 5 curvas, una de ellas es la curva de potencia suministrada correspondiente al nivel de voltaje con el que se realizó la fusión, las otras cuatro curvas trazan la cantidad de material fundido (núcleo) para cada fase eléctrica y total; las 5 curvas son trazadas contra la corriente de arco del transformador.

Se traza además una línea vertical en el valor de corriente de arco de operación promedio obteniéndose así las toneladas de producto totales y la potencia de trabajo promedio en la fusión al intersectar las curvas respectivas.

A un costado de esta gráfica son vistos 4 recuadros dónde en el primero se leen el voltaje previamente seleccionado, el Tap y el tiempo que duró la fusión. En el segundo se anotan los récord de amperaje de cada fase (máximo, promedio y mínimo) así como los valores promedio de corriente de arco y potencia suministrada durante la fusión.

En el tercer recuadro se anotan los valores promedio de velocidad de levantamiento para cada electrodo y un valor promedio de las tres fases. En el cuarto recuadro se presenta la leyenda de las curvas trazadas en la gráfica.

En las Figs. 1-A. a 10-A. se presenta una secuencia de imágenes de salida desde el programa para un ejemplo real, en cada una de ellas se reproducen las condiciones eléctricas de la fusión real así como el desplazamiento que los electrodos tuvieron.

Las imágenes fueron tomadas cada 15 minutos y es evidente que el comportamiento de cada electrodos es independiente de los otros dos, tanto en condiciones eléctricas como de desplazamiento; es evidente además que los electrodos no suben de manera uniforme sino que tienen desplazamientos tanto en dirección ascendente como descendente de manera independiente.

En la Fig. 10-A. se muestra el final de la fusión dónde se han trazado las líneas de regresión para cada fase eléctrica con lo que es calculada la velocidad promedio de las mismas. En la Fig. 11-A. se presenta la pantalla de resultados para esta fusión de ejemplo, dónde se obtiene teóricamente un peso de producto total de aproximadamente 2.1 ton.

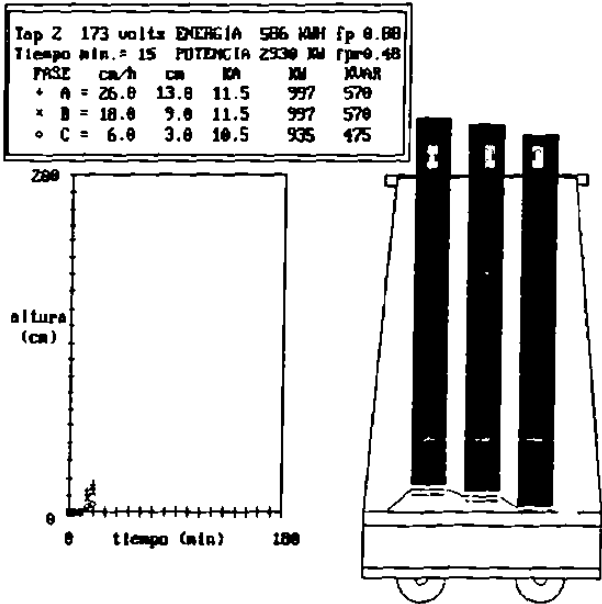


Figura 1-A. Primer pantalla del programa después de 15 minutos de fusión

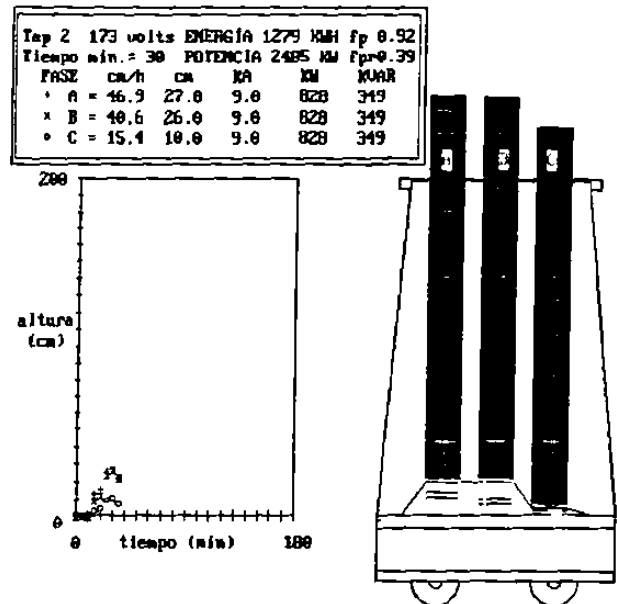


Figura 2-A. Primer pantalla del programa después de 30 minutos de fusión.

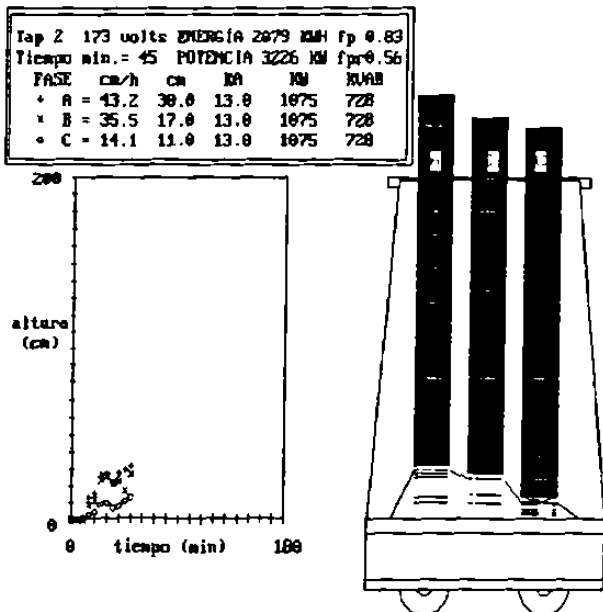


Figura 3-A. Primer pantalla del programa después de 45 minutos de fusión.

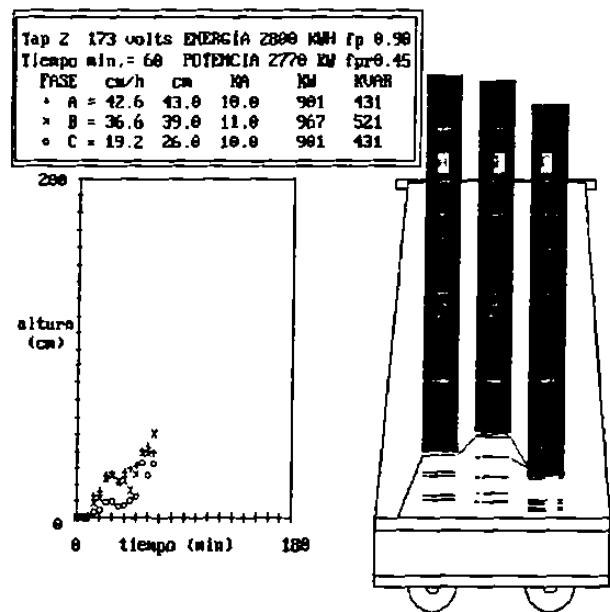


Figura 4-A. Primer pantalla del programa después de 60 minutos de fusión.

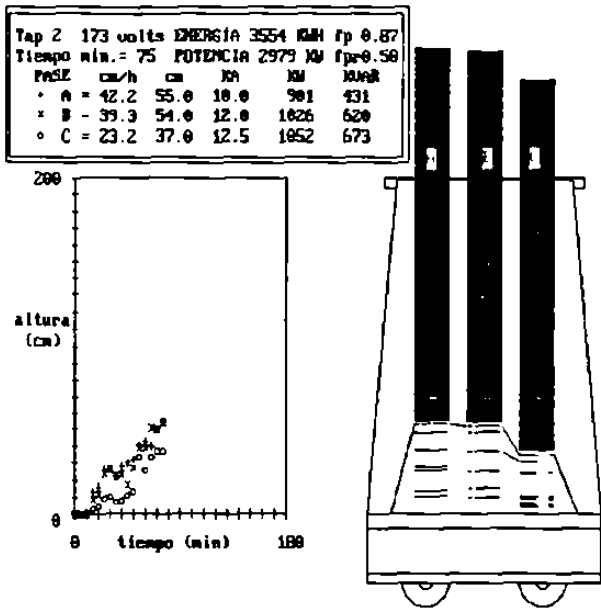


Figura 1-A. Primer pantalla del programa después de 75 minutos de fusión.

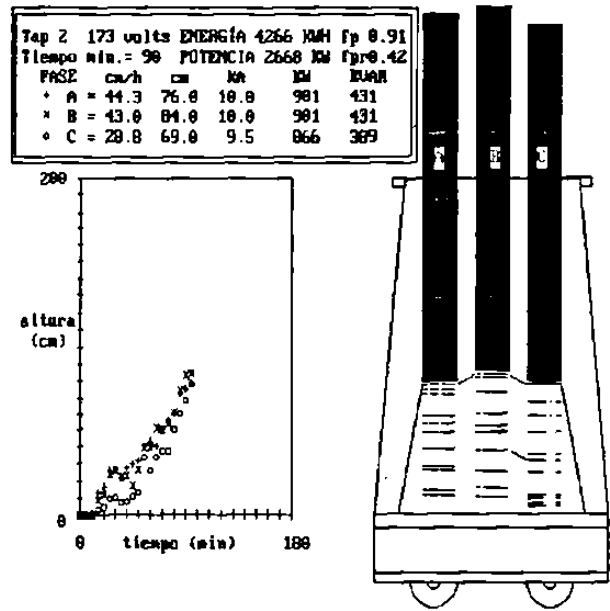


Figura 2-A. Primer pantalla del programa después de 90 minutos de fusión.

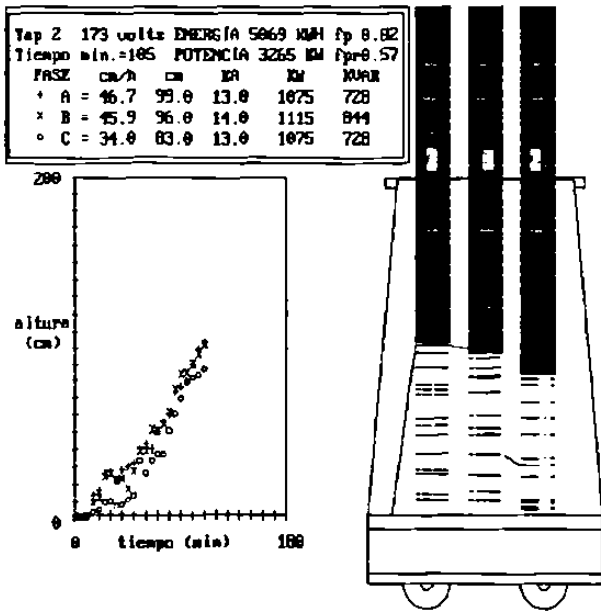


Figura 3-A. Primer pantalla del programa después de 105 minutos de fusión.

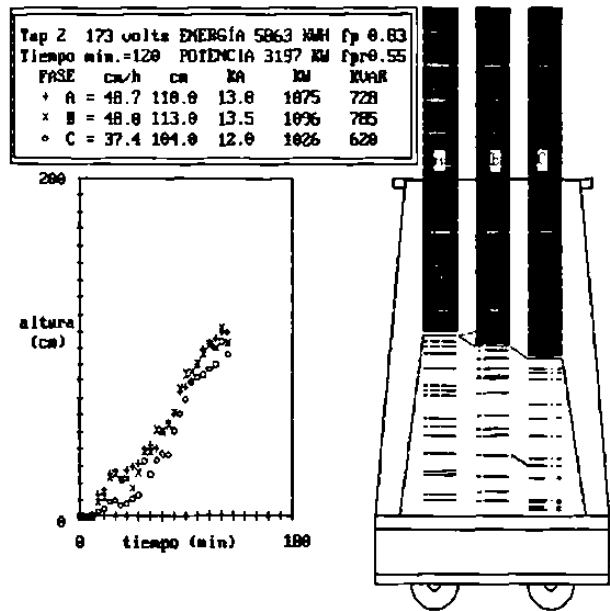


Figura 4-A. Primer pantalla del programa después de 120 minutos de fusión.

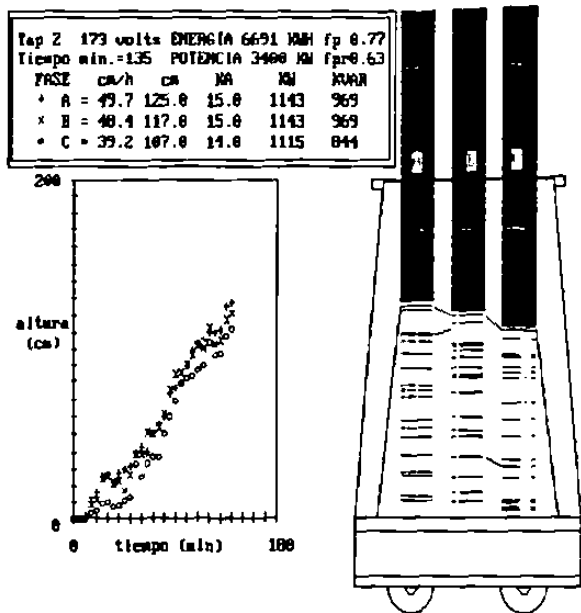


Figura 5-A. Primer pantalla del programa después de 135 minutos de fusión.

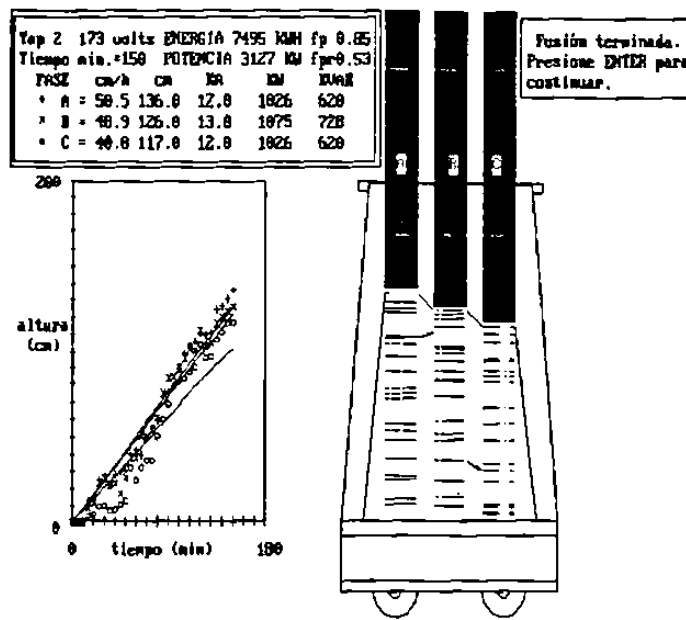


Figura 6-A. Primer pantalla del programa después de 150 minutos de fusión (final).

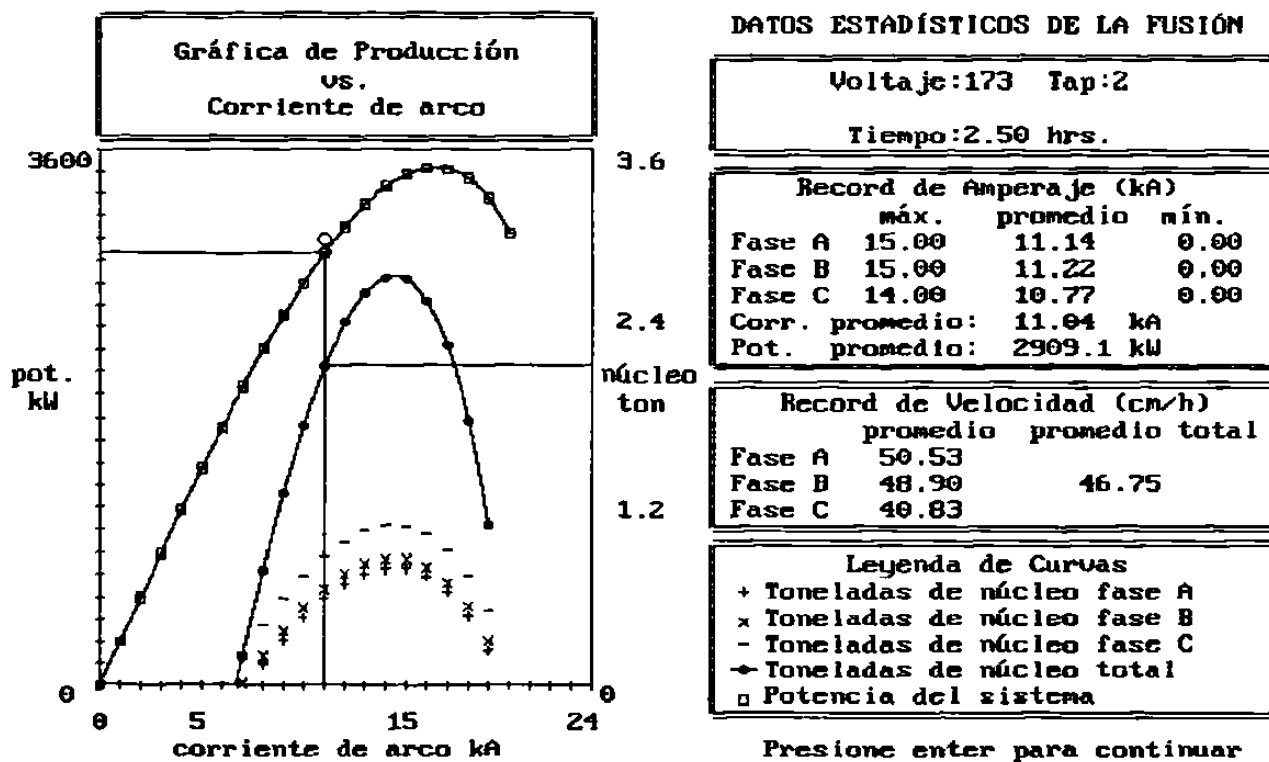


Figura 7-A. Segunda pantalla del programa con resultados teóricos de acuerdo al cálculo del modelo.

## CURRICULUM VITAE

**Nombre:** Guadalupe Alan Castillo Rodríguez  
**Dirección:** Flor de Cerézo 7204, Fracc. Sta. María  
 Guadalupe N.L. México, C.P. 67190  
**Fecha de nacimiento:** 12 de diciembre de 1965  
**Lugar de nacimiento:** Cd. Victoria Tamaulipas, México  
**Sexo:** Masculino  
**Estatura:** 1.77 mts.  
**Nacionalidad:** Mexicana  
**Estado civil:** Casado  
**Datos de familiares:**

Parentesco	Nombre	Fecha de nacimiento	Ocupación
Padre	Francisco Castillo Alfaro	4 de octubre de 1923	Finado
Madre	Maria del Patrocinio Rodriguez de Castillo	25 de mayo de 1926	Jubilada
Esposa	Edna Leticia Gómez de Castillo	7 de octubre de 1965	Ama de casa
Hija	Edna Castillo Gómez	12 de octubre de 1995	-
Hija	Edith Castillo Gómez	12 de octubre de 1995	-

### Formación Académica:

Escuela o Compañía	Formación	Periodo
Escuela Club de Leones Matutina Cd. Victoria Tamps., México	Primaria	1973 - 1978
Escuela Secundaria Técnica No. 1 Alvaro Obregón Cd. Victoria Tamps., México	Secundaria	1978 - 1981
Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 24 Cd. Victoria Tamps., México	Bachillerato	1981 - 1984
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica U.A.N.L., México	Licenciatura en Ingeniería Mecánica y Eléctrica	1984 - 1989
HYLSA Monterrey, México	Horno de Inducción	1987
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica U.A.N.L., México	Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con Especialidad en Materiales	1989 - 1992
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico Grupo Industrial Peñoles, Monterrey N.L. México	Horno de Arco Eléctrico para fundición de cerámicos	1990 - 1991



Goethe Institut  
Göttingen, Alemania Idioma Alemán 1994 - 1995

Instituto de Materiales no Metálicos  
Universidad Técnica de Clausthal  
Alemania Maestría en Ciencia  
de Materiales 1995 - 1996

Idiomas:

Alemán 90%  
Inglés 60%

Desempeño Laboral:

Puesto	Empresa	Periodo
Ingeniero de Proyectos	PRYSEGE S.A. de C.V.	1988 - 1989
Ingeniero de Proceso	MAGNELEC S.A. de C.V. Industrias Peñoles	1992 - 1993
Ingeniero de Proceso	FIBRAREX S.A. de C.V. Industrias Peñoles	1993 - 1994
Ingeniero de Proceso	Servicios Industriales Peñoles S.A. de C.V.	1996 - 1997
Investigador	Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Peñoles	1997 - a la fecha

Docencia: Maestro Adjunto del Instituto de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Regiomontana. 1993.

Mecánica de Fluidos I  
Mecánica de Fluidos II  
Máquinas Hidráulicas

