

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 588 947**

51 Int. Cl.:

**H05B 6/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.12.2008** **E 08170515 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.08.2016** **EP 2194755**

54 Título: **Método para controlar un sistema de calentamiento por inducción de una placa de cocción**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.11.2016**

73 Titular/es:

**WHIRLPOOL CORPORATION (50.0%)**  
**2000 M 63**  
**Benton Harbor, MI 49022, US y**  
**TEKA INDUSTRIAL S.A. (50.0%)**

72 Inventor/es:

**BOER, ALESSANDRO;**  
**DEL BELLO, FRANCESCO;**  
**GUTIERREZ, DIEGO NEFTALI;**  
**PADERNO, JURIJ;**  
**PARACHINI, DAVIDE y**  
**SANTACATTERINA, GIANPIERO**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 588 947 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Método para controlar un sistema de calentamiento por inducción de una placa de cocción

5 La presente invención se refiere a un método para controlar un sistema de calentamiento por inducción de una placa de cocción provista de una bobina de inducción, en particular para controlarlo en relación con una condición de trabajo predeterminada.

Más específicamente, la invención se refiere a un método para estimar la temperatura de un utensilio de cocción colocado sobre la placa de cocción y la temperatura del alimento contenido en el mismo, así como la masa de alimento.

10 Con la expresión "sistema de calentamiento", se pretende significar no sólo la bobina de inducción, el circuito de accionamiento de la misma y la placa de vitrocerámica o similar sobre la que se coloca el utensilio de cocción, sino también el propio utensilio de cocción, el contenido de alimento del mismo y cualquier elemento del sistema. De hecho, en los sistemas de calentamiento por inducción es casi imposible hacer una distinción entre el elemento de calentamiento, por un lado, y el utensilio de cocción, por otro lado, ya que el utensilio de cocción en sí es una parte activa del proceso de calentamiento.

15 La creciente necesidad de prestaciones de las placas de cocción en la preparación de alimentos se refleja en la forma en que la tecnología está cambiando con el fin de satisfacer los requisitos del cliente.

A partir de los documentos EP-A-1732357 y EP-A-1420613 se conocen soluciones técnicas referentes a la evaluación de la derivada de la temperatura del utensilio de cocción o "recipiente", pero ninguna describe una estimación cuantitativa de la temperatura del recipiente

20 En la bibliografía científica existe información sobre algoritmos relativos a la estimación de estados (mínimo cuadrado recursivo, filtro de Kalman, filtro de Kalman extendido [EKF, por sus siglas en inglés], etc.); ninguno de ellos se refiere a una aplicación industrial centrada en aparatos de cocción por inducción.

25 Es un objeto de la presente invención proporcionar un método según el cual se pueda evaluar de una manera fiable un valor de temperatura relacionado con la temperatura del recipiente y/o del alimento contenido en el mismo, o del sistema de calentamiento o de la superficie de vidrio situada bajo el recipiente, en particular con referencia a una condición de calentamiento en la cual se tiene que mantener sustancialmente constante la temperatura del alimento (condición de ebullición, freidura o similar).

Según la invención, el objeto precedente se logra gracias a las características que se enumeran en las reivindicaciones adjuntas.

30 El método de control según la presente invención se utiliza para estimar la temperatura de una olla, sartén o plancha (en lo sucesivo denominadas simplemente "recipiente") utilizadas sobre la placa de cocción por inducción, el estado termodinámico del alimento dentro del recipiente (masa y temperatura/entalpía/entropía/energía interna, etc.) y la temperatura de la bobina de inducción mediante el conocimiento de la frecuencia de conmutación del sistema de calentamiento por inducción y de al menos otro parámetro eléctrico medido del sistema de calentamiento por inducción.

35 En general, la fiabilidad de una estimación (a grandes rasgos, podría definirse dicha fiabilidad como una función de la diferencia entre el valor real y el valor estimado) mejora a medida que aumenta el número de mediciones eléctricas disponibles.

40 Por otra parte, la fiabilidad de la estimación mejora a medida que aumenta el número de frecuencias de conmutación a las cuales se realiza la medición o mediciones eléctricas.

45 Según la invención, no se impone ninguna limitación a la manera con que se elige la frecuencia o frecuencias de conmutación, a las cuales se realiza la medición o mediciones eléctricas. Se puede utilizar la temperatura estimada del recipiente para, por ejemplo, vigilar o controlar dicha temperatura. Se puede utilizar la temperatura estimada del alimento para, por ejemplo, vigilar o controlar dicha temperatura o la fase de cocción (por ejemplo, detectar la ebullición, controlar la ebullición, en caso de que el "alimento" sea agua o un líquido similar). Se puede utilizar la masa estimada de alimento para, por ejemplo, vigilar o controlar la fase de cocción. Se puede utilizar la temperatura estimada de la bobina para, por ejemplo, evitar averías debidas a sobrecalentamiento. Los parámetros de un circuito eléctrico equivalente simplificado que describa el comportamiento del proceso son útiles para estimar la temperatura del recipiente, para detectar una discordancia dinámica y también la calidad del recipiente.

50 Otro objeto de la presente invención es proporcionar un método que no solo permita evaluar la temperatura del recipiente o del alimento contenido en el mismo (y eventualmente su masa), sino que también pueda compensar distintos factores de ruido. Algunos factores de ruido que pueden afectar a la estimación son, por ejemplo, la temperatura inicial del recipiente o del alimento y la masa inicial de alimento, la fluctuación de la tensión de la red eléctrica, las tolerancias o derivas de los componentes, el uso de recipientes diferentes y los posibles

desplazamientos del recipiente con respecto a su posición original.

Otras características y ventajas según la presente invención quedarán claras a partir de la siguiente descripción detallada, con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

- 5 - la Figura 1 es una vista esquemática de una placa de cocción por inducción;
- la Figura 2 es un croquis que muestra cómo funciona el modelo según la invención;
- 10 - la Figura 3 es una vista esquemática de un circuito eléctrico de un posible modelo equivalente;
- la Figura 4 muestra una de las posibles implementaciones del método según la invención;
- la Figura 5 muestra un diagrama que compara los valores reales y los estimados de la resistencia equivalente del circuito primario;
- 15 - la Figura 6 es una figura similar a la Figura 5, y se refiere a una comparación entre los valores reales y estimados de temperatura del recipiente;
- la Figura 7 es similar a la Figura 5, y muestra la comparación con y sin compensación de tensión; y
- 20 - la Figura 8 es similar a la Figura 6, y muestra la comparación con y sin compensación de tensión.

Haciendo referencia a la Figura 2, el método comprende una o varias mediciones eléctricas de un parámetro eléctrico, un modelo matemático que proporciona al menos una estimación de la o las mediciones eléctricas y una o varias temperaturas como función de la frecuencia de conmutación, y cualquier tipo de algoritmo que afina en línea el modelo matemático en función de la diferencia entre parámetros eléctricos estimados y medidos.

El afinamiento en línea del modelo matemático representa una manera de compensar:

- la incertidumbre del estado inicial - es decir, si el modelo se basa en ecuaciones diferenciales, se requiere el estado inicial de la solución, pero podría ser desconocido;
- errores de medición - normalmente, las mediciones se ven afectadas por ruidos;
- 30 • incertidumbres del modelo - es decir, cada modelo es una representación simplificada de la realidad y, por tanto, siempre se ve afectado por "incertidumbres del modelo".

La capacidad de compensar este tipo de incertidumbres y errores proviene de un enfoque basado en el modelo que combina el modelo y su afinamiento mediante una retroalimentación de la diferencia entre la predicción y las mediciones. Para solucionar este tipo de problemas están disponibles en la bibliografía muchos algoritmos (mínimo cuadrado recursivo, filtro de Kalman, filtro de Kalman extendido [EKF]) y, por tanto, no se estima necesaria una descripción detallada de los mismos.

Dado que el efecto de la temperatura del recipiente normalmente es apreciable solo sobre un pequeño subconjunto de los parámetros del modelo, el afinamiento en línea del algoritmo se puede dividir en dos pasos. En el primer paso se afinan parte de los parámetros del modelo (eventualmente la totalidad o ninguno de los mismos) basándose en un primer conjunto de datos; en el segundo paso solamente se afinan el subconjunto de parámetros del modelo que se ven afectados por variaciones de la temperatura, basándose en los datos recogidos durante la fase de cocción.

Para mejorar las prestaciones de este método, durante el proceso de cocción se puede repetir el primer paso del afinamiento en línea cada vez que se detecte una modificación del proceso (por ejemplo, cuando se detecte una discordancia de recipiente), dando así la oportunidad de compensar ruidos detectables.

45 Como consecuencia del enfoque descrito en lo que antecede, una posible implementación del método según la invención es la siguiente.

**Ejemplo**

- se mide la corriente (i) que circula en la bobina de inducción;
- 50 • se utiliza el modelo matemático simplificado descrito por las siguientes ecuaciones diferenciales (Ec. 1) y que se muestra en la Figura 3:
- para completar el método propuesto en este ejemplo, se utiliza el filtro de Kalman extendido como algoritmo de afinamiento en línea.

El modelo propuesto en este Ejemplo se describe mediante las siguientes ecuaciones diferenciales (Ec. 1), en las que el sufijo "p" representa el circuito primario (es decir, la bobina de inducción y los condensadores) y el sufijo "s"

representa el circuito secundario (es decir, el recipiente metálico). Estas ecuaciones son un ejemplo de la relación entre la tensión de entrada, la intensidad de corriente en el circuito primario y la intensidad de corriente en el circuito secundario:

$$\begin{cases} L_p \frac{di_p}{dt} + M \frac{di_s}{dt} + R_p i_p + \frac{1}{C} \int i_p(\tau) d\tau = V_{IN}(t, f) \\ M \frac{di_p}{dt} + L_s \frac{di_s}{dt} + R_s i_s = 0 \\ R_s = R_0 (1 + \alpha (T_{pot} - T_0)) \end{cases} \quad (\text{Ec. 1})$$

5 en donde:

- $C$  → capacitancia equivalente del circuito primario;
- $R_p$  → resistencia equivalente del circuito primario;
- 10 -  $L_p$  → autoinductancia equivalente del circuito primario;
- $L_s$  → autoinductancia equivalente del circuito secundario;
- 15 -  $M$  → inductancia mutua equivalente;
- $R_s$  → resistencia equivalente del circuito secundario;
- $V_{in}$  → tensión de entrada del circuito primario;
- 20 -  $i_p$  → corriente que circula en el circuito primario;
- $i_s$  → corriente que circula en el circuito secundario;
- 25 -  $R_0$  → resistencia equivalente del circuito primario cuando  $T_{pot} = T_0$  ;
- $T_{pot}$  → temperatura del fondo del recipiente;
- $T_0$  → temperatura de referencia
- 30 -  $\alpha$  → parámetro adimensional

El modelo proporciona una estimación de distintas variables eléctricas de interés (en este caso,  $i_p$ ,  $i_s$ ), de las cuales al menos una debe ser medible ( $i_p$ ), y la estimación de la temperatura del recipiente ( $\hat{T}_{pot}$ ), y utiliza la frecuencia de conmutación  $f$ . Para estimar en línea los parámetros del modelo es posible aprovechar las mediciones que normalmente se encuentran disponibles en el aparato. En aras de la simplicidad, en el resto de la descripción se supondrá que se dispone de la medida de la raíz media cuadrática de la corriente que circula en la bobina ( $i_p$ ), aunque se podría utilizar un proceso análogo que tuviera distintas mediciones eléctricas o distintos puntos de medición.

En consecuencia, el esquema general mostrado en la Figura 2 se puede modificar como se ve en la Figura 4, en donde el elemento "K" representa la matriz de Kalman.

En este modelo, la temperatura del recipiente afecta solamente al parámetro  $R_s$ , por lo que el afinamiento en línea del algoritmo se puede dividir en este caso en dos pasos:

- se afinan parte de los parámetros del modelo -  $C$ ,  $R_p$ ,  $L_p$ ,  $L_s$ ,  $M$  y  $R_s$  - (eventualmente la totalidad o ninguno de ellos) basándose en un primer conjunto de datos;
- 45 • se afinan solamente el subconjunto de parámetros del modelo que se ven afectados por variaciones de temperatura -  $R_s$  -, basándose en los datos recogidos durante la fase de cocción.

Teóricamente, los parámetros  $C$ ,  $R_p$  y  $L_p$  deberían ser conocidos por el fabricante, pero las tolerancias o deriva de los componentes, y la imprecisión del modelo, requieren normalmente una estimación en línea de estos parámetros

junto con  $M$ ,  $L_s$  y  $R_s$ . Sin embargo, si se tolera el error resultante, se podría omitir la primera parte del afinamiento en línea suponiendo que se conocen todos los parámetros.

5 En el presente Ejemplo, en el primer paso del afinamiento en línea se han optimizado todos los parámetros del modelo utilizando un algoritmo de búsqueda en línea basado en seis adquisiciones de  $i_p$  a seis frecuencias distintas. En el segundo paso del afinamiento en línea se ha afinado el parámetro  $R_s$  con un filtro de Kalman, utilizando la corriente  $i_p$  adquirida a una frecuencia conocida, que eventualmente puede cambiar durante el proceso de cocción.

10 Aunque los parámetros optimizados son distintos de los reales (véase la Figura 5), la temperatura del recipiente se estima, como puede verse en la Figura 6, correctamente. En este caso particular, el modelo no puede compensar el error en la temperatura del estado inicial, pero el uso de un modelo más sofisticado que tuviese también en cuenta la dinámica térmica del alimento podría realizar este tipo de compensación.

15 Los resultados del ejemplo precedente se pueden mejorar introduciendo la medida de la tensión. En un ejemplo adicional, la tensión de entrada cambia desde 230 V rms al comienzo de la simulación hasta 232,3 V rms (1% en 100 s) al final, mientras que todos los demás parámetros de la simulación son iguales a los del ejemplo precedente. Como se muestra en la Figura 7 y en la Figura 8, en las que se comparan los resultados obtenidos con y sin el uso de la información de tensión, solo se puede compensar la variación de la tensión si se encuentra disponible esta información.

Como queda claro de la descripción precedente, se puede emplear la presente invención para mejorar las prestaciones de una placa de cocción por inducción, a fin de proporcionar más información sobre el estado de la fase de cocción y permitir nuevas características del producto. En particular, los beneficios esperados son:

- 20
  - se puede utilizar la temperatura estimada del recipiente para, por ejemplo, vigilar o controlar dicha temperatura;
  - se puede utilizar la temperatura estimada del alimento para, por ejemplo, vigilar o controlar dicha temperatura o la fase de cocción (por ejemplo la detección de la ebullición o el control de la ebullición en caso de que el "alimento" sea "agua" o un líquido similar);
- 25
  - conociendo el tipo de alimento, el modelo de cálculo es capaz de detectar una condición de trabajo óptima predeterminada, por ejemplo la temperatura óptima para la reacción de Maillard (si el alimento es carne o similar);
  - se puede utilizar la masa estimada de alimento para, por ejemplo, vigilar o controlar la fase de cocción;
- 30
  - se puede utilizar la temperatura estimada de la bobina para, por ejemplo, evitar averías debidas a sobrecalentamiento; y
  - los parámetros de un circuito eléctrico equivalente simplificado que describe el comportamiento del proceso son útiles para estimar la temperatura del recipiente, para detectar una discordancia dinámica y la calidad del recipiente.

35 Aunque el método de control según la presente invención está destinado principalmente a aplicaciones en placas de cocción o similares, también se puede utilizar en hornos de inducción.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Método para controlar un sistema de calentamiento por inducción de un aparato de cocción provisto de una bobina de inducción, en particular para controlarlo en relación con una condición de trabajo predeterminada, caracterizado por que comprende medir el valor de al menos un parámetro eléctrico del sistema de calentamiento por inducción, alimentar un modelo de cálculo con señales reales de frecuencia de conmutación, con el fin de estimar una temperatura indicativa del estado térmico del sistema de calentamiento y proporcionar un valor estimado de dicho parámetro eléctrico, comparar el parámetro eléctrico medido con el estimado y afinar el modelo de cálculo basándose en dicha comparación.
- 10 2. Método según la reivindicación 1, en donde la temperatura estimada está relacionada con la temperatura de un utensilio de cocción asociado al sistema de calentamiento por inducción.
3. Método según la reivindicación 1, en donde la temperatura estimada está relacionada con la temperatura del contenido de un utensilio de cocción colocado sobre el sistema de calentamiento por inducción.
4. Método según la reivindicación 3, en el cual el alimento es agua o líquido similar, en donde la condición de trabajo predeterminada es una condición de ebullición.
- 15 5. Método según la reivindicación 1, en donde, conociendo el tipo de alimento, el modelo de cálculo es capaz de detectar una condición de trabajo predeterminada.
6. Método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dicho parámetro eléctrico es la corriente que circula en el circuito primario del sistema de calentamiento por inducción.
- 20 7. Método según la reivindicación 6, en donde un segundo parámetro eléctrico es la tensión de entrada del circuito primario.
8. Método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el mismo comprende un primer paso en el cual se alimenta el modelo de cálculo con un conjunto de parámetros eléctricos predeterminados y un segundo paso en el cual se alimenta el modelo de cálculo solamente con los parámetros eléctricos medidos que se ven afectados por variaciones de temperatura.
- 25 9. Método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el modelo de cálculo se basa en las siguientes ecuaciones diferenciales:

$$\begin{cases} L_p \frac{di_p}{dt} + M \frac{di_s}{dt} + R_p i_p + \frac{1}{C} \int i_p(\tau) d\tau = V_{IN}(t, f) \\ M \frac{di_p}{dt} + L_s \frac{di_s}{dt} + R_s i_s = 0 \\ R_s = R_0 (1 + \alpha (T_{pot} - T_0)) \end{cases}$$

en donde:

- 30 -  $C$  → capacitancia equivalente del circuito primario;
- $R_p$  → resistencia equivalente del circuito primario;
- $L_p$  → autoinductancia equivalente del circuito primario;
- 35 -  $L_s$  → autoinductancia equivalente del circuito secundario;
- $M$  → inductancia mutua equivalente;
- 40 -  $R_s$  → resistencia equivalente del circuito secundario;
- $V_{in}$  → tensión de entrada del circuito primario;
- $i_p$  → corriente que circula en el circuito primario;
- 45 -  $i_s$  → corriente que circula en el circuito secundario;
- $R_0$  → resistencia equivalente del circuito primario cuando  $T_{pot} = T_0$  ;

-  $T_{pot}$  → temperatura del fondo del recipiente;

-  $T_0$  → temperatura de referencia

5 -  $\alpha$  → parámetro adimensional

10. Aparato de cocción que comprende un sistema de calentamiento por inducción con una bobina de inducción y un circuito de control, caracterizado porque el circuito de control comprende un modelo de cálculo adaptado para ser alimentado con señales reales de frecuencia de conmutación y para proporcionar una temperatura estimada indicativa del estado térmico del sistema de calentamiento por inducción y un valor estimado de al menos un parámetro eléctrico del sistema de calentamiento por inducción, estando el circuito de control adaptado para comparar dicho parámetro estimado con uno real medido, estando adaptado el resultado de tal comparación para ser utilizado por el circuito de control para afinar el modelo de cálculo.

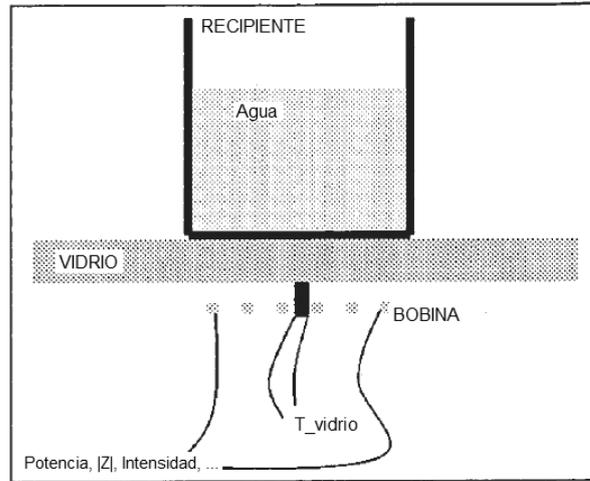


Figura 1

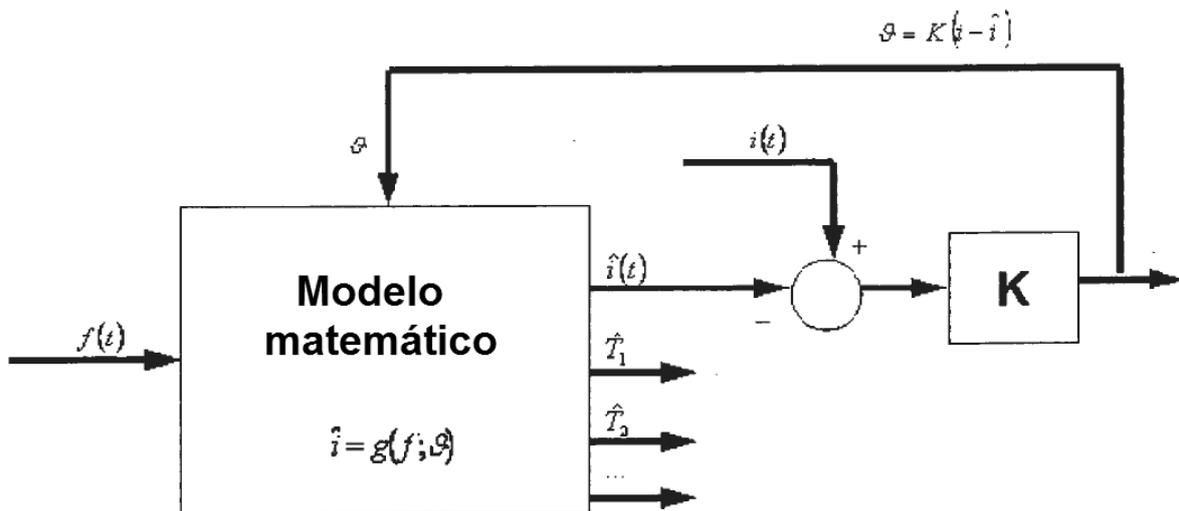


Figura 2

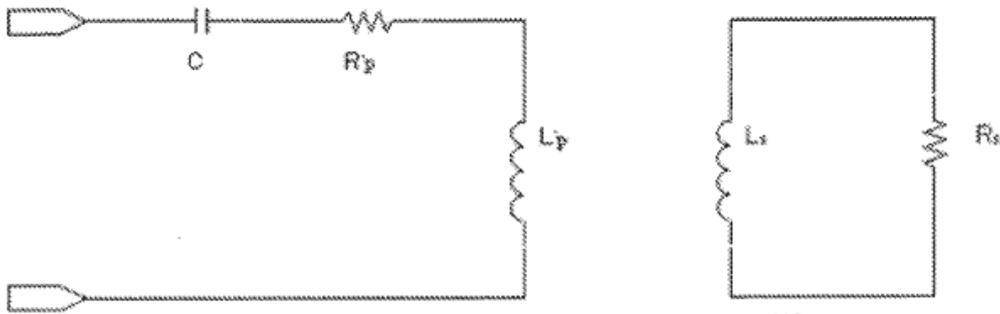


Figura 3

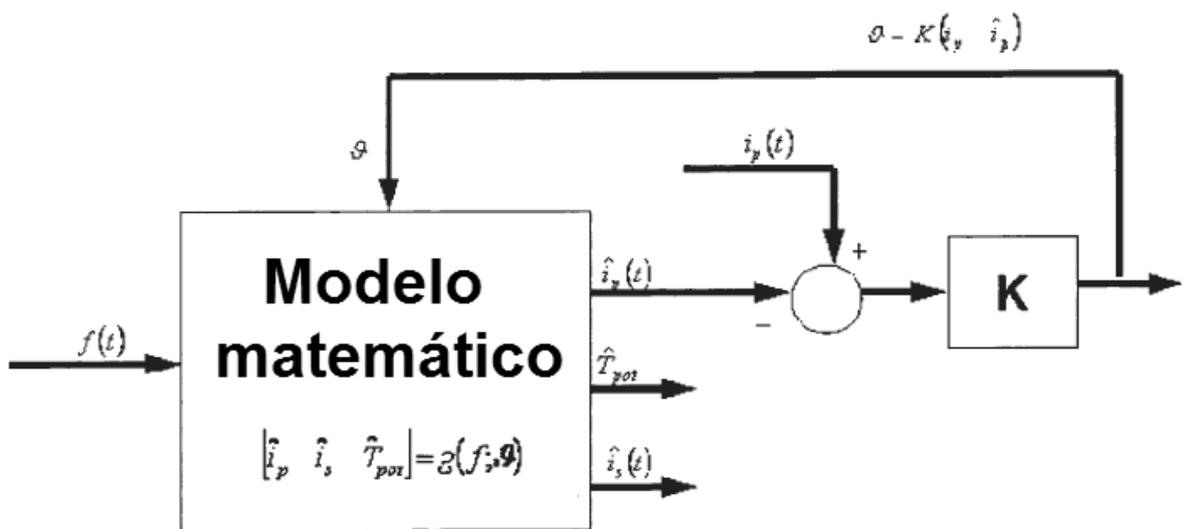


Figura 4

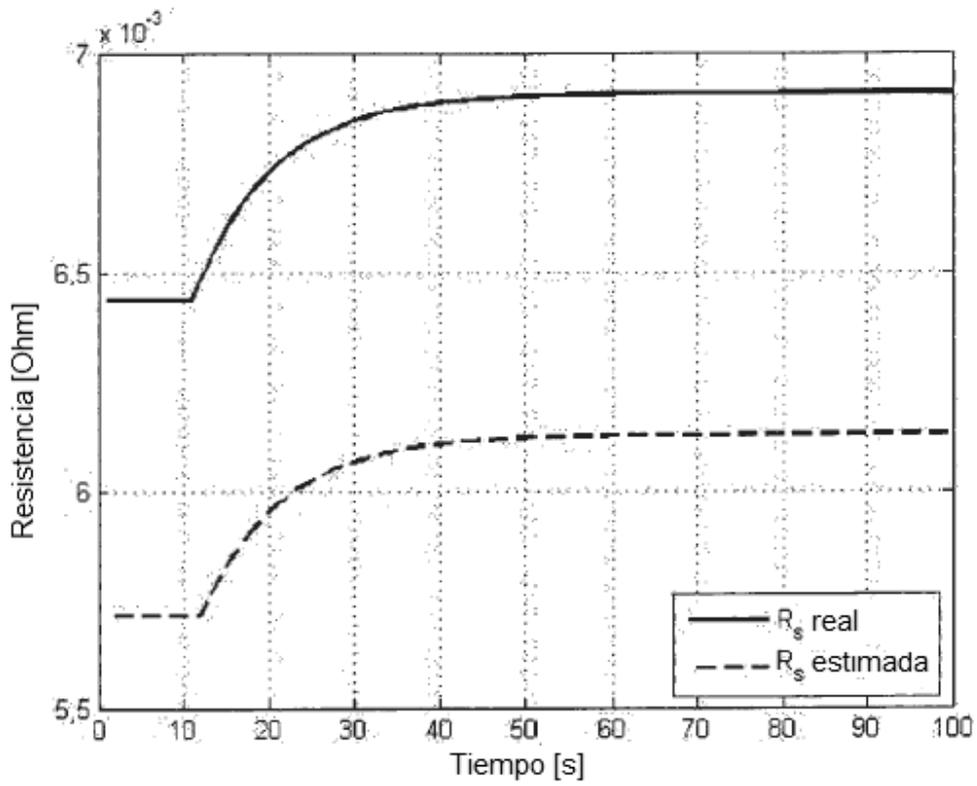


Figura 5

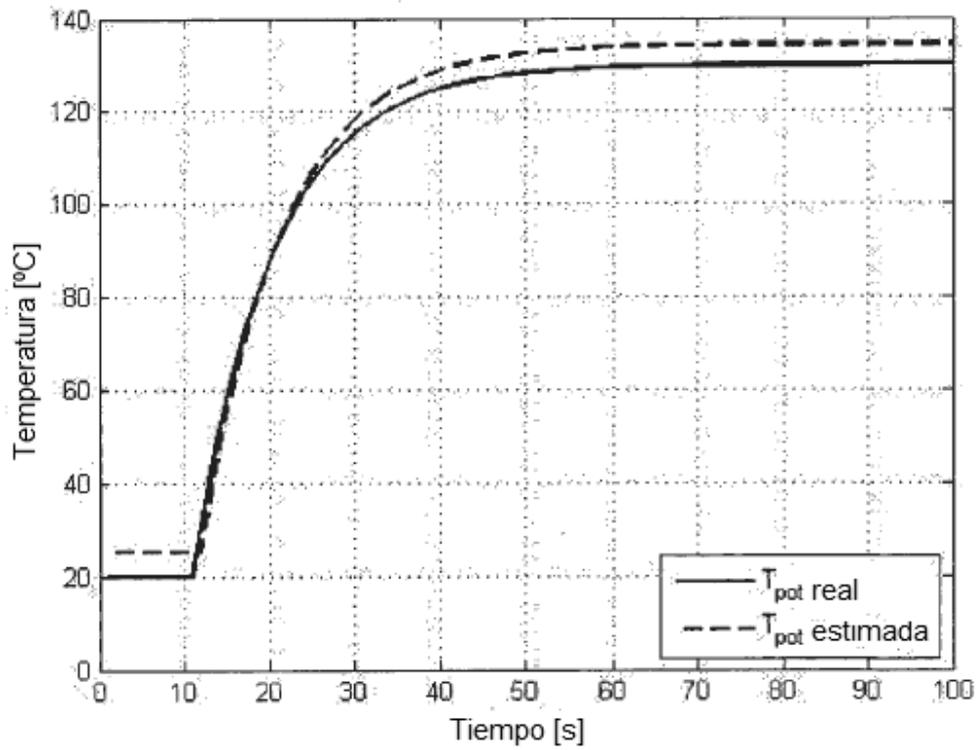


Figura 6

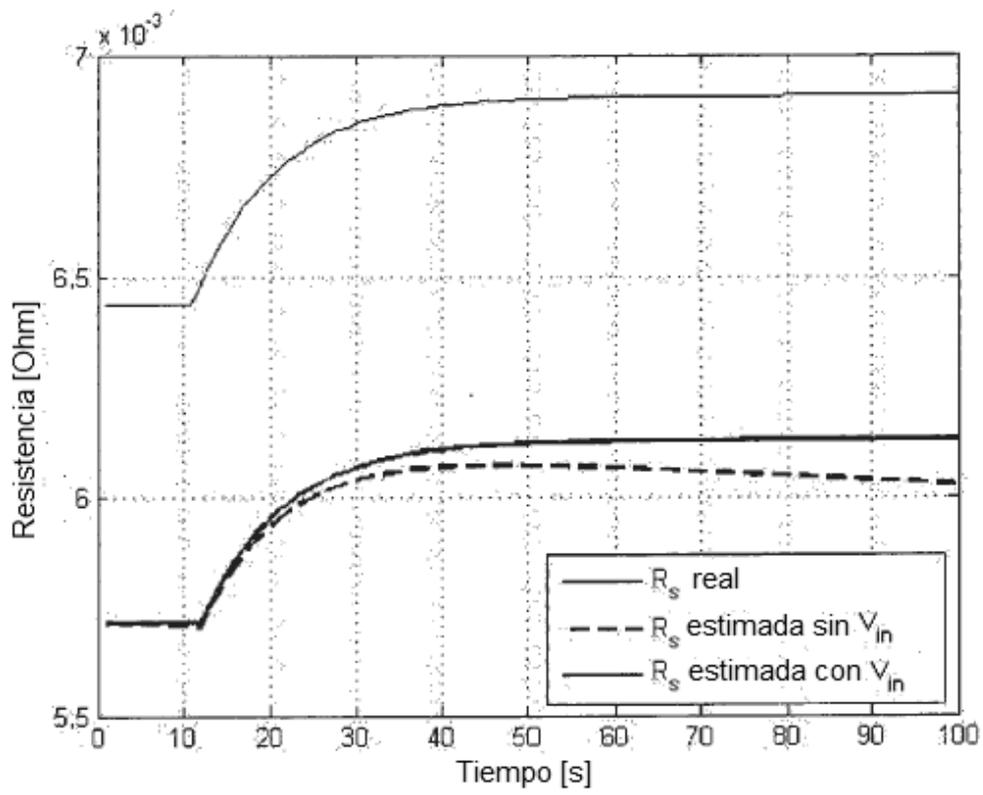


Figura 7

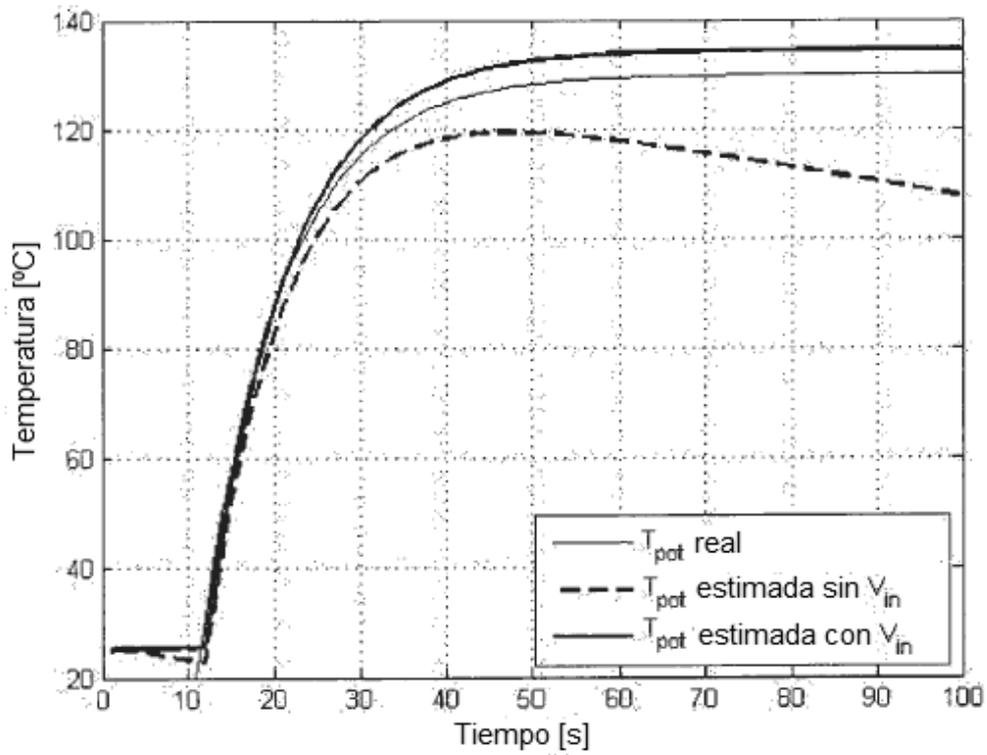


Figura 8