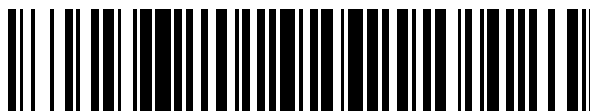


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 589 136**

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 08170518 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.07.2016** **EP 2194756**

54 Título: **Un procedimiento para controlar el sistema de calentamiento por inducción de un aparato de cocina**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.11.2016

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 2 589 136 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

Un procedimiento para controlar el sistema de calentamiento por inducción de un aparato de cocina

La presente invención se refiere a un procedimiento para controlar un sistema de calentamiento por inducción de una placa de cocina provista de una bobina de inducción, en particular para controlarlo en conexión con una condición de funcionamiento predeterminada.

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

Con la expresión "sistema de calentamiento" se hace referencia no sólo a la bobina de inducción, su circuito de accionamiento y la placa de vitrocerámica o elemento similar sobre la que se coloca el utensilio de cocina, sino también al propio utensilio de cocina, a su contenido de alimentos y a cualquier elemento del sistema. De hecho, en los sistemas de calentamiento por inducción es casi imposible hacer distinciones entre el elemento de calentamiento, por un lado, y el utensilio de cocina, por otro lado, ya que el propio utensilio de cocina es una parte activa del procedimiento de calentamiento.

La creciente necesidad de las prestaciones de las placas de cocina en la preparación de alimentos se refleja en la manera en la que está cambiando la tecnología con el fin de cumplir con los requisitos de los clientes.

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

Hay disponible información en la literatura científica acerca de algoritmos relacionados con la estimación de estado (Recursive Least Square, Kalman Filter, Extended Kalman Filter [EKF], etc.); ninguno de ellos se refiere a una aplicación industrial centrada en los aparatos de cocina por inducción. Un objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento según el cual la temperatura del recipiente y/o del alimento contenido en el mismo puede ser evaluada de una manera fiable, particularmente con referencia a una condición de calentamiento en la que la temperatura debe mantenerse sustancialmente constante (estado de ebullición o similar).

Según la invención, el objeto anterior se consigue gracias a las características enumeradas en las reivindicaciones adjuntas.

El procedimiento de control según la presente invención se usa para estimar la temperatura de un recipiente, sartén o plancha (en adelante indicado simplemente como "recipiente"), usado sobre la placa de cocina de inducción, el estado termodinámico del alimento en el interior del recipiente (masa y temperatura/entalpía/entropía/energía interna/etc.) y la temperatura de la bobina de inducción, conociendo una estimación de la potencia absorbida por el dispositivo y al menos una información de la temperatura (vidrio, bobina, recipiente, etc.)

Cabe señalar que la potencia estimada puede ser medida, puede suponerse que es igual a una referencia predeterminada, o puede ser estimada a partir de una o más mediciones eléctricas.

En general, la fiabilidad de la estimación (aproximadamente, podría suponerse que dicha fiabilidad es una función de la diferencia entre el valor real y el valor estimado) es mejor cuanto mayor es el número de temperaturas medidas.

La temperatura estimada del recipiente puede ser usada, por ejemplo, para supervisar o controlar dicha temperatura; la temperatura estimada del alimento puede ser usada, por ejemplo, para supervisar o controlar dicha temperatura o la fase de cocinado (tal como detección de ebullición, control de ebullición, particularmente en el caso en el que el alimento es agua o un líquido similar). La masa estimada del alimento podría ser usada, por ejemplo, para supervisar o controlar la fase de cocinado. La temperatura estimada de la bobina podría ser usada, por ejemplo, para prevenir daños. Otro propósito del procedimiento según la invención es compensar los diferentes factores de ruido que afectan a la evaluación de la temperatura del recipiente o de los alimentos contenidos en el mismo, y también de su masa. Algunos factores de ruido que pueden afectar dicha estimación son por ejemplo la temperatura inicial del recipiente/alimento y la masa inicial del alimento, la fluctuación de la tensión de la red eléctrica, las tolerancias/deriva de los componentes, el uso de diferentes recipientes y los posibles movimientos del recipiente desde su posición original.

Otras características y ventajas según la presente invención serán evidentes a partir de la descripción detallada siguiente con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

– La Figura 1 es una vista esquemática de una placa de cocina de inducción

– La Figura 2 es un boceto que muestra cómo funciona el modelo según la invención

- La Figura 3 es una vista esquemática de una posible implementación del procedimiento según la invención
- La Figura 4 muestra dos diagramas en los que se comparan las temperaturas relevantes reales (recipiente y agua) y su estimación según la invención;
- La Figura 5 es una figura similar a la Figura 4 y se refiere a una comparación entre la masa de agua real y la estimación de la misma según el procedimiento de la invención; y
- La Figura 6 es una figura similar a las Figuras 4 y 5 y se refiere a una comparación entre el flujo de masa real y su estimación.

Con referencia a la Figura 2, hay disponible una estimación de la potencia $P(t)$ absorbida por el dispositivo (es decir, la potencia es medida, la potencia se supone igual a una referencia, la potencia es estimada en base a una o más mediciones eléctricas). Se lleva a cabo una (o más) mediciones de temperatura $T_1(t)$. Dicha temperatura puede ser la temperatura de la superficie de la vitrocerámica (tal como se indica mediante la referencia T_{vidrio} en la Figura 1), o la temperatura de la bobina de inducción o cualquier otra temperatura de un elemento del sistema de calentamiento por inducción.

Un modelo matemático, basado en un equilibrio térmico global del sistema, proporciona al menos una estimación de la temperatura (o temperaturas) $\hat{T}_1(t)$, $\hat{T}_2(t)$, $\hat{T}_3(t)$, ... del mismo elemento para el que se ha medido la temperatura usando la estimación de potencia; el modelo puede proporcionar también una estimación de otra variable de estado (entalpía, entropía, energía interna, etc.)

Puede usarse cualquier tipo de algoritmo que realice un ajuste fino en línea del modelo matemático en función de la diferencia entre la temperatura estimada y la temperatura medida según la presente invención.

El ajuste fino en línea del modelo 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 (las mediciones normalmente se ven afectadas por los ruidos); incertidumbres del modelo (es decir, cada modelo es una representación simplificada de la realidad y, por lo 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 un modelo que combina el modelo y su ajuste fino mediante una retroalimentación de la diferencia entre la predicción y las mediciones. Hay muchos algoritmos disponibles en la literatura para resolver este tipo de problemas (Recursive Least Square, Kalman Filter, Extended Kalman Filter [EKF], etc.).

Siguiendo el enfoque general indicado anteriormente, en la Figura 3 se muestra un posible ejemplo de implementación del procedimiento en el caso en el que el contenido del recipiente es agua, según el cual el procedimiento es capaz también de proporcionar la estimación de la masa de agua. En este ejemplo específico, el procedimiento propuesto funciona como se indica a continuación.

Se estima la potencia $\hat{P}(t)$ absorbida en la bobina según los deseos del usuario (se supone $\hat{P}(t) = \text{const.}$); se miden las temperaturas del vidrio y de la bobina $T_{\text{vidrio}}(t)$, $T_{\text{bobina}}(t)$; se usa el modelo matemático simplificado descrito por las ecuaciones diferenciales siguientes; con el fin de completar el procedimiento propuesto en este ejemplo, se usa el procedimiento EKF como algoritmo de ajuste fino en línea.

Las ecuaciones del modelo propuesto para este ejemplo son las siguientes:

$$\begin{aligned}
 C_{\text{BOBINA}} \dot{T}_{\text{BOBINA}} &= (1 - k_1) \hat{P} - (h_{\text{EA}} + h_{\text{VE}}) T_{\text{BOBINA}} + h_{\text{VE}} T_{\text{VIDRIO}} + h_{\text{EA}} T_{\text{AIRE}} \\
 C_{\text{VIDRIO}} \dot{T}_{\text{VIDRIO}} &= -(h_{\text{VA}} + h_{\text{VE}} + h_{\text{RV}}) T_{\text{VIDRIO}} + h_{\text{RV}} T_{\text{REC}} + h_{\text{VE}} T_{\text{BOBINA}} + h_{\text{VA}} T_{\text{AIRE}} \\
 C_{\text{REC}} \dot{T}_{\text{REC}} &= k_1 \hat{P} - (h_{\text{RA}} + h_{\text{RV}} + h_{\text{RAG}}) T_{\text{REC}} + h_{\text{RAG}} T_{\text{AGUA}} + h_{\text{RV}} T_{\text{VIDRIO}} + h_{\text{RA}} T_{\text{AIRE}} \\
 m_{\text{AGUA}} c_A \dot{T}_{\text{AGUA}} &= -(h_{\text{AA}} + h_{\text{RAG}}) T_{\text{AGUA}} + h_{\text{RAG}} T_{\text{REC}} + h_{\text{AA}} T_{\text{AIRE}} + \dot{m}_{\text{AGUA}} H_{\text{VS}}(P_{\text{EST}}) \\
 \dot{m}_{\text{AGUA}} &= -\frac{P_{\text{evap}}}{\lambda(P_{\text{EST}})} - \sigma \left(k(T_{\text{AGUA}} - T_{\text{SAT}}(P_{\text{EST}}) + T_{\text{SIGMA}}) \right) \left[-(h_{\text{AA}} + h_{\text{RAG}}) T_{\text{AGUA}} + h_{\text{RAG}} T_{\text{REC}} + h_{\text{AA}} T_{\text{AIRE}} - \frac{P_{\text{evap}}}{\lambda(P_{\text{EST}})} H_{\text{VS}} \right] / H_{\text{VS}}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{evap}} = \phi(P_{\text{TV}}(T_{\text{IP}}) - \eta)$$

$$\phi = \text{const}; \quad \eta = \text{const}; \quad T_0 = \text{const}; \quad T_{\text{SIGMA}} = \text{const}; \quad T_{\text{AIRE}} = \text{const}; \quad k_1 = \text{const}$$

en las que:

C_{BOBINA}	→	Capacidad térmica equivalente de la bobina;
C_{VIDRIO}	→	Capacidad térmica equivalente del vidrio;
C_{REC}	→	Capacidad térmica equivalente del recipiente;
C_A	→	Capacidad térmica específica del agua;
T_{BOBINA}	→	Temperatura de la bobina;
T_{VIDRIO}	→	Temperatura del vidrio;
T_{REC}	→	Temperatura del recipiente;
T_{agua}	→	Temperatura del agua;
m_{agua}	→	Masa de agua;
P	→	Potencia activa total absorbida en la bobina;
h_{BA}	→	Coeficiente de transferencia de calor bobina a aire multiplicado por la superficie relativa;
h_{VA}	→	Coeficiente de transferencia de calor vidrio a aire multiplicado por la superficie relativa;
h_{RA}	→	Coeficiente de transferencia de calor recipiente a aire multiplicado por la superficie relativa;
h_{AA}	→	Coeficiente de transferencia de calor agua a aire multiplicado por la superficie relativa;
h_{VB}	→	Coeficiente de transferencia de calor vidrio a bobina multiplicado por la superficie relativa;
h_{RV}	→	Coeficiente de transferencia de calor recipiente a vidrio multiplicado por la superficie relativa;
h_{RAG}	→	Coeficiente de transferencia de calor de recipiente a agua multiplicado por la superficie relativa;
$P_{TV}(T_W)$	→	Tensión superficial a temperatura T_W ;
$\lambda(P_{est})$	→	Calor latente de evaporación del agua a la presión P_{est}
$H_{vs}(P_{est})$	→	Entalpía de vapor saturado a la presión P_{est} ;
$\sigma(k)$	→	Función sigmoide.

- 5 Este ejemplo de modelo proporciona una estimación de las diferentes temperaturas de interés (en este caso $T_{bobina}(t)$, $T_{vidrio}(t)$, $T_{recipiente}(t)$, $T_{agua}(t)$), al menos una de las cuales debe ser medible ($T_{bobina}(t)$, $T_{vidrio}(t)$), la estimación de la masa de agua ($\hat{m}_{agua}(t)$) y usa la potencia estimada absorbida en la bobina ($\hat{P}(t)$). Pueden conseguirse los mismos resultados usando sólo otra temperatura medida en otras ubicaciones.

Por lo tanto, según el ejemplo anterior, el esquema general de la Figura 2 se modifica como en la Figura 3, en la que el elemento "K" representa la matriz de Kalman.

- 10 Para la configuración experimental el solicitante ha elegido:

- 1 [kg] de agua a 21 [°] → $T_{agua}(t=0) = 21[°]$
- Recipiente a 21 [°] → $T_{RECIPIENTE}(t=0) = 21[°]$

Las condiciones iniciales usadas por el solicitante (en el modelo) para ensayar el procedimiento son las siguientes:

$$\begin{array}{l} \hat{T}_{BOBINA}(t=0) = T_{BOBINA}(t=0) = 27 \text{ } [^{\circ}] \\ \hat{T}_{VIDRIO}(t=0) = T_{VIDRIO}(t=0) = 29 \text{ } [^{\circ}] \\ \hline \hat{T}_{REC}(t=0) = 33 \text{ } [^{\circ}] \\ \hat{T}_{AGUA}(t=0) = 31 \text{ } [^{\circ}] \\ \hat{m}_{AGUA}(t=0) = 0,8 \text{ } [kg] \end{array}$$

En las condiciones iniciales indicadas anteriormente, el solicitante realiza una división en 2 partes:

- la primera está compuesta por información medida ($T_{bobina}(t)$, $T_{vidrio}(t)$) en cada momento, por lo tanto, también al principio;
- la segunda, por el contrario, está compuesta por información no disponible: deben realizarse algunas suposiciones introduciendo, tal como se ha explicado anteriormente, algún tipo de incertidumbre. En adelante, será evidente que el procedimiento es capaz de compensar esta falta de información.

Los valores se han elegido con el objetivo de mostrar la capacidad del procedimiento propuesto para compensar la diferencia entre las condiciones iniciales y la temperatura real y la masa de agua del sistema al inicio del procedimiento.

Los resultados del algoritmo se muestran en las Figuras 4 a 6.

La presente invención puede ser usada para mejorar los rendimientos de una placa de cocina de inducción, para proporcionar más información acerca del estado de la fase de cocinado y para permitir nuevas características del producto. En particular, los principales beneficios son:

- la temperatura estimada del recipiente puede ser usada, por ejemplo, para supervisar o controlar dicha temperatura;
- conociendo el tipo de alimento, el modelo de cálculo es capaz de detectar una condición de funcionamiento óptima predeterminada, por ejemplo la temperatura óptima para la reacción de Maillard (si el alimento es carne o similar);
- la temperatura estimada del alimento puede ser usada, por ejemplo, para supervisar o controlar dicha temperatura o la fase de cocinado (tal como detección de ebullición o control de ebullición en el caso en el que el "alimento" es "agua" o tipos de líquido similares);
- la masa estimada del alimento puede ser usada, por ejemplo, para supervisar o controlar la fase de cocinado;
- la temperatura estimada de la bobina puede ser usada, por ejemplo, para prevenir daños a la bobina de inducción.

Aunque el procedimiento de control según la presente invención es principalmente para aplicaciones sobre placas de cocina o similares, puede ser usada también en hornos de inducción.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para controlar un sistema de calentamiento por inducción de una placa de cocina provista de una bobina de inducción, particularmente para controlarlo en conexión con una condición de trabajo predeterminada, caracterizado por que comprende evaluar el valor de la potencia absorbida por el sistema, medir al menos una temperatura indicativa del estado térmico de al menos un elemento del sistema de calentamiento, suministrar el valor de potencia evaluado a un modelo de cálculo capaz de proporcionar un valor estimado de la temperatura, comparar la temperatura medida con la temperatura estimada y ajustar el modelo de cálculo en base a dicha comparación.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el modelo de cálculo es capaz de proporcionar una temperatura estimada del utensilio de cocina colocado sobre la placa de cocina y/o de los alimentos contenidos en el mismo.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que el alimento es agua o un líquido similar, en el que la condición de trabajo predeterminada es un estado de ebullición.
4. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que conociendo el tipo de alimento, el modelo de cálculo es capaz de detectar una condición de trabajo predeterminada.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se mide el valor de la potencia absorbida por el sistema.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que se supone que el valor de la potencia absorbida por el sistema es igual a un valor de referencia predeterminado.
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el valor de la potencia absorbida por el sistema es estimado en base a una o más mediciones de los parámetros eléctricos del sistema.
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el procedimiento compensa al menos uno de los siguientes: las incertidumbres del estado o los estados iniciales acerca de la temperatura y la masa, la variación de un utensilio de cocina a otro, cualquier movimiento del utensilio de cocina, ruidos eléctricos o sus combinaciones.
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el procedimiento estima al menos otro parámetro del modelo de cálculo, distinto de la temperatura.
10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el modelo de cálculo usa uno o más valores eléctricos medidos para mejorar los rendimientos de control.
11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el modelo de cálculo usa las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} C_{BOBINA} \dot{T}_{BOBINA} &= (1 - k_1) \dot{P} - (h_{EA} + h_{VE}) T_{BOBINA} + h_{VE} T_{VIDRIO} + h_{EA} T_{AIRE} \\ C_{VIDRIO} \dot{T}_{VIDRIO} &= -(h_{VA} + h_{VE} + h_{RV}) T_{VIDRIO} + h_{RV} T_{REC} + h_{VE} T_{BOBINA} + h_{VA} T_{AIRE} \\ C_{REC} \dot{T}_{REC} &= k_1 \dot{P} - (h_{RA} + h_{RV} + h_{RAG}) T_{REC} + h_{RAG} T_{AGUA} + h_{RV} T_{VIDRIO} + h_{RA} T_{AIRE} \\ m_{AGUA} c_A \dot{T}_{AGUA} &= -(h_{AA} + h_{RAG}) T_{AGUA} + h_{RAG} T_{REC} + h_{AA} T_{AIRE} + \dot{m}_{AGUA} H_{VS} (P_{EST}) \\ \dot{m}_{AGUA} &= -\frac{P_{evap}}{\lambda(P_{EST})} - \sigma \left(k (T_{AGUA} - T_{SAT}(P_{EST}) + T_{SIGMA}) \right) \left[-(h_{AA} + h_{RAG}) T_{AGUA} + h_{RAG} T_{REC} + h_{AA} T_{AIRE} - \frac{P_{evap}}{\lambda(P_{EST})} H_{VS} \right] / H_{VS} \\ P_{evap} &= \phi(P_{TV}(T_W) - \eta) \\ \phi &= const; \quad \eta = const; \quad T_0 = const; \quad T_{SIGMA} = const; \quad T_{AIRE} = const; \quad k_1 = const \end{aligned}$$

en las que:

- C_{BOBINA} → Capacidad térmica equivalente de la bobina;
 C_{VIDRIO} → Capacidad térmica equivalente del vidrio;
 C_{REC} → Capacidad térmica equivalente del recipiente;

C_A	→	Capacidad térmica específica del agua;
T_{BOBINA}	→	Temperatura de la bobina;
T_{VIDRIO}	→	Temperatura del vidrio;
T_{REC}	→	Temperatura del recipiente;
T_{agua}	→	Temperatura del agua;
m_{agua}	→	Masa de agua;
P	→	Potencia activa total absorbida en la bobina;
h_{BA}	→	Coeficiente de transferencia de calor bobina a aire multiplicado por la superficie relativa;
h_{VA}	→	Coeficiente de transferencia de calor vidrio a aire multiplicado por la superficie relativa;
h_{RA}	→	Coeficiente de transferencia de calor recipiente a aire multiplicado por la superficie relativa;
h_{AA}	→	Coeficiente de transferencia de calor agua a aire multiplicado por la superficie relativa;
h_{VB}	→	Coeficiente de transferencia de calor vidrio a bobina multiplicado por la superficie relativa;
h_{RV}	→	Coeficiente de transferencia de calor recipiente a vidrio multiplicado por la superficie relativa;
h_{RAG}	→	Coeficiente de transferencia de calor recipiente a agua multiplicado por la superficie relativa;
$P_{TV}(T_W)$	→	Tensión superficial a temperatura T_W ;
$\lambda(P_{est})$	→	Calor latente de evaporación del agua a la presión P_{est}
$H_{vs}(P_{est})$	→	Entalpía de vapor saturado a la presión P_{est} ;
$\sigma(k)$	→	Función sigmoide.

12. Aparato de cocina que comprende un sistema de calentamiento por inducción con una bobina de inducción y un circuito de control, caracterizado por que el circuito de control está adaptado para medir al menos una temperatura indicativa del estado térmico de al menos un elemento del sistema de calentamiento y comprende un modelo de cálculo adaptado para recibir como entrada un valor evaluado de la potencia adsorbida por el sistema, en el que dicho modelo de cálculo está adaptado para proporcionar un valor estimado de la temperatura y para comparar dicho valor con la temperatura medida con el fin de ajustar el modelo de cálculo en base a dicha comparación.

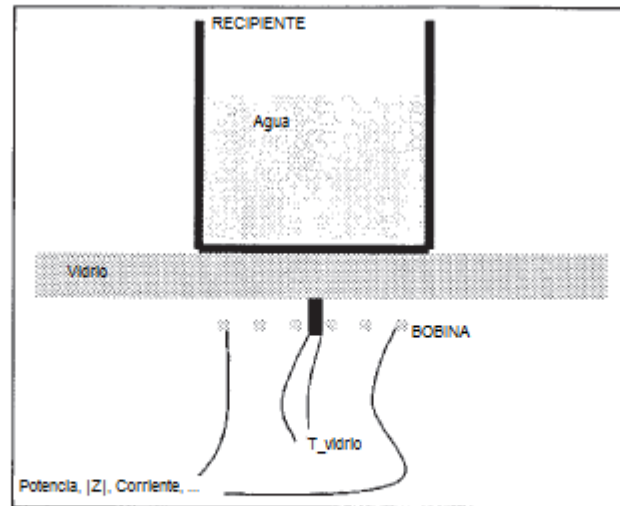


Figura 1

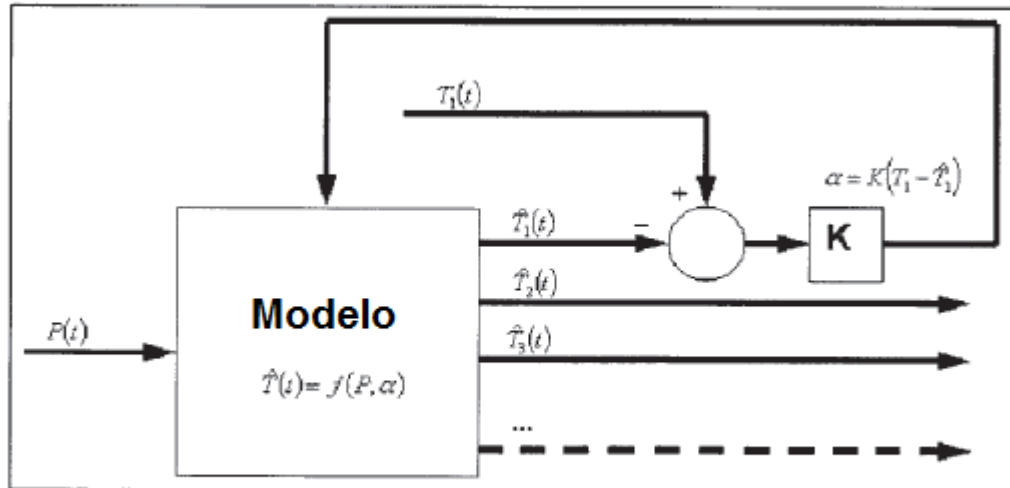


Figura 2

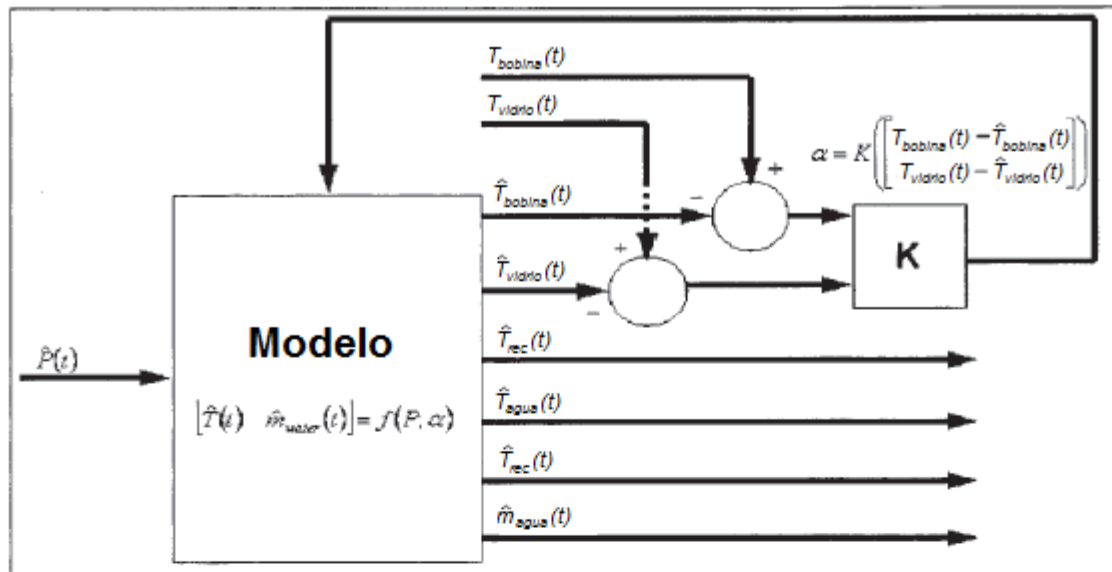


Figura 3

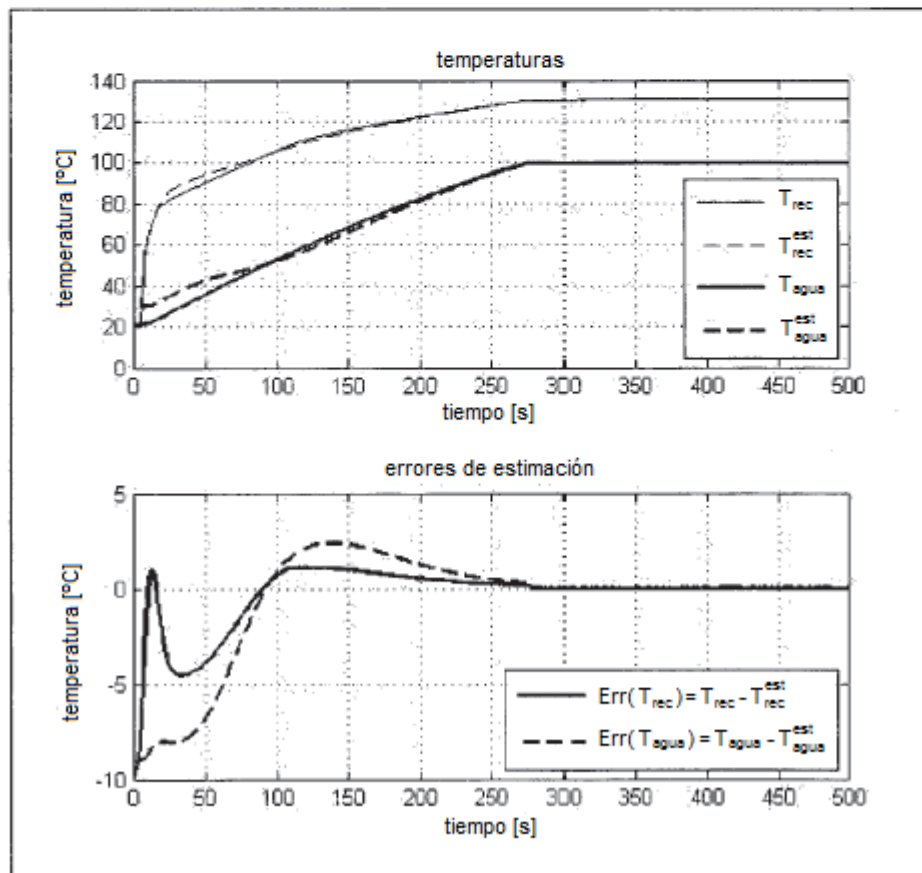


Figura 4

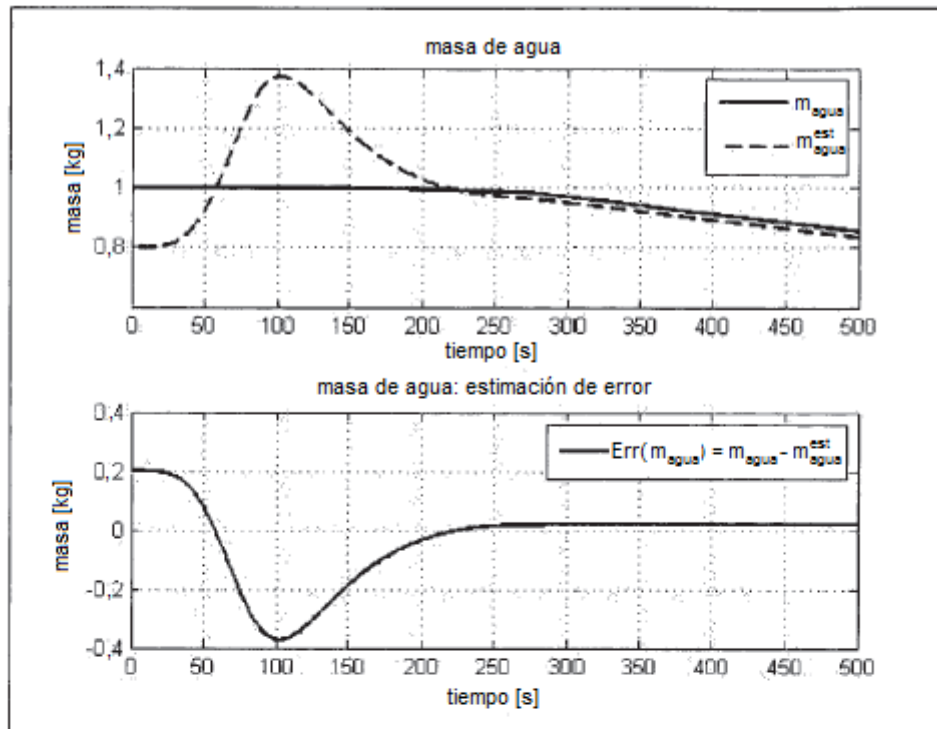


Figura 5

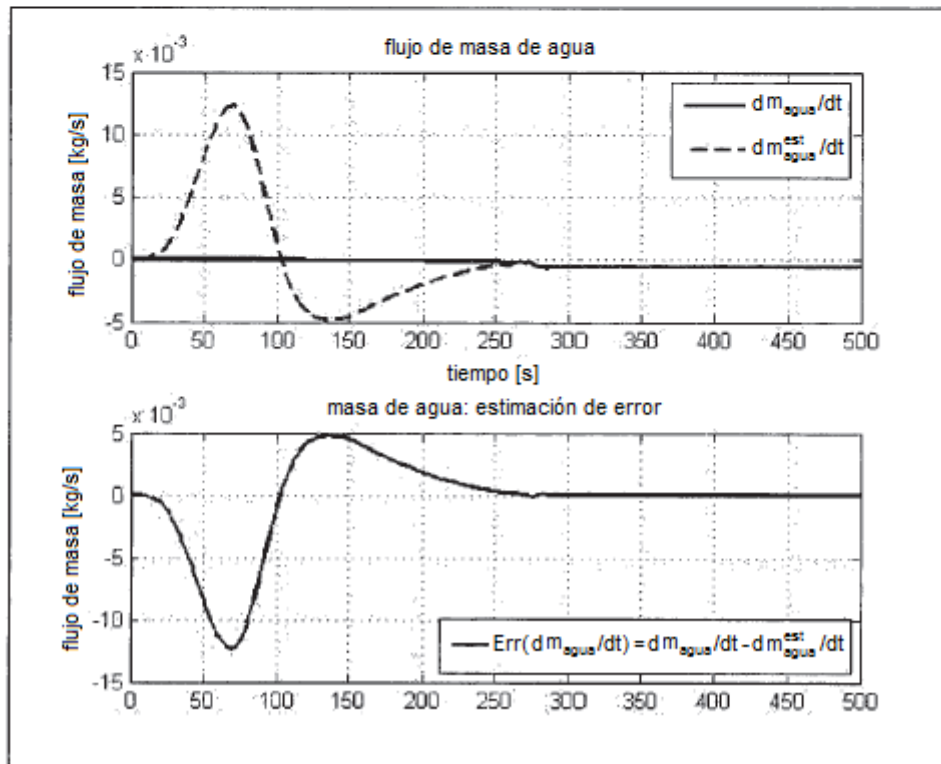


Figura 6