

Modelo Heurístico para el Control de Flujo en un Sistema de Refrigeración Solar por Absorción

Y. G. De Alva *, C. Jimenez **, R. Best**

* Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D.F. 04510, Mexico (e-mail: ygam@ier.unam.mx)

** Instituto de Energías Renovables, Temixco, Morelos 62580 México

Resumen: Se propone un modelo heurístico para el control de un sistema de refrigeración solar por absorción con tecnología de placas a partir de un controlador PI, y por retroalimentación para lograr la estabilidad del equipo en condiciones normales de operación.

Palabras clave: refrigeración solar por absorción, sistemas de control multivariable, modelo heurístico.

1. INTRODUCCIÓN

Se propone un método de control de procesos bajo tres principios: a) el sistema multivariable se representa por la respuesta y evolución de variables modificables, medibles y calculables adquiridas en tiempo real con el propósito de predecir su comportamiento para un amplio periodo de tiempo; b) el comportamiento a lazo cerrado del sistema se prescribe con el objetivo de mantener valores de referencia estables a partir de salidas actuales; c) el control de variables es calculado de forma heurística con el procedimiento empleado para la identificación de parámetros.

Este método ha sido empleado continuamente en una larga cadena de procesos industriales. Su efectividad se debe a la facilidad de implementación (e.g. restricciones de las variables de control) y su robustez debido a perturbaciones estructurales. Los procesos industriales tienen sus propios criterios de procesamiento y requerimientos de confiabilidad, debido a que son extendidamente multivariables y no lineales. La economía de este esquema de control es significativa y los ejemplos en la industria pueden demostrar su eficiencia. La optimización no proviene de un criterio ajeno en la acción de control sino como búsqueda de la minimización del rango de error que permita calcular puntos fijos en el control dinámico de manera ordenada.

La organización de este artículo comienza con la descripción del sistema, se continúa con el planteamiento del control a partir de un modelo predictivo heurístico y su implementación; se finaliza con los resultados y conclusiones de la acción de los controladores en la puesta en marcha del equipo. Se incluyen dos apéndices; el primero para la descripción del algoritmo de identificación y el análisis de su convergencia. El siguiente apéndice presenta los resultados de las pruebas de estabilidad del esquema de control analizado.

2. EL PROCESO

La figura 1 muestra una representación esquemática del ciclo de absorción de simple efecto analizado en este artículo. El ciclo consiste esencialmente de un absorbedor, generador, evaporador y condensador. La solución mezclada es calentada en el generador por colectores solares u otra fuente de calor externa, el vapor refrigerante se separa y pasa a través del condensador en donde cambia de fase rechazando calor hacia los alrededores, el líquido saturado resultante pasa a través de una válvula de expansión donde se reduce su presión antes de ser enviado al evaporador para absorber el calor del recinto a enfriar. El vapor producto de la evaporación se absorbe por una solución fuerte absorbente proveniente del generador produciendo calor en la reacción química. La solución ahora fuerte en refrigerante es bombeada al generador para continuar el ciclo.

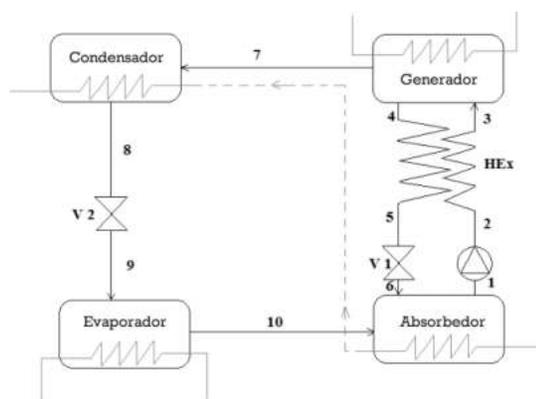


Figura 1. Esquema de operación del sistema de refrigeración por absorción.

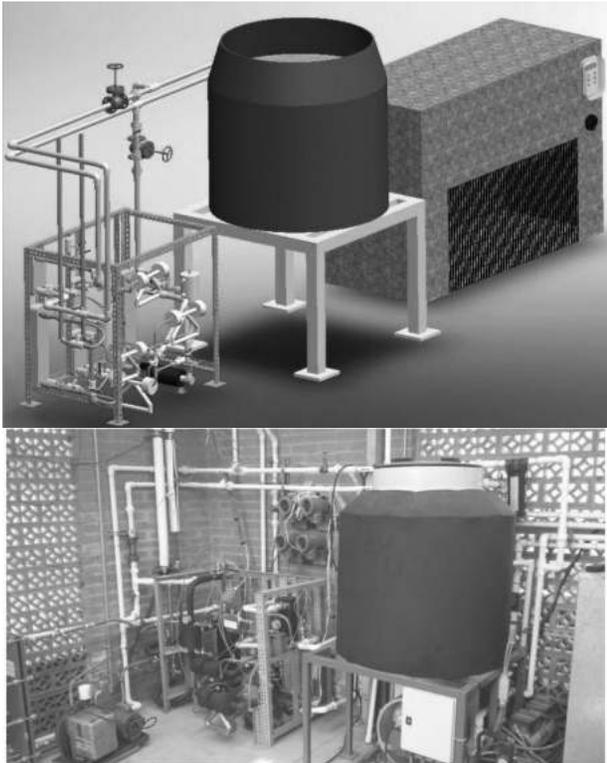


Figura 2. Equipo de refrigeración por absorción de placas.

Se agrega un intercambiador de calor entre el generador y absorbedor para mejorar el funcionamiento del ciclo al reducir la cantidad de energía requerida por el generador al precalentar la solución. Los dispositivos seleccionados para el sistema de refrigeración son intercambiadores de calor con tecnología de placas marca Alfa Laval tipo AlfaNova 27-20H, tal como se muestra en la figura 2.

3. MODELO DE CONTROL HEURÍSTICO

De manera general un método heurístico es un razonamiento plausible que sirve para resolver un problema. Las técnicas heurísticas son recursos o procedimientos de solución, que no son producto de un riguroso análisis formal. En la investigación de operaciones, es un procedimiento para el que se tiene un alto grado de confianza en que encontrarán soluciones de alta calidad con un costo computacional razonable, aunque no garantiza optimalidad o factibilidad.

Al ajustar un modelo multivariable suponemos que el sistema experimental tiene k variables independientes x_1, x_2, \dots, x_k y n observaciones $y_1, y_2,$

\dots, y_n , cada una de las cuales se pueden expresar por la ecuación :

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \epsilon_i \quad (1)$$

En uso de notación matricial podemos escribir la ecuación:

$$y = X\beta + \epsilon \quad (2)$$

Entonces la solución de mínimos cuadrados para la estimación de β implica encontrar b para la que,

$$SSE=(y-Xb)'(y-Xb) \quad (3)$$

Se minimiza. Este proceso de minimización implica resolver b en la ecuación $\frac{\partial}{\partial b}(SSE) = 0$. El resultado se reduce a la solución de b en $(X'X)b = X'y$. Si la matriz A es no singular, podemos escribir la solución para el coeficiente de regresión como,

$$b = A^{-1}g = (X'X)^{-1}X'y \quad (4)$$

De esta forma se puede obtener la ecuación de predicción al resolver el conjunto de $k+1$ ecuaciones con un número igual de incógnitas. Esto implica la inversión de la matriz $X'X$ de $k+1$ por $k+1$.

Cuando buscamos en espacio de estados de n estructuras, es conveniente tener una lista cerrada debido a que el número generado de nodos es exponencialmente creciente conforme se profundiza una búsqueda. Sin embargo, el problema del tamaño del dominio puede saturar los requerimientos de memoria. Para nuestro sistema la lista cerrada podemos describirla aproximadamente como un área de tamaño cuadrático. Se verá que el algoritmo de búsqueda puede ser modificado tal que, cuando se corre a lo largo del espacio de búsqueda, muchos datos de la lista pueden ser temporalmente descartados y después solo parcialmente reconstruidos para obtener una trayectoria de solución como lo muestra la figura 3.

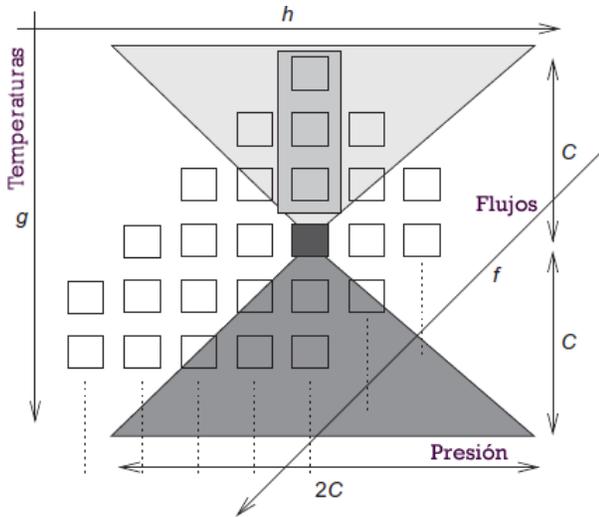


Figura 3. Algoritmo de búsqueda de modelo heurístico.

4. ALGORITMO DE CONTROL

Cada salida $s_j(n)$ del sistema multivariable es una suma ponderada de N valores pasados $e_k(n-i)$ de las NE entradas

$$s_j(n) = \sum_{k=1}^{NE} \sum_{i=1}^N y(i)_{k,i} e_k(n-i) \quad (5)$$

o en forma de vector

$$s_j(n) = a_j^T e(n); a_j = \{a(i)_{k,j}\}$$

$$e(n) = \{e_k(n-i)\}$$

La información empleada para representar el sistema con NE entradas y una salida es representado por un vector de dimensión $NE \times N$, si asumimos por simplicidad que todos los impulsos de respuesta tienen el mismo tiempo de memoria NT (T=periodo de muestra). La elección de N y T debería ser tal que $NT > TR$ donde TR es el tiempo de respuesta del sistema.

El sistema se asume asintóticamente estable, que implica que es posible encontrar N tal que el error de truncamiento puede ser arbitrariamente pequeño. Si una integración se presenta en la función de transferencia, como en el control de nivel, podemos representar el sistema como sigue

$$s(n) = s(n-1) + b^T e \quad (6)$$

Los errores de truncamiento tienen el mismo orden de magnitud de los otros errores de representación, muestra, computo... Si los sistemas llegaran a ser naturalmente estables – que rara vez ocurre – estos pueden ser estabilizados por un procedimiento estándar sin importar la evolución mientras se busca optimizar su comportamiento por algún tipo de supervisión. La mayor característica de este tipo de representación es la linealidad con respecto a los parámetros a_j . Esto entonces permite modelar los sistemas por ecuaciones del siguiente tipo

$$s(n) = a^T u(n)$$

Donde $u(n) = f(e(n))$, $f(\cdot)$ puede ser cualquier función $u(n)$ medida o estimada. Las no linealidades inducidas por los actuadores pueden ser fácilmente tomadas en cuenta por este procedimiento. Los algoritmos de identificación de parámetros para la linealización son desarrollados en el apéndice A.

Las señales sensadas son anexadas a los valores de punto fijo de un controlador PI. Estas condiciones de operación son favorables debido a la minimización de riesgos, los operadores son desestresados y aumenta la tolerancia a las perturbaciones.

Dado el modelo del proceso y las facilidades de cálculo numérico, si la solución existe, las variables de control heurísticas serán computadas de manera que la salida del proceso siga una trayectoria de referencia. En este caso el sistema es lineal con respecto a las entradas $e_j = (n-i)$ y tiene una estructura lineal con respecto a los parámetros a_j . Se usa el principio de conmutatividad,

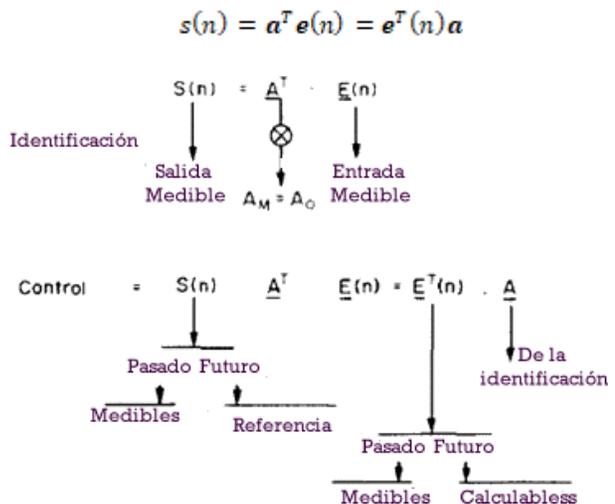


Figura 4. Procedimiento de Identificación y Control

En el esquema de identificación $s(n)$, $e(n)$ están dados y el problema es encontrar a . En el problema de control a está dado por la identificación $s(n)$ es conocida, de los datos colectados en el pasado, en el futuro por el modelo de referencia; $e(n)$ está dado en el pasado por los controles aplicados; el problema es encontrar e en el futuro.

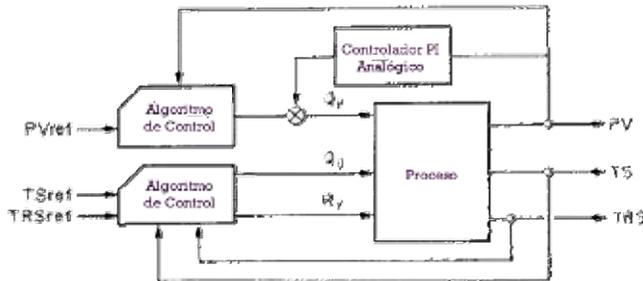


Figura.5 Implementación del Control

Como lo muestra la Figura 5, las salidas de control son los puntos fijos de la acción convencional del controlador analógico operando a un nivel de control dinámico del proceso multivariable perturbado por un estado y perturbaciones estructurales no medibles.

5. RESULTADOS Y CONCLUSIÓN

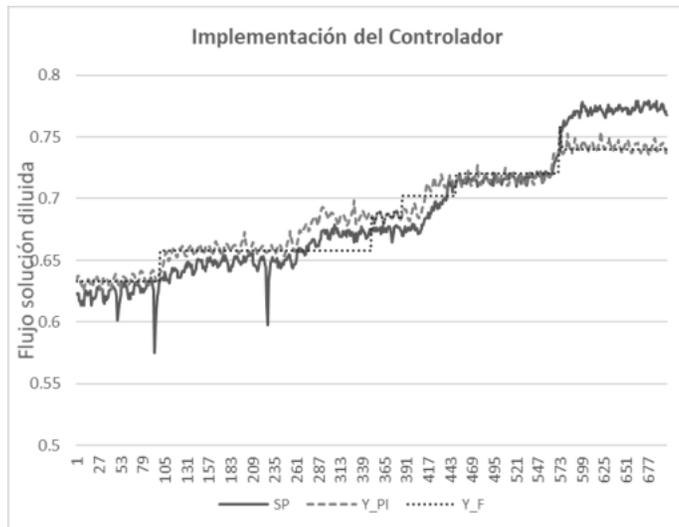


Figura.6 Implementación del Control (simulación)

A Ésta primera etapa de control simple teniendo como base un modelo heurístico para el control de un sistema de refrigeración solar por absorción con

tecnología de placas a partir de un controlador PI, y por retroalimentación se logra la estabilidad del equipo en operación con perturbaciones.

REFERENCIAS

- Astrom K., Wittenmark B., (1989) Adaptive Control. Addison-Wesley Series in Electrical Engineering: Control Engineering. ISBN 0-201-09720-6
- Barão M., Lemos J.M., Silva R.N.(2000) Reduced complexity adaptive nonlinear control of a distributed collector solar field. Journal of Process Control 12 (2002) 131-141.
- Belanger P.R.: Comment on a learning method for system identification. IEEE PGAC AC-13, 207-208, 1968
- Camacho E.F., FR Rubio, J.A. Gutierrez. (1988) Modelling and simulation of a solar power plant with a distributed collector system. IFAC Power Systems Modelling and Control Applications, Brussels, Belgium 1988.
- Camacho E.F., FR Rubio, M Berenguel, L Valenzuela. (2007) A survey on control schemes for distributed solar collector fields. ScienceDirect Solar Energy 81(2007) 1252-1272.
- Camacho E.F., FR Rubio, F.F. Hughes. (1992) Self-Tuning Control of a Solar Power Plant with a Distributed Collector Field. IEEE Control Systems. 0272-1708/92
- Carmona R., Camacho E.F., FR Rubio. (1985) Application of a Self-Tuning Regulator to a solar Power Plant. IEEE Control Systems. 0272-1708/92
- Cirre M.C., Valenzuela L., Berenguel M., Camacho E.F. (2005) Feedback Linearization Control for a Distributed Solar Collector Field. IFAC. 16th Triennial World Congress, Prague, Czech Republic.
- Landau I.D.: A hyperstability criterion for model reference adaptive control systems. IEEE Trans. Aut. Control AC-14, 552-555 1969.
- Lemos João M., Silva Rui Neves, Igreja José M. (2014) Adaptive Control of Solar Energy Collector Systems. Springer. ISBN 978-3-319-06853-4 DOI 10.1007/978-3-319-06853-4
- Richalet J., Gimonet B: Identification des systemes discrets lineaires monovariabes par minimisation d'une distance de structure. Elect. Lett 4, (24), 1968,
- Sabiha M.A., Saidur R, Mekhilef S., Mahian O.Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors. Renewable and sustainable Energy Reviews 51 (2015) 1038-1054
- Slotine Applied Nonlinear Control, Slotine and Li, Prentice-Hall 1991