

Diseño de un controlador reducido de un generador de vapor mono paso de una central termoeléctrica

H. E. Rubio Scola¹, Juan C. Nachez²

¹ Universidad Nacional de Rosario, Departamento de Control, FCEIA, CIUNR erubio@fceia.unr.edu.ar

² Universidad Nacional de Rosario, Departamento de Control, FCEIA jcnachez@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se desarrolla una metodología de simplificación del control para sistemas lineales multivariados. El método, que se basa en la separación de espectros de la matriz A del sistema libre en dos subsistemas disjuntos, es aplicado al control de un generador de vapor de una central termoeléctrica caracterizada por tener un número muy elevado de variables fuertemente acopladas. Una forma de resolver el problema de la regulación de la planta es utilizar una matriz de no interacción (simplificada) que permita en lo posible controlar las variables de salida en forma independiente. En la práctica la síntesis de esta matriz es extremadamente compleja y su simplificación conduce a resultados no satisfactorios. La metodología propuesta basada en la síntesis de un controlador reducido de fácil implementación, que utiliza un observador para la medición de sólo las variables de estado de interés a partir de las salidas disponibles, permite modificar la dinámica mediante la ubicación óptima (LQR) de los polos de la planta.

Palabras claves: Función signo matricial. Generador mono paso, Reducción de orden, Sistemas lineales.

Design of the compact controller of a single step steam generator of a thermoelectric central

ABSTRACT

This work develops a control simplification methodology for multivariable linear systems. The method, based on the spectre separation of the A matrix free system in two disjoint subsystems, is applied to the steam generator control of a thermoelectric central characterized for having a high number of strong connected variables. One way of solving the regulation problem of the plant is to use a non-interaction matrix (simplified) allows, if it is possible, to control the output variables in an independent way. In practice the design matrix is extremely complex and its simplification drives to non-satisfactory results. The proposed methodology, based on a compact design controller of easy implementation, that use an observer to measure only the interest state variables for the available output, allows the modification of the dynamics systems through the plant pole optimum location (LQR).

Key words: Linear systems. Matrix sign function. Order Reduction, Single step steam generator,

INTRODUCCIÓN

Los sistemas lineales multivariados invariantes en el tiempo pueden ser representados por:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A x(t) + B u(t) \\ t &\geq 0, x \in \mathbf{R}^n, y \in \mathbf{R}^m, u \in \mathbf{R}^r \end{aligned} \quad (1)$$

Si la dimensión del espacio \mathbf{R}^n es grande, la aplicación directa de los métodos tradicionales de diseño de controladores y observadores conduce a cálculos de gran

dimensión y a controladores de implementación costosa. En este trabajo se aplica una técnica de análisis y diseño simplificado donde se obtiene una representación del sistema de menor orden. Para lograr esto se tiene en cuenta la ubicación de los polos del sistema y su incidencia en la dinámica de la planta.

Descripción del sistema

La central de Sorrento B (Rosario, Argentina) es una usina termoeléctrica de 160MW de potencia nominal que está caracterizada por utilizar como generador de vapor una caldera tipo Benson, también llamada de un solo paso. El rasgo más distintivo, desde el punto de vista constructivo, de una caldera de un solo paso comparada con una caldera convencional es la ausencia de domo. El agua de alimentación es bombeada desde el extremo de un conducto de flujo continuo a lo largo del cual es suministrado el calor y desde donde se descarga el vapor sobrecalentado a la turbina. Desde el punto de vista del comportamiento dinámico, la diferencia fundamental entre ambos tipos de caldera radica en la menor capacidad térmica y las menores constantes de tiempo que tienen las de un solo paso frente a las convencionales. Estas diferencias hacen que el tipo de control utilizado en un tipo y otro sea diferente.

La estructura del control puede ser organizada en varios niveles jerárquicos. Esto resulta posible debido a que las diferentes acciones de regulación actúan en bandas frecuenciales separadas entre sí, por lo que se puede lograr una mayor confiabilidad, modularidad y simplicidad de diseño. Es posible definir tres niveles fundamentales.

Nivel inferior Las variables reguladas son: caudal de agua de alimentación, de combustible, de aire, posición de la válvula de turbina, etc. Los "set point" de estos lazos de regulación primaria están determinados por el nivel intermedio de regulación.

Nivel intermedio comprende la regulación principal del sistema caldera turbina. Las variables reguladas en este caso son: potencia eléctrica generada, presión y temperatura de vapor. Los "set point" de este nivel están determinados por el nivel superior.

Nivel superior En este nivel se calculan los "set point" del nivel principal, Este cálculo depende de la regulación frecuencia-potencia, del análisis económico del sistema de generación y de los distintos criterios elegidos para las diferentes condiciones de funcionamiento (arranque, funcionamiento a carga constantes, etc.).

La eficacia de esta estructura depende principalmente de que los lazos inferiores funcionen en una banda de frecuencia superior a la de los lazos inmediatamente superiores (mayor velocidad en los niveles inferiores que en el intermedio y en éste que en el nivel superior). Bajo esta hipótesis, el proyecto del sistema de control debe hacerse partiendo del nivel de regulación primaria (nivel inferior).

La regulación principal caldera turbina es el corazón del control. En general este nivel intermedio admite la división en distintos subsistemas de regulación independientes entre sí o débilmente acoplados (regulación de presión, de carga

eléctrica, de temperatura), de todas formas esta subdivisión dependerá de la metodología utilizada en el desarrollo de control.

El nivel intermedio ha sido resuelto bajo el punto de vista de una estructura descentralizada.

Este nivel está caracterizado por la variable de entrada "u" de dimensión tres y la variable de salida "y" también de dimensión tres.

$$\begin{aligned} q_c &= \text{caudal de combustible} \\ u &= \text{posición de válvula de turbina} \\ q_w &= \text{qw caudal de agua de alimentación.} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} P &= \text{presión de entrada de turbina} \\ C &= \text{carga eléctrica} \\ A_t &= \text{temperatura} \end{aligned} \quad (3)$$

Identificación del sistema

Se procedió a identificar el sistema caldera-turbina formulando la matriz de transferencia en lazo abierto del mismo. Excitando el sistema con señales de tipo escalón, se obtuvieron las distintas respuestas temporales. Una vez obtenidas estas curvas se procede a hallar las funciones transferencias analíticas correspondientes a cada salida en función de los enlaces definidos:

$$\begin{aligned} H_{1,1} &= \frac{0,86(1-9,7s+11180s^2)e^{-24s}}{((1+68s+2330s^2)(1+80s))}, \\ H_{1,2} &= \frac{0,38(1+100s)}{((1+9s+350s^2)(1+170s))}, \\ H_{1,3} &= \frac{0,51(1+96s)e^{-5s}}{((1+40s+840s^2)(1+40s))}, \\ H_{2,1} &= \frac{0,29(1-2,6s+18300s^2)e^{-43s}}{(1+154s+7350s^2)(1+17s)}, \\ H_{2,2} &= \frac{0,37(1-16s+1630s^2)e^{-10s}}{(1+36s+506s^2)(1+25s)}, \\ H_{2,3} &= \frac{0,14(1+96s)e^{-5s}}{(1+40s+840s^2)(1+40s)}, \\ H_{3,1} &= \frac{-2,83(1-33s+4050s^2)e^{-34s}}{(1+122s+5180s^2)(1+36s)}, \\ H_{3,2} &= \frac{1,69(1+50s)e^{-100s}}{(1+45s+1600s^2)(1+35s)}, \\ H_{3,3} &= \frac{3,63e^{-38s}}{(1+55s+1200s^2)(1+30s)} \end{aligned} \quad (4)$$

Cabe aclarar que las ganancias estáticas de cada una de estas expresiones se obtiene al hacer el cociente entre las variables correspondientes referidas a sus propios valores nominales:

$$\begin{aligned} P_{nom} & 142 \text{ kg/cm} \\ C_{nom} & 160 \text{ MW} \\ A_{tom} & 13 \text{ grados centígrados} \end{aligned} \quad (5)$$

Estas identificaciones de los sistemas fueron realizadas en un punto de trabajo (50 % de la potencia nominal). Una vez obtenida cada función transferencia H, se utilizó la aproximación de primer orden de Padé para eliminar los retardos y representar la planta con variables de estado. También se eliminaron algunos polos y ceros que no afectan la dinámica del sistema. Este procedimiento nos lleva a definir un modelo de orden 26.

Separación del sistema

Una forma de resolver el problema del control es utilizando una matriz de no interacción (simplificada) que permita en lo posible controlar las variables de salida en forma independiente (NACHEZ et al., 1983). En la práctica la síntesis de esta matriz es muy complicada y su simplificación (actualmente implementada) conduce a resultados aceptables desde el punto de vista del comportamiento estático de la planta pero inadecuados si se considera su dinámica.

Otro procedimiento, propuesto en este trabajo, consiste en aplicar la separación de espectros de la matriz A de la planta a partir del conocimiento de sus autovalores (RUBIO SCOLA, 1984).

Haciendo uso de la descomposición canónica de Jordan de la matriz A del sistema (1) obtenemos una matriz block diagonal. Si reordenamos de una manera adecuada los autovalores de A, podemos representar a esta matriz de la forma siguiente:

$$A = M \begin{bmatrix} J_s & 0 \\ 0 & J_r \end{bmatrix} M^{-1} \quad (6)$$

donde J_s (block diagonal) contiene todos los autovalores L_i tal que $R(L_i) \geq 0$ y J_r contiene los restantes. Basándonos en esta estructura podemos buscar una transformación lineal W tal que la matriz A pueda ser representada de la siguiente forma:

$$A = W \begin{bmatrix} A_s & 0 \\ 0 & A_r \end{bmatrix} W^{-1} \quad (7)$$

donde los autovalores L_i de A_s tienen la propiedad $R(L_i) \geq p$ y los A_r satisfacen que $R(L_i) \leq p$, siendo p un valor prefijado que delimita la banda de frecuencia de interés. Quedando así el sistema dividido en dos subsistemas, uno de evolución rápida (estable) representado por A_r y otro de evolución lenta (o eventualmente inestable) dado por A_s . Entonces podemos considerar para el diseño de controladores y observadores, un sistema de menor orden que solo tenga en cuenta las variables internas con comportamiento lento.

Introducimos un cambio de base por medio de la transformación W y llamando \hat{x} a las nuevas variables internas tenemos:

$$\begin{aligned} \hat{x} &= W^{-1}x \quad \text{luego} \quad \begin{aligned} \dot{\hat{A}} &= \hat{A}\hat{x} + \hat{B}u \\ y &= \hat{C}\hat{x} \end{aligned} \end{aligned} \quad (8)$$

donde los nuevos parámetros $\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}$ están dados por:

$$\hat{A} = W^{-1}AW = \begin{bmatrix} A_s & 0 \\ 0 & A_r \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\hat{B} = W^{-1}B = \begin{bmatrix} B_s \\ B_r \end{bmatrix}; \hat{C} = CW = [C_s C_r] \quad (10)$$

Obtenemos el sistema reducido considerando sólo por las n_s componentes de \hat{x} con $n_s = \dim(A_s)$

$$\begin{aligned} \dot{x}_s &= A_s x_s + B_s u(t) \\ y(t) &= C_s x_s(t) \end{aligned} \quad (11)$$

donde $\hat{x} = \begin{bmatrix} x_s \\ x_r \end{bmatrix}$. En efecto, consideramos que $u = 0$ tenemos

para la evolución temporal de x_r : $x_r(t) = e^{A_r t} x_r(0)$

por lo tanto (considerando $p < 0$), se satisface :

$$\|x_r(t)\| = e^{pt} \|x_r(0)\| \quad (12)$$

o sea que la parte que no es tenida en cuenta en el sistema simplificado, tiende a cero en un tiempo menor que las constantes de tiempo del resto del sistema.

Lema 1. Si realimentamos el sistema (11) con $u = Kx_s$, solamente modificaremos los polos correspondiente a A_s y no los correspondientes a A_r .

Demostración:

El sistema realimentado tiene la siguiente forma:

$$\dot{x}_s(t) = (A_s + KB_s)x_s(t) \quad (13)$$

$$\dot{x}_r(t) = A_r x_r(t)$$

Los autovalores de la matriz:

$$\begin{bmatrix} (A_s + KB_s) & 0 \\ B_r K & A_r \end{bmatrix} \quad (14)$$

es el conjunto formado por los autovalores $(A_s + KB_s)$ unión los autovalores de A_r .

Cálculo de los subsistemas

Mostraremos ahora como se puede utilizar la función signo matricial (ATTARZADEH, 1982) (ROBERTS, 1980) como un medio efectivo y rápido de cálculo de las submatrices A_s y A_r

Definición 1. Para toda matriz $H \in \mathbb{C}^{n,n}$, cuyo autovalores tengan parte real no nula, definimos la función signo matricial de la siguiente forma:

$$\text{sign}(H) = \frac{1}{i\pi} \int_c (\xi - H)^{-1} d\xi - I \quad (15)$$

donde c es una curva cerrada que encierra todos los autovalores de parte real positiva de H . Asimismo se define la función

$$\text{sign}^+(H) = \frac{1}{i\pi} \int_c (\xi - H)^{-1} \quad (16)$$

Ambas funciones constituyen una extensión natural al dominio de las matrices cuadradas de las correspondientes funciones escalares.

Proposición 1. Se puede deducir de la definición la función signo matricial que utilizaremos.

1. Si todos los autovalores de H tienen parte real negativa es decir, si H es estable:

$$\text{sign}(H) = -I \quad (17)$$

2. Si $D \in \mathbb{C}^{n,n}$ e inversible,

$$\text{sign}(DHD^{-1}) = D\text{sign}(H)D^{-1} \quad (18)$$

$$\text{sign}^+(DHD^{-1}) = D\text{sign}^+(H)D^{-1}$$

3.

$$\text{sign}(H) = 2\text{sign}^+(H) - I \quad (19)$$

$$\text{sign}^+(H) = (\text{sign}^+(H) + I)/2$$

Teorema 1. Sea $A \in \mathbb{C}^{n,n}$ y dado $p > 0$, $p \in \mathbb{C}^+$ entonces siempre existe la transformación lineal W tal que:

$$A = W \begin{bmatrix} A_s & 0 \\ 0 & A_r \end{bmatrix} W^{-1} \quad (20)$$

siendo

$$\Re(L_i) \geq p \forall L_i \in \sigma(A_s), \Re(L_i) < p \forall$$

$$L_i \in \sigma(A) = \text{espectro de}(A_s),$$

Demostración

Sea $A_q = A - pI$, utilizando (6) tendremos:

$$A_q = M \begin{bmatrix} J_s - pI & 0 \\ 0 & J_r - pI \end{bmatrix} M^{-1}$$

Si calculamos el signo de A_q , en función de la propiedad 2 tenemos:

$$\text{sign}(A_q) = M \begin{bmatrix} \text{sign}(J_s - pI) & 0 \\ 0 & \text{sign}(J_r - pI) \end{bmatrix} M^{-1} \quad (21)$$

dado que $\sigma(J_s - pI) \subset [0, 1]$, tenemos por la propiedad que $(J_s - pI)$

$$\text{sign}(J_s - pI) = I \quad (22)$$

De la misma forma dado que

$$\sigma(J_r - pI) \subset [-\infty, 1], \text{ tenemos por la propiedad que:}$$

$$\text{sign}(J_r - pI) = -I \quad (23)$$

Aplicamos ahora estos dos resultados en (21) y llegamos a la expresión:

$$\text{sign}(A_q) = M \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & -I \end{bmatrix} M^{-1} \quad (24)$$

$$\text{sign}^+(A_q) = M \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} M^{-1} \quad (25)$$

Si introducimos la función parte negativa del signo matricial

$$\text{sign}^-(H) = (I - \text{sign}(H))/2 = \text{sign}^+(H) - \text{sign}(H) \quad (26)$$

tenemos, en forma similar

$$\text{sign}^-(A_q) = M \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} M^{-1}$$

Expresamos M de la forma $M = [M_1, M_2]$, donde:

$$M_1 = M \begin{bmatrix} I \\ 0 \end{bmatrix}, M_2 = M \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} \quad (27)$$

Utilizando esta notación en (24) obtenemos

$$\text{sign}^+(A_q) = [M_1, 0] \quad (28)$$

$$\text{sign}^-(A_q) = [0, M_2]$$

Las columnas de $\text{sign}(A_q)$ son entonces combinación lineal de la columnas de M_1 y el rango de $\text{sign}(A_q)$ es igual al rango de M_1 (siendo este igual a n_s). Aplicando SVD a las columnas

de $\text{sign}(A_q)$, podemos determinar la matriz $W_1 \in \mathbb{C}^{n_s \times n_s}$, donde las columnas son linealmente independientes (ortogonal). Será entonces:

$$W_1 = M_1 Z_1, Z_1 \text{ es no singular}, Z_1 \in \mathbb{C}^{n_s \times n_s} \quad (29)$$

$$W_2 = M_2 Z_2, Z_2 \text{ es no singular}, Z_2 \in \mathbb{C}^{n_r \times n_r} \quad (30)$$

Entonces

$$W = [W_1, W_2] = M \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \quad (31)$$

Si realizamos finalmente un cambio de base utilizando esta matriz W, obtenemos (en virtud de (6) y (26)).

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} Z_1^{-1} & 0 \\ 0 & Z_2^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_s & 0 \\ 0 & J_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \quad (32)$$

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} Z_1^{-1} J_s Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2^{-1} J_r Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_s & 0 \\ 0 & A_r \end{bmatrix} \quad (33)$$

Observando finalmente que los autovalores de $A_s = Z_1^{-1} J_s Z_1$ y $A_r = Z_2^{-1} J_r Z_2$ son los autovalores

de $(J_s - pI)$ y $(J_r - pI)$ respectivamente, vemos que hemos logrado la matriz A block diagonal

con la estructura espectral separada.

Diseño del control y observador

Si el sistema (A_s, B_s) es controlable, existe una realimentación K tal que $(A_s + B_s K)$ tiene una dinámica pre-establecida.

Para el diseño del observador necesitaremos que (A_s, C_s) sea observable, en dicho caso existe un observador G tal que $(A_s' + C_s' G')$ tiene una evolución rápida pre-establecida (THINK, 1997). El sistema dinámico que define el observador es el siguiente:

$$\dot{\hat{x}}_s = (A_s + GC_s) \hat{x}_s + B_s u - \hat{y}_s \quad (29)$$

el observador tiene una entrada $\hat{y}_s = GC_s \hat{x}_s$, pero se dispone solamente de la salida real del sistema $y = Cx = C_s x_s + C_r x_r$, entonces se toma como salida el sistema:

$$\hat{y} = C_s \hat{x}_s + C_r (-A_r^{-1} B_r u)$$

es decir teniendo en cuenta la contribución asintótica de x_r :

$x_r \rightarrow -A_r^{-1} B_r u$ entonces $\hat{y} \rightarrow y$. La matriz asociada a las ecuaciones diferenciales del sistema completo a lazo cerrado es:

$$\begin{bmatrix} A_s & 0 & B_s K \\ 0 & A_r & B_r K \\ -GC_s & -GC_s & E \end{bmatrix}$$

donde $E = A_s + GC_s + B_s K - DC_r A_r^{-1} B_r K$

Aplicación

La planta generadora (caldera turbina) identificada en (4), se representa utilizando variables de estado, donde las matriz A

del sistema realizado de orden 26, tiene los autovalores definidos en un intervalo: $[-0.01285, -0.0286]$.

Tomando $\rho = -0.02$, los polos menores a 0,02 no serán modificados. Se obtienen dos subsistemas de acuerdo a las ecuaciones (9).

$$\dot{x}_s(y) = A_s x_s(t) + B_s u(t)$$

$$\dot{x}_r(y) = A_r x_r(t) + B_r u(t) \quad (36)$$

$$y(t) = C_s x_s(t) + C_r x_r(t)$$

Donde el subsistema de x_s es de orden 12 y el de x_r es de orden 14. En este caso solamente realizaremos una realimentación de doce variables internas, es decir la matriz de realimentación será de 3 filas y solamente 12 columnas en lugar de las 26 columnas como sería para el sistema original.

La matriz K obtenida tiene su última fila todos ceros. Cuando se realimenta la planta tomando como entrada solamente $u_3 = q_w$ las salidas correspondientes serán coincidentes al sistema original.

Esta matriz de realimentación se calculó utilizando técnicas de optimización de controladores LQR aplicada al sistema $(A_s - (0;014)I, B_s)$, obteniendo los autovalores para $(A_s - B_s K)$ con parte real comprendida en el intervalo $[-0.3583, -0.02058]$ (CAMPBELL et al., 2006).

El cálculo del observador se realizó con un algoritmo que fijó los polos en -0.025 .

Se muestran a continuación las gráficas comparadas de los casos original (línea llena) y realimentado con la metodología propuesta (línea de trazos), excitando cada entrada por separado con una señal escalón (considerando las restantes inactivas).

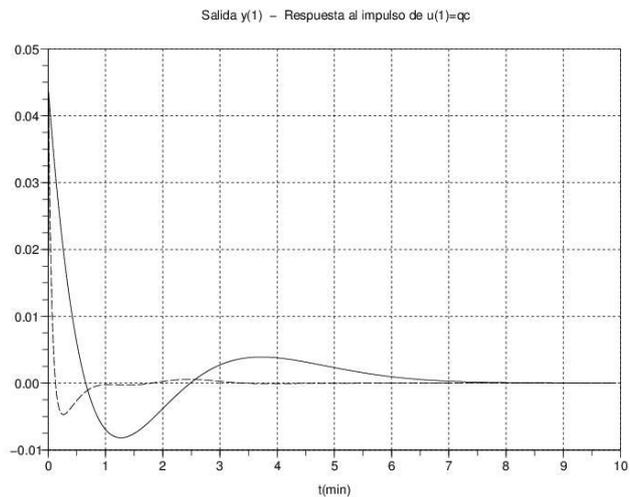


Figura 1: salida y_1 con entrada escalón $u_1 = q_c$

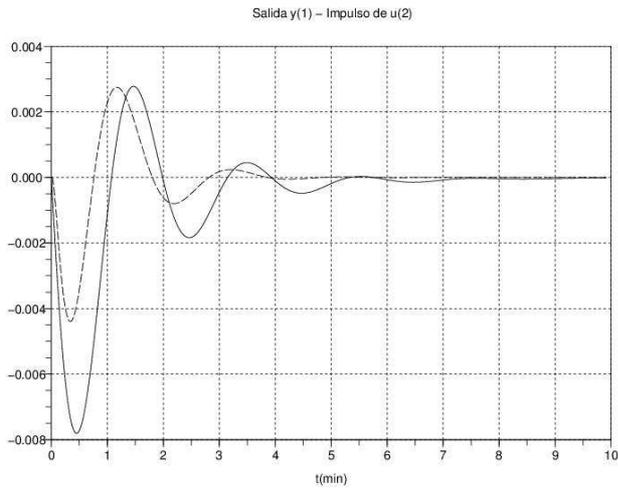


Figura 2: salida y_1 con entrada escalón $u_2 = \theta_t$

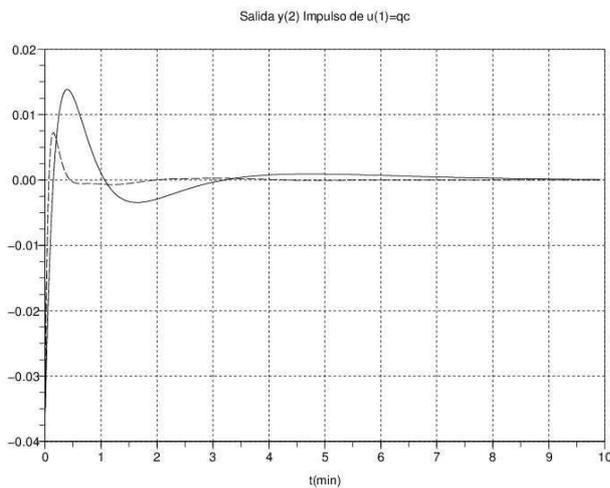


Figura 3: salida y_2 con entrada escalón $u_1 = q_c$

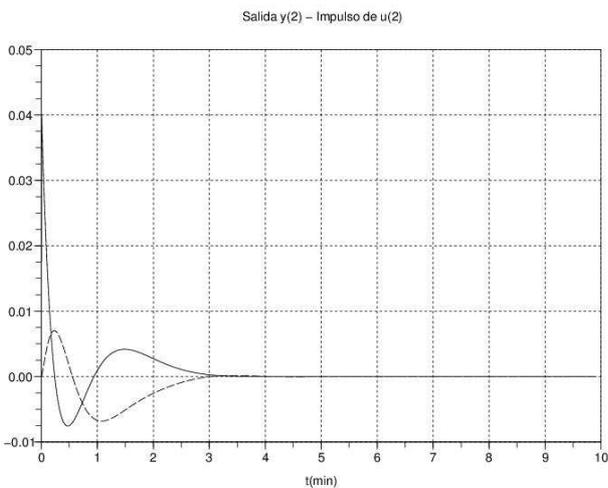


Figura 4: salida y_2 con entrada escalón $u_2 = \theta_t$

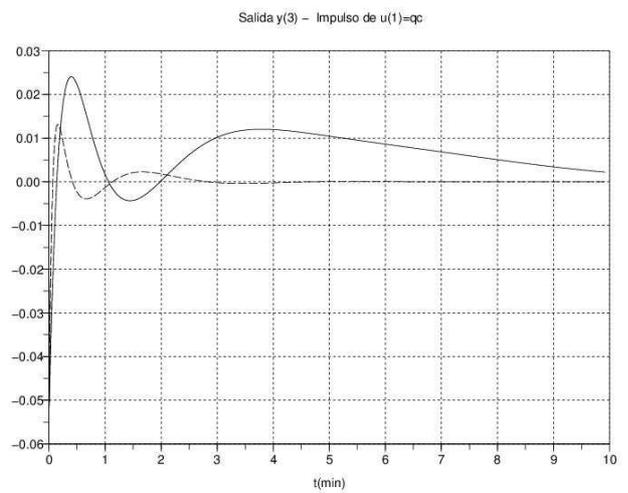


Figura 5: salida y_3 con entrada escalón $u_1 = q_c$

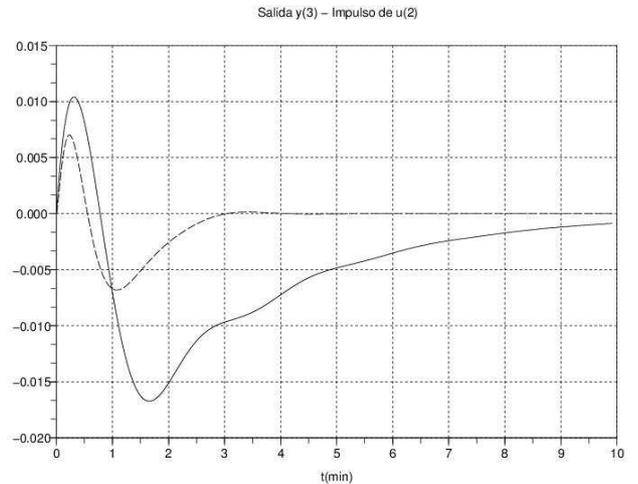


Figura 6: salida y_{23} con entrada escalón $u_2 = \theta_t$

Las gráficas corresponden a las salidas $y_1 = P$, $y_2 = C$ y $y_3 = \delta_t$ con entradas escalón para $u_1 = q_c$ y $u_2 = \theta_t$. Las salidas con entrada $u_3 = q_w$ coinciden con las curvas originales.

CONCLUSIONES

Empleando la metodología desarrollada se ha diseñado un controlador reducido de una caldera mono paso que mejora en gran medida las características dinámicas del control en base a la reubicación de los polos del sistema como se muestra en las simulaciones.

El diseño del control presentado fué realizado a partir de la identificación del sistema en un dado punto de trabajo (50 % de la potencia nominal). Se consideró un modelo matemático lineal y estacionario. La validez de este modelo se verificó en un entorno alrededor de este punto de trabajo, por lo que sería necesario comprobar prácticamente el funcionamiento del sistema en otro punto de operación.

La solución del problema utilizando matriz de no interacción conduce a un resultado extremadamente complejo y por lo tanto muy difícil de realizar prácticamente. La metodología propuesta basada en la síntesis de un controlador reducido de

fácil implementación, que utiliza un observador para la medición de sólo las variables de estado de interés a partir de las salidas disponibles, permite modificar la dinámica mediante la ubicación óptima (LQR) de los polos de la planta.

En cuanto a las posibilidades de optimización del proceso, se puede pensar en introducir redes compensadoras de ciertas perturbaciones medibles, como por ejemplo una red que compense la variación de presión producida por la variación del caudal de atemperamiento.

Si bien se ha utilizado el método de Padé para aproximar los retardos, y se despreciaron algunos polos que no afectaron la dinámica, estas aproximaciones verificadas con simulaciones numéricas, mostraron gráficas muy similares a las obtenidas en el ensayo real de la planta.

RECONOCIMIENTOS

Trabajo realizado dentro del Proyecto de investigación y desarrollo (PID-UNR) Instrumentación y control en procesos de generación de energía. Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario (CIUNR), Argentina.

REFERENCIAS

ATTARZADEH, F. (1982). Relative stability test for continuous and sampled-data control systems using the generalized sign matrix. IEE.

CAMPBELL, S.L., J.P. CHANCELIER and R. NIKOUKHAH (2006). Modeling and Simulation in Scilab/Scicos. Springer.

NACHEZ, J.C., M. SHOCRON and A. DE LA TORRE (1983). Estudio del control de la caldera de 160 MW de la central Sorrento b. diseño de la matriz de no-interacción. In: Tercer Congreso del Programa Nacional de Electrónica.

ROBERTS, J. D. (1980). Linear model reduction and solution by use of the sign function. Int. J Control.

RUBIO SCOLA, H. E. (1984). Diseño de controladores y estimadores en sistemas de control multi-variables. In: Congreso Brasileiro de Automática / Congreso Latinoamericano de Automática.

THINK, H.; ALDEEN (1997). Reduced-order observer for large-scale systems. IEE Proc. Control Theory Appli.

AUTORES

Héctor Eduardo Rubio Scola, Ing, Electricista, Lic. En Matemáticas, Investigador Independiente del Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario(UNR), Profesor Asociado del Departamento de Control, Escuela de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, UNR, Rio Bamba 245 bis, 2000 Rosario, Argentina, Fax +54 341 4802654, email: erubio@fceia.unr.edu.ar.

Juan Carlos Nachez, Ing, Electricista, Profesor Titular del Departamento de Control, Escuela de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, UNR,

Rio Bamba 245 bis, 2000 Rosario, Argentina, Tel.: +54 341 4808547, Tel.: +54 341 4808547, Fax +54 341 4802654, email: jcnachez@fceia.unr.edu.ar.