

AADECA 94

SEMANA DEL CONTROL AUTOMATICO

Organizada por

AADECA



**ASOCIACION ARGENTINA
DE CONTROL AUTOMATICO**

Declarada de Interés Nacional por:

- Presidencia de la Nación-Secretaría de Ciencia y Tecnología. Resolución N° 111/94.
- Ministerio de Economía-Secretaría de Industria y Comercio Exterior. Resolución N° 124.
- Ministerio de Educación-Consejo Nacional de Educación Técnica. Resolución N° 1290/94.

Auspiciada por:

- Presidencia de la Nación-Secretaría de Ciencia y Tecnología. Resolución N° 070.
- Ministerio de Economía-Secretaría de Industria y Comercio Exterior. Resolución N° 124.
- Ministerio de Cultura y Educación, Universidad Tecnológica Nacional. Resolución N° 120/94.
- Universidad de Buenos Aires. Resolución N° 322/94.
- Unión Industrial Argentina

AADECA



ASOCIACION ARGENTINA DE CONTROL AUTOMATICO

CONSEJO DIRECTIVO AADECA

Presidente:	Ing. Jonas Paiuk
Vicepresidente 1º:	Ing. Aurelio T. Casucci
Vicepresidente 2º:	Ing. Zoltán L. Barkasz
Secretario General:	Ing. Victor F. Marinescu
Prosecretario:	Ing. Antonio A. Quijano
Tesorero:	Ing. Osvaldo H. Capino
Protesorero:	Ing. Ricardo J. Agostinelli
Vocales Titulares:	Ing. Oreste D. Lupi Dr. Ricardo S. Sánchez Peña
Vocales Suplentes:	Ing. Sergio Szklanny Ing. Ricardo O. Carelli
Adscripta a Consejo Directivo:	Susana Terlizzi

COMISION DE PROGRAMACION

Presidente:	Ing. Juan P. Weisz
Miembros:	Ing. Zoltán L. Barkasz Ing. Carlos Candiani Dr. Carlos D'Attellis Ing. Armando De Giusti Ing. Alfredo Desages Ing. Carlos A. Godfrid Ing. Vicente J. Köppel Dr. Benjamín Kuchen Dr. Gregorio R. Meira Ing. Carlos H. Muravchik Ing. Antonio A. Quijano Ing. José Romagnoli Dr. Ricardo R. Sánchez Peña
Programación de Cursos:	Ing. Víctor F. Marinescu



XIV SIMPOSIO NACIONAL DE CONTROL AUTOMATICO

NOMINA DE REVISORES

Anigstein, Pablo
Barkasz, Zoltan
Condiani, Carlos
Carelli, Ricardo
Colombo, Armando
Correa, Juan Carlos
D'Attellis, Carlos
De Giusti, Armando
Desages, Alfredo
Di Sciascio, Fernando
Godfrid, Carlos
Infante, Jorge
Justo, Pablo
Köppel, Vicente
Kuchen, Benjamín
Marchetti, Jacinto
Marques, Dardo
Meira, Gregorio
Muravchik, Carlos
Mut, Vicente
Nasisi, Oscar
Parrilo, Pablo
Patiño, Daniel
Postigo, José
Quijano, Antonio
Romagnoli, José
Rondelli, Eduardo
Sánchez Peña, Ricardo

SUMARIO

Control en cascada.
A. P. Ingaramo de Díaz, M. R. Cesca 230

CONTROL Y AUTOMATIZACION EN PROCESOS INDUSTRIALES

Moderador: Ing. Z. Barkasz

El impacto económico de los disturbios en procesos químicos: Un análisis dinámico.
J. L. Figueroa, J. A. Romagnoli 236

Control descentralizado en sistemas de generación de vapor.
F. Masson, M. C. Colantonio, G. Bortolotto, A. Desages 242

Control adaptativo predictivo de una central térmica.
L. Pérez, F. J. Pérez, J. Cerozo, J. Catediano, J. M. Martín Sánchez 248

Utilización de un sistema de visión para la medición de ovalidad.
A. Zanini, C. Saporiti, R. Bocanera 254

Moderador: Ing. E. Rondelli

Espectrómetro Mossbauer basado en DSP96002.
P. E. Battaiotto, J. M. Catalfo, N. Martínez, M. A. Mayosky, G. M. Toccacelli 258

Módulo de optoaislación galvánica de alta linealidad para mediciones.
D. Giménez, M. Celan, J. C. Correa 263

Medición sin contacto de envases medicinales de vidrio.
A. C. Castro, O. H. Nasisi 267

CND Digital (Control no destructivo).
D. Paiuk, E. A. La Bruna, M. S. Zecchi 273

Moderador: Ing. Z. Barkasz

Control de intercambiadores de calor con estructura flexible.
J. Marchetti, V. Constanza 279

Estrategias de control multivariable para columnas de destilación industriales.
N. B. Brignole, M.C. Colantonio, S. M. Tonelli, J. A. Romagnoli 285

Estudios de simulación dinámica y control en procesos de destilación reactiva.
C. A. Ruiz, M. S. Basualdo, N. J. Scenna 291

Estrategias de control con redes neuronales aplicadas a columnas de destilación.
M. S. Basualdo, R. A. Calvo, H. A. Ceccato 297

Controladores PID autoajustables por el método de correlación y análisis espectral.
C. Brovarone, A. Liarena, R. Fullana, B. Kuchen 301

Ajuste robusto a controladores convencionales. Forma sencilla de aplicarlo. Comparación con los métodos clásicos y con el uso de predictores.
E. D. Mutazzi 307

Control predictivo adaptativo de la combustión de un horno de barras móviles.
A. Zanini, R. Bocanera, R. Cordes 313

TELECONTROL

Moderador: Ing. Z. Barkasz

Sistema de telecontrol de estaciones transformadoras.
R. Pellizzoni, C. Lujambio, J. Flores, P. Issouribehere, J. Agüero, J. Barbero 319

Normalización de sistemas de telecontrol.
R. Pellizzoni 325

CONTROL DESCENTRALIZADO EN SISTEMAS DE GENERACIÓN DE VAPOR

FAVIO MASSON*, MARÍA C. COLANTONIO**, GUSTAVO BORTOLOTTO**
ALFREDO DESAGES***

* Dto. Ing. Eléctrica UNS - CONICET. ** PLAPIQUI - CONICET - Dto. Ing. Eléctrica UNS.
*** Dto. Ing. Eléctrica UNS - CIC.

Universidad Nacional Del Sur
Av. Alem 1253 - (8000) Bahia Blanca
e-mail: iepaolin@arriba.edu.ar

Resumen:

Este trabajo describe las técnicas básicas de inspección de sistemas para determinar la posibilidad de utilizar control descentralizado en una planta determinada, aplicando luego las mismas a un sistema de generación de vapor. Se describe un modelo del mismo y la aplicación de las técnicas mencionadas. En las conclusiones se intenta dar una explicación de los resultados obtenidos desde el punto de vista físico y de construcción del modelo.

DESCENTRALIZED CONTROL IN STEAM GENERATION

Abstract:

This work describes basic techniques of system analysis to determine the feasibility of applying decentralized control to a given plant. As an example, a once through steam power plant is used. A model of the plant is presented and the procedure of analysis is thoroughly followed. Results are discussed and an interpretation based on physical reasoning is given.

1- INTRODUCCIÓN

En este trabajo se analizan esquemas de control para una caldera de un paso ("once - through") desde el punto de vista de la teoría del control descentralizado en un intento por adquirir experiencia en el manejo y aplicación de estas técnicas. Las ventajas más sobresalientes de un sistema de control de este tipo frente a un

esquema multivariable son una menor complejidad en el diseño, simplicidad de sintonía, menor costo de mantenimiento y una mayor tolerancia a las fallas. En particular, en algunos sistemas se mantiene el desempeño global a pesar de la falla de algún lazo dependiendo del procedimiento de diseño seguido (secuencial o independiente). Por otra parte, es posible realizar un diseño de los

controladores verificando condiciones de estabilidad y performance robusta (Morari, 1989).

Dado que una caldera de un paso es un sistema complejo cuya operación requiere la coordinación de numerosos subsistemas, resulta conveniente pensar en aplicar esquemas de control descentralizado que intrínsecamente son más seguros y sencillos de implementar.

Hemos considerado un modelo dinámico de caldera estándar que tiene en cuenta la dinámica presión-caudal del generador de vapor y de la turbina.

2- CONTROL DESCENTRALIZADO

Sea $P(s)$ una matriz de transferencia racional de $n \times n$ que relaciona un vector de entradas u con un vector de salidas y de la planta. Sea r un vector de señales de referencias del sistema a lazo cerrado. Asumiendo:

$$\begin{aligned} u &= (u_1, u_2, \dots, u_m)^T \\ y &= (y_1, y_2, \dots, y_m)^T \\ r &= (r_1, r_2, \dots, r_m)^T \end{aligned}$$

y la estructura de control descentralizado mostrada en la fig. 2.1, significará para nosotros que el controlador C es diagonal en bloques (2.1):

$$u_i = C_i(r_i - y_i) \quad (2.1)$$

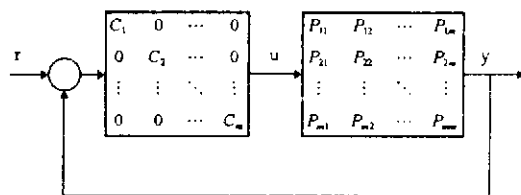


Fig. 2.1: Estructura general de control descentralizado

Las restricciones aquí impuestas sobre la estructura del controlador

conducen invariablemente a un deterioro en el desempeño del sistema comparado con el que posee un controlador completo. Este sacrificio se paga en función del siguiente factor: *simplicidad de diseño*. Si todos los bloques $P_{ij} = 0$ ($i \neq j$), entonces cada controlador C_i puede ser diseñado para cada subsistema P_{ii} sin pérdida de performance. Si P_{ij} ($i \neq j$) es "pequeño" es aún posible diseñar un controlador independiente para cada subsistema P_{ii} . La ventaja está dada por la menor cantidad de parámetros a diseñar que en el sistema completo. Esto es muy importante cuando deben ser controladas cientos de variables que conducen a controladores complejos.

Otro punto importante es preservar la estabilidad e inclusive la performance del sistema en algún grado aunque fallen sensores o actuadores individuales. Esta tolerancia es mucho más sencilla de lograr con sistemas de control descentralizado, donde las partes pueden ser sintonizadas sin afectar sensiblemente el resto del sistema.

El diseño del control se divide en dos puntos: el problema de *apareamiento de señales* en la estructura de control y el problema de *diseño del control* propiamente dicho. El primero es muy complejo al punto que para un sistema con cinco variables de entrada y cinco de salida las posibilidades llegan a 1495.

2.1 Consideraciones básicas

Considérese un diagrama de bloques como el de la figura (2.2) donde el controlador diagonal $C(s)$ es estable y K es una matriz diagonal con elementos positivos. (Morari, 1989)

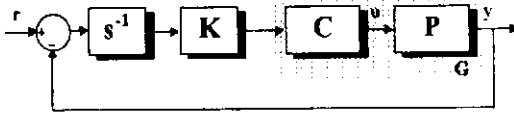


Fig. 2.2: Sistema con integrador y compensador diagonal

Definición 1: Una planta P es *descentralizada integral controlable (DIC)* si existe un controlador diagonal CKs^{-1} con acción integral tal que el sistema de lazo cerrado es estable y las ganancias de cada subconjunto de lazos puede ser reducida $K_e = \text{diag}\{k_i \varepsilon_i\}$, $0 \leq \varepsilon_i \leq 1$, sin afectar la estabilidad de lazo cerrado.

La última parte de esta definición nos indica que cualquier subconjunto de lazos pueden ser desintonizados o sacados de servicio sin afectar la estabilidad del sistema. Además, es posible alcanzar una performance deseada de lazo cerrado sintonizando separadamente cada controlador individual.

Surgen entonces una serie de resultados que nos permiten dar condiciones necesarias para que un sistema sea DIC. Estas las podemos resumir en:

- a.- $\det(P^*(0)) > 0$
- b.- $\text{Re}[\lambda_i\{P^*(0)C(0)\}] \geq 0 \forall i$, para toda $C(0) \geq 0$ diagonal.
- c.- $\text{Re}[\lambda_i\{P^*(0)\}] \geq 0 \forall i$
- d.- $\text{Re}[\lambda_i\{L(0)\}] \geq -1 \forall i$, donde $L = (P - \bar{P})\bar{P}^{-1}$, $\bar{P} = \text{diag}\{p_{11}, \dots, p_{mm}\}$
- e.- RGA: $\lambda_{ii}(P(0)) > 0 \forall i$

donde $P(s)$ y $C(s)$ fueron definidas en la sección 2 y $P(s)*C(s)$ es propia. Además, $P^*(0)$ es $P(s)$ evaluada para $s=0$ y con sus columnas multiplicadas por +1 o -1 de manera tal que los elementos de la

diagonal sean siempre positivos; λ_i es el i -ésimo autovalor de la matriz entre corchetes y λ_{ii} el i -ésimo elemento diagonal de la matriz RGA.

En otras palabras, estas condiciones nos indican que la posibilidad de descentralización está dada por las características de la planta, por el controlador y por el método de agrupación de variables de entrada/salida. Esto se pone claramente de manifiesto en el ejemplo de aplicación.

Podemos a esta altura incorporar el siguiente criterio de estabilidad aplicado en Brignole (1992):

Criterio de estabilidad de Niederlinsky: un sistema de control de $n \times n$ a lazo cerrado es estructuralmente inestable para el apareamiento elegido si:

$$\frac{\det(P(0))}{\prod_{i=1}^n p_{ii}} < 0 \quad (2.2)$$

donde el término estructuralmente inestable implica que el sistema de lazo cerrado es inestable con controladores del tipo diagonal que tengan acción integral. Esto nos ofrece un método de inspección inmediato para determinar la posibilidad de descentralizar totalmente la estructura, o partes de la matriz P que no son diagonales, es decir algún bloque de la diagonal de P de $n \times n$ que relaciona m variables ($m < n$).

3- MODELO DEL SISTEMA

Son innumerables los modelos desarrollados para calderas donde se distinguen dos tipos, aquellas con *domo* y las llamadas de *un paso* o "*once-through*". En la elección del modelo sin embargo se debe tener especial cuidado en reflejar la filosofía de

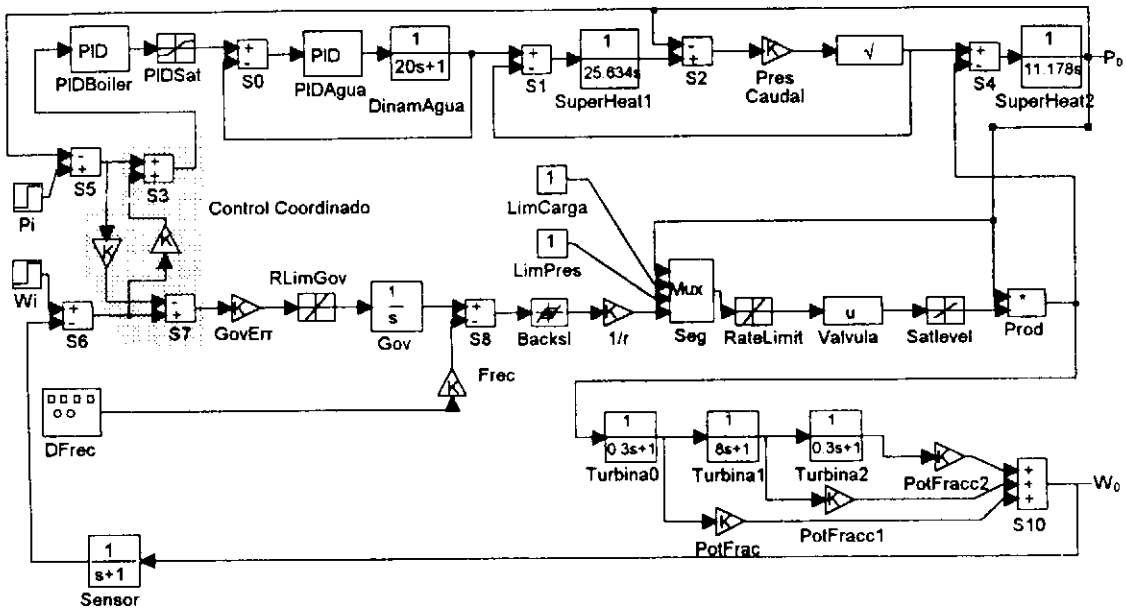


Fig. 3.1: Esquema del modelo de caldera de un paso

la aplicación además de sus características constructivas. Con esto tenemos modelos para simulación dinámica de sistemas y el estudio de su estabilidad, para entrenamiento de operadores (Hemmaplardh (1985)) o para análisis de performance. La complejidad va aumentando de un caso a otro, siendo la del segundo caso un compromiso entre precisión y tiempo de cálculo que permite una evaluación rápida de las tendencias de varias variables del sistema en un lapso razonable. Este esquema es el que se utilizó en nuestro estudio (figura 3.1). Un esquema funcional simplificado del mismo se observa en la figura 3.2 donde se tienen los lazos de control de presión y de potencia de salida. Se consideran además un entrada de variación de la frecuencia de generación y un lazo interno de seguridad.

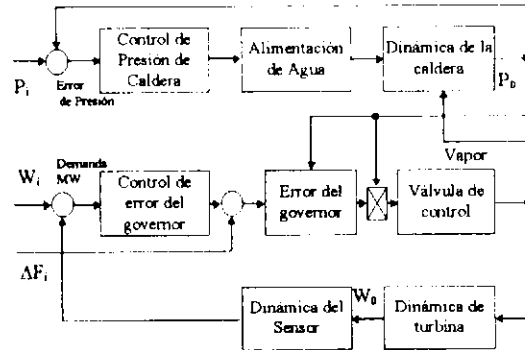


Fig. 3.2: Diagrama funcional de un modelo general de caldera

Se linealizó el modelo en un punto de operación y se obtuvo una configuración como muestra la figura 3.2 y las ecuaciones 3.1 al 3.3 para así presentarlo como el de la figura 2.1:

$$\begin{bmatrix} \Delta q_i \\ \Delta A_v \end{bmatrix} = C(s) \begin{bmatrix} \Delta \varepsilon_p \\ \Delta \varepsilon_w \\ \Delta f_i \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} \frac{k_d k_{PB} N_{c1}(s)}{M D_{c1}(s)} & \frac{k_d k_{PB} k_w N_{c1}(s)}{M D_{c1}(s)} & 0 \\ -\frac{k_g k_s}{R_c s} & \frac{k_g}{R_c s} & -\frac{k_f}{R_c} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$N_{c1}(s) = \left(s^2 + \frac{k_P}{k_D} s + \frac{k_I}{k_P} \right) \left(s + \frac{k_{IB}}{k_{PB}} \right) \quad (3.2)$$

$$D_{c1}(s) = s \left(s^2 + \frac{1+k_{PB}}{M} s + \frac{k_{IB}}{M} \right) \quad (3.3)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P_0 \\ \Delta W_0 \end{bmatrix} = P(s) \begin{bmatrix} \Delta q_i \\ \Delta A_v \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} \frac{B/c_1 c_2}{D_{pl}} & \frac{F/c_2 (s + B/c_1)}{D_{pl}} \\ \frac{3.33 k_1 N_{pl} EB/c_1 c_2}{(s + 3.33)^2 (s + 0.125) D_{pl}} & \frac{3.33 k_1 F N_{pl} (s^2 + sL + N)}{(s + 3.33)^2 (s + 0.125) D_{pl}} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

donde $B = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{K_{qp}}{F}}$, K_{qp} es una constante que relaciona presión con caudal y F es el punto de linealización de P_0 ;

$$D_{pl} = s^2 + sR - Q; N_{pl} = s^2 + sT - U;$$

$$R = \frac{B}{c_1} + \frac{B}{c_2} - \frac{E}{c_2}, Q = \frac{EB}{c_1 c_2}, E \text{ es el punto de linealización de } A_v;$$

$$T = \frac{8.3k_1 + 0.3k_2}{2.4k_1}; U = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{2.4k_1};$$

$$L = \frac{B}{c_1} + \frac{B}{c_2} - \frac{E}{c_2} + \frac{1}{c_2}, N = \frac{B}{c_1 c_2} - \frac{EB}{c_1 c_2}$$

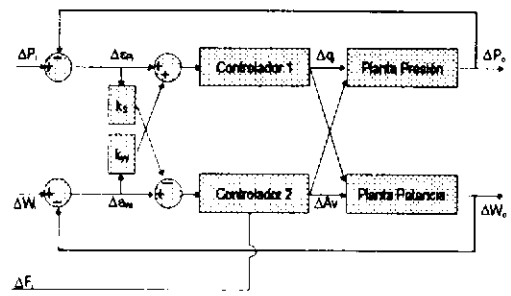


Fig. 3.3: Diagrama bloque del sistema llevada a la forma de estudio

3.1 Estudio del control

Con las ecuaciones halladas en la sección anterior (3.1 a 3.3) se estudian las condiciones necesarias para la posibilidad de descentralizar el sistema (2.a) a (2.e). Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Regla	Resultado
$\det P^*(0) > 0$	-0.3056
$\lambda_i P^*(0) \geq 0$	{2.1739, -0.1406}
$\lambda_i L^*(0) \geq -1$	{-0.7753, -3.2247}
Inest. Est.	-0.5000

La aplicación de las reglas precedentes indica que la estructura de la planta impide cualquier aplicación de un controlador diagonal que permita descentralizar el sistema.

4. CONCLUSIONES

Es importante señalar que la estructura de control analizada corresponde al esquema utilizado en plantas reales para la regulación simultánea de presión y caudal (nótese que en el modelo presentado no se incluye la dinámica de la temperatura). Se ha analizado esta estructura desde el punto de vista descentralizado. Siendo el orden de P pequeño, la estructura no ofrece demasiados grados de libertad y los test

indican que no es posible diseñar un controlador en bloques que estabilice la planta.

Es fácil ver en la figura 3.1 el acoplamiento inherente en el modelo entre las variables presión y caudal y el acoplamiento impuesto en la estructura por el control coordinado.

El presente trabajo se concentró en el análisis de una estructura existente como punto de partida para la futura consideración de partes más complejas del sistema de generación de vapor (sobrecalentadores, atemperadores, etc.) donde el mayor número de grados de libertad permite presuponer la posibilidad de descentralización.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la financiación parcial de este trabajo a la Secretaria de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Sur.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Doñate, P. D. & Moiola, J. L., (1994). "Model of a once-through boiler for dynamic studies", aceptado para su publicación en Latin American Applied Research, aparecerá en Vol.24, N°3.

Hemmaplardh, K. & Sackett, S. A., (1985). "Applications of dynamic models in dispatcher training simulator an in other system dynamics performance studies", IEEE Tr. on Power Apparatus and Systems, Vol PAS-104, N°6, 1349-1355.

Morari, M. & Zafiriou, E. (1989). Robust process control, Prentice Hall, capítulo 14.

Brignole, N. & Colantonio M. & Romagnoli, J. (1992). "Control descentralizado en problemas de destilación", ADECA 1992, Vol2, 11-15.