



Instituto de Investigaciones Científicas Inicien

Rector

LUIS ENRIQUE PÉREZ OJEDA, Pbro.

Vicerrector académico

JAVIER ANTONIO BALLESTEROS RICAURTE

Vicerrectora administrativa

MARÍA DEL CARMEN RODRÍGUEZ MESA

Director Editor

FABIO ALDEMAR GÓMEZ SIERRA, Pbro.

Redacción

GLORIA INÉS VARGAS AVENDAÑO

COMITÉ CIENTÍFICO EDITORIAL

Antonio Faustino Muñoz Moner. Ph.D

Dimas Malagón Castro. Ph.D

Marco Quijano Rico. Ph.D

Rudolf Kaiser. Ph.D

Pablo Enrique Pedraza. Ph.D

Nelson Ernesto López. Ph.D

Raymond Pierre. Ph.D

Pedro Almanza. PhD (c)

José Lozano. PhD

Diseño

Mauricio Bernal Benavides

Impreso en Boyacá por

WWW.JOTAMARLTD.COM

Tunja - Boyacá - Colombia

2006

Prohibida la reproducción parcial o total sin  
autorización de los editores.

Lo expresado en los artículos es responsabilidad  
exclusiva de sus autores.

# Nuevos diseños

de sistemas de control  
híbrido, genético-  
adaptativo, para la  
regulación de la  
eficiencia del bloque  
termoenergético de las  
empresas del níquel.

Por: MUÑOZ, M. Antonio F.<sup>1</sup>

## RESUMEN:

El artículo muestra los resultados de la investigación del sistema de avanzado híbrido (genético-adaptativo) para la generación de vapor, a través de lazos de regulación para la reducción de la dispersión de las variables del régimen operacional del proceso, con la aplicación de nuevas estrategias de control óptimo con algoritmos genéticos del gasto de energía, sobre la desviación del régimen de trabajo de las calderas; todo lo cual contribuye a la reducción de las pérdidas de energía para generar vapor, permitiendo implementar sistemas control híbridos, resultantes de la integración de sistemas de control genético-adaptativos.

Palabras clave: combustión, eficiencia de la generación de vapor, rendimiento térmico, flujo de vapor.

## ABSTRACT:

This paper include results of the research hybrid advanced control system for the steam generation, shown the relations between. Reveal the influences of the regulation loops in reduction of the dispersion of variables of process operational regime, influence of the genetic-optimal controller of delivery of energy in reduction of the dispersion and on work deviation at regime of steam generator, factors that contribute to reduction of energy in the steam production.

Key words: combustion, vapor generation efficiency, thermal yield, vapor flow.

<sup>1</sup>Ph.D, Jefe de grupo de investigación automatización electrónica y control UNAB.  
Miembro del consejo científico JDC.  
amunoz@bumanga.unab.edu.co



# Materiales y Métodos

El proceso de la combustión y generación de vapor se inicia con consumo del combustible, para el desprendimiento de calor en la cámara por combustión, donde establece el régimen adecuado en correspondencia con la cantidad de vapor producido Dd en el domo. Como indicador del calor desprendido Qt sirve la carga térmica Dq, que relaciona la cantidad de calor que se aprovecha en la unidad de tiempo en la superficie de calefacción con el consumo de agua de alimentación y la generación de vapor en las pantallas tubulares por efecto del calentamiento, que caracteriza la recuperación del calor de evaporación por unidad de tiempo. La cantidad de vapor extraída de la caldera continuamente, está relacionada con el flujo de vapor demandado por los consumidores y se denomina Dpp. El valor prescrito de la tarea está en concordancia con los criterios de eficiencia y de conservación energética de la instalación tecnológica en plena explotación. Para la regulación de la presión del vapor y la carga térmica de la caldera es necesario tener en cuenta la dinámica del sistema, que describe el comportamiento de las variables: flujo de combustible Bt, la presión del vapor Ppp, el flujo de vapor Dpp y las variaciones de la carga térmica Qt.

La figura No.1, muestra los elementos tecnológicos fundamentales por considerar en la concepción del esquema de regulación de la presión de vapor y la carga térmica.

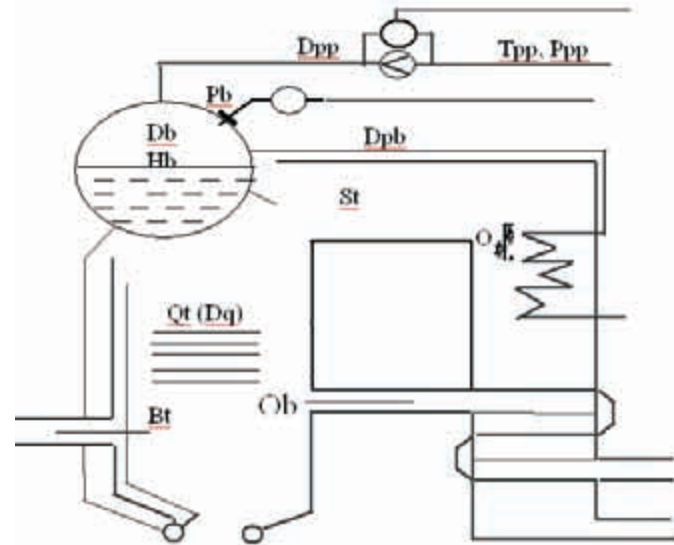


FIG. No.1

A continuación se muestra el modelo de eficiencia de la instalación de caldera, donde a través del índice de comportamiento se pudo establecer el control en la operación del proceso tecnológico. Se empleó un índice de comportamiento relativo dado por las magnitudes del calor útil aprovechado con respecto al calor generado durante la combustión, comúnmente denominada eficiencia o rendimiento térmico de la instalación.

La eficiencia de la combustión en caldera es función de la carga de vapor  $A = \frac{D_{pp}}{D_{pp}^{nom}}$  y del flujo de combustible Bt. Esta dependencia presenta creci-

miento y decrecimiento monótono [ 1 ] lo que permite una buena aproximación mediante un polinomio de segundo orden alrededor del valor medio  $\bar{B}t$ .

$$\varphi = a_0 + a_1 \left( \frac{\Delta B t}{\bar{B} t} \right) + a_2 \left( \frac{\Delta B t}{\bar{B} t} \right)^2$$

donde  $a_0, a_1, a_2$  son coeficientes constantes y

$$\bar{B}t = Bt^{nom} \frac{N_{te}}{N_{te}^{nom}}$$

el valor de  $N_{te}$  se determina de los datos de explotación de la instalación termoenergética y se corresponde con el consumo medio de la misma.

El diagrama de bloques del sistema de control genético-adaptativo, muestra en la fig No. 2

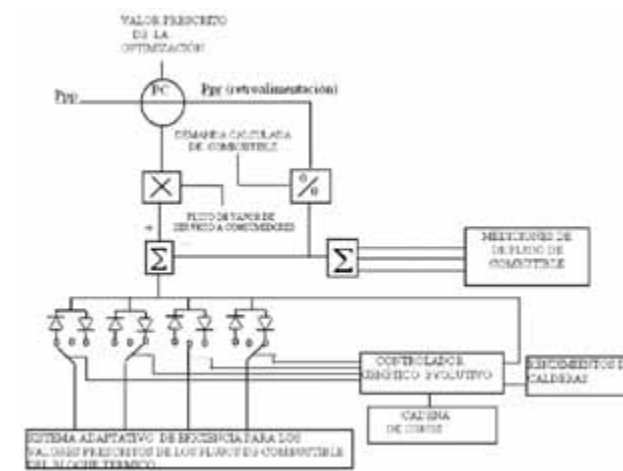


FIG. No.2

La información patrón del sistema genético, incluye la magnitud de límites superior e inferior de eficiencia con la cual debe explotarse cada caldera de la instalación termoenergética.

La superioridad del método de hibridación, radica en el uso de mediciones reales en tiempo real y no en correlaciones, que pueden no corresponderse con las condiciones reales de operación. El sistema adaptativo de las calderas, lo realiza el algoritmo genético de optimización de la eficiencia real; a través del ajuste en los flujos de combustible.

El índice de eficiencia para el control genético-adaptativo (CI), es la capacidad de un conjunto dado de cadenas origen y destino, establecido para 600 generaciones. La eficiencia aumenta constantemente a medida que el autómata genético evoluciona en el tiempo. Se simularon 90 procesos genéticos de 600 generaciones cada uno. Se efectuó un análisis de varianza. De éste, es

posible concluir que todos los procesos genéticos convergen en capacidades de ajustes con probabilidad 0.97, para el control óptimo. Los datos anteriores se ilustran en la figura No. 3

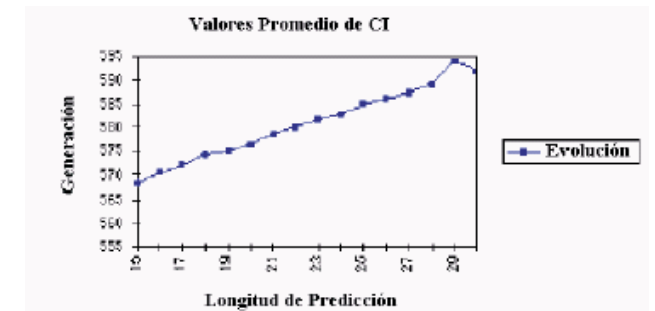


FIG. No.3

Resultados:

Para establecer las regularidades en el proceso de aprendizaje se encontró la correlación entre las predicciones de optimización del autómata genético en el tiempo t vs. con respecto a su desempeño en el tiempo t+1.

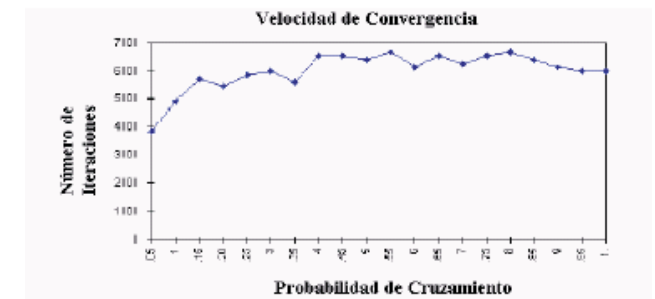


FIG. No.4

Del experimento se desprende el hecho de que la capacidad predictiva y los valores observados exhiben una estrecha correlación. A esta correlación se le denomina "coeficiente de correlación de optimización". Con esta simulación, se codificó el mejor autómata genético de cada generación (definida como un conjunto de 50 generaciones consecutivas) y se hallaron polinomios de 8º grado en dos variables independientes. Es decir, una relación de la forma  $G = f(I, T)$  donde G = autómata genético óptimo, I = información fuente y T = etapa del proceso genético.

Con esta función se encontraron los errores predictivos de los valores extrapolados de  $G_{k-1}$  (Epred) al tiempo  $t_k$ . Igualmente, los errores de ajuste para  $G_k$  en  $t_k$  (Efit). El coeficiente de correlación predictiva es, entonces,  $CCP = E_{pred}/E_{fit}$ .

Los CCPs se obtuvieron para 50 eras (2500 generaciones) y se efectuó un análisis de varianza. De este análisis

es posible concluir que, con probabilidad 0.99, se puede predecir el comportamiento para  $t_{k+1}$  dado que conocemos el comportamiento del proceso en  $t_k$ . El comportamiento señalado se ilustra en la figura No.5.

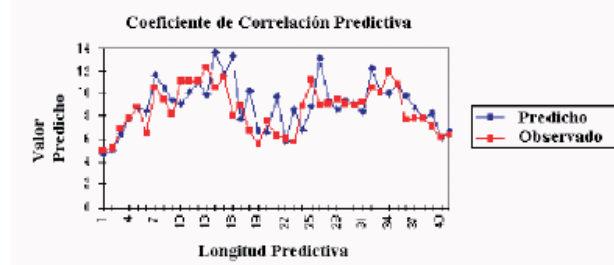


FIG. No.5

En el diseño de un controlador genético [5], [6], el modelo matemático del sistema es indispensable. La derivación de dicho modelo, se lleva a cabo en [2] donde básicamente éste, mediante un balance de masa y de energía y la identificación de un modelo para la válvula. El modelo incremental para un subsistema caldera-válvula obtenido en [2] es de la forma:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) + B_p d(t) \\ y(t) &= Cx(t) \end{aligned}$$

donde

$$x(t) = \begin{bmatrix} h(t) \\ f_o(t) \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{At} \\ 0 & -\frac{1}{T} \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{T} \end{bmatrix}; C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}; B_p = \begin{bmatrix} \frac{1}{At} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$u(t) = v(t); d(t) = f_i(t)$$

$h$ : índice de eficiencia la caldera;  $f_o$ : flujo de salida de la válvula de combustible;  $f_i$ : flujo de entrada a la caldera;  $At = 16$  área transversal de la caldera;  $T=6$  constante de tiempo de la respuesta del flujo de salida de la válvula.

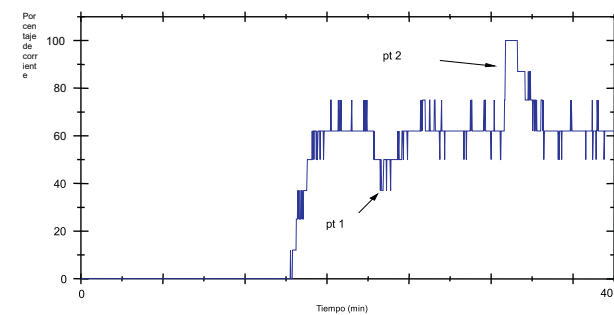


Fig. 6 Corriente de excitación del actuador de la válvula combustible

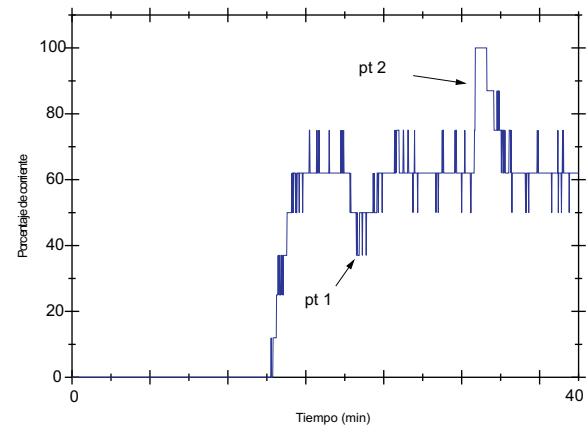


Fig. 7 Corriente de excitación del actuador de la válvula de combustible 2

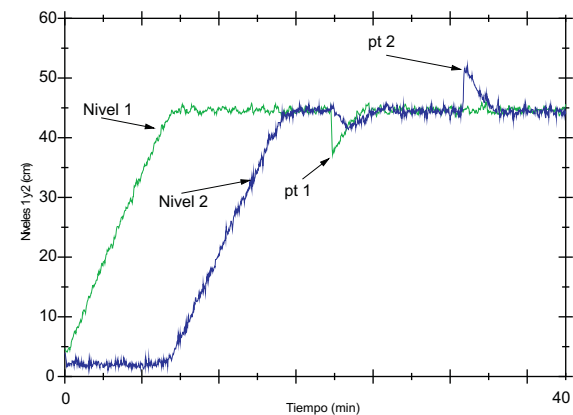


fig. No.8 Respuestas de los niveles de eficiencia del sistema utilizando el controlador genético

## Discusión sobre el control de la eficiencia en la generación de vapor a partir de la combustión. Comportamiento estático y dinámico del proceso tecnológico de la misma

En las cámaras de combustión la intensidad de ésta y por consiguiente la temperatura en la zona de calentamiento, que refleja el aprovechamiento del potencial calórico del combustible, para un consumo dado de combustible, depende del gasto de aire. La dependencia del aprovechamiento del calor presenta un máximo para un valor particular del suministro de aire. Las perturbaciones: variación del poder calórico del combustible, temperatura del gasto de aire y de la materia prima sometida al proceso de calefacción ejercen considerable influencia sobre la forma de la dependencia extrema del aprovechamiento del calor

y la ubicación del máximo. El parámetro gobernado se mide con errores ya que la dependencia puede variar de un modo arbitrario y no sólo por cambios del gasto de aire. En el desempeño de este objeto de mando influyen mucho las propiedades dinámicas del mismo, debido a que el proceso de mezcla del combustible y el aire tienen carácter inercial, y a que la materia prima que se calienta y el canal de medición también poseen propiedades inerciales. Como característica especial de este objeto de mando figura el que la magnitud extrema de la dependencia es función de su argumento, tal como muestra la figura en la que el valor máximo del índice de eficiencia de la caldera varía con respecto a la proporción aire - combustible para diferentes cargas de la caldera.

## Conclusiones.

El índice de evaluación de la optimización dinámica del proceso tecnológico de producción de vapor, se estableció a través de la función multiobjetivo del sistema de control genético, adaptativo para el proceso de la producción de vapor. Éste incluye variables vinculadas con la disponibilidad energética de la instalación y el gasto de combustible y su ahorro posible en cuanto a la variabilidad de sus oscilaciones. En consecuencia esto conduce a reducir la dispersión de las variaciones de su consumo, alrededor del valor medio que requiere la instalación termoenergética, encargada de garantizar la demanda de vapor exigida por los consumidores del portador de calor en toda la empresa. Es necesario destacar, que el incremento en la eficiencia de cada caldera se obtiene por medio del sistema de regulación genético que garantiza una atención integral al bloque termoenergético. La instrumentación utilizada en el sistema de control híbrido genético-adaptativo, permitió minimizar la magnitud de la dispersión de la señal controlada por acción de las perturbaciones, debido al carácter estocástico de las mismas con carga reducida a la entrada del subprocesso que se controla. Además, es posible aprovechar el criterio de minimización de la dispersión relativa que tiene en cuenta las interferencias parásitas en la señal controlada, previstas en el algoritmo adaptivo de ajustes del control óptimo, que funciona bajo el criterio de reducción del cuadrado del error de regulación respecto a la dispersión filtrada de este mismo error.



- BHANDARI, V.A., PARIDIS R, SAXENA, A.C. (1986). Use Performance Indices for Better Control. Hydrocarbon Processing.
- E. B. Alberto, (1999) Caldeiras Instrumentação e Controle. Editora Técnica LTDA. Rio de Janeiro.
- GOLDBERG D. (1983). Genetics Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- MUÑOZ A., (2003). Cloned sensor of the refractory meter. Oficina Internacional de Invenciones, Patentes y Marcas, Republica de Cuba. Registros No. 7-789735.
- \_\_\_\_\_ (2002). Artificial Cloning of Industrial Sensors. Editorial Ciencia y Técnica, Academia de Ciencias de Cuba, pp 397.
- MUÑOZ A., PARDO A. (2001) Nuevos controladores por Lógica Fuzzy. RCC, SIN 1657-2831, Vol. 2, No1.
- PLITNIOV, G.P. (1981). Control Automático de los SubProcesos de Instalaciones Termoenergéticas Energo-Izdat. (en ruso)
- SHINSKEY, F. G. (2001). Regulación de los Procesos según Criterios de Energéticos.