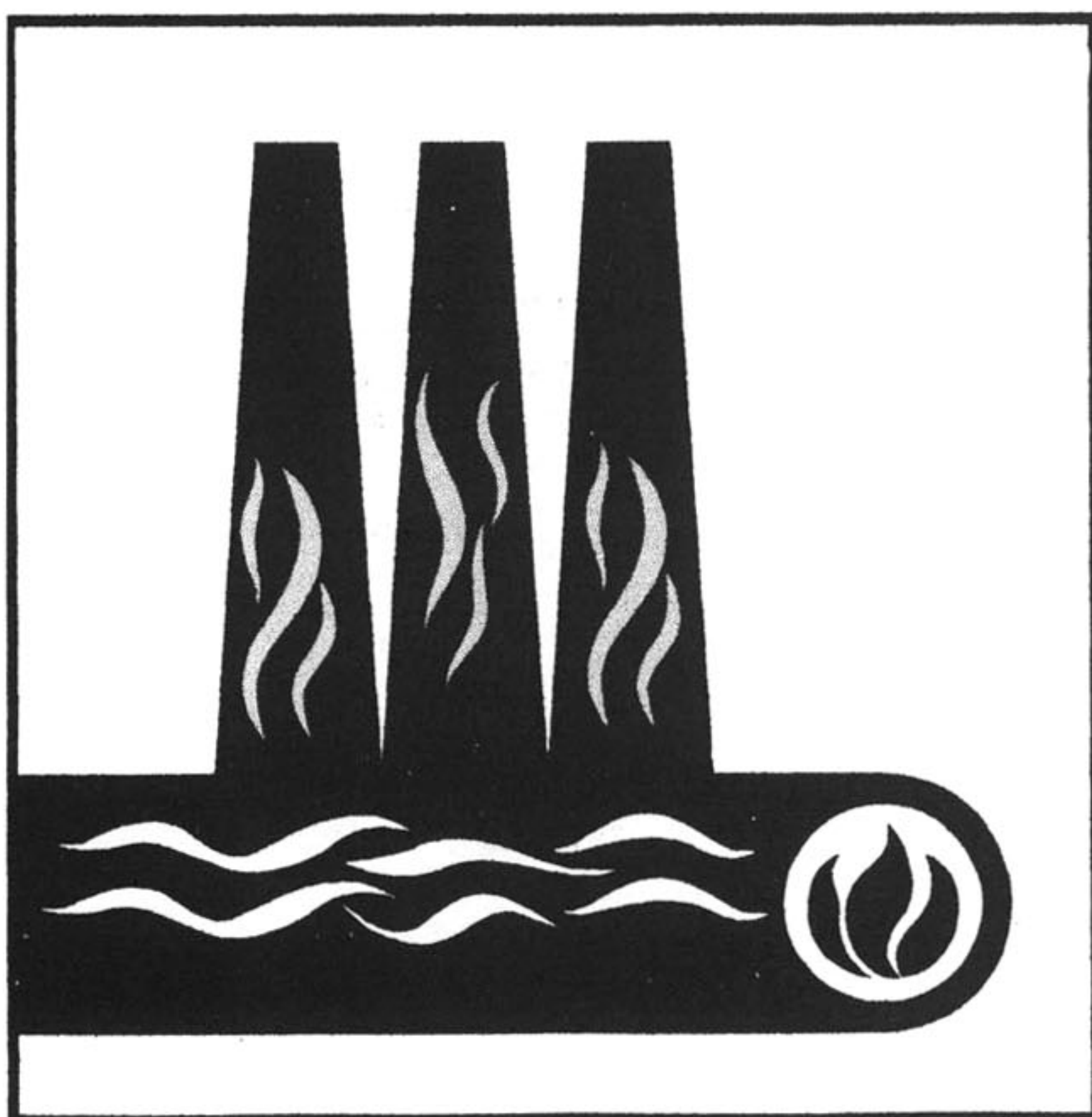


Simulación de la caldera de Propal por medio del sistema de automontaje inteligente Foxboro I/A



RESUMEN

El objetivo de este artículo es presentar los resultados obtenidos en la simulación del comportamiento dinámico de la caldera de potencia de lecho fluizado de la Empresa Productora de Papel - PROPAL, en la Planta II, utilizando el software I/A de Foxboro. Partiendo de los modelos matemáticos obtenidos se realizó la configuración de los bloques de control continuo, en el Ambiente del Ingeniero de procesos y se construyó el panel de cada controlador, la tendencia histórica de cada variable y las gráficas ilustrativas del proceso en el Ambiente del Operador. Al modelo utilizado para generación de vapor se le aplicaron cambios en la demanda de vapor, en lazo abierto y lazo cerrado y se observó que la respuesta es similar al proceso real.

ABSTRACT

The objective of this paper is to present the results obtained at the dynamic behavior simulation of the PROPAL S.A. Plant II power boiler, which was made with I/A Foxboro software. Starting from the mathematical model obtained, the continuous control blocks configuration was made at the Software Engineering Environment and also the faceplate of each controller, the historical trend of each variable and process graphics were made at the

□ **Luis Elmer Carvajal Cruz**
Ingeniero Electricista

□ **Juan Carlos Romero Salazar**
Ingeniero Electricista

□ **Nelson Paúl Gutiérrez**
Ingeniero Electricista

□ **Jesús Alberto González, Esp.**
Profesor Asociado Cátedra
de Automática
Universidad del Valle

Operator Environment. To the used model for steam generation step load changes were made on open loop and closed loop and it was observed that the answer is similar to the real process.

1. INTRODUCCIÓN

En una caldera, los circuitos de regulación y control influyen sobre las variables (temperatura, presión y flujo, entre otras) de tal forma que en caso de fallas, la desviación de los valores ajustados sea mínima y transitoria. Por tanto, es de vital importancia el conocimiento del comportamiento dinámico de la misma, por medio de modelos matemáticos basados en los balances de materia y energía del proceso, para establecer en que momento una maniobra de operación puede alejar a una variable de su valor de ajuste de estado estable.

Después de obtener un modelo matemático linealizado del proceso, alrededor de los valores de estado estable, se puede realizar simulación. Para esta simulación se utilizará el software de I/A de Foxboro, de tal forma que se puedan modificar los lazos de control, cambiar las estrategias de control, procesar señales, evitar la vulnerabilidad a perturbaciones y ajustar los parámetros de sintonía de cada controlador. De esta manera la simulación hará que la experimentación sea segura y confiable y no se tenga que recurrir al proceso a escala real.

Además de las ventajas que pueda ofrecer la simulación desde el punto de vista operativo, es necesario establecer que al operario le facilitará el manejo de un proceso de tanta complejidad y con variables estrechamente entrelazadas y al Ingeniero de producción le permitirá realizar simultáneamente las tareas de programación y proyección para optimizar el proceso con un dominio lógico de los flujos de materia y energía.

2. MODELOS MATEMÁTICOS

En el proceso de generación de vapor se obtienen modelos matemáticos para nivel y presión en el domo, tiro en el hogar, contenido de oxígeno y temperatura del vapor. Cada modelo fue linealizado alrededor de los valores de estado estable de cada variable. Por simplicidad, se mencionará el modelo para nivel de agua en el domo. Aplicando los balances de masa y energía para las fases de agua y vapor se pudo obtener un modelo con la siguiente ecuación característica:

$$l = \left(\frac{1}{0.431s} - \frac{0.116}{0.186s + 1} \right) e^{-0.334s} z - \left(\frac{1}{0.434s} - \frac{1.543}{0.186s + 1} \right) A_v = 1.25 e^{-0.117s} z$$

donde:

- l. Nivel de agua en el domo
- z. Flujo de agua de alimentación
- q_v. Flujo de vapor
- A_v. Apertura de la válvula de control

El modelo considerado para nivel de agua en el domo está basado en dos variables de perturbación, tales como la presión de vapor y el flujo de agua de alimentación. También puede verse que en caso de cambios en el flujo de agua de alimentación, la respuesta del nivel de agua en el domo ocurre después de 0.3 a 0.5 minutos, efecto que no se obtiene en el análisis matemático anterior sino de las pruebas realizadas. En este modelo, se puede apreciar la respuesta temporal inversa del nivel de agua en el domo cuando el flujo de vapor es modificado. El diagrama de bloques para nivel de agua en el domo se ilustra en la figura 1 [7].

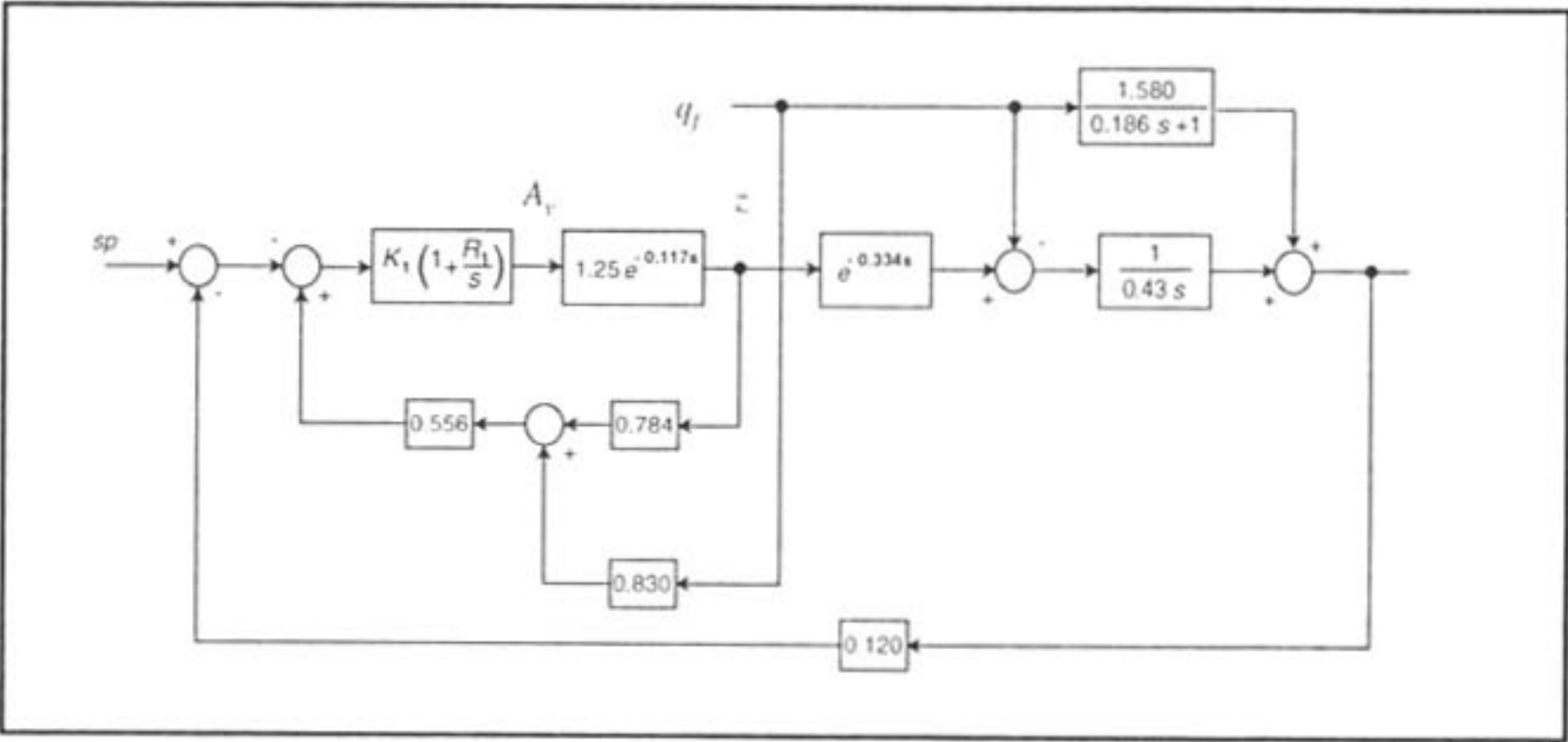


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema de control de nivel de agua en el domo.

3. I/A FOXBORO

El sistema de automatización inteligente I/A de Foxboro es un sistema industrial distribuido y abierto que integra y automatiza las operaciones a nivel industrial, lo cual permite que una planta ajuste incrementalmente el sistema a sus necesidades de procesamiento [6].

En la figura 2 se presenta la arquitectura básica del sistema I/A de Foxboro. El hardware que utiliza el sistema consta de diversos tipos de módulos procesadores de la serie I/A, los cuales se comunican con el proceso y los usuarios. Esta habilidad permite una solución altamente flexible y expandible para control y monitoreo de procesos a gran escala.

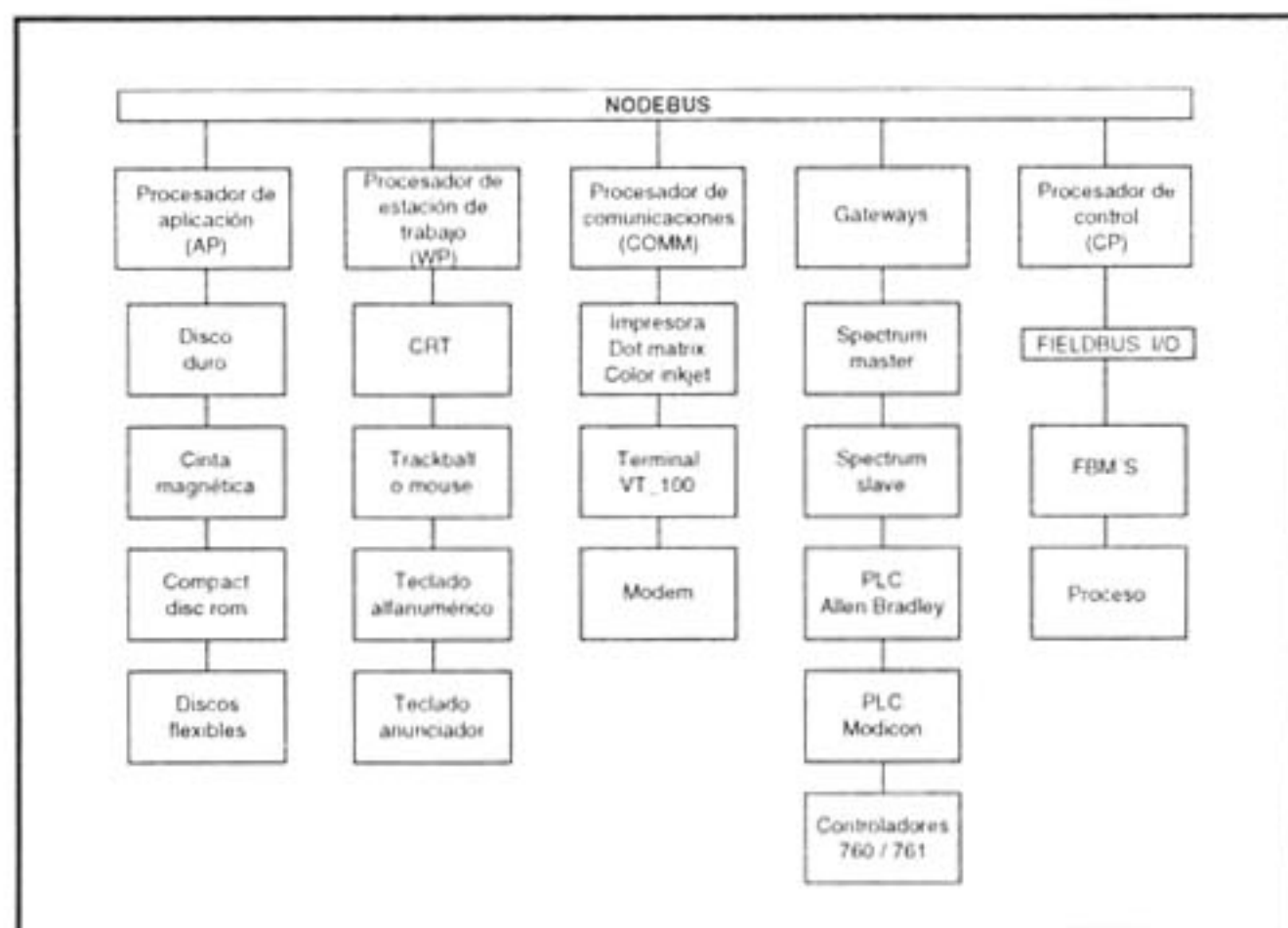


Figura 2. Arquitectura básica del sistema de Automatización Inteligente I/A de Foxboro.

El software de la serie I/A es un conjunto sofisticado de programas que proporciona un óptimo control del proceso y la capacidad de administración para un amplio rango de aplicaciones. Este permite el acceso a los ambientes de trabajo creados por defecto en la serie I/A. Hay diferentes ambientes o grupos de usuarios de la Serie I/A, cada uno con la necesidad de utilizar cierto tipo de recursos de software para acceder a determinados pantallazos, configurarlos, controlar o monitorear un proceso en la red I/A.

Los grupos de usuarios, preestablecidos por el sistema, son los operadores de proceso, los ingenieros de procesos y los ingenieros de software (*Process operator environment, process engineering environment, software engineering environment*). Los despliegues predefinidos son administración del sistema, historial, proceso, configuración y programación.

En el ambiente *software engineering environment*, el ingeniero de control de procesos configura los bloques de control continuo y desarrolla estrategias de control que supervisen efectivamente el proceso. El Configurador Integrado de Control (ICC) de la serie I/A es la herramienta de software usada para este propósito, con el se puede crear o modificar bases de datos de procesos de control.

También construye los despliegues gráficos con los cuales el operador monitorea y controla las alarmas del proceso, recibe notificación de las alarmas del proceso y modifica acciones, monitorea el estado del hardware

del sistema y verifica registros históricos del proceso. Los despliegues gráficos que aparecen en pantalla facilitan la transferencia y recepción de datos con el proceso. Estos son creados utilizando el *display build* (constructor de imágenes). Entre los despliegues más utilizados aparecen los paneles de controladores, las tendencias históricas y las gráficas ilustrativas del proceso.

4. APLICACIÓN

Para realizar la simulación del comportamiento de la caldera se utilizó el software de la serie I/A de Foxboro y, en especial, la configuración y operación de los bloques de control continuo que este posee. Los bloques de control continuo que se configuraron en el Configurador Integrado de Control (ICC) para el sistema de control de nivel de agua en el domo aparece en la figura 3.

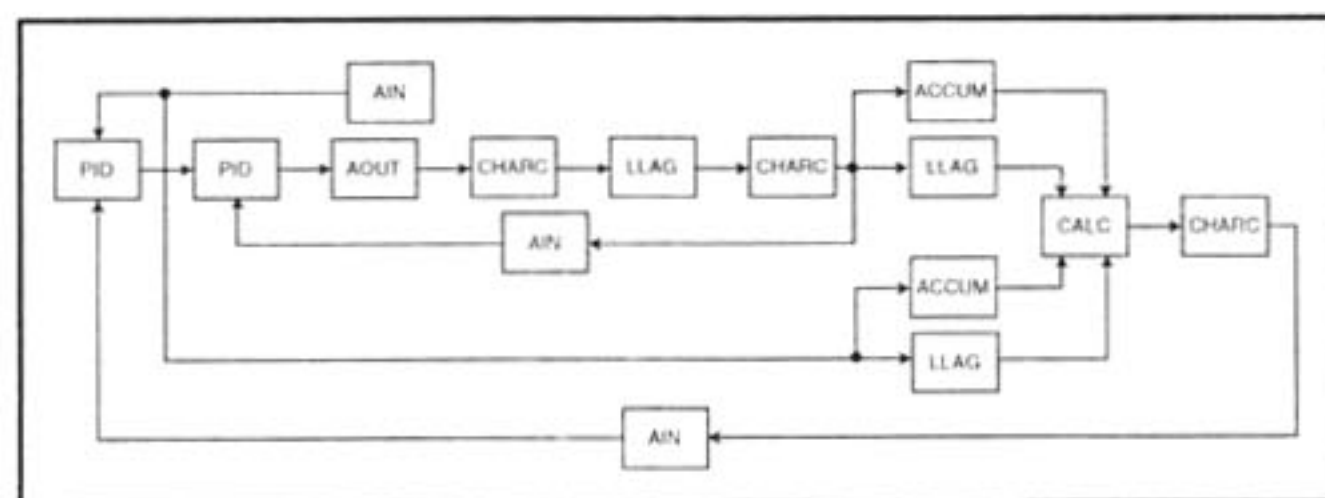


Figura 3. Bloque de control continuo configurados en el I/A de Foxboro

El control continuo está formado por bloques que poseen algoritmos estándar, diseñados por Foxboro y que se usan en procesos del campo de control continuo, aunque puede ser configurado para interactuar con los campos de control de lógica escalera y lógica secuencial. Entre los bloques que más se utilizaron aparecen AIN, PID, AOUT, CHARG, CALC, LLAG y BIAS.

Las gráficas de tendencias históricas de las variables, del proceso y de los paneles de controladores también fueron construidas. Por medio de las tendencias de las variables de control, regulación y disturbio se podrá observar el comportamiento del sistema de control mencionado anteriormente.

5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Las variaciones de nivel tienen relación con los fenómenos termodinámicos de expansión y contracción que se presentan cuando varía el flujo de vapor y que producen no solo cambios en la presión sino también en el nivel del domo [5].

Las pruebas de las características dinámicas para el nivel de agua en el domo se realizaron en lazo abierto

y lazo cerrado [8]. En lazo abierto se mantuvo constante el flujo de agua de alimentación y se varió el flujo de vapor presentándose una respuesta en el nivel del domo como se ilustra en la figura 4. El comportamiento del nivel del domo permite establecer que el control de nivel es inestable y tiene tiempo muerto en lazo abierto.

Una variación en el domo, tal como un aumento de carga (flujo de vapor) hace aumentar el agua evaporada creando la necesidad de alimentar más cantidad de agua para reponer la que ya se evaporó sin afectar demasiado el nivel. En la figura 5 se puede observar que la inestabilidad que se presenta en lazo abierto es superada en lazo cerrado con una estrategia de control y un ajuste de parámetros de los controladores adecuado [9]. Se puede establecer que el flujo de agua de alimentación tiende a igualarse al flujo de vapor para mantener el balance de masa en el domo. En esta figura se observa que el tiempo de asentamiento del nivel es de 8 minutos aproximadamente.

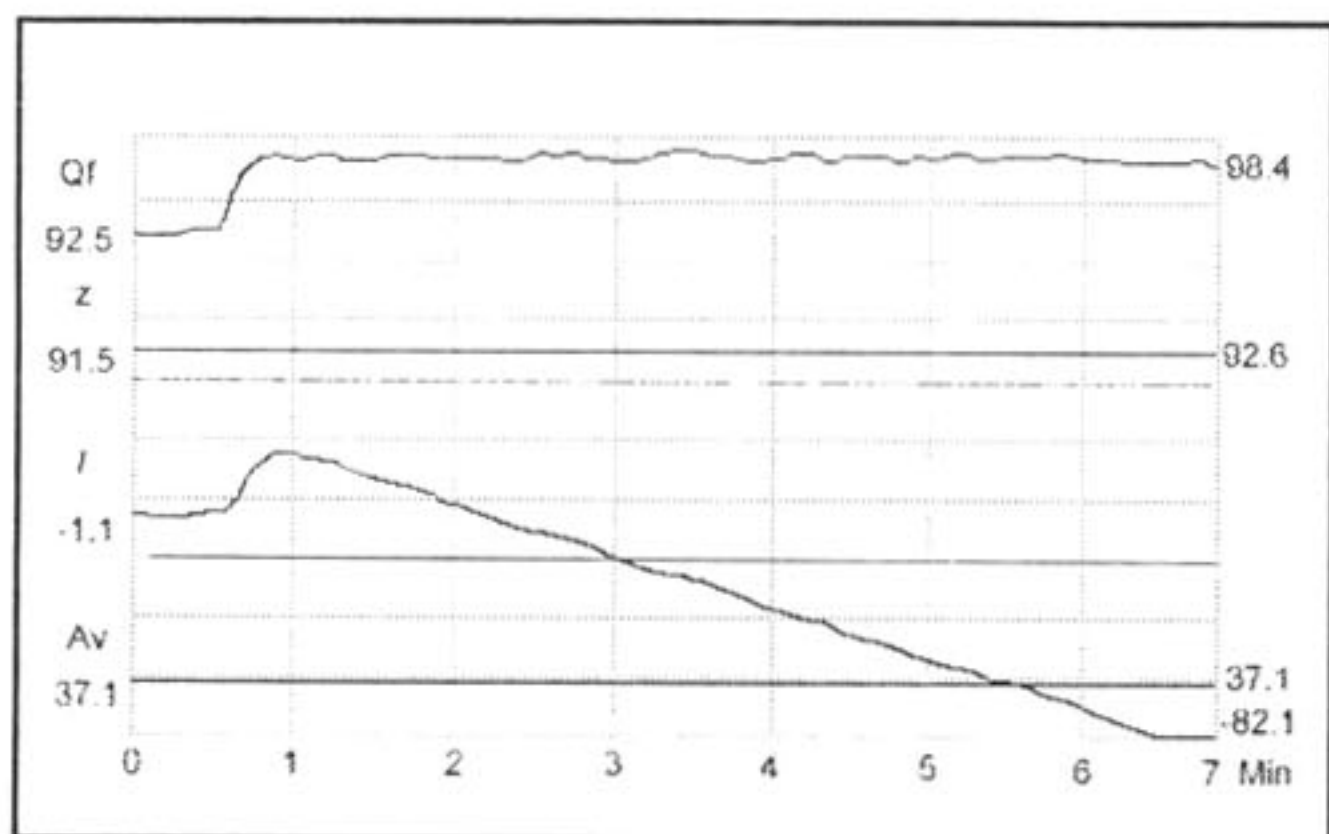


Figura 4. Respuesta del nivel del domo en lazo abierto ante un aumento de carga.

En ambas figuras las medidas utilizadas para flujo de vapor, flujo de agua de alimentación, nivel de agua en el domo y porcentaje de apertura en la válvula están en toneladas por hora (T/h), milímetros (mm) y porcentaje (%).

Desde el punto de vista operativo, por medio de esta simulación se podrán realizar cambios a las estrategias de control a los parámetros de control (o sintonía) y disturbios principales, para observar el comportamiento de cada variable de la caldera. Desde el punto de vista industrial le facilitará a cualquier operario el manejo de un proceso de tanta complejidad y con variables estrechamente entrelazadas como lo es una caldera. Desde el punto de vista económico se pone de manifiesto la simultaneidad que debe existir entre las tareas en programación y proyección, tanto para la regulación como para el control de calderas.

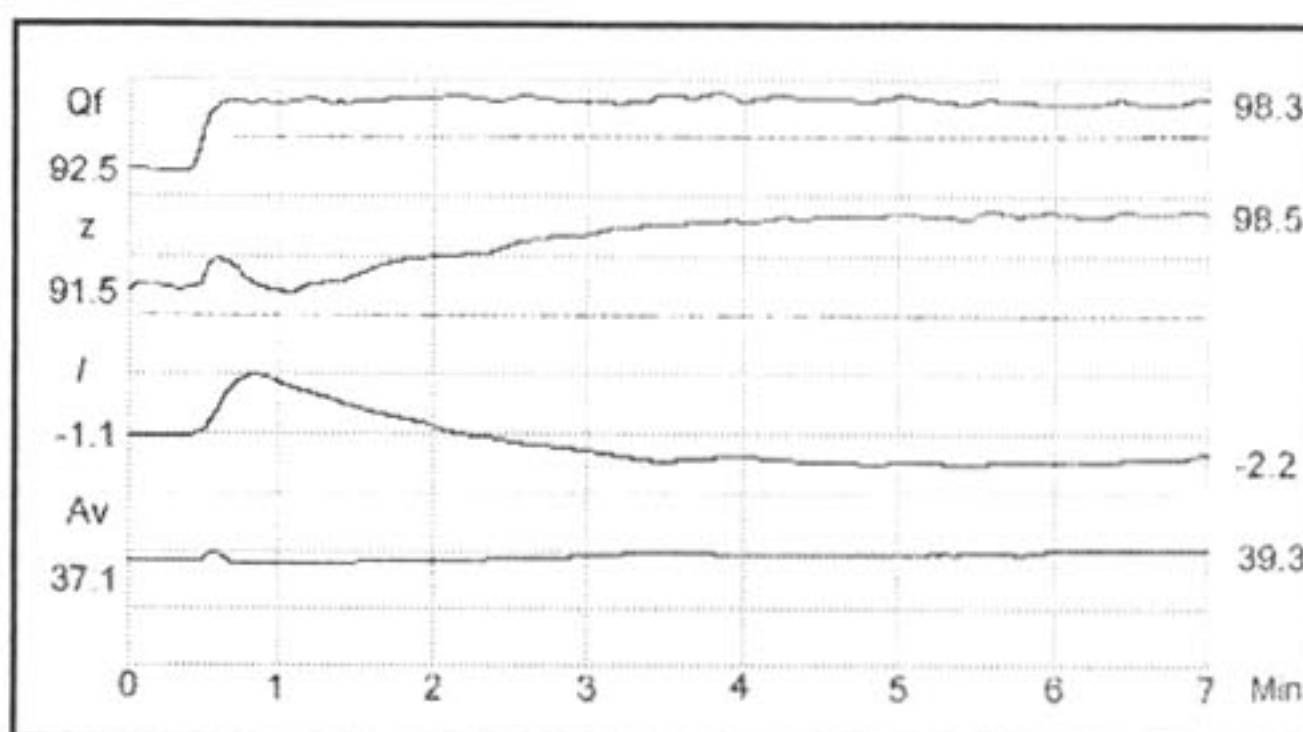


Figura 5. Respuesta del nivel del domo en lazo cerrado ante un aumento de carga.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] BABCOCK & WILCOX. Steam: Its generation and use. New York, 1992.
- [2] CARVAJAL. C, ROMERO. J, Simulación de la caldera de potencia PROPAL S.A. planta II utilizando software I/A Foxboro, Universidad del Valle, 1998, 187p.
- [3] CHIEN, K. L, Dynamic analysis of a boiler, Transactions of the ASME, Noviembre 1958.
- [4] CONGDON. P, Control Alternatives for industrial boilers: Intech: Diciembre de 1981, pp 53 - 62.
- [5] DUKELOW. S, The control of boilers, ISA: Instrument Society of America, New York, 1991.
- [6] CORPORACIÓN EDUCATIVA EQUIPOS Y CONTROLES INDUSTRIALES (CEE). FOXBORO, Curso I/A-120. Manual de configuración del sistema Foxboro I/A. Santa Fe de Bogotá D.C. Febrero de 1997.
- [7] KOICHI, I y otros, Dynamic characteristics of boiler, Technical Review, No 9, Septiembre 1964, pp. 3-24.
- [8] NICHOLSON. H, Dynamic optimisation of a boiler, Proceedings of the IEE, Vol 111, No 8, Agosto 1964, pp. 1479-1499.
- [9] PROPAL S.A, Esquemas de control de la caldera de potencia PROPAL S.A. planta II. Conceptos de los Ingenieros de control, los instrumentistas y los operadores de las calderas.
- [10] SHINSKEY. F.G, Sistemas de control de procesos. Aplicación, diseño y sintonización. McGraw Hill, 1996, 553p.
- [11] SHINSKEY. F.G, Feedback controllers for the process industries. McGraw Hill, 1994, 281p.
- [12] SMITH. C, CORRIPIO. A, Control automático de procesos. Teoría y practica. Limusa, 1991, 717p

AUTORES

**Luis Elmer
Carvajal Cruz**

Ingeniero Electricista de la Universidad del valle 1998. Areas de interés, automatización industrial, sistemas de control y programación aplicada



**Juan Carlos
Romero Salazar**



Ingeniero Electricista, Universidad del Valle 1998. Areas de Interés: Instrumentación industrial, automatización y control inteligente.

CE:jucaro@maxwell.univalle.edu.co

**Nelson Paul
Gutiérrez B.**

Ingeniero Electricista de la universidad Industrial de Santander, Colombia. Ingeniero en diseño de estrategias de control para calderas de la Empresa Distral. Ingeniero de servicios en sistemas de control distribuidos foxboro. Gerente de Mantenimiento Eléctrico e Instrumentación de calderas en la Planta I de la empresa productora de papel Propal S.A. Profesor hora cátedra en Control de Procesos en la Universidad del Valle.



**Jesús Alberto
González**

Tecnólogo Electricista, Especialista en Ingeniería de Control del Instituto Jaime Isaza Cadavid de Medellín,

Profesor Asociado de la Cátedra de Automática de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Valle.

CE:jegonza@eiee.univalle.edu.co



Si llenamos los oídos con todo lo que hemos aprendido a decir, quedamos sordos para lo que aún nos queda por escuchar.

Wendell Johnson
