

Automatización del caldero Columbia CT-6 de la planta piloto de Ingeniería Química y Agroindustrial

Alba Alvaro, Ana Rodas.
Escuela Politécnica Nacional, Quito - Ecuador

Resumen – Se realiza la rehabilitación y automatización del Caldero Columbia CT-6 ubicado en la planta piloto de la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial, Para ello, primeramente se realiza un estudio general del funcionamiento de los calderos de vapor, específicamente del caldero Columbia CT-6 y se verifica el funcionamiento de elementos que son parte del caldero analizando si es conveniente reutilizarlos. Posteriormente se determinan los equipos y elementos a instalar. Se los programa y se desarrolla una interfaz gráfica en el programa InTouch en el cual se puede observar el estado del nivel de agua, la temperatura en tiempo real en el caldero y el encendido y apagado del quemador y de la bomba de agua desde el puesto de trabajo del operario.

Índices – Caldero, Control, Vapor, PLC, interfaz.

I. INTRODUCCION

En la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial existe un caldero pirotubular vertical Columbia CT-6 [1], indicado en la figura 1, el cual transforma el agua en vapor para diferentes usos en otros equipos, como por ejemplo: intercambiadores de aletas, marmitas, evaporadores concéntricos y otras plantas que existen en la planta piloto.



Fig. 1 Caldero Columbia CT-6 de la planta piloto

El caldero data de los años 60 y se encontraba fuera de operación ya que los instrumentos habían dejado de funcionar y no se encontraban repuestos. La operación era manual y el sistema de control era mecánico.

Los datos de placa del caldero [2] son los indicados en la tabla 1.

TABLA I
DATOS DE PLACA DEL CALDERO COLUMBIA CT-6

CALDERO	
Marca	Columbia
Modelo	CT
Máxima presión de trabajo	150 PSI
Año de fabricación	2006
Capacidad de la válvula	207 Lbr/hora.
Capacidad de vapor	6 BoHP (207 Lbr/hora)
Dimensiones	Lateral: 18 pulgadas
	Fontal: 48 pulgadas
	Superior: 18 pulgadas
	Chimenea: 18 pulgadas
Voltaje	115 V
Corriente	12 A

Al ser muy importante la generación de vapor para el laboratorio, se propuso realizar la automatización del mismo.

Se inició revisando los elementos y equipos del caldero, con el fin de verificar el estado en el que se encontraban y la posibilidad de su reutilización. Se dedujo la lógica de control y se decidió implementarla utilizando un controlador lógico programable, se reutilizaron algunos instrumentos existentes previos su acondicionamiento correspondiente y se colocó nuevos instrumentos para la automatización de la operación.

II. HARDWARE DEL SISTEMA

Una vez revisada las partes y operación del caldero [3] se consideró apropiado el uso de los sensores de nivel, presostatos y quemador instalados en el caldero. Se

determinó la necesidad de incluir un PLC para el control, la colocación de un sensor de temperatura con salida eléctrica y la implementación de la electrónica necesaria para la adquisición de datos.

A. PLC Simatic S7-1200

Para la selección del modelo del PLC se consideró la cantidad y el tipo de entradas (analógicas y digitales) y salidas (digitales) que se necesitan introducir al controlador para la operación del sistema de control y el voltaje de alimentación del PLC.

Las señales de entrada son las siguientes:

- Sensor de nivel bajo bajo
- Sensor de nivel bajo
- Sensor de nivel alto
- Sensor de nivel de seguridad
- Sensor de luz del quemador
- Sensor de presión 1
- Sensor de presión de seguridad
- Sensor de temperatura

Las señales de salida a manejar son:

- Encendido/apagado de la bomba de agua
- Control del quemador
- Luz piloto de encendido de la bomba
- Luz piloto de operación del quemador
- Alarma de presión
- Alarma de nivel
- Alarma de temperatura
- Luz piloto de flama
- Luz piloto de caldero encendido

Tomando en cuenta estas características, el modelo que mejor se acoplaba a las necesidades era el S7-1214C de la marca Siemens. El PLC tiene en su interior una fuente de 24 VDC para alimentación de los sensores en las entradas y bobinas de relés de los módulos de señales de salida.

El diagrama correspondiente se muestra en la figura 2

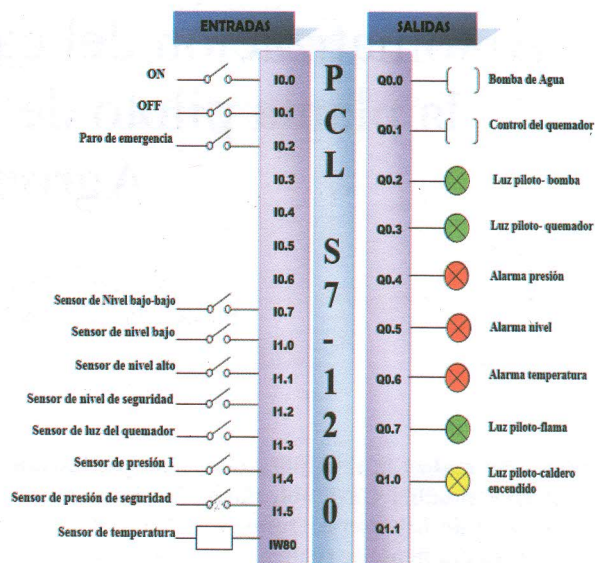


Fig. 2 Diagrama de entradas y salidas del PLC

En la figura. 3 se muestra el esquema de conexión de cableado para el PLC 1214C con salida relé, utilizada para la conexión de las señales de salida

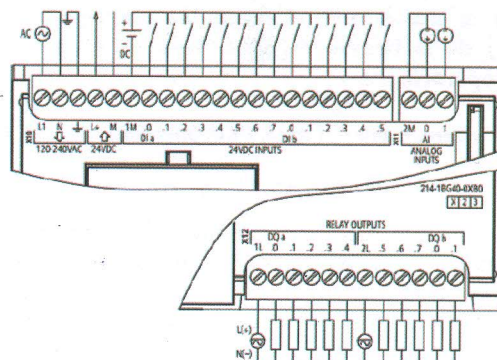


Fig. 3. Conexión del PLC S7-1200 1214C

B. Medida de temperatura

Para la medición de la temperatura se escogió el RTD SITRANS TS-500 [5] ya que tiene un rango de medición adecuado para tomar la temperatura variable del caldero y tiene una vaina de protección en forma de tubo y un cabezal de conexión necesarios para la colocación del mismo.

La función principal del RTD es dar a conocer el valor de la temperatura del vapor de agua del caldero con el fin de controlar que no sobrepase los 172 grados centígrados [°C].

Se realiza una conexión de 4 hilos, indicada en la figura 4 y se acopla el sensor a un transmisor comercial Signal Board 1231 RTD que toma la medida del RTD, la acondiciona y la envía al PLC.

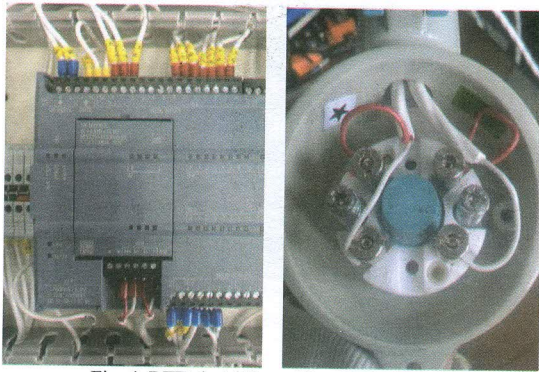


Fig. 4. RTD de 4 hilos y Signal Board 1231

El sensor fue colocado en la parte superior del caldero, en donde existía un tapón con un diámetro de 1¼". El RTD tiene un diámetro de ½", por lo cual fue necesario realizar una adaptación para su montaje, como lo indica la figura 5. .



Fig. 5. RTD colocado en el caldero

C. Medida de nivel

El caldero Columbia CT-6 tiene 2 sensores de nivel de la Serie 3K. Son sensores de tipo conductivo, los cuales fueron reutilizados luego de una limpieza. La función principal de los sensores de nivel es dar a conocer la etapa en la que se encuentra el nivel de agua en el caldero para se pueda tomar acciones en cada una de ellas.

Era necesario enviar la señal digital que proveen estos sensores hacia el PLC por lo que se implementó un circuito electrónico que utiliza un comparador de voltaje para indicar el cambio de estado de: con agua a sin agua. La figura 6 muestra el circuito empleado para la adquisición de datos de nivel y la luz del quemador.

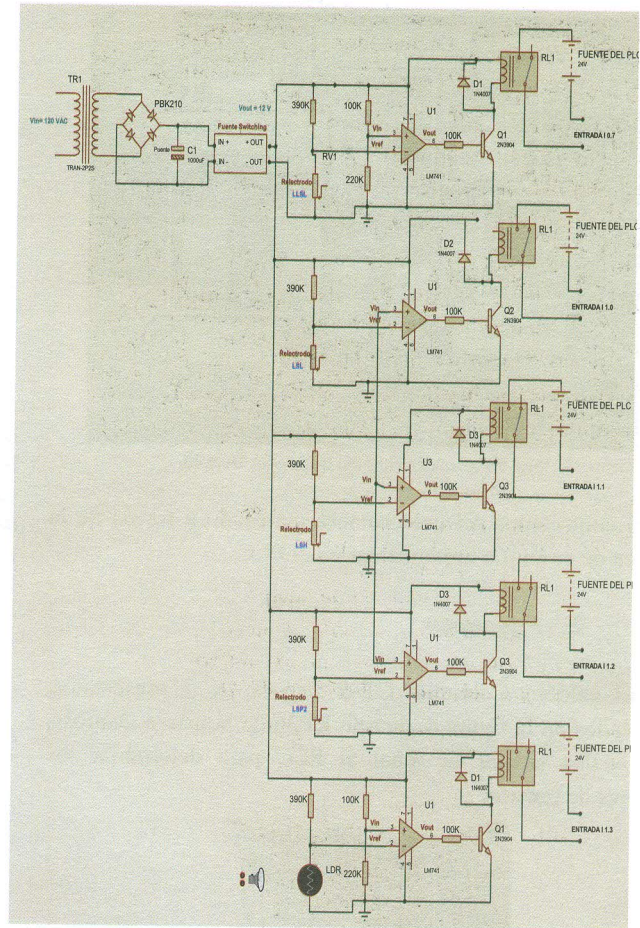


Fig. 6. Circuito para la tarjeta de adquisición de datos.

D. Quemador AFG

El quemador es el encargado de realizar la combustión y obtención de la llama necesaria para producir el vapor. El caldero posee un quemador Beckett, indicado en la figura 7, el cual fue reutilizado.

El quemador es un sistema completo que tiene los siguientes elementos:

- Un motor Beckett
- Una bomba SUNTEC
- Una válvula
- Kit de electrodos
- Un encendedor electrónico
- Sensor de llama
- Un controlador R7182P



Fig. 7 Partes externas del quemador Beckett

El controlador del caldero será manejado a través de la lógica de control a implementar en el PLC.

E. Presostatos

El caldero Columbia CT-6 dispone de 2 presóstatos, indicados en la figura 8, de tipo KP36 de la marca Danfoss, los cuales envían su señal al PLC para determinar los valores de presión

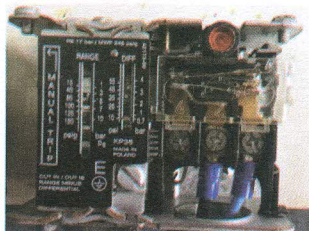


Fig. 8. Presostato

F. Manómetro

Con el fin de visualizar el valor de la presión de trabajo del caldero se procedió a reutilizar el manómetro instalado en el caldero el cual dispone de un "pigtail", como lo indica la figura 9. Este manómetro permite la medición de la presión de trabajo del caldero, la misma que va desde 0 PSI hasta 300 PSI.

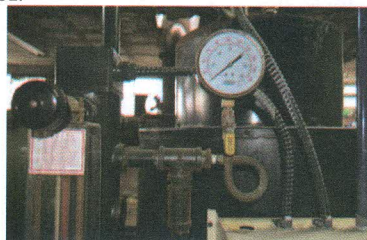


Fig. 9. Manómetro Columbia.

G. Válvula de Seguridad

La válvula de seguridad de la figura 10, está ubicada en la parte superior del caldero y se abre cuando la presión llega a 150 PSIG que es el valor que se seteo como punto máximo a alcanzar, considerando las características del caldero Columbia CT-6. El vapor sale por una tubería que descarga el exceso de presión al exterior.



Fig. 10. Válvula de Seguridad

H. Bomba de Agua

La bomba, indicada en la figura 11, está ubicada debajo del tanque que almacena el agua para suministrar al caldero. La función de la bomba es suministrar agua al caldero cuando éste lo requiera, llevándolo desde el tanque de almacenamiento hasta el caldero. Se encontraba en perfectas condiciones por lo que fue utilizada,



Fig. 11. Bomba de agua con el tanque de almacenamiento de agua.

I. Tablero de control

Se construyó un tablero de control junto al caldero dentro del cual se colocaron todos los elementos e instrumentos de protección y maniobra, contactores y relés térmicos. En la parte frontal se encuentran las luces indicadoras de fallas y alarmas y el pulsador de emergencia. Este tablero puede observarse en la figura 12.

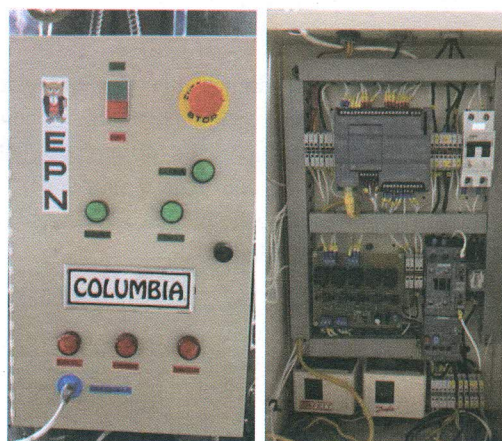


Fig. 12. Tablero de control.

III. PROGRAMA DE CONTROL Y HMI

El programa para el PLC SIEMENS se desarrolló en el programa TIA PORTAL V13 y la interfaz con el usuario se desarrolló en InTouch 2014.

A. Programa de Control

Para realizar el programa de control del caldero se ha considerado las condiciones críticas del mismo, tomado como prioridad la seguridad de los usuarios. En base a esto se ha definido una lógica de control que responde a las condiciones de nivel y una lógica para realizar el control de temperatura sobre el quemador.

Condiciones Iniciales: Para que el caldero funcione, es necesario que el pulsador de emergencia no se encuentre presionado, la señal de los presóstatos no sobrepase los valores de presión establecidos y no exista una alarma de temperatura.

Si no se han encendido las alarmas se procede a realizar las diferentes acciones en cada una de las etapas establecidas por los sensores de nivel.

Condiciones de Nivel: para establecer las condiciones de nivel se estudian 6 estados en los cuales el nivel puede encontrarse:

1. Vacío: cuando el agua aun no hace contacto con algun electrodo de nivel. En este caso la bomba de agua se encenderá.
2. Nivel crítico: La etapa de nivel crítico es una etapa de seguridad. Cuando el sensor hace contacto con el agua se empieza a contar 30 segundos antes que cambie a “nivel bajo”. Si el cambio no se realiza, aparecerá una alarma de nivel. Si el agua está descendiendo (lo cual no debería suceder idealmente) se encenderá la alarma de nivel y se apagará la bomba y el quemador
3. Nivel bajo: Cuando el sensor de “nivel bajo” hace contacto con el agua, se empieza a contar 15 segundos antes que cambie a “nivel normal”, ya que es el tiempo promedio que debe demorarse cuando se está llenando el caldero. Caso contrario se activa la alarma de nivel. Si el agua está descendiendo se enciende la bomba de agua.
4. Nivel normal o estable: En la etapa de nivel normal, si el nivel de agua está subiendo, se envía la señal para encender el controlador del quemador y se mantiene encendido. Además, la bomba de agua está encendida hasta llegar al nivel de agua lleno. Si el nivel de agua está descendiendo, el quemador continúa encendido, y la bomba de agua está apagada.
5. Nivel lleno o alto: Cuando el nivel de agua llegue a esta etapa se apaga la bomba de agua, y el quemador se mantiene encendido.
6. Error de los sensores de nivel: El PLC detecta un error en algún electrodo cuando la lógica

secuencial de programación no es adecuada. En este caso la alarma de nivel se enciende de manera permanente.

B. Control de temperatura

Se ha realizado un control de temperatura ON/OFF con histéresis de 4 grados. El quemador se apaga en 168 °C y se vuelve a encender cuando la temperatura ha bajado a 164°C, obviamente debe cumplir con los requisitos de nivel para que se encienda.

Para realizar el control de temperatura se utiliza la señal del sensor RTD ubicado en la parte superior del caldero y se la monitorea en línea indicándola en la HMI.

La alarma de temperatura se enciende cuando excede los 172°C o cuando un cable del RTD se rompe.

C. Interfaz del Caldero Columbia [6]

La interfaz hombre-máquina utilizada para controlar el caldero está compuesta por 5 pantallas:

Pantalla Principal: Esta es la primera pantalla que el usuario puede ingresar, y aquí debe registrarse haciendo click en LOGIN e ingresando el usuario y la clave. Esta pantalla se la puede visualizar en la figura 13



Fig. 13. Pantalla Principal de la Interfaz

Manual de Usuario: En esta pantalla, indicada en la figura 14, se observan dos pantallas con información de las funciones del gabinete de control y el significado de cada una de las luces que hay en ella.



Fig. 14. Manual de InTouch, primer nivel

En la figura 15 se observa la señalización de los elementos del caldero y su ubicación.

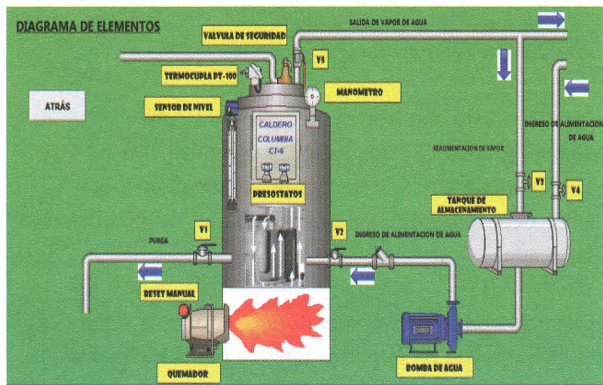


Fig. 15. Manual de InTouch, segundo nivel

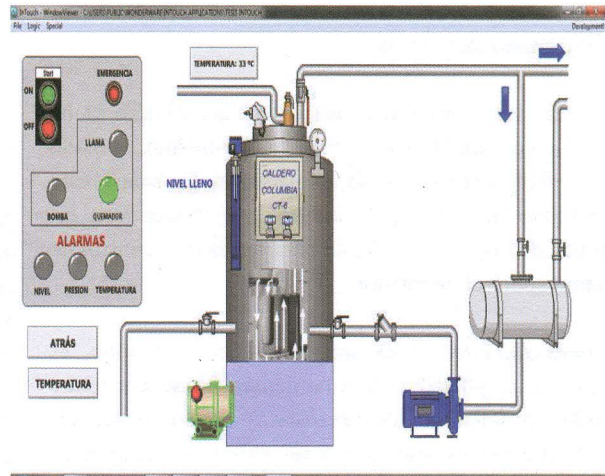


Fig. 17. Pantalla de operación del caldero

Temperatura en tiempo real [7]: en esta pantalla, mostrada en la figura 16, se puede observar el valor de la temperatura en tiempo real y comportamiento, es decir, indica la evolución en el tiempo de la variable temperatura.

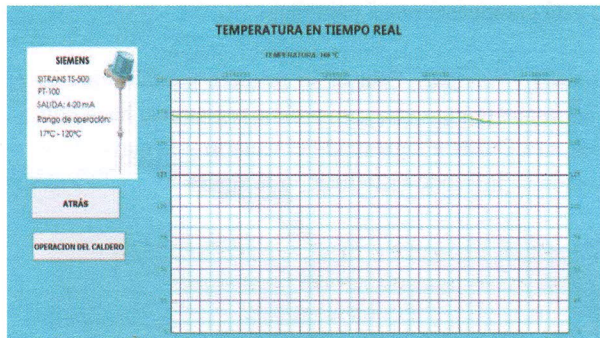


Fig. 16. Pantalla de temperatura en tiempo real

Operación del Caldero: Esta pantalla, indicada en la figura 17, permite operar el caldero y además ver si la bomba, el quemador o la llama se han encendido cuando las líneas cambian de color. Se puede observar el nivel del agua en el caldero y la temperatura del vapor del agua. También se puede ver las alarmas en caso que falle el caldero y las razones por las cuales puede haberse producido la alarma.

IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

Como parte final del desarrollo de este proyecto se realizan las pruebas y se verificaron los resultados obtenidos. Se realizaron pruebas en operación normal y en estado crítico activando las alarmas de nivel, presión y temperatura.

A. Operación normal

Se realizaron las pruebas en cada uno de los niveles de agua: vacío, crítico, bajo, normal y lleno. La figura 18 indica que la imagen en la pantalla de InTouch corresponde de igual forma al tablero de control.

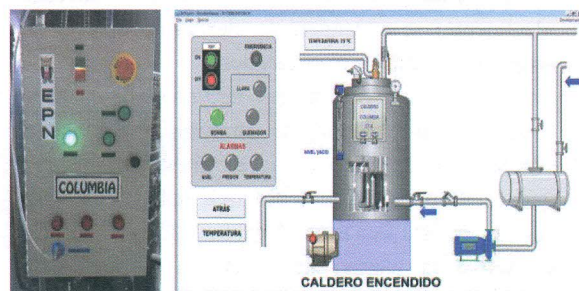


Fig. 18. Tablero de control y pantalla en InTouch

En la pantalla de temperatura se puede observar que el agua empieza a calentarse y a los 100°C empieza a evaporarse teniendo vapor a la salida del caldero. La temperatura del vapor del agua sigue aumentando sin sobrepasar los 171 °C, como se puede apreciar en la figura 19.

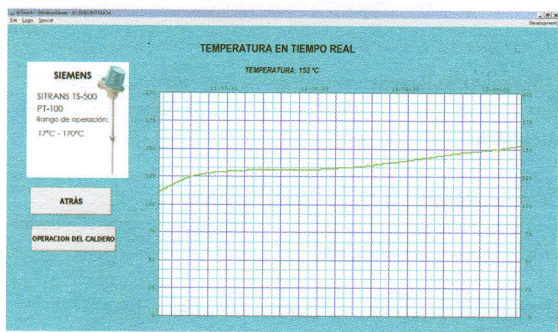


Fig. 19. Pantalla de temperatura en tiempo real

B. Alarmas

1) *Alarma de nivel:* Para simular esta alarma, se cerró la válvula V2 que es la que permite el ingreso de agua al caldero. La imagen correspondiente se encuentra en la figura 20. La alarma se activó en cada etapa cuando el caldero:

- Permaneció vacío por más de 3 minuto 30 segundos.
- Permaneció en nivel crítico por más de 30 segundos.
- Permaneció en nivel bajo por más de 15 segundos.

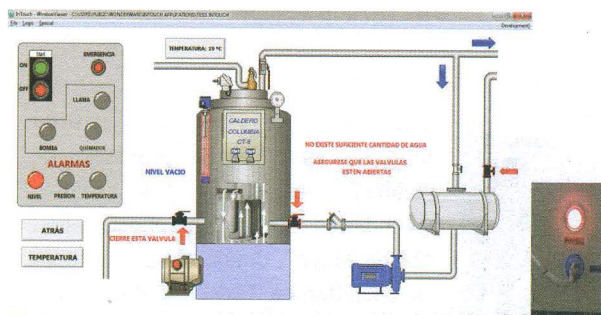


Fig. 20. Alarma de nivel

2) *Alarma de presión:* De igual manera se simuló las situaciones críticas para activar las alarmas de presión, y se la indica en la figura 21. Para esto se cerró la válvula (V5 válvula de salida), entonces la presión empezó a aumentar llegando hasta los 110 PSI que es el máximo valor del presostato 1. Cuando la presión llegó a los 110 PSI, el presostato 1 abrió el contacto y la alarma se activó y empezó a parpadear 3 segundos encendido y 2 segundos apagado.

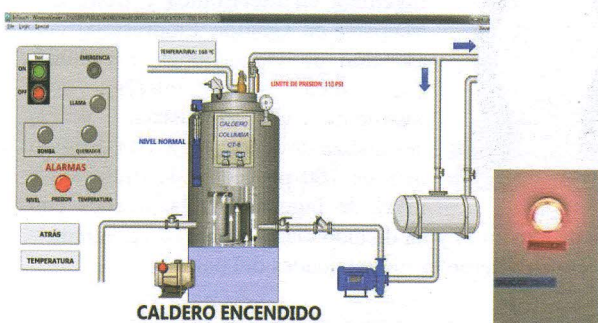


Fig.21. Alarma de presión

3) *Alarma de temperatura:* la alarma de temperatura se activa un poco después que se activa la alarma de presión 1, ya que la temperatura continúa aumentando a pesar que el quemador se apaga en 168 °C. Al llegar a 172°C, el quemador se apaga por temperatura y muestra la alarma de temperatura. La pantalla HMI correspondiente se puede ver en la figura 22.

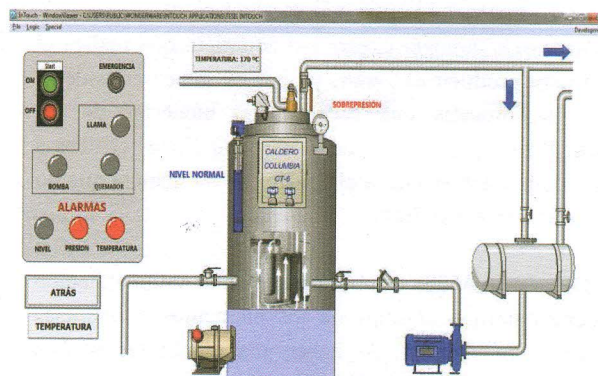


Fig. 22. Alarma de temperatura en InTouch

4) *Falla en la llama del quemador:* Para simular esta falla, indicada en la figura 23, se cerró la válvula de alimentación del diésel al quemador. La luz indicadora de la presencia de llama empezó a parpadear mientras la luz indicadora del quemador continuaba encendida. Esto nos indica que existe un error en la presencia de llama.

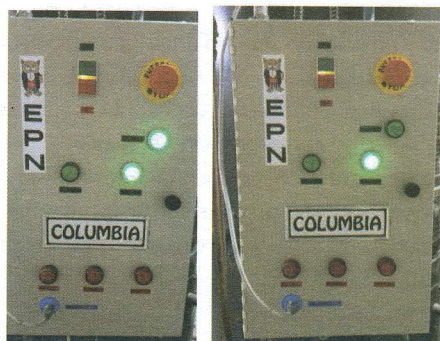


Fig. 23. Alarma de la flama. Luz parpadeante

Para desactivar el controlador del bloqueo de seguridad, se presionó el botón reset ubicado en el controlador del quemador por 15 segundos y el quemador empezó nuevamente su ciclo de encendido.

Esto se lo hizo por 3 veces para que el quemador se bloquee de manera restringida, donde fue necesario presionar el botón reset por 45 segundos.

V. CONCLUSIONES

Mediante la automatización se ha logrado que el Caldero de la planta piloto de la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial vuelva a estar operativo después de muchos

años y trabajo de manera continua durante todo el tiempo que se necesite en el laboratorio.

Gracias a la instrumentación se puede realizar la automatización de sistemas, mediante la lectura de las diferentes variables. Para la automatización del caldero fue necesario conocer el valor de las variables: presión, nivel y temperatura para realizar un control seguro.

Es necesario conocer el proceso completo que realiza el caldero para producir el vapor, ya que se deben considerar aspectos importantes que aseguren el bienestar de los usuarios. Para lograrse se simuló las condiciones críticas a las que puede estar expuesto el caldero de tal manera que no se produzca una explosión.

El factor económico es un limitante en la automatización de sistemas porque algunos de los elementos o licencias requeridas son costosas. Al hacer una rehabilitación con criterios técnicos es posible determinar si se pueden reutilizar ciertos elementos, como sucedió en este caso.

La tarjeta de adquisición de datos elaborada permitió que los diferentes niveles de agua y el estado de la llama en el quemador puedan ser leídos por el PLC sin ningún problema, a través de los sensores antiguos acoplados al nuevo controlador y además se puedan agregar nuevos sensores como el de temperatura RTD.

La interfaz realizada en InTouch permite que los estudiantes de la facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial puedan controlar el encendido y apagado de la bomba de agua y el quemador del caldero, además observar la temperatura en tiempo real, conocer el nivel de agua en el interior del caldero y visualizar las alarmas. Así los usuarios pueden monitorear el caldero desde su puesto de trabajo sin ningún problema.

La interfaz desarrollada cuenta con las alarmas de: nivel, presión y/o temperatura como todo proceso industrial debe tener. Se lo realizó tomando en cuenta consideraciones de interfaces industriales para acercarse en lo posible a un sistema de visualización comercial, los cuales existen pero tienen costos altos.

Los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas en operación normal responden a la programación realizada sin ningún error.

VI. REFERENCIAS

- [1] «TLV Compañía Especialista de Vapor,» Septiembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/what-is-steam.html>.
- [2] «CT Series Boilers,» 1989. [En línea]. Available: <http://www.columbiaboiler.com/industrial/CT/documents/1CTSeriesVerticalTubelessSpecSheet.pdf>.
- [3] J.U. Martínez. Guía Básica de Calderas Industriales. MM. Comunidad de Madrid. 2013
- [4] Honeywell. Operation. De R7184A, B,P,U. Interrupted Electronic Oil Primary, 2.5. 2005.
- [5] SIEMENS, Datos técnicos. S7 Controlador Lógico Programable. 2016
- [6] W. Spain. Software Solutions for Real time success. Wonderware Intouch. HMI. 2016.
- [7] Wonderware, REadme. De Wonderware System Platform. 2014

VII. BIOGRAFIAS

Alba Alvaro Gualoto, nació el 9 de Julio de 1990, en la provincia de Pichincha, en Quito. Sus estudios secundarios en el colegio experimental “24 de Mayo”, donde obtuvo el título de bachiller en Físico Matemático y sus estudios superiores lo realizó en la Escuela Politécnica Nacional donde obtuvo el título de Ingeniera en Electrónica y Control.



Áreas de interés: Instrumentación, Control de Procesos y Automatización.

Ana Rodas Benalcázar, profesora e investigadora del Departamento de Automatización y Control Industrial. Ingeniera en Electrónica y Control y Magister en Gestión Empresarial con mención en Operaciones y Calidad. Sus áreas de interés son: Instrumentación Industrial y la enseñanza de Electrónica. Ha dirigido mas de 100 proyectos de titulación a nivel de ingeniería relacionados con sus áreas temáticas y ha dictado clases a nivel de pregrado y posgrado en diferentes universidades del país.

