

Automatización de una caldera pirotubular utilizando el internet de las cosas como medida de monitoreo y seguridad

Automation of a pirotubular boiler using the internet of things as a measure of monitoring and safety

GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, Andrés†*, GALLEGOS-BAÑUELOS, José Luis Guillermo, LÓPEZ-HERRERA, Jesús José Nicolás y CANTÚ-PÉREZ, Miguel Alejandro

Instituto Tecnológico de Chihuahua -Tecnológico Nacional de México

ID 1^{er} Autor: *Andrés, González-Rodríguez* / ORC ID: 0000-0001-9260-3866, Researcher ID Thomson: G-0607-2018, arXiv Author ID: 0000-0001-9260-3866, CVU CONACYT ID: 901097

ID 1^{er} Coautor: *José Luis Guillermo, Gallegos-Bañuelos* / ORC ID: 0000-0002-4804-6273, Researcher ID Thomson: G-6185-2018, arXiv Author ID: 0000-0002-4804-6273, CVU CONACYT ID: 455103

ID 2^{do} Coautor: *Jesús José Nicolás, López-Herrera* / ORC ID: 0000-0001-8612-7261, Researcher ID Thomson: G-6518-2018, arXiv Author ID: 0000-0001-8612-7261, CVU CONACYT ID: 091818

ID 3^{er} Coautor: *Miguel Alejandro, Cantú-Pérez* / ORC ID: 0000-0002-6842-3603, Researcher ID Thomson: G-6083-2018, arXiv Author ID: 0000-0002-6842-3603, CVU CONACYT ID: 901098

Recibido 20 Septiembre, 2018; Aceptado 30 Noviembre, 2018

Resumen

Para tener control de un proceso, es necesario la utilización de un sistema de control programable, el cual debe adaptarse a los requerimientos de diseño, procesar señales de los sensores y utilizar esta información para manejar los actuadores. En la actualidad, esto es posible pero no suficiente, ya que algunos procesos requieren de monitoreo constante en tiempo real, donde el usuario no siempre está presente. Para lograr esto, una opción factible es el uso de las aplicaciones móviles y el internet de las cosas que permitan la comunicación entre el proceso automatizado y el usuario, los cuales, al implementarse en la industria, dan lugar a la Revolución Industrial 4.0. En esta nueva industria un sistema interconectado nos da la posibilidad de un monitoreo en tiempo real vía remota, que brinde seguridad al operario. Las aplicaciones móviles, permiten tener un control completo de los sistemas vía remota, por lo que se propone un sistema de comunicación con una caldera pirotubular automatizada mediante un PLC localmente y controlada vía remota mediante un sistema embebido, una base de datos y una aplicación móvil que implementa alertas de seguridad y apagado de emergencia del equipo.

Caldera, Control, Industria 4.0

Abstract

To have control of a process it is necessary to use a programmable control system, which must adapt to the design requirements, processing sensor signals and use this information to manage the actuators. At present this is possible but not enough since some processes require constant real time monitoring, where the user is not always present. To achieve this, a feasible option is the use of mobile applications and the internet of things that allow communication between the automated process and the user, which when implemented in the industry gives rise to the Industrial Revolution 4.0. In this new industry an interconnected system gives us the possibility of a real-time remote monitoring, providing security to the operator. Mobile applications allow to have complete remote control of systems; so what was done was a communication system of an automated pyrotubular boiler locally using a PLC and controlled remotely by means of an embedded system, a database and a mobile application that implements security warning alerts and emergency shutdown of the equipment.

Boiler, Control, Industry 4.0

Citación: GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, Andrés, GALLEGOS-BAÑUELOS, José Luis Guillermo, LÓPEZ-HERRERA, Jesús José Nicolás y CANTÚ-PÉREZ, Miguel Alejandro. Automatización de una caldera pirotubular utilizando el internet de las cosas como medida de monitoreo y seguridad. Revista de Ingeniería Mecánica. 2018. 2-8: 12-17.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: agonzalezr@itchiuhua.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La caldera es un dispositivo que produce agua sobrecalentada y genera vapor saturado a cierta presión por medio del poder calorífico de un combustible. Las calderas se clasifican en dos tipos generales: las piro tubulares y las acuotubulares. Una caldera piro tubular se caracteriza debido a que los gases calientes que se producen en la combustión pasan adentro de los tubos instalados adentro de la caldera, mientras que el agua se encuentra en contacto con la superficie exterior de los tubos [8].

A medida que los gases de combustión circulan por los tubos, éstos se enfrían y transfieren el calor al agua. [6].

La automatización con los PLC ha mejorado los beneficios para el control de las calderas principalmente en la velocidad de respuesta y en el buen funcionamiento del proceso en un estado seguro. Estos autómatas programables que forman parte del sistema de control mantienen el proceso dentro de los rangos o límites a los cuales se establecen.

Si se sobrepasan los niveles propuestos de control o un elemento no se comporta de la manera deseada, el controlador lógico podría mandar una alerta local en la zona de control, pero en caso de no haber alguien disponible, sería necesario que la alerta fuera enviada remotamente.

Para que el PLC sea capaz de hacer esto es necesario la implementación de un sistema IoT (internet de las cosas por sus siglas en inglés) el cual logra la comunicación a través de internet a tiempo real.

El internet de las cosas es la comunicación entre dispositivos vía internet para el manejo de procesos utilizando sistemas embebidos, aplicaciones móviles y la nube. Haciendo uso de esto el usuario puede utilizar un dispositivo móvil para interactuar y obtener información del sistema embebido a través de la nube para el monitoreo y control de las variables. Todo esto se incluye en el nuevo concepto conocido como industria 4.0 [3]

Descripción de la caldera piro tubular

En este artículo se tiene una problemática específica a resolver la cual consiste en aplicar un sistema de monitoreo a una caldera piro tubular como herramienta de seguridad, por lo que el enfoque que se le da a esta investigación es de tipo aplicada. Se empezará a ver las diferentes tecnologías y sistemas que lo conforman, por lo que se empezará describiendo la caldera.

Como objeto de experimentación, se decidió automatizar una caldera piro tubular horizontal didáctica de 11 fluxes con un solo retorno y un volumen de 88 litros. La presión a la que se decidió trabajar por seguridad fue de 2 bar. Esta caldera requiere de varios dispositivos para funcionar, por lo cual se decidió hacer un estudio para la obtención y diseño de estos elementos, los cuales consistían en un quemador, bomba de agua, sensor de flama, sensor de presión, nivel de agua, ventilador y una electro válvula. Los elementos de la caldera y sus dimensiones se muestran en la figura 1.

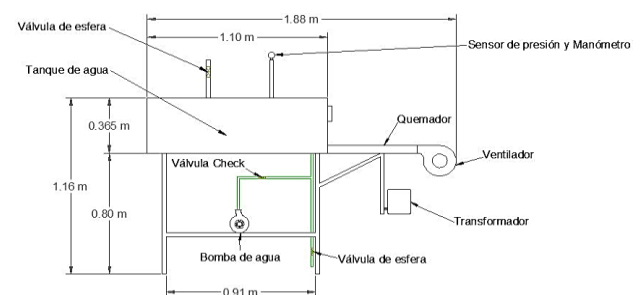


Figura 1 Dibujo de las dimensiones y partes de la caldera
Fuente: *Elaboración Propia*

Control propuesto para la caldera

Para el funcionamiento correcto y seguro del proceso de generación de vapor en la caldera, se deben de seguir ciertos pasos.

El primero de estos consiste en la verificación de la existencia de agua por medio del nivel; si no existe nivel suficiente se enciende la bomba hasta llegar al nivel deseado, después de esto, se realiza el barrido de los gases de combustión por un tiempo definido.

Cuando se concluye el barrido, comienza la ignición la cual consiste en activar el transformador (chispa del quemador) y abrir la electroválvula dejando pasar el gas; si existe flama, es detectada por el sensor y en caso de ausencia de flama se repite la ignición tres veces, si esto llega a suceder una cuarta vez, se hace otro barrido y se aborta el encendido.

En caso de detectar flama el proceso no se detiene y prosigue a censar la cantidad de presión en la caldera hasta llegar a 2 bar, cuando esto sucede se apaga el quemador hasta que la presión disminuya a 1 bar, entonces el sistema inicia de nuevo en un ciclo continuo hasta que el usuario lo detenga. Esta secuencia se muestra de forma resumida en la figura 2.

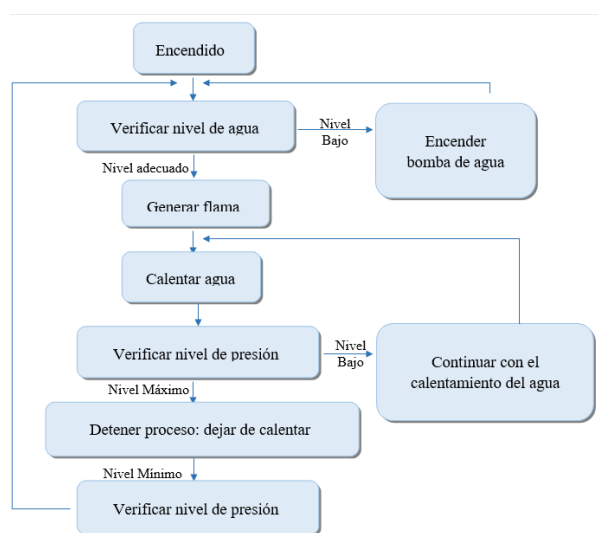


Figura 2 Flujo del proceso funcional de la caldera

Fuente: *Elaboración Propia*

Automatización

El controlador utilizado para llevar a cabo la automatización de la caldera fue un SIMATIC S7-1200 con CPU 1215C DC/DC/RLY. Se usó el software TIA portal V13 de SIMENS. Las conexiones de control de los componentes se muestran en la figura 3 en donde se muestra de derecha a izquierda las entradas, el PLC y las salidas.

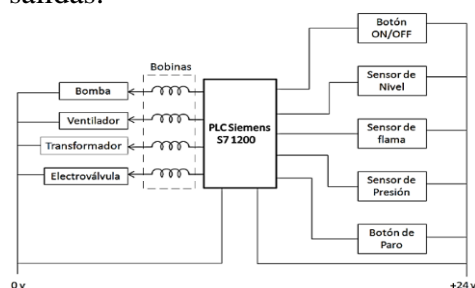


Figura 3 Representación del esquema de control

Fuente: *Elaboración Propia*

Las conexiones de potencia se muestran en la figura 4.

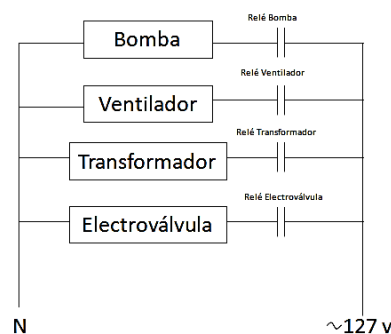


Figura 4 Representación del esquema de potencia

Fuente: *Elaboración Propia*

Sistema IoT para monitoreo y apagado de seguridad de la caldera

Para monitorear las señales vía internet, se utilizó una tarjeta Nodemcu ESP8266 ESP12-E (sistema embebido) la cual lee las señales de entrada y salida, las cuales eran enviadas a una base de datos Firebase (la nube). La aplicación móvil hecha para el sistema operativo android, se conecta a dicha base para recopilar la información y mostrarla en el dispositivo. El flujo de información transcurre como se muestra en la figura 5.



Figura 5 Esquema del flujo de información

Fuente: *Elaboración Propia*

Aplicación móvil

La aplicación móvil se desarrolló en el IDE de Android Studio el cual es un software libre para todo público además de que cuenta con la facilidad de una librería para conexión a firebase. La estructura que maneja la aplicación móvil es una pantalla donde se muestran los actuadores activos o inactivos del proceso de la generación de vapor y el valor del sensor de presión. La información que muestra la aplicación sobre los estados de los actuadores y el sensor de presión la obtiene de la base de datos. También se le colocó un botón de paro del proceso el cual provoca que la aplicación cambie el estado de una variable dentro de la base de datos.

La aplicación móvil se puede ver en la figura 6.



Figura 6 Aplicación móvil
Fuente: *Elaboración Propia*

Base de datos

Para que la aplicación móvil pueda observar lo que sucede dentro del sistema embebido y para que el sistema embebido observe la aplicación móvil es necesario el uso de la nube, la cual es responsable de guardar la información de las variables que se manejan, así como poder acceder a ellas vía remota.

Se utilizó la base de datos Firebase debido a su comunicación de manera eficaz con Android Studio y con Arduino IDE debido a las librerías que manejan estos tipos de software. Para los actuadores y el botón de paro se utilizaron variables enteras que registran su estado actual, para el sensor de presión se utilizaron variables tipo flotante. La base de datos se puede ver en la figura 7.

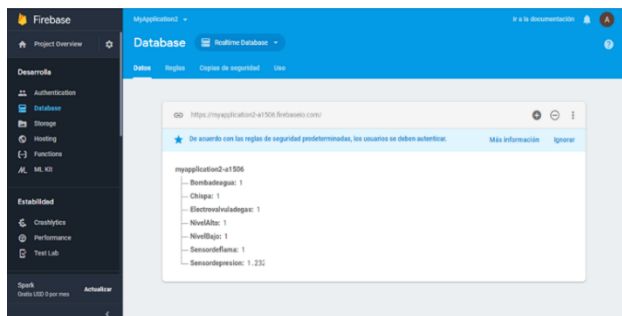


Figura 7 Base de datos
Fuente: *Elaboración Propia*

Sistema embebido

El ESP8266 ESP12-E es un microcontrolador el cual cuenta con una entrada analógica, y 6 entradas o salidas digitales, se puede programar en el IDE de Arduino y cuenta con conexión WIFI. Para el manejo de las señales de entrada se usaron relevadores dobles, los cuales mandaban 3.3 volts hacia el sistema embebido.

El microcontrolador manda una señal a la base de un transistor, el cual enciende la bobina de un relevador; con esto se logra detener el proceso mediante el uso de la aplicación móvil. La señal se enclava con el propósito de que el sistema no pueda ser operado localmente hasta que el usuario de la aplicación móvil lo decida removiendo la señal en el transistor, esto con el objetivo de brindar seguridad al equipo y al operario.

Para la señal analógica se utilizó una resistencia, ya que la señal que maneja el sensor de presión es de 4 – 20 mA y el ESP8266 ESP12-E solo lee de 3.3 a 0 V por lo que se usó la ley de ohm.

$$\begin{aligned} \text{Corriente del sensor} &= i_s = 20 \text{ mA} \\ \text{Voltaje del sistema embebido} &= V_e = 3.3 \text{ V} \end{aligned}$$

$$R = \frac{V_e}{i_s} \quad (1)$$

$$R = \frac{3.3 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 165 \Omega$$

El resultado da una resistencia de 165 Ω , por lo que se selecciona una resistencia de 180 Ω . Ya que los 4 mA nos varían para los 0 V es posible un error mínimo a la hora de verlo en la aplicación móvil. El sistema embebido se puede ver en la figura 8.



Figura 8 Sistema embebido
Fuente: *Elaboración Propia*

Resultados

El sistema IoT demostró la factibilidad del monitoreo del proceso de la caldera y su seguridad de apagado de emergencia, donde el sistema embebido y la aplicación móvil solo pueden ver lo que ocurre dentro de la nube, pero sin la nube no podrían tener interacción en este tipo conexión. La conexión se puede ver en la figura 9.



Figura 9 Conexión de internet de las cosas
Fuente: Elaboración Propia

Se procedió a hacer una prueba física. Con un manómetro se verificó que los datos que arrojaba el sensor de presión eran correctos los datos de la presión se pueden ver en la figura 10 y se elaboró un gráfico presión - tiempo el cual se muestra en el gráfico 1, con un intervalo de tiempo de 20 segundos.

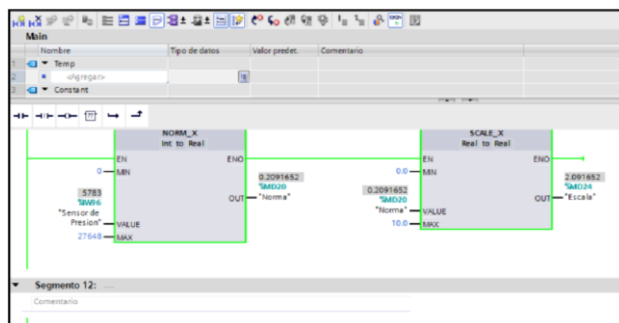


Figura 10 Lecturas de presión en programa TIA PORTAL V13

Fuente: Elaboración Propia

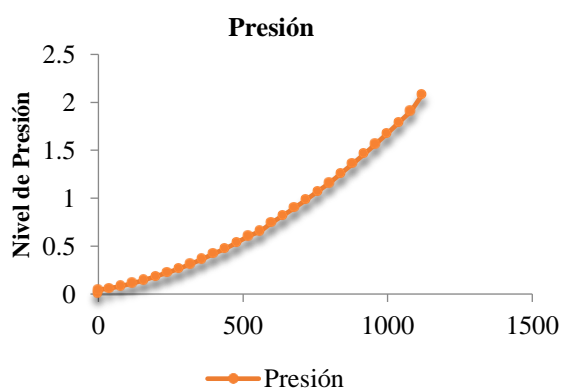


Gráfico 1 Gráfica de presión-tiempo

Fuente: Elaboración propia

Los datos que arrojó el sensor CoelMatic PA-21Y se recibieron de manera binaria y por medio de un arreglo en el software de control, se convirtió a unidades de presión (bares). La verificación de los datos arrojados por el sensor de presión se hizo con el manómetro mostrado en la figura 11.



Figura 11 Manómetro con salida de datos analógica
Fuente: Elaboración Propia

Las variables de salida y entrada del PLC se enviaron al ESP8266 12-E y de ahí a la base de datos FireBase en la que se conecta la aplicación móvil para monitorear estas variables. El paro del proceso funciono adecuadamente con su respectivo retraso debido a la rapidez del internet.

Agradecimiento

Se agradece al Tecnológico Nacional de México y al Instituto Tecnológico de Chihuahua por todo su apoyo para la realización de este proyecto.

Conclusiones

La caldera es un dispositivo que requiere elementos de seguridad y tiempos exactos para un funcionamiento más eficiente, por lo que al momento de automatizarlo se pudieron cumplir estas características. Generalmente las calderas industriales requieren sensores muy costosos, por lo que una opción viable para la automatización de calderas pequeñas es el diseño de sensores propios.

El uso del internet de las cosas es ideal para el monitoreo de procesos a largas distancias, ya que el usuario no tiene que estar en contacto con el equipo, el cual puede provocar un accidente. La ventaja de este sistema es que es a tiempo real por lo cual se pueden detectar fallas preventivas al equipo.

Referencias

- [1] Aguilar, L. J. (2017). *Industria 4.0: la cuarta revolución industrial*. Barcelona: ALFAOMEGA.
- [2] B.H Amstead, P. F. (1981). *Proceso de Manufactura*. Version SI. Mexico, DF: Continental.
- [3] Balcells, J., & Romeral, J. L. (1988.). *Autómatas Programables*. Barcelona: Marcombo.
- [4] Bondar, K. (04 de Julio de 2016). UNIR Revista. Recuperado el 01 de Septiembre de 2017, de <http://www.unir.net/research/revista/noticias/qu-e-es-realmente-la-industria-4-0/549201502351/>
- [5] Castillo Soriano, D. (2015). *Diseño y construcción del sistema eléctrico automatizado para la utilización de una caldera pirotubular, que servirá para la formación práctica en los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UPSE*. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- [6] Daneri, P. A. (2008). *Automatización y Control Industrial*. Buenos Aires - Argentina: HASA.
- [7] Darwish, A. M. (Marzo de 2016). *Complete Combustion Control for a Steam Boiler Plant*. Alexandria, Egipto. Obtenido de *Balkan Journal of Electrical & Computer Engineering*.
- [8] De la Sen Sanz, A., Galván Marcos, S., & Bielza Lino, J. (23 de Noviembre de 2000). *Control y Seguridades de Calderas*. Madrid, España.
- [9] Girónes, J. T. (2018). *El gran libro de Android sexta edición*. Barcelona: ALFAOMEGA.
- [10] Gubbi, J. B. (2013). *Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions*. *Future generation computer systems*, 1645-1660.
- [11] Mims III, F. M. (1986). *Timer, op amp and optoelectronic circuits & projects*. Estados Unidos de América: Master Publishing, Inc.
- [12] Miranda Martínez, E. N., & Rivera Guña, T. G. (12 de Julio de 2016). *Implementación de un proceso de automatización en una caldera pirotubular, para controlar el sistema de calefacción de las piscinas, en la quinta recreacional pacific garden soldelop cía. latda*. Latacunga, Ecuador.
- [13] Ortiz Baron, E., & Arbesu García, V. J. (15 de Marzo de 2013). *Sistema de Control para una Caldera Usada en una Harinera*. México, D.F. Obtenido de <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12138/>
- [14] SIEMENS. (2017). *Data Sheet*. Recuperado el 8 de Septiembre de 2017, de <https://www.alliedelec.com/m/d/f0777be568018c021e606c91436ad950.pdf>
- [15] SIEMENS. (2017). *Industry Online Support*. Recuperado el 8 de Septiembre de 2017, de <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/20508?pdtd=td&lc=en-US>