

Diseño de sistema de control automatizado con sistemas embebidos, aplicaciones móviles y el internet de las cosas

CALDERA, Carlos *†, LOPEZ, Jesús, OLIVAS, Héctor y GALLEGOS, José

Recibido Enero 07, 2017; Aceptado Marzo 13, 2017

Resumen

El internet de las cosas nace de la necesidad de que cada instrumento, dispositivo u objeto de uso cotidiano pueda estar interconectado por medio de internet, de modo que permita ser monitoreado y/o controlado desde cualquier lugar en tiempo real. En base a lo anterior se diseña una aplicación móvil e interfaces que, mediante internet, se conecta a una base de datos, la cual recibe parámetros desde un sistema embebido acerca del proceso que se está controlando y es capaz de gestionar variables del sistema. Para efectos de experimentación se aplicó el sistema mencionado en el control de una caldera, utilizando un PLC 1200 SIEMENS el cual se encarga de accionar los distintos elementos de control de la caldera y de recopilar información de los diferentes sensores para enviarla hacia un sistema embebido que funge como intermediario en la comunicación con una base de datos alojada en la nube. Se desarrolló también una aplicación para dispositivos móviles bajo el sistema operativo Android, la cual con solo tener una conexión a internet puede extraer y/o modificar información ubicada en la base de datos. Este sistema puede adaptarse para el control de cualquier proceso que se desee gestionar vía remota.

Internet, Embebidos, Interfaz, Control, Móviles

Abstract

The Internet of things born from the need to each instrument, device or daily objects can be interconnected via internet, and can be monitored and/or controlled from anywhere in real-time. Based on the above, a mobile application and different interfaces are designed that, via internet, connect with a data base, it receive parameters from an embedded system about the process that is being controlled and it is able to manage system variables. As experimentation was applied the system mentioned in the control of a boiler, using a PLC 1200 SIMENS which is responsible for operating the various control elements of the boiler and to collect information from different sensors to send it to an embedded system that acts as an intermediary in communication with a data base hosted in the cloud. An application for mobile devices with Android operating system was developed which can get and/or modify information located in the data base by simply having an internet connection. This system can be adapted to control any process that is desired to be managed remotely.

Internet, Embedded, Interface, Control, Mobiles

Citación: CALDERA, Carlos, LOPEZ, Jesús, OLIVAS, Héctor y GALLEGOS, José. Diseño de sistema de control automatizado con sistemas embebidos, aplicaciones móviles y el internet de las cosas. Revista de Tecnología e Innovación 2017, 4-11: 51-62.

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: ccaldera@itchihuahua.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El uso del Internet está en constante crecimiento dentro de los diferentes ámbitos sociales (Evans, 2011). Hoy en día, existen miles de dispositivos conectados a la red que dan origen al concepto de Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT por sus siglas en inglés), el cual sugiere una tendencia hacia un mundo conectado completamente a internet (Morgan, 2014), un ejemplo de esto es que, el 39.2% de los hogares mexicanos tienen acceso a internet.

En los últimos años el alza en la producción de dispositivos electrónicos con la capacidad de conectarse a internet y que además, cuentan con características que les permiten interactuar entre sí, nos habla del impacto que tiene la corriente del internet de las cosas en segmentos de la sociedad más relacionados a la vida cotidiana, por lo que es un hecho que un alto porcentaje de la población actual tenga acceso a internet y a uno o más de este tipo de dispositivos electrónicos, dentro de los más comunes están los Smartphone (teléfonos inteligentes), las computadoras portátiles, las Tablet, los Televisores, etc. Estadísticamente se registró que para inicios del año 2016 alrededor de 77.7 millones de personas en México cuentan con un teléfono celular, de los cuales 51.8 millones cuentan con un Smartphone, además para ese mismo año el 57.4% de la población total en México a partir de los 6 años se declaró usuario activo de Internet (INEGI, 2016).

No es de sorprender que con tal crecimiento el internet este presente, no solo en los hogares, sino también en el sector industrial (Arroyo, 2015), el cual se encuentra en una constante búsqueda por desarrollar nuevas y mejores técnicas que logren una mayor eficiencia y facilidad en los procesos de manufactura o de producción.

En este caso se abordará el término de Industria 4.0, el cual establece que la base fundamental del internet de las cosas y las nuevas tecnologías será empleada para mejorar el rendimiento de los procesos llevados a cabo dentro de la industria (Gradiant, 2016). Dado lo anterior se acuña el concepto de I2oT (Industrial Internet of Things, por sus siglas en inglés), el cual es el fundamento base para el desarrollo de sistemas de control, en los que los distintos elementos del proceso se encuentren interactuando por medio de internet para obtener la información del estado actual, y lograr una mayor eficiencia (IOTSSENS, 2016).

Para efectos de experimentación se realizó la automatización de una caldera, en la cual se utilizan los conceptos anteriores incluyendo el desarrollo de una aplicación móvil, esto con el fin de aprovechar las ventajas que nos ofrece el internet de las cosas. El proceso funcional de la caldera se lleva a cabo de manera automatizada con el uso de un controlador lógico programable marca SIEMENS modelo 1200, el cual nos provee de entradas digitales suficientes para el manejo de las señales de control básicas como lo son el encendido y apagado del sistema, el abrir o cerrar de la válvula para el paso de gas o bien la activación o desactivación del circuito generador de chispa para encender el quemador, además hizo uso de un modulo extensor para lectura de señales análogas, con el fin de monitorear el nivel de presión que se produce durante el proceso.

Para facilitar el procesamiento de la información al PLC y el envío de la misma a la base de datos, se optó por utilizar un sistema embebido, el cual toma función como interprete entre el PLC, el proceso automatizado y la aplicación móvil.

Este sistema embebido está conformado por una tarjeta de desarrollo Arduino, el cual debido a su característica comercial se hace accesible y en relación a su arquitectura de hardware nos da la oportunidad de procesar las señales básicas del proceso. La principal razón para implementar un sistema que englobe estas tecnologías busca disminuir, de manera considerable, la necesidad de que el usuario esté presente en el lugar donde se lleva a cabo un proceso específico, utilizando para ello tecnología accesible, en este caso un dispositivo móvil, volviendo más cómodo para el usuario el control de dicho proceso. De manera esquemática el sistema se divide en las siguientes partes:

- Aplicación móvil para sistema operativo Android.
- Base de datos en la nube.
- Prototipo de una caldera pirotubular.
- Microcontroladores.
- Controlador programable.

La figura 1 muestra la distribución de las partes que conforman todo el sistema de control desde la aplicación móvil hasta el proceso a controlar.

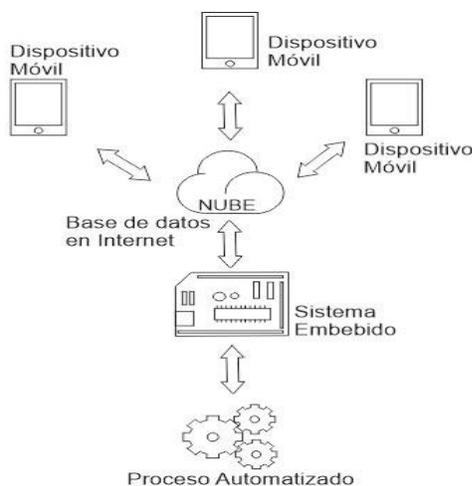


Figura 1 Esquema del sistema completo de control

Proceso automatizado para una caldera Pirotubular

La caldera es un dispositivo que genera vapor de agua a través de una transferencia de calor. El proceso normal de una caldera pirotubular en general se basa en el calentamiento del agua que hay dentro de la misma, para cambiar de fase llevándola a vapor saturado. La caldera que se automatizó tiene una presión de 2 bares (29.0065 psi) como límite máximo.

Para tener el control de dicha presión, es necesario monitorear variables como: presencia de flama, combustible, chispa y la ventilación para aumentar la eficiencia en la combustión y expulsar los gases remanentes que se encuentran dentro de la cámara. Dado que no en todo momento es necesario que se esté generando chispa, ya que puede significar un riesgo, el monitoreo de presencia de flama proporciona información al controlador para que interrumpa la generación de chispa una vez producida una flama estable.

A partir de esto comienza a calentarse el agua que se encuentra dentro de la caldera para producir vapor. Las variables de temperatura y presión juegan un papel muy importante durante la generación de vapor, por lo que se deben medir constantemente para evitar algún accidente que signifique un riesgo para el usuario o dañe algún elemento de la caldera.

Para el proceso de automatización de la caldera se utilizó la secuencia que se muestra en la figura 2.

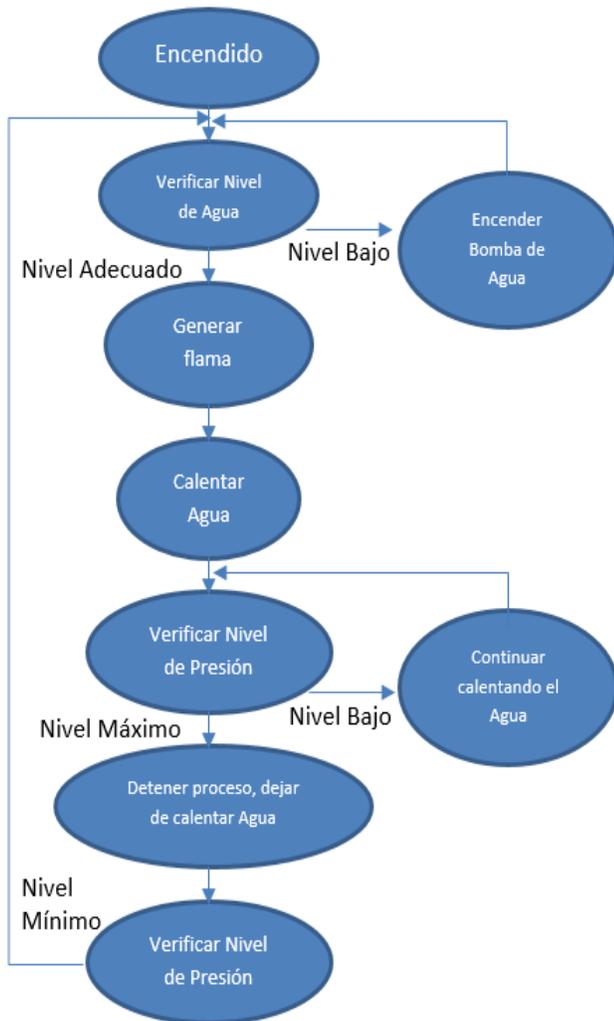


Figura 2 Flujo del proceso funcional de la caldera

Sistema Embebido

Para el monitoreo de estas variables que son complejas y cuyas lecturas provienen de sensores que no solo están enfocados en detectar la presencia o no de la variable física, sino que nos proporcionan una medición que está dentro de un rango de valores, la información de estos sensores es recopilada por un sistema embebido.

El cual se encarga de hacer el procesamiento de los datos un tanto más sencillo y de esta manera facilitar al controlador la toma de decisiones y, a la vez, el envío de las lecturas a la base de datos que se encuentra sincronizada con la aplicación móvil.

Al obtener las lecturas requeridas de las variables durante el proceso, se puede monitorear el estado de la caldera de manera que se cuente con un control de seguridad en caso de que exista algún riesgo en su operación.

Cuando el sistema embebido recopiló y procesó la información, ésta es enviada al usuario por medio de la aplicación móvil. Para lograr esto, el sistema embebido debe realizar una conexión con una base de datos alojada en la nube y, al mismo tiempo, sincronizarla con el dispositivo móvil del usuario, donde, además de poder monitorear las variables, el usuario tiene la capacidad de obtener las lecturas en tiempo real del sistema por medio de los sensores.

En base a lo anterior, el usuario tiene la oportunidad de realizar acciones básicas de control y monitoreo desde la aplicación móvil en su dispositivo, como iniciar o detener el proceso en el momento que sea necesario.

Como se ha comentado, el prototipo utiliza sistemas embebidos, es importante tener en cuenta que un sistema embebido es una combinación de software y hardware, en algunos casos se agregan piezas mecánicas para lograr una función específica y cumplir con un propósito, el cual puede ser modificado acorde a las necesidades mediante software.

Algunas veces un sistema embebido es un componente de un sistema mucho más grande, tal y como sucede en el prototipo propuesto. En este caso se tienen dos sistemas embebidos y cada uno realiza distintas funciones.

Cada sistema embebido cuenta con un procesador, el cual, varía en cuestión de características funcionales dependiendo de la aplicación y los requerimientos que ésta tiene. Con fines de experimentación y a base de una investigación previa acerca de los requerimientos de la caldera, se encontró como mejor opción el uso de una tarjeta de desarrollo Arduino, ya que es una plataforma abierta para creación de prototipos flexibles.

El sistema Arduino es de fácil programación y cuenta con software y hardware libre, además su arquitectura proporciona un desarrollo de hardware mucho más sencillo, como parte importante y esencial de esta plataforma, existe una gran cantidad de complementos para elevar el desempeño del mismo. El módulo utilizado que permite una conexión a internet, es el módulo de interfaz Ethernet mostrado en la figura 3.



Figura 3 Tarjeta Arduino con Modulo Ethernet

Seguridad

El prototipo de caldera diseñado para la fase de experimentación, cuenta con un sistema de seguridad que permite controlar el proceso en caso de que ocurra algún problema con la aplicación móvil o con la conexión que se realiza a través de internet. Esta opción de control refuerza la cuestión de seguridad tanto para el usuario como para el proceso mismo.

Base de datos en la nube

El módulo Ethernet está en constante comunicación con la base de datos alojada en la nube. El primer sistema embebido se encarga de obtener los datos por medio de sensores y almacenarlos en la nube. Para ello usa la conexión a internet y realiza el registro, como se muestra en la figura 4.

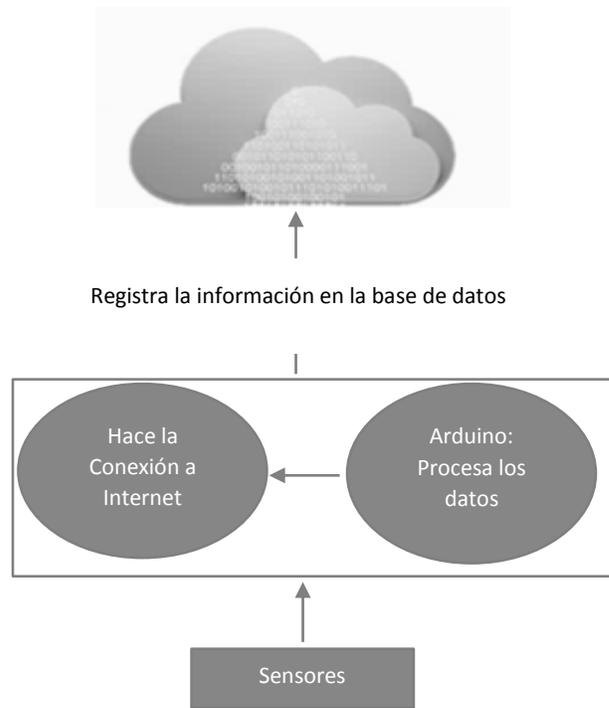


Figura 4 Envío de datos del Sistema embebido a la Nube

La información recolectada a través de los sensores normalmente está en función de voltajes y corrientes, los cuales mediante sistemas de acondicionamiento de señales deben ser procesados, convirtiéndolos en unidades que el usuario pueda interpretar, con la ayuda del módulo Ethernet, se registra dicha información en la base de datos. Todo lo anterior se realiza en tiempo real, es decir, al obtener los datos o cada vez que cambie uno de ellos se realiza el registro.

Para el segundo sistema embebido, la función asignada fue leer desde la base de datos, ya que ésta puede ser modificada desde la aplicación móvil, haciendo esencial tener la lectura de la base de datos en tiempo real para ver las modificaciones que se realizan. La figura 5, expresa la función que tiene el sistema. El Arduino lee, procesa y envía los datos a la unidad central.



Figura 5 Recepción de datos del Sistema embebido desde la Nube

Ambos sistemas embebidos realizan una interacción en tiempo real manteniendo la comunicación entre el proceso a controlar y el dispositivo móvil.

Aplicación Móvil

La aplicación móvil, es un programa que se puede descargar y acceder desde un sistema operativo diseñado para dispositivos móviles. Existe una gran variedad de usos y diseños para estas aplicaciones y su popularidad crece de manera exponencial entre los usuarios de estos dispositivos. Estas deben ser diseñadas de tal forma que sean cómodas e intuitivas para que el usuario pueda entender y manejar con fluidez y sin complicaciones las utilidades que puedan brindar.

La necesidad de controlar uno o múltiples procesos sin la limitante que la distancia implica, es la razón principal por la que se desarrollan estas aplicaciones y se busca constantemente la evolución de estos dispositivos, convertidos en herramientas cotidianas.

Esta necesidad fue la idea principal que permitió llevar a cabo el prototipo planteado anteriormente, el cual busca crear un control no solo de un proceso en particular, sino una herramienta capaz de adaptarse a las necesidades que el proceso demande, así como otorgar las facilidades que el usuario requiera. Es por eso que el internet de las cosas resulta de gran importancia para este proyecto, el cual busca eliminar en gran medida la limitante que supone la distancia, haciendo prácticamente innecesaria la presencia del usuario en el lugar donde el proceso se efectúa.

De igual manera se ofrece un diseño amigable y fácil de entender al usuario, para que el flujo de información que este recibe no resulte abrumante y el manejo del proceso sea lo más natural posible, tal y como si se encontrara ahí.

El control y monitoreo a distancia empieza a partir del servidor en la nube, el cual se encarga de manejar la información, así como almacenar registros de operaciones que luego puedan ser accesadas de manera ordenada si así se requiere. Cualquier proceso que desee acoplarse a este sistema, tendrá que ser conectado de manera directa a un sistema embebido, el cual se encargará de tomar lectura de toda la información que el proceso pueda brindar por medio de los sensores que éste maneje.

Toda esta información es procesada por el sistema embebido y enviada al servidor donde se crearán los registros, la información se vuelve accesible a los dispositivos que estén autorizados para interactuar con el proceso. Estos dispositivos deben contar con la aplicación correspondiente, que es universal para controlar cualquier proceso, el cual será definido a partir de la información a la que el usuario pueda acceder en la base de datos, para ello se debe contar con un usuario y contraseña.

Una vez que se accede al registro correspondiente la aplicación muestra al usuario todas las lecturas que brinda el proceso, así como todas las variables que se pueden controlar. Cualquier cambio que se haga a partir de la aplicación se envía de manera inmediata al servidor y lo envía al sistema embebido que se encarga de manipular los actuadores del proceso. Existen diferentes plataformas de desarrollo para aplicaciones móviles, desde las más sencillas hasta las que requieren un conocimiento más detallado sobre programación.

Dentro de las plataformas más comunes se analizó cual es la que brinda mayor libertad para el diseño, la primera y más sencilla de utilizar es la llamada App Inventor, la cual es una herramienta de desarrollo creada por el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) con el fin de promover el diseño de aplicaciones móviles desde una perspectiva más amigable, ya que permite crear aplicaciones con el uso de bloques, haciéndola una herramienta más interactiva, la desventaja de dicha herramienta es que la libertad de diseño se resume a lo que esta prediseñado en App Inventor.

Como segunda opción se contempló Android Studio, una plataforma de desarrollo que proporciona más libertad al momento de realizar el diseño de la aplicación, ya que proporciona mayor flexibilidad al ser el usuario quien se encarga de la mayor parte del desarrollo y no la plataforma en sí, la mayor desventaja y el claro hecho por el cual fue descartada la idea del uso de Android Studio, es que solo permite el desarrollo de aplicaciones compatibles con el sistema operativo Android, haciendo que la portabilidad sea más complicada y, además, exista la necesidad de una herramienta de desarrollo extra que permita dar compatibilidad a la aplicación con los distintos sistemas operativos existentes.

Por último se consideró el uso de Visual Studio debido a que actualmente cuenta con un complemento proporcionado por el entorno de desarrollo Xamarin, el cual nos permite desarrollar aplicaciones para un sistema operativo ya sea Android, IOS o Windows Phone y con la ventaja de que puede hacerse compatible con cualquiera de los otros dos sistemas operativos con las mínimas modificaciones.

En este caso se optó por diseñar la aplicación en el sistema operativo Android, debido a que es uno de los más utilizados actualmente en el mundo.

Por otro lado para lograr que la aplicación que se diseñó realizara la conexión con una base de datos alojada en la nube, se contemplaron diferentes opciones, la primera consistía en la implementación y creación de un servidor propio, en el cual se tendría un completo control de los datos, con el inconveniente de que significaba mayor trabajo y una gran disminución en el aspecto de seguridad. Por este motivo se optó por buscar el servicio de algún proveedor externo.

Existe una amplia gama de servicios de alojamiento de datos en la nube tanto gratuitos como de paga, por lo cual fue necesario analizar diferentes opciones de servicios. La primera opción consistía en un servidor gratuito llamado 000WebHost el cual fue descartado debido a las limitantes de espacio y administración que ofrecía.

Como segunda opción se pensó utilizar el servicio de Azure, el cual al estar vinculado con la plataforma en la que se desarrolló la aplicación ofrecía ventajas de desarrollo y una gran libertad en la administración de información dado que es un servicio de paga, la razón por la que no se continuo el trabajo con este servicio fue el alto precio del mismo.

Como última instancia se decidió trabajar con Firebase, el cual es un servicio de alojamiento en la nube perteneciente a Google. Firebase ofrece diferentes tipos de servicios que varían en precio y características. Para fines de experimentación se utilizó el servicio gratuito.

Una vez seleccionado el ambiente de desarrollo para la aplicación y el servicio con el cual se estaría realizando la comunicación vía internet, se diseñó la interfaz visual de la aplicación y se comenzó a trabajar con la base de datos en la que se registra la información que el usuario maneja desde la aplicación, esta información se almacena en el servidor utilizando el formato JSON, el cual es una matriz de caracteres que facilita la transmisión de datos entre los diferentes dispositivos.

Metodología (Experimental)

La comunicación entre la aplicación móvil y el proceso se realizó estando conectado por medio del sistema embebido a una red local con servicio de internet y por medio de la red de un dispositivo móvil, con el fin de simular que el control del proceso se realiza a larga distancia. Se monitoreo el nivel de presión que se producía en la caldera desde el controlador, el sistema embebido, un manómetro y la aplicación móvil en distintos tiempos con el fin de observar las lecturas de presión y verificar si las conversiones eran correctas.

Por medio del controlador y el sistema embebido se compararon los valores de presión obtenidos junto con los valores que arrojaba el manómetro, y desde la aplicación móvil solo se monitoreo cuando la caldera llegaba a producir el nivel de presión máximo para detener el proceso de producción de vapor y cuando se encontraba en el mínimo para reiniciar dicho proceso.

Resultados

Se simuló el programa utilizando el software TIA PORTAL V13, donde se conectó el PLC vía Ethernet, y se usó una fuente de voltaje y un potenciómetro para variar la corriente representando el sensor analógico de presión el cual es estándar 4 mA- 20 mA donde 4 mA equivale 0 bar y 20 mA equivale a 10 bar.

El valor definido de presión máxima del vapor es de 2 bar, en la simulación del sensor entregaría un valor de 7.2 mA obtenido de la siguiente ecuación de interpolación:

$$y = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0) + y_0 \tag{1}$$

Despejando:

$$\frac{16}{x - 4} = \frac{10}{2}$$

$$x - 4 = 3.2$$

$$x = 7.2 \text{ mA}$$

Cuando se llegó a este valor se apagó la señal de la electroválvula y el ciclo volvió a empezar cuando la presión alcanzó a 1 bar, el cual usando la ecuación 1 nos dio un valor de 5.6 mA.

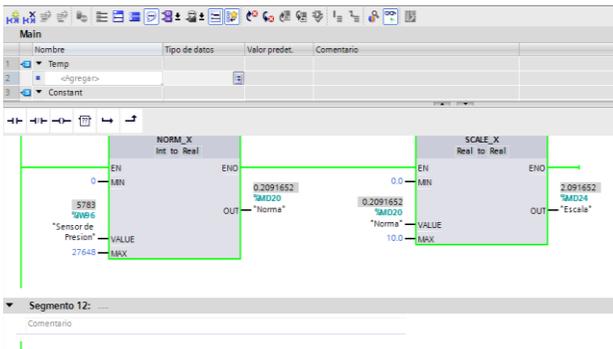


Figura 6 Programa realizado para leer las lecturas de presión en TIA PORTAL V13

Al realizar la prueba físicamente se obtuvieron los siguientes resultados representados en el gráfico de Presión-Tiempo (Gráfico 1) donde la presión tiene un comportamiento exponencial en bares y las lecturas se tomaron cada 20 segundos.

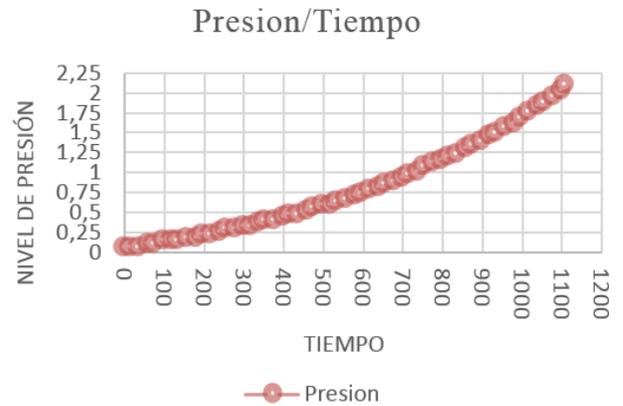


Gráfico 1 Incremento de presión dentro de la caldera con respecto al tiempo

Los datos obtenidos por medio de un sensor CoelMatic PA-21Y se observaron por un valor binario y por medio de un arreglo, se registró el valor binario pasándolo a unidades de presión (bares). Para verificar el monitoreo también se obtuvieron las lecturas de presión por medio de un manómetro (véase Figura 7) instalado en la caldera asegurando que los datos obtenidos en el programa son los correctos.

En relación a las variables de presencia de flama y el generador de chispa solo fueron interpretadas de manera booleana, es decir, solo contemplan dos estados, “ENCENDIDO” o “APAGADO”, por lo que fue posible se verificar las lecturas de manera visual simulando el estado de dichas variables con un LED indicador. En cambio con respecto al generador de chispa, se realizaron pruebas durante el pleno funcionamiento de la caldera.

Dicho actuador nos permitió verificar físicamente el funcionamiento del circuito detector de flama confirmando los resultados obtenidos al realizar las observaciones durante la simulación con el LED.



Figura 7 Manómetro con salida de datos analógica

Mediante el Arduino Mega y el módulo Ethernet se realizó una página de internet la cual monitorea todas las variables de entrada y salida del PLC. Gracias a esto podemos obtener los datos de la caldera y visualizarlo desde nuestra aplicación móvil.

Mediante las salidas y entradas del PLC se obtienen las variables, acoplándolo con un transistor de potencia para que la conexión sea posible. El programa del Arduino recibe todas las variables para monitorearlas y así enviarlas a la página.

Para el caso de la aplicación móvil, se realizó en Visual Studio únicamente para la plataforma Android, como experimentación. La aplicación fue diseñada en la versión API Level 24, es decir para sistemas operativos Android 7.0 Nougat y anteriores.

Durante el desarrollo se utilizaron complementos y componentes para hacer que la aplicación fuera fácil de navegar, entender y que tuviera un buen diseño, tales componentes fueron las librerías Appcompat V7 y Design, las cuales contienen funciones que ayudan a complementar la aplicación de forma estructurada.

Por otra parte, para lograr la conexión hacia la base de datos en Firebase, se utilizó un paquete llamado Firebase.Xamarin, el cual tiene librerías que realizan la conexión hacia la base de datos por medio de funciones, así como las lecturas de las mismas y la modificación de cualquier variable. Otro paquete fue Xamarin.Firebase.Messaging, el cual utiliza los permisos de la aplicación en conjunto con el celular para tomar lecturas en tiempo real de la base de datos, esto quiere decir, que al momento que se realiza un cambio en los datos, la aplicación recibe una alerta sobre dicha modificación.

Finalizada la primera versión de la aplicación, se realizó una simulación de los resultados esperados del proceso por medio de una página web, la cual simulaba la caldera para verificar su correcto funcionamiento. La simulación fue positiva, ya que se ejecutó perfectamente, el siguiente paso fue ejecutar la aplicación con los datos obtenidos desde la caldera por medio del sistema embebido, tal como en la simulación los resultados fueron satisfactorios. Todo funcionó como se esperaba y se pudo tener la información detallada de la caldera en cualquier dispositivo Android con acceso a la aplicación y con los usuarios y contraseñas correctas.



Figura 8 Interfaz gráfica de la Aplicación sistema operativo Android

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México y a Grupo Rosa Automatización y Control por las facilidades otorgadas para realizar este proyecto.

Conclusiones

Se obtuvo satisfactoriamente un sistema de monitoreo y control de una caldera pirotubular, gracias al uso de internet de las cosas, sistemas embebidos y aplicaciones móviles. La aplicación móvil permitió dicho control interactuando con los sistemas embebidos como enlace con el sistema a controlar, este sistema localmente era monitoreado por el PLC.

El diseño logrado del sistema es totalmente adaptable en cualquier equipo del ámbito industrial o doméstico que se quisiera controlar a distancia mediante internet.

Los resultados obtenidos serán el precedente para que se puedan realizar en un futuro próximo modificaciones que harán posible el uso de la aplicación móvil en distintos sistemas operativos, así como iniciar con el desarrollo de un servidor propio que permita el manejo de un mayor número de equipos que justifique el costo-beneficio y la seguridad del sistema.

Referencias

Antonio Ruiz Canales. (2010). Automatización y telecontrol de sistemas de riego. Barcelona: Marcombo.

Android. (2016, Agosto 10). Recuperado de: https://www.android.com/intl/es-419_mx/

Arduino. (2016, Agosto 10). Recuperado de: <https://www.arduino.cc/>

Daneri, P.A. (2008). Automatización y Control Industrial. Buenos Aires, Argentina: HASA.

Dave Evans. (2011). Internet de las cosas Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo. 4 abril 2016, de Cisco Internet Business Solutions Group Sitio web: http://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf

Domínguez Mateos, F. (2014). Programación multimedia y dispositivos móviles. Madrid: RAMA Editorial.

Domínguez, H. &. (2006). Domótica: Un enfoque sociotécnico. Madrid: Fundación Rogelio Segovia para el Desarrollo de las Telecomunicaciones.

EMERSON. (2015). EMERSON. Recuperado de:http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/instruction_manuals/d301396x012.pdf

Samuel Greengard. (2015). The Internet of Things. Cambridge, Massachusetts: The Mit Press.

Francis, P. (2016). Internet Industrial: Máquinas inteligentes en un mundo de sensores. Madrid: Ariel s.a.

G. Proakis, J. & G. Manolakis, D. (2007). Tratamiento digital de señales. (Cuarta ed.) Madrid: Pearson.

Gradiant. (2016). La Industria 4.0: Hacia una cuarta Revolución Industrial. 29 agosto, 2016, de Gradiant Sitio web: <https://www.gradiant.org/noticia/industria-4-0-revolucion-industrial/Iotsens>. (2016). IoT Industrial. 14 marzo 2016, de Iotsens Sitio web: <http://www.iotsens.com/solutions/i2otindustrial-iot/>

INEGI. (2016). Estadísticas a propósito del día mundial de internet (17 de mayo). Aguascalientes: INEGI.

Morgan, J. (2014, Mayo 13). A simple Explanation of Internet of Things. Forbes. Recuperado de: <https://www.forbes.com/sites/jacobmorgan/2014/05/13/simple-explanation-internet-things-that-anyone-can-understand/#2c904df060828>

PABLO, A. (2015, Octubre 20). Cantabria TIC. Recuperado de: <http://www.cantabriatic.com/industria-4-0-sistemas-ciber-fisicos/>

Paolo Gaudiano. (2011). What are “Things” in the Internet of Things? Fundación de la innovación Bankinter, 15, 11-19.

Salas Arriarán, Sergio. (2015). Todo sobre sistemas embebidos. Perú: Editorial UPC.