

INSTRUMENTACIÓN Y MONITOREO POR RED INALÁMBRICA DE SENSORES MEDIANTE XBEE PARA UN PROCESO DE POLIMERIZACIÓN

Cristian Mena Saucedo

Universidad Autónoma de Tlaxcala

brian.m.g@ieee.org

Brian Manuel González Contreras

Universidad Autónoma de Tlaxcala

brian.m.g@ieee.org

Miguel Ángel Munive Rojas

Universidad Autónoma de Tlaxcala

brian.m.g@ieee.org

Fermín Martínez Solís

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

brian.m.g@ieee.org

Resumen

Se presenta un método para incorporar sensores inalámbricos a un proceso de reacción ubicado en el laboratorio de procesos unitarios de la Facultad de Ingeniería y Tecnología de la UATx. El objetivo es implementar una red inalámbrica para monitorear y controlar la temperatura de reacción de un reactor tipo batch que se emplea para hacer polimerizaciones en emulsión. Con ello se contribuye a mostrar los beneficios y facilidad de implementación de redes de sensores inalámbricas. Se utiliza el protocolo de red inalámbrica ZigBee a través de módulos XBee, y una tarjeta Arduino, que se encarga de la adquisición y acondicionamiento de los datos provenientes de los sensores. El sistema de monitoreo incluye una interfaz hombre-máquina realizada en LabVIEW e implementada en una computadora que sirve como control maestro, pues ejecuta

un algoritmo para la programación y uso de sistema de sensado, así el usuario interactúa con el sistema para la configuración de valores de medición y otros parámetros de supervisión. Cada uno de los sensores utilizados fueron caracterizados y probados de forma independiente para validar los resultados de monitoreo obtenidos, los cuales son satisfactorios pues la supervisión del proceso es similar a la obtenida de forma alambrada.

Palabras Claves: Adquisición de datos, Arduino, monitoreo, redes inalámbricas, XBee, ZigBee.

Abstract

In this work, a method for incorporating wireless sensor instrumentation for a reaction process located at the UAT's unitary process laboratory is presented. The aim is to develop the instrumentation for monitoring the reaction temperature control of a batch reactor used to perform emulsion polymerization. The proposed monitoring system employs the ZigBee wireless network protocol through XBee modules, and an Arduino microcontroller-based card, being the technology charged of data management and automation coming from sensors. The monitoring system includes a human-machine interface developed in LabVIEW which is included in a PC used as a master supervisory module. Microcontroller interface has analog inputs and outputs, wireless sensor coordinator communication (by ZigBee), which communicates with the wireless modules connecting remote sensors. Each sensor was previously characterized and tested independently to validate obtained monitoring results, which are satisfactory.

Keywords: *Arduino, data acquisition, monitoring, wireless sensor networks, XBee, ZigBee.*

1. Introducción

En algunas aplicaciones de control el uso de cables podría ser un problema por diferentes razones [Robert, 2010]: pérdidas de potencia por calor; ruido inductivo/capacitivo; dificultad para el tendido de cables, conexiones difíciles; inaccesibilidad y costos; entre otros. Estos inconvenientes también se presentan

en actividades de monitoreo ambiental, así como en distribución de energía [Batista, 2013], especialmente en las denominadas redes inteligentes de distribución eléctrica (así como las micro-redes), en donde se requiere del intercambio de información para saber la forma en que se encuentra la red eléctrica, tanto en consumo como en inyección de energía por parte de aquellos usuarios que tienen instalaciones fotovoltaicas locales, principalmente. Para evitar los inconvenientes previamente citados, se hace uso de redes de sensores, en donde se incorporan dispositivos que realizan tareas de sensado, procesamiento y comunicación, manteniendo comunicación entre ellos de forma inalámbrica. Varias tecnologías se han desarrollado para impulsar las redes de sensores, sin embargo, Zigbee ha emergido como la líder en el área, en donde los dispositivos XBee se han destacado. Lo anterior es debido a que permite realizar comunicación inalámbrica de baja potencia, baja transferencia de datos con larga duración en las baterías (se estima que un par de pilas AA tiene una duración de 2 a 3 años sin recambio), debido a que cuenta con un modo de hibernación cíclico [Robert, 2010], [Batista, 2013]. Debido a lo anterior, en este trabajo se expone una propuesta de implementación de red inalámbrica mediante el uso de tecnologías inalámbricas de bajo costo usando la red ZigBee. El objetivo es proponer una metodología de desarrollo de una red inalámbrica sencilla aplicada a un proceso tipo batch existente pero alambrado, para el monitoreo de un reactor tipo batch que se emplea para hacer polimerizaciones en emulsión. La finalidad es realizar el monitoreo de variables de interés para el control dentro de una red local para la supervisión en línea y en tiempo real del proceso. El proceso se encuentra ubicado en el laboratorio de procesos unitarios de la FCBIT de la UATx. En esta propuesta se emplean módulos XBee, cada módulo se encarga de realizar comunicación inalámbrica a través del protocolo ZigBee [ZigBee, 2017]. Cada módulo tiene un intervalo de transmisión entre los 100 y 120 metros (XBee regular) a espacio abierto, dependiendo de su serie y modelo. Actualmente se encuentran disponibles el modelo regular y el pro (mayor intervalo de transmisión), cada uno de ellos tiene dos series: serie 1 y serie 2 [Batista, 2013]. En este proyecto, se usaron cuatro XBee regulares serie 2. El trabajo contribuye en

mostrar y promover el uso de estas tecnologías inalámbricas para realizar aplicaciones de bajo consumo energético y diseños de instrumentación de mayor seguridad y confiabilidad.

Trabajos Relacionados

Algunos trabajos similares se han llevado a cabo anteriormente, como el realizado en [Lopera, 2012], en donde se utiliza una red punto a punto entre sensores de temperatura para monitorear el estado térmico de topes en procesos de enrollamiento, el objetivo final es realizar control de temperatura en los topes para evitar sobrecalentamiento y daño a los baleros. Un sistema de alarma automático contra incendios se desarrolla en [Shu-guang, 2011], aplicado a la necesidad y posibilidad de construir el sistema de alarma de forma inalámbrica, utilizando el estándar del IEEE 802.15.4, donde se introducen las características de diseño en la construcción de hardware y software. En [Rodríguez, 2012] se implementó un sistema inalámbrico integrado para supervisar un sensor de gas de efecto hall dentro de un hogar, el propósito de ese trabajo fue definir y poner en práctica una propuesta de un sistema inalámbrico basado en los módulos XBee para controlar el nivel de un tanque de gas estacionario para un hogar, además de mejorar el proceso de transmisión de información en comparación con otros estándares. En [Kuang-Yow, 2013], se implementó un método usando el protocolo ZigBee en el cual se integra Arduino e Internet. Este sistema se basa en un esquema de control inteligente que utiliza ZigBee y Wi-fi en una arquitectura de red dentro de un hogar, en el cual la información de los sensores es adquirida por los módulos XBee y transmitida a través del protocolo ZigBee a una base de datos de la nube a través de la red. Aplicaciones en otras áreas de ingeniería pueden encontrarse en [Puccinelli, 2005], así como las tendencias en el uso de las mismas tecnologías inalámbricas en [Boquete, 2010], quienes además presentan una solución al monitoreo integral en las fases de toda la producción de vino.

Estructura del Trabajo

El presente artículo se estructura de la siguiente forma. La sección 2 presenta el método utilizado para implementar la red inalámbrica de sensores, presentado

cada elemento constituyente del sistema que se aplicará en el proceso. Posteriormente se presenta una descripción del proceso y las variables de interés en él. La sección 3 presenta los resultados obtenidos a partir de la caracterización de cada sensor instrumentado y en general sobre la red implementada. En la sección 4 se presenta la discusión acerca de los resultados y de la implementación realizada. Finalmente se presentan las conclusiones acerca del trabajo realizado.

2. Métodos

Para el desarrollo de la red inalámbrica en este trabajo, se desarrollaron las siguientes actividades:

- Caracterización de sensores (temperatura, corriente y ultrasonido).
- Realización de una red inalámbrica en malla con los módulos XBee S2
- Realización de una interfaz hombre máquina (LabVIEW).
- Integración de los sensores a la red inalámbrica
- Incorporar la red inalámbrica al proceso de polimerización en emulsión.
- Observar por medio de la interfaz hombre maquina (LabVIEW) el monitoreo de la temperatura, dentro del tanque de reacción.

En lo que resta de esa sección se presentan los materiales empleados para implementación de la red inalámbrica en el proceso que también se explica enseguida.

Red ZigBee

ZigBee es un protocolo de comunicación inalámbrico basado en el estándar de comunicaciones, para redes inalámbricas bajo la norma IEEE 802.15.4 [Robert, 2010], [ZigBee, 2017], [Willing, 2006]. Fue creado por ZigBee Alliance [ZigBee, 2017], una organización, teóricamente sin intereses de lucro integrada por diferentes fabricantes de dispositivos electrónicos. ZigBee permite que dispositivos electrónicos de bajo consumo puedan realizar sus comunicaciones inalámbricas [Willing, 2006]. Es especialmente útil para redes de sensores en entornos

industriales, médicos, domótica, entre otros. El protocolo ZigBee ofrece características mejores con respecto a otros estándares, puesto que es protocolo está diseñado para el monitoreo de variables donde el tamaño de la información va de los 30 a 60 kbps, además de una larga duración en la vida de la batería que va de 2 a 3 años sin recambio debido a su modo de espera. Una red ZigBee la forman básicamente 3 tipos de elementos: un único dispositivo coordinador, dispositivo router y dispositivo final (end points). Los módulos XBee son dispositivos que integran un transmisor – receptor de ZigBee y un procesador en un mismo modulo, lo que permite a los usuarios desarrollar aplicaciones de manera rápida y sencilla. Los módulos XBee son versátiles a la hora de establecer diversas topologías de red, dependiendo de la serie XBee que se adquiera pueden crearse redes.

Elementos de una Red ZigBee

En una red ZigBee, cualquiera que sea su topología, debe contar con los siguientes elementos [Robert, 2010], [Batista, 2013]:

- *Coordinador*, que debe ser siempre único, pues es el encargado de asignar direcciones y administrar otras funciones que definen la red.
- *Router*, que es un nodo que además de tener las funciones de comunicación entre cualquier nodo, puede transferir información a otros nodos, esto sucede por lo general con nodos demasiado lejanos del coordinador (al usar al router como puente se logra tener comunicación siempre).
- *Dispositivo Final*, el cual, siempre que no se necesite un nodo con funciones de router, se podrá configurar de esta forma ganando con ello ventajas de menor consumo energético, pues un nodo configurado de esta forma tiene la posibilidad de pasar a modo de espera o “sleep”, lo cual disminuye considerablemente el uso de energía hasta el momento en que reciba señal de enviar o mandar información a otro nodo en la red. En este nodo normalmente se tiene la función de sensor o de actuador. En el caso de este proyecto, tiene la función de sensor.

Topologías de una Red ZigBee

Los tipos de topologías que pueden realizarse con el protocolo Zigbee se presentan en la figura 1:

- *Punto a Punto*: en una red punto a punto o par, es una red con solo dos radios o dos nodos. Debe de existir un coordinador en una red Zigbee por lo que uno de los dos nodos se debe configurar así. El otro nodo puede configurarse como Router o como Dispositivo final.
- *Estrella*: La arquitectura de red estrella consta de un coordinador en el centro de la red y los demás nodos están alrededor de él formando un círculo, comunicándose cada uno directamente con el coordinador, por la forma en que se comunican toma la forma de una estrella.

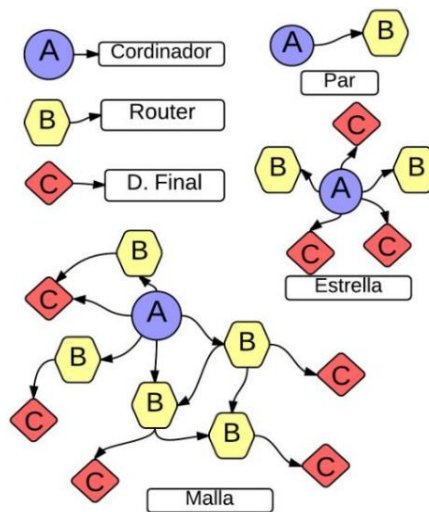


Figura 1 Topologías protocolo Zigbee.

- *Malla*: La configuración tipo malla utiliza los tres tipos de nodos en la red Zigbee, un coordinador para administrar la red, uno o varios enrutadores para pasar mensajes a otros nodos y por último uno o más dispositivos finales que sólo recibirán y mandarán información.

En este proyecto se desarrolla una red malla, comportándose como una red de área local que emplea una de dos disposiciones de conexión: puede ser topología de malla completa o topología de malla parcial.

En la topología de malla completa, cada nodo (estación de trabajo u otro dispositivo) está conectado directamente a cada a cada uno de los otros. En la topología de malla parcial, algunos nodos están conectados a todos los demás, pero algunos de los nodos están conectados sólo a aquellos nodos con los que intercambian mayor cantidad de datos, las conexiones para red malla pueden ser cableadas o inalámbricas.

Una red malla es confiable y ofrece redundancia. Si un nodo ya no puede funcionar, todo el resto todavía puede comunicarse entre sí, directamente o a través de uno o más nodos intermediarios.

Las redes de malla funcionan bien cuando los nodos se encuentran en puntos dispersos que no se encuentran cerca de una línea común, además al haber puntos intermediarios la distancia de alcance es mayor. En la figura 1, parte inferior, se presenta una conexión con topología en malla.

La tarjeta Arduino

La tarjeta Arduino [Arduino, 2017] está integrada de un microcontrolador Atmel provisto de entradas analógicas que permiten que funcione como una tarjeta de adquisición y acondicionamiento de señales, pues tiene integrada todos los elementos para que funcione como tal, siendo una gran ventaja el que se pueda configurar como el usuario desee a través de la IDE (Integrated Development Environment). Entre las ventajas de utilizarla se encuentran que existen librerías para trabajar con LabVIEW así como las tarjetas nodales XBee [XBee, 2017], de forma que se pueden incorporar para crear soluciones como la que se presenta en este trabajo.

Software LabVIEW

LabVIEW® (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje de programación gráfico para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control [LabVIEW, 2017]. Emplea la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques. Es intuitivo pues se emplean iconos, términos e ideas propias de científicos e ingenieros y se

apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las aplicaciones. Permite diseñar interfaces con el usuario mediante una consola interactiva basada en software. El usuario puede, además, diseñar especificando un sistema funcional, su diagrama de bloques o una notación de diseño de ingeniería, junto a una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de adquisición, medición y procesamiento de datos.

Descripción del proceso

En la figura 2 se muestra el diagrama del proceso que se desea instrumentar de forma inalámbrica, en él se desea controlar la temperatura de reacción en un reactor tipo batch RX-101 para hacer polimerizaciones en emulsión.

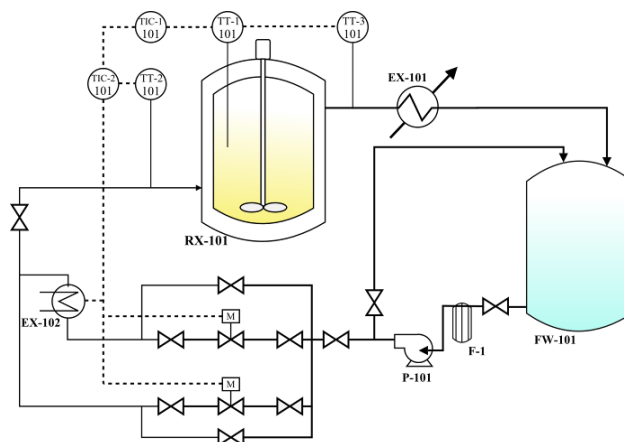


Figura 2 Diagrama de instrumentación y control del proceso de un reactor tipo batch.

La bomba P-101 succiona el agua del tanque de almacenamiento FW-101, donde se encuentra uno de los sensores que serán incorporados de forma inalámbrica, tratándose del sensor de nivel. De este tanque, el agua pasa a través del filtro F-1 para eliminar las impurezas, a la salida de la bomba se separan tres líneas: desfogue con reflujó hacia el tanque (para aliviar la presión cuando se cierran las válvulas automáticas); enfriamiento, con su respectivo bypass; y calentamiento (la cual pasa por el calentador EX-102), también con bypass.

Es en este calentador donde se tiene un sensor de corriente para medir la cantidad de potencia consumida para calentar. Después estas dos líneas se unen

para ir hacia la chaqueta del reactor RX-101. Estas dos líneas tienen dos válvulas automáticas, en esta parte hay una corriente de derivación la cual contiene una válvula de esfera que funciona en forma manual en caso de que la válvula automática esté fuera de servicio. En el reactor hay tres sensores de temperatura: uno en el interior del reactor (TT-1), uno a la entrada (TT-2) y otro a la salida de la chaqueta (TT-3). El sensor a la entrada (TT-2) es el que se sustituye por uno inalámbrico. La línea de salida pasa por un intercambiador de calor (EX-101) para que el flujo de ésta sea enfriado y se pueda re-circular al tanque de almacenamiento sin alterar la temperatura del refrigerante.

Para realizar el monitoreo de este proceso se utilizaron tres sensores, para medir cada variable indicada en la descripción del proceso (nivel de agua en el tanque, temperatura a la salida del reactor, corriente de calentamiento), además de 4 XBee S2 [XBee, 2017] (un coordinador/router y tres dispositivos finales) y una tarjeta Arduino [Arduino, 2017]. Se implementó una red inalámbrica con topología en malla, en donde cada sensor conectado a una XBee S2 será un nodo remoto o (RTU por sus siglas en inglés), que se encargará de hacer la adquisición de datos del proceso. La XBee es una unidad integrada de un microcontrolador y su principal tarea es la de recopilar datos en un área remota y transferirla a una estación central donde pueda procesar la información obtenida. En la figura 3 se presenta el esquema general de la red, mostrando cómo quedan conectados y distribuidos cada parte de la red para comunicarse y monitorear el proceso a través de la PC.

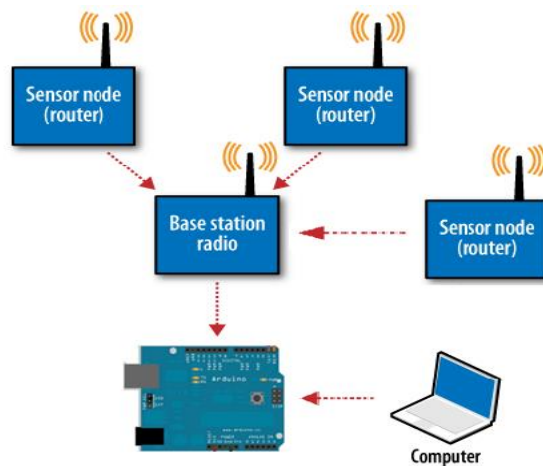


Figura 3 Esquema general de la red.

En la figura 4 se presenta el diagrama de flujo donde se indican las acciones que son realizadas desde la adquisición de datos, hasta la visualización en la PC. Para realizar esto fue esencial caracterizar los tres sensores (temperatura, corriente y ultrasonido). Es importante indicar que se realiza el mismo procedimiento para cada sensor y que en el caso de la figura 4, se presenta lo relativo a la temperatura.

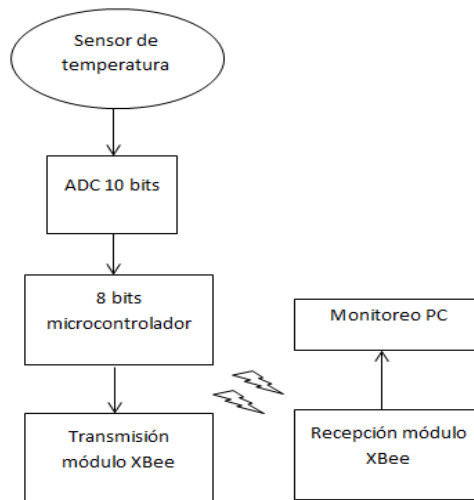


Figura 4 Diagrama de flujo para la adquisición de datos, hasta la visualización en la PC.

Para cada uno de los sensores se realizan pruebas y se caracterizan para determinar su curva de respuesta tomando en cuenta la ficha técnica [13] para conectarlo en su forma básica y así realizar las pruebas. Posteriormente se obtienen las curvas que serán incorporadas en el programa que realiza el procesamiento de los datos para linealizar y presentar mediciones de forma calibrada. En la figura 5 se muestra el sensor LM35 [LM35, 2017] utilizado para la medición de la temperatura dentro del proceso bajo estudio.

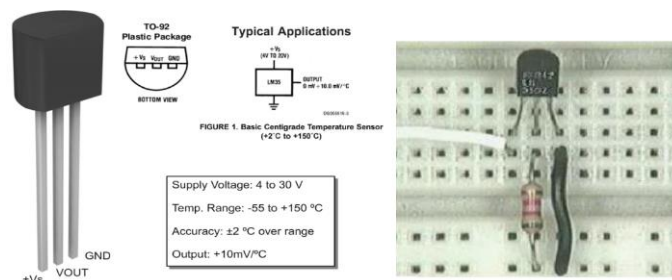


Figura 5 Dispositivo LM35 para medir temperatura y su conexión para caracterización.

Configuración del Sistema

En la figura 6 se muestran los pasos requeridos para la configuración del sistema de monitoreo por medio de LabVIEW [LabVIEW, 2017] a través de su interface para Arduino.



Figura 6 Configuración del sistema.

Los dos primeros pasos consisten en la instalación de los drivers de comunicación serial NISA-VISA y el administrador de paquetes (VIMP). Ambos descargados de manera gratuita desde la página web de National Instruments [LabVIEW, 2017]. En la figura 7 se aprecia la ventana principal del administrador de paquetes (VIMP). Desde él se pueden descargar e instalar diferentes tipos de añadidos para LabVIEW, uno de esos es el complemento “LabVIEW Interface for Arduino” (LIFA).

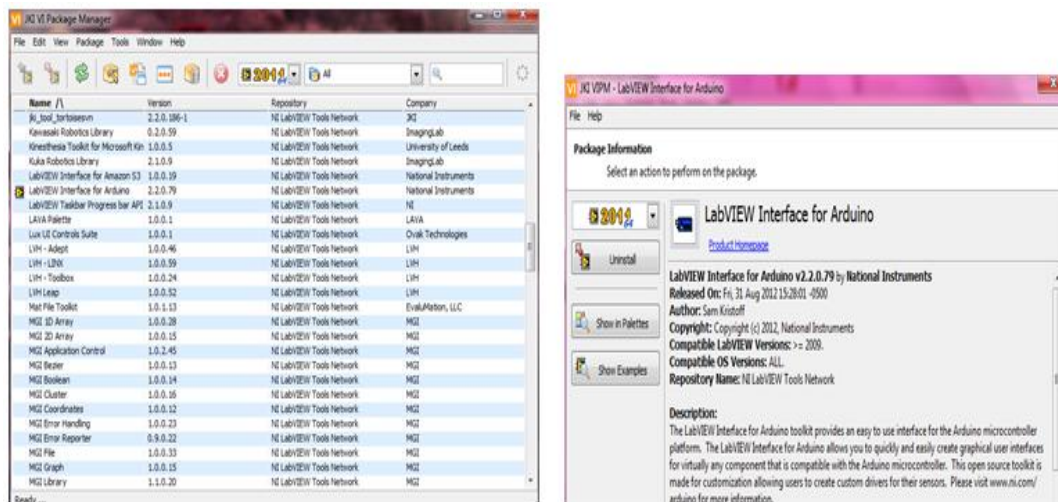
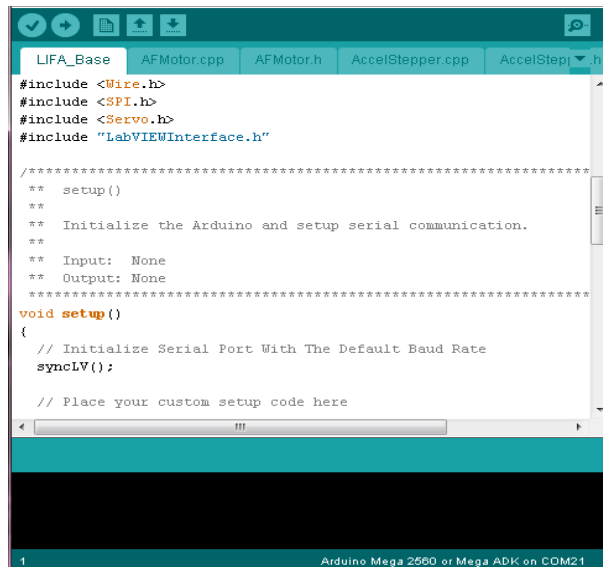


Figura 7 Interfaz principal de VIMP (izquierda); instalación de LIFA (derecha).

Al añadir LIFA a LabVIEW, figura 7 (derecha), se habilitan los bloques funcionales en LabVIEW para trabajar con Arduino. Además, LIFA provee una unidad de código para Arduino, el cual le permite a éste comunicarse con LabVIEW y ser programado desde él, dicho código debe ser cargado al Arduino desde su entorno

de programación, como muestra la figura 8. Esta parte representa la tercera etapa mostrada en la figura 6. Para la última etapa de esa misma figura, se procede como se indica en el siguiente apartado, pues consiste en la adquisición de los datos provenientes de los módulos XBee.



```
LIFA_Base | AFMotor.cpp | AFMotor.h | AccelStepper.cpp | AccelStepper.h
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <Servo.h>
#include "LabVIEWInterface.h"

/**
 * setup()
 * Initialize the Arduino and setup serial communication.
 * Input: None
 * Output: None
 */
void setup()
{
  // Initialize Serial Port With The Default Baud Rate
  serial.begin(9600);

  // Place your custom setup code here
}
```

Figura 8 Configuración de la tarjeta Arduino a través de su IDE.

Implementación de la Red Inalámbrica

Una vez descrita la configuración necesaria para el sistema propuesto, se procede a realizar la implementación mediante una aplicación básica que demuestre el funcionamiento de este. La aplicación consiste en la lectura remota de tres sensores (temperatura, corriente y ultrasonido) a través de 4 XBee S2. La señal provista por cada sensor es enviada inalámbricamente por tres XBee S2 transmisores hacia otro XBee S2 (coordinador) que recibe la señal enviada anteriormente, este XBee S2 se encuentra conectado a un Arduino, que se encargara de enviar la información recibida al software LabVIEW, ver figura 9 (derecha); donde se aprecia la forma de la señal recibida. En la figura 10 se observa el diagrama del primer sensor (temperatura LM35). Su salida es lineal y corresponde a un factor de escala de 10 mV/°C. Los demás sensores se conectan de forma similar y se les asigna una dirección para que puedan comunicarse hacia el XBee receptor.

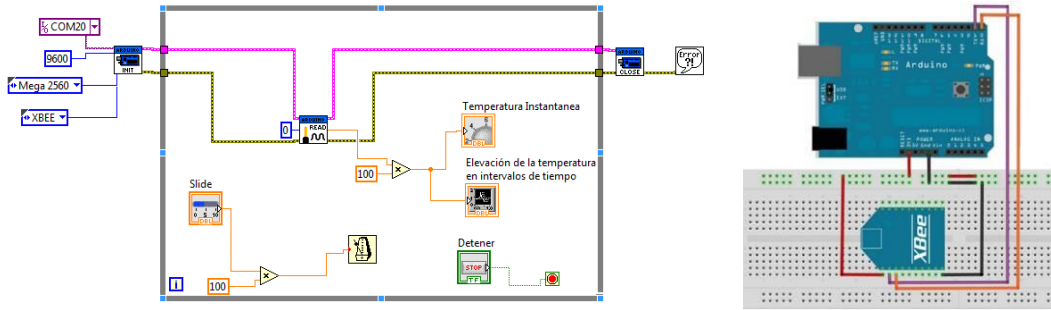


Figura 9 Diagrama de bloques en LabVIEW para lectura de temperatura (izquierda); conexión de la comunicación XBee (derecha).

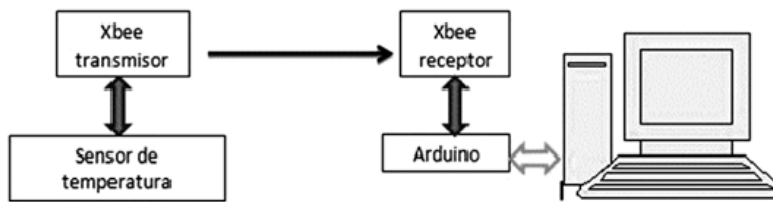


Figura 10 Esquema general del sensor de temperatura.

Al igual que LabVIEW, la API (application programming interface) de Arduino permite la configuración de puertos para recibir y enviar señales a través de XBee. La configuración se realiza a través de un escaneo general para definir la conectividad entre nodos XBee y establecer los tiempos de muestreo para estar registrando datos en los sensores asociados a cada nodo. Esta configuración requiere también el uso de la API de XBee, denominada X-CTU [CTU, 2017], la cual se muestra en la figura 11.

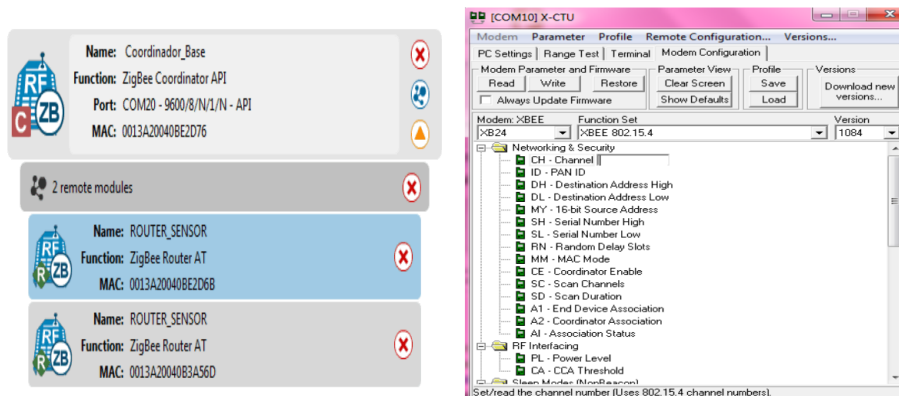


Figura 11 API de reconocimiento de nodos y configuración de nodos XBee.

La comunicación entre Arduino y el módulo XBee RTU (receptor) se realiza a través del puerto serial en los terminales Tx y Rx, con la finalidad de realizar la lectura de cada sensor. Para esto se desarrolló un software bajo lenguaje de bloques de alto nivel como se observa en la figura 9, que muestra un diagrama de bloques que forma parte de la interfaz gráfica de LabVIEW (panel frontal), que enlaza con la tarjeta Arduino. La porción presentada consta de un bloque para la lectura de valores analógicos desde el Arduino, permitiendo medir el voltaje proporcionado por el sensor de temperatura (transmitido inalámbricamente).

3. Resultados

Como se mencionó previamente, se realizaron las validaciones de los sensores a través de la caracterización de cada uno. La curva característica del sensor de temperatura se muestra en la figura 12.

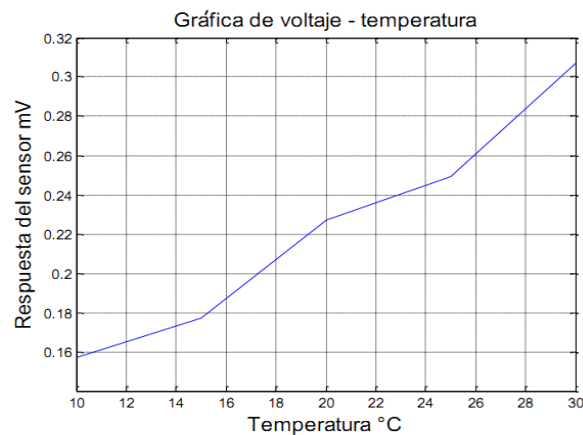


Figura 12 Respuesta característica del sensor LM35 usado para medir temperatura.

Los resultados de las pruebas realizadas al sensor de distancia (para medir nivel dentro del proceso) [SRF, 2017] se muestran a través de la gráfica casi lineal en la figura 13.

Para el sensor de corriente [CSLW, 2017] (que se utiliza para medir de forma indirecta la potencia requerida para realizar la reacción) se realizaron de forma similar pruebas para poder caracterizarlo (curvas de funcionamiento). En la figura 14 se muestra este gráfico, así como también el montaje de prueba realizado.

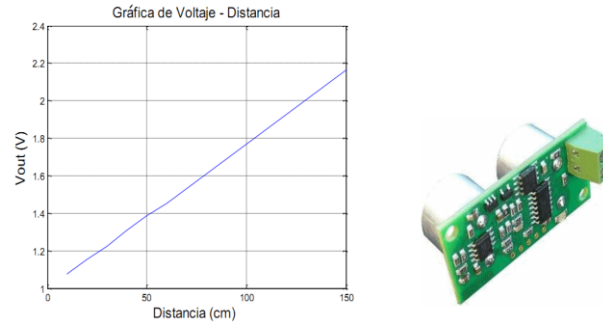


Figura 13 Caracterización del sensor ultrasónico SRF06 [16] usado para medir nivel.

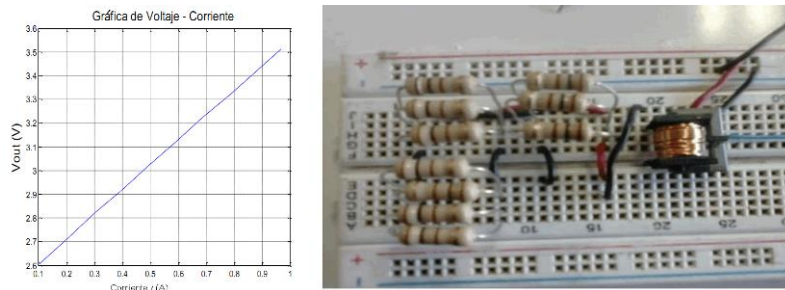


Figura 14 Respuesta característica del sensor CSLW6B1 [17] usado para medir corriente.

La incorporación final de los sensores permite un monitoreo integral en donde se observa cada variable de interés y, en el caso de mediciones cuando se controla alguna de estas variables, se obtienen los datos en línea de las mismas mostradas a través de la interfaz desarrollada, tal como se muestra en la figura15.

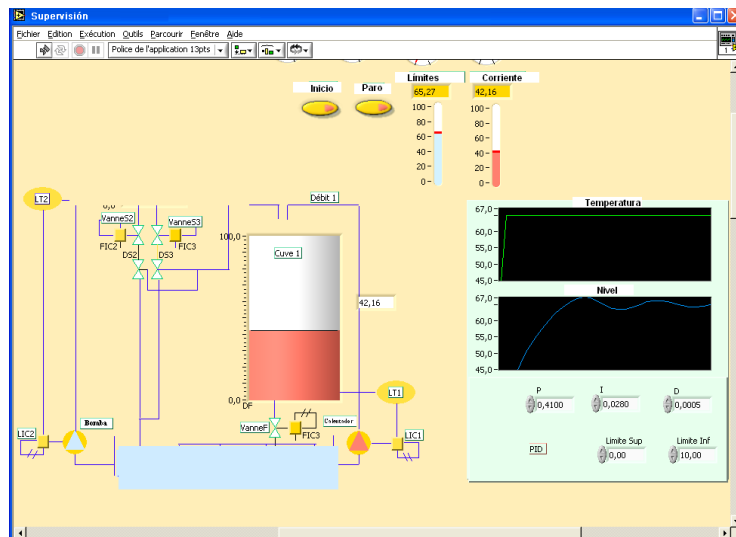


Figura 15 Respuesta característica del sensor CSLW6B1 [17] usado para medir corriente.

Finalmente se presenta en la figura 16, la respuesta del proceso cuando se realizan variaciones de temperatura regulares dentro del reactor, el cual se define como un perfil de temperatura a seguir por la resistencia calefactora, dentro del lazo de control. En el gráfico, se nota que las mediciones se realizan satisfactoriamente para un periodo de muestreo de 1s. La línea continua muestra la señal medida obtenida del sensor montado en la XBee, la señal punteada es el perfil por seguir.

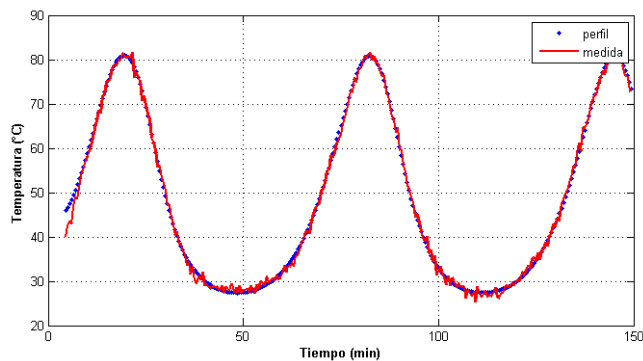


Figura 16 Monitoreo de la variable de temperatura en el proceso batch considerado.

4. Discusión

Se generó como resultado principal un dispositivo programable capaz de detectar señales de sensores ubicados a distancias considerables, lo que permite evitar uso de conexiones alambradas en zonas de proceso alejadas de zonas de monitoreo, garantizando así la supervisión del proceso batch. La distancia depende del tipo de XBee utilizado en el proceso. En la propuesta desarrollada, se busca obtener los beneficios de las redes inalámbricas, que incluyen la fiabilidad, reducción de riesgos y facilidad de instalación de forma inalámbrica. En esta propuesta se observa que los resultados son satisfactorios al lograr sustituir los sensores alámbricos por inalámbricos, pues el monitoreo se efectúa de forma normal. El uso de una tarjeta Arduino permitió desarrollar el proyecto de instrumentación industrial a un bajo costo, sin disminuir la calidad de lo que se requiere. La comunicación inalámbrica realizada con XBee S2 fue lograda con éxito, no hubo perturbaciones a excepción de un deterioro de la señal cuadrada

observada en LabVIEW; quizá esto se deba a una alta sensibilidad de la tarjeta XBee respecto a los cambios de voltaje en intervalos cortos de tiempo, o debido a interferencias en la comunicación inalámbrica, sin embargo, sería prudente en un futuro estudiar el por qué de ese cambio en la señal y así corregirlo.

5. Conclusiones

Un sistema inalámbrico utilizando el protocolo ZigBee permite ser aplicado al monitoreo de variables de interés, en el caso de este trabajo se implementó para supervisar y controlar un proceso batch que ya contaba con sensores conectados físicamente por cables, lo cual, por el tipo de proceso, disminuía la seguridad y fiabilidad en las mediciones al estar los cables en contacto con otro instrumental no electrónico. La implementación de forma inalámbrica del monitoreo del proceso batch por medio del protocolo ZigBee, permite que dispositivos electrónicos de bajo consumo puedan realizar comunicaciones inalámbricas. Las comunicaciones ZigBee se realizan en la banda libre de 2.4 GHz a una velocidad de 250 kbps además de ofrecer muchas ventajas como bajo consumo de energía, fácil instalación y larga duración de las baterías (pilas AA para una duración de 2 a 3 años sin recambio). La solución propuesta funciona hasta una distancia de 150 m, lo que permite ubicar la computadora en una zona incluso diferente del edificio donde se encuentra el proceso.

Trabajos futuros consideran el uso de la red para envío de la información a dispositivos móviles y respaldo en la nube para monitoreo externo en línea, así como incorporar control en línea que se ejecute en los mismos nodos finales. Otro interés futuro es medir la capacidad de la red dentro de la misma institución para mediciones locales confiables, así como la incorporación de otras variables asociadas al proceso e incluso otros procesos (más sensores) que se tienen dentro de la institución.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Akyildiz I.F., W. Su; *Wireless sensor networks: a survey*. Computer Networks, pp. 393-422, 2002.

- [2] Arduino, <https://www.arduino.cc>, 2017.
- [3] Batista, N.; Melício, R.; Matias, J. & Catalão, J., Photovoltaic and wind energy systems monitoring and building/home energy management using ZigBee devices within a smart grid. *Energy*, 49, pp. 306-315, 2013.
- [4] Boquete L., Cambralla R., Rodríguez-Ascariz J.M., Miguel-Jiménez J.M., Cantos-Frontela J.J., Dongil J., Portable system for temperature monitoring in all phases of wine production. *ISA Transactions*, 49, pp. 270-276, 2010.
- [5] Configuration Platform for XBee/RF Solutions-Digi: www.digi.com/products/XBee-rf-solutions/xctu-software/xctu, 2017.
- [6] CSLW Series, <http://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-cslw-series-sheet-005861-1-en.pdf>, (Último acceso: mayo 2017), 2017.
- [7] Kuang-Yow Lian, Sung-Jung Hsiao, Wen-Tsai Sung; Intelligent multi-sensor control system based on innovative technology integration via ZigBee and Wi-Fi networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 36, pp. 756-767, 2013.
- [8] LabVIEW System Design Software: www.ni.com/labVIEW/, 2017.
- [9] LM35: Temperature Sensor: www.ti.com/product/LM35, 2017.
- [10] Lopera, J.; Díaz, A.; Baizán, P.; Rendueles, J.; Pérez, J. & Ema, L. Monitoring roll chock temperature. *IEEE Industry Applications Magazine*, 18, pp. 32-37, 2012.
- [11] Puccinelli, D., Haenggi, M.; *Wireless Sensor Networks: Applications and Challenges of Ubiquitous Sensing*. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 18, pp. 32-37, 2005.
- [12] Robert F., *Building Wireless Sensor Networks: with ZigBee, XBee, Arduino, and Processing*, O'Reilly, 2010.
- [13] Rodríguez E., Aceves-Fernández M.A., Ramos-Arreguín J.M., Tovar-Arriaga S., Pedraza-Ortega J.C. & Vargas J.E., Design and Implementation of an Embedded Wireless System to Monitor a Hall-Effect Gas Sensor at Household. 9th Electronics, Robotics & Automotive Mechanics Conference, 2012.
- [14] XBee: www.digi.com/lp/XBee, 2017.

- [15] Shu-guang M.A., Construction of Wireless Alarm System Based on ZigBee Technology. 5th Conference on Performance-based Fire and Fire Protection Engineering. *Procedia Engineering*, vol. 11, pp. 308-313, 2011.
- [16] SRF06 Technical Documentation, www.pishrobot.com/files/products/datasheets/srf06.pdf, 2017.
- [17] The ZigBee Alliance: www.zigbee.org/, 2017.
- [18] Willig, A.; Wireless sensor networks: concepts, challenges and approaches *Elektrotechnik, Infor mationstechnik*, 123, pp. 224-231, 2006.