

SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA EN RED

Ricardo Godínez Bravo

Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco

rgb@correo.azc.uam.mx

Miguel Magos Rivera

Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco

mrm@correo.azc.uam.mx

Resumen

Algunas de las materias primas empleadas en la industria del plástico son almacenadas en recintos con temperatura controlada ya que pueden reaccionar exotérmicamente si se presenta un incremento térmico. Con el fin de proporcionar una solución a la medida para una empresa productora de polímeros, se realizó el diseño y la construcción de un sistema de monitoreo de temperatura para cuartos térmicos funcionando en red. Los equipos desarrollados cuentan con elementos que visualizan y alertan, de forma local y remota, cuando la temperatura en algunos de los puntos de monitoreo sale del intervalo correcto. Una interface de computadora desarrollada, además de desplegar los valores de las variables, se encarga de enviar correos electrónicos a usuarios designados para señalarles una situación de peligro. La comunicación entre los dispositivos se realiza mediante una red Ethernet. Los equipos construidos tienen más de 18 meses operando adecuadamente, lo que ha permitido incrementar la seguridad al proporcionar un monitoreo permanente de los cuartos fríos de almacenamiento.

Palabras Claves: Interface de usuario, Microcontrolador, Monitoreo de temperatura, Red Ethernet.

Abstract

Some of the raw materials used in the plastics industry are stored in rooms with controlled temperature. This is because they can react exothermically if a thermal

increase occurs. In order to provide a customized solution for a polymer company, the design and construction of a temperature monitoring system for thermal rooms operating in a network was carried out. The developed equipment has elements that visualize and alert, locally and remotely, when the temperature in some of the monitoring points leaves the correct interval. A developed computer interface, in addition to displaying the values of the variables, is responsible for sending emails to designated users to indicate a dangerous situation. The communication between the devices is made through an Ethernet network. The equipment built has more than 18 months operating properly. This has increased safety by providing permanent monitoring of cold storage rooms.

Keywords: *Ethernet network, Microcontroller, Temperature monitoring, User interface.*

1. Introducción

Empresas dedicadas a la fabricación de polímeros emplean en sus procesos diversas resinas y catalizadores; estos materiales, debido a propiedades químicas, pueden reaccionar exotérmicamente bajo diversas situaciones: agitación, iluminación, calentamiento, etc. Los materiales empleados en esta rama industrial son altamente combustibles por lo que su almacenamiento requiere de normas de seguridad muy estrictas. Las materias primas, en las industrias dedicadas a la fabricación de materiales plásticos, se encuentran generalmente almacenadas en cuartos con temperatura controlada. Lo anterior para evitar una posible reacción química que degrade sus propiedades o que provoque su combustión [García, 2013].

La empresa para la cual se desarrolló el proyecto que se describe en este trabajo, se dedica a la fabricación de diversos termoplásticos moldeables que son la base para la elaboración de componentes utilizados en la industria automotriz, eléctrica y de productos electrodomésticos, por mencionar algunas. La fabricación de este material se realiza mezclando diversos materiales tales como: resinas, catalizadores y fibras. Una de las plantas de esta empresa, ubicada en una de las zonas industriales de la Ciudad de México, cuenta con diversos almacenes tanto

de materia prima como de producto terminado. En estos espacios se encuentran instalados sistemas cuyo único objetivo es mantener la temperatura dentro de rangos seguros, esto es, no cuentan con mecanismos de despliegue de información, ni de alerta en caso de alarma.

Con la finalidad de aumentar la seguridad, tanto de su personal como de sus instalaciones, la empresa decidió diseñar y construir, en colaboración con el Departamento de Electrónica de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, un sistema de monitoreo y alarma para los cuartos fríos de la empresa. El aparato a desarrollar debería trabajar en forma complementaria al sistema de control existente, esto es, operaría como un equipo que permitiría el monitoreo, de forma local y remota, de la temperatura controlada. Así mismo, debería alertar, también en forma local y remota, cuando la variable se encuentre fuera de los rangos adecuados.

En forma local, el aparato cuyo diseño y construcción se presenta en este documento, permite la visualización de la temperatura mediante indicadores numéricos que pueden ser leídos a una distancia mínima de 10 metros. Así mismo, los equipos cuentan con indicadores luminosos que permiten alertar al personal cuando el valor de la temperatura ha salido de los intervalos correctos de operación. La figura 1 muestra una imagen con uno de los aparatos instalados al exterior de uno de las bodegas de producto en la planta.



Figura 1 Vista de uno de los equipos instalado en la planta.

En forma remota, el equipo cuenta con dispositivos que le permiten comunicarse, vía red Ethernet, con computadoras en la planta. Es de esta manera que, con un programa previamente instalado, es posible observar en la pantalla de la computadora las temperaturas de los aparatos conectados en la red de monitoreo. La figura 2 presenta la imagen de una sección de la pantalla de la computadora con los valores de las temperaturas leídas en tiempo real por los equipos distribuidos en la planta.



Figura 2 Pantalla de monitoreo de temperaturas del programa de cómputo.

El programa de cómputo desarrollado permite, no sólo monitorear las temperaturas, sino que también tiene la función de enviar un correo electrónico señalando al personal involucrado con la seguridad de la planta respecto a una situación de alarma debido a un valor fuera de rango.

En el mercado existen equipos con características similares a las del sistema diseñado. La compañía Etherpower ofrece el modelo SUN-2232 [Etherpower, 2015], mientras que Xytronix Research & Design, Inc., tiene el módulo de monitoreo de temperatura X-DAQ [Xytronix Research & Design, Inc., 2016]. Ambos equipos permiten el monitoreo remoto de temperatura mediante algún navegador web. El acceso a la información se encuentra protegido mediante claves de seguridad. Al igual que el equipo que se describe en este artículo, estos aparatos envían mensajes de correo electrónico y permiten, mediante un programa de las mismas empresas, desplegar y almacenar el comportamiento de la temperatura. Sin embargo, estos dispositivos no cuentan con elementos de visualización y alertas locales.

Existen opciones que proporcionan indicación local de la temperatura, la empresa Omega cuenta con el modelo ILD44-UTP [Omega Engineering Inc., 2014],

mientras que Laurel Electronics Inc., propone la serie M24 [Laurel Electronics Inc., 2016]. Ambos equipos tienen indicadores numéricos de 100 mm de altura. En forma estándar, ninguno de los dos aparatos cuenta con funciones de comunicación, esta es una opción adicional. Lo anterior implica que el monitoreo y alerta remoto debe ser implementado con herramientas adicionales.

Así mismo, en la literatura se encuentran diversos desarrollos relacionados con el monitoreo en red de temperatura. En [Silveira et. al., 2016], se presenta un sistema de monitoreo de temperatura empleando una red de tipo WLAN. El dispositivo que se presenta, se basa en el principio del Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) para proporcionar una lectura de temperatura en forma remota. El aparato no está diseñado para alertar, ni local ni remotamente, sobre funcionamiento fuera de rango. En [Wen-Tsai et. al., 2011], se presenta un sistema de monitoreo remoto de diversas variables existentes en una industria. En este caso la comunicación es mediante una red inalámbrica tipo ZigBee. De la misma manera que en el caso anterior, el dispositivo no cuenta con elementos para alertar que algún valor de las variables consideradas se encuentra fuera de rango.

2. Métodos

Con el objetivo de facilitar la explicación relacionada al diseño y construcción del sistema, este puede dividirse en varios bloques funcionales, mismos que se muestran en el diagrama de la figura 3 y que se describen en esta sección del artículo.



Figura 3 Diagrama de bloques del sistema desarrollado.

Proceso

- **Controlador Red Lion.** En el recinto a monitorear se colocó un termopar tipo k, el cual está conectado a un controlador de temperatura modelo T48 de la marca Red Lion [Red Lion Controls, 2007]. Se trata de un controlador de temperatura en encapsulado 1/16 DIN que acepta distintos tipos de termopares y RTD. El funcionamiento del controlador se configura mediante un conjunto de botones y dos juegos de indicadores de 7 segmentos. El modelo empleado en esta aplicación cuenta con un puerto serial RS-485 que le permite transmitir información sobre su operación, en particular, la temperatura monitoreada. La figura 4 muestra una imagen del controlador empleado.



Figura 4 Controlador modelo T48 de la compañía RedLion empleado.

En esta aplicación, el controlador está configurado para enviar en forma permanente una cadena de caracteres dentro de la cual se encuentra el valor de la temperatura. Los parámetros de comunicación empleados en esta aplicación son: 9600 Baudios, sin paridad, 8 bits de datos y 1 bit de parada; se asignó la dirección “1” para el puerto de red 1 del dispositivo.

- **Recepción de Datos.** El formato de la cadena de datos que el controlador envía por su puerto está definido por el fabricante, la estructura del mismo se muestra en la figura 5:
 - ✓ **Dirección Nodo:** aquí se señala la dirección del equipo al cual se le solicita la información, se trata de un número que varía entre 00 y 99.
 - ✓ **Espacio:** corresponde al caracter ASCII que representa un espacio.

- ✓ **Identificador de Parámetro:** este conjunto de tres caracteres indica el parámetro que se está enviando, la opción para temperatura es “TMP”.
- ✓ **Signo:** este carácter indica el signo del valor numérico que se está enviando.
- ✓ **Dato, Parte Entera:** por medio de tres caracteres, el controlador envía la parte entera del valor numérico del parámetro solicitado.
- ✓ **Punto:** este carácter corresponde al punto decimal del valor numérico enviado.
- ✓ **Dato, Parte Decimal:** este carácter corresponde al único dígito después del punto decimal que el controlador envía del valor numérico del parámetro solicitado.
- ✓ **Unidades:** Corresponde a las unidades de ingeniería del valor numérico del parámetro solicitado.
- ✓ **Retorno de Carro:** corresponde al carácter ASCII que representa un retorno de carro.
- ✓ **Salto de Línea:** corresponde al carácter ASCII que representa un salto de línea.

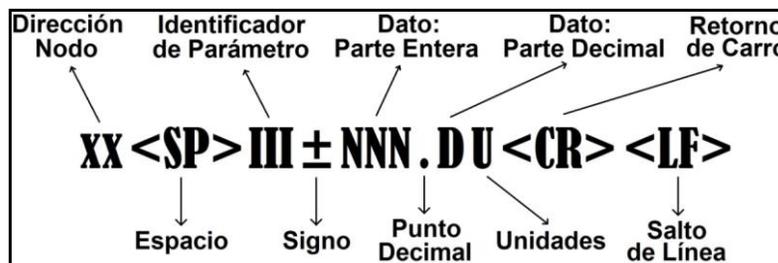


Figura 5 Formato de la cadena de recepción de datos.

Sistema Electrónico

- **Convertidor RS-485 a TTL.** Este bloque, basado en el circuito MAX485, tiene como función convertir los niveles de voltaje que envía el puerto serial del controlador a niveles TTL con los cuales trabaja el sistema digital.
- **Convertidor TTL a Ethernet.** Esta etapa del sistema permite la conexión Ethernet del sistema electrónico. El dispositivo empleado es el modelo NE-

4100T de la compañía Moxa Inc., se trata de un módulo electrónico servidor serie a Ethernet 10/100 Mbps embebido [Moxa Inc., 2008]. Se pueden seleccionar modos de operación tales como: Real COM, TCP Cliente, TCP Servidor y UDP, lo que facilita su integración a una red ya establecida. Su tamaño es de 45 x 36 mm y se alimenta con 5 vdc con un consumo de 1.5 W. Las señales de operación y comunicación están disponibles en un par de tiras de terminales de 13 contactos cada una. La figura 6, muestra una imagen de este dispositivo.



Figura 6 Módulo convertidor NE4100T de Moxa Inc.

El modo de operación, los parámetros de comunicación con el sistema digital y la dirección IP, entre otros valores, son configurados mediante una serie de ventanas almacenadas en la memoria del dispositivo y a las cuales se puede tener acceso mediante algún navegador. Para esta aplicación, el módulo se configuró para trabajar en modo Real COM. La información de la temperatura es enviada a este dispositivo por el microcontrolador a 9600 Baudios, sin paridad, 8 bits de datos y 1 bit de parada. Los parámetros de red también son configurados para este elemento: IP, máscara y puerto de enlace. El valor de la temperatura es enviado al módulo mediante una cadena de 6 bytes en formato ASCII:

[Decenas][Unidades][.][Decimas][CR][LF]

- **Sistema Digital.** El bloque central del sistema electrónico es el sistema digital. Este bloque es el encargado de recibir y decodificar la cadena de caracteres enviada por el controlador de temperatura y convertida a formato TTL por el convertidor RS-485-TTL. A su vez, conforma la cadena de

información que debe transmitirse vía el convertidor TTL-Ethernet. Este mismo bloque genera las señales hacia el conjunto de indicadores numéricos de 7 segmentos, así como a los indicadores de estado, que señalan si la variable de interés se encuentra dentro o fuera del rango correcto. La base de esta etapa es el microcontrolador AT89S52 de ATMEL. Este dispositivo contiene una CPU de 8 bits, 8K Bytes de memoria tipo Flash, 256 Bytes de memoria RAM, 4 puertos de 8 bits bidireccionales para entrada y salida en paralelo, los cuales pueden ser direccionados por bit; contiene señales de control para comunicación serial, 3 temporizadores/Contadores de 16 bits, terminales para detectar interrupciones externas y puede trabajar como procesador con una capacidad de direccionamiento de hasta 64K de memoria externa ROM y RAM, además de contar con un puerto serie de tipo "FULL DUPLEX", el cual se emplea en esta aplicación para comunicarse con el Controlador de Temperatura y la red local LAN, lo anterior multiplexando sus líneas de comunicación. En la figura 7 se muestra en forma simplificada el diagrama de flujo del programa desarrollado para el microcontrolador, mismo que se encuentra residente en memoria.

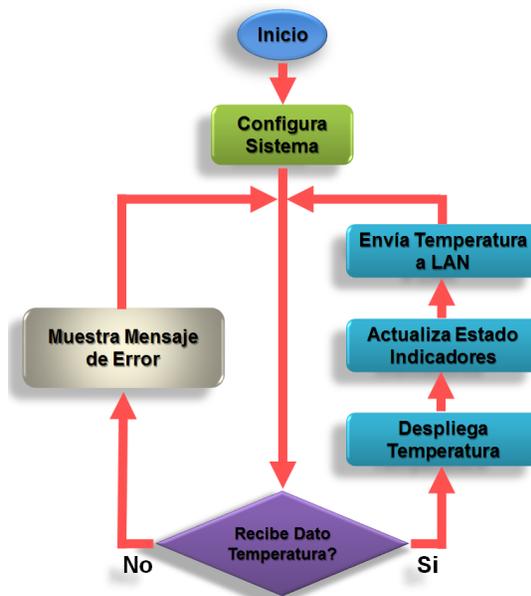


Figura 7 Diagrama de flujo del programa del microcontrolador.

Se observa como el microcontrolador se encuentra en un ciclo infinito leyendo el dato que el controlador le envía. La condición de error se basa en un intervalo de tiempo, si un dato no llega pasado el período establecido, se despliega un código de error en los indicadores numéricos. Si el dato es recibido dentro del tiempo programado, se procede a desplegarlo en los indicadores numéricos, se actualiza el estado de los dos indicadores luminosos y se envía el valor a la red de área local.

Indicadores

- **Numéricos.** El equipo cuenta con tres indicadores numéricos de 7 segmentos de 3 pulgadas de alto, los cuales permiten la visualización de la temperatura para un monitoreo local de la misma. Este conjunto de indicadores permite desplegar el valor de la temperatura ambiente al interior del espacio a monitorear con la precisión de una décima de grado centígrado y a una distancia de por lo menos 10 metros.
- **Luminosos.** Adicionalmente se incluyó un indicador luminoso de color verde y otro amarillo. En forma local, el primero señala si la temperatura se encuentra dentro del rango seguro, mientras que el segundo indica una situación de precaución debido a una temperatura ligeramente fuera del intervalo correcto. Cabe mencionar que el equipo cuenta con un relevador el cual es activado cuando la temperatura se encuentra en un valor de peligro. Los contactos de este elemento pueden ser empleados para activar una alarma sonora y/o luminosa que alerte de la situación a zonas remotas de la planta.

Programa de Cómputo

Como ya se mencionó, uno de los requisitos planteados para este equipo, era la posibilidad de monitorear en forma remota la temperatura en los recintos bajo supervisión. Para esto se desarrolló una interface para computadora en Visual Basic. En la figura 8 se muestra el diagrama de flujo del programa elaborado.

El programa de cómputo está diseñado para poder leer la información de varios monitores de temperatura, siempre y cuando estos se encuentren conectados a la

misma red. Por lo anterior, la primera acción que se realiza al arrancar la aplicación, es seleccionar a cuál de los equipos conectados se le solicitará la información. Posteriormente, una vez que se ha establecido comunicación con el servidor de red, se lee el valor de la temperatura, la cual es desplegada en los indicadores de texto de la interface. Si el valor de la variable se encuentra fuera de rango, se ejecuta la subrutina encargada de enviar correos electrónicos señalando la situación a las direcciones previamente configuradas. El programa se encuentra en un ciclo infinito realizando las acciones descritas, lo anterior, hasta que el usuario decide cerrar la aplicación.

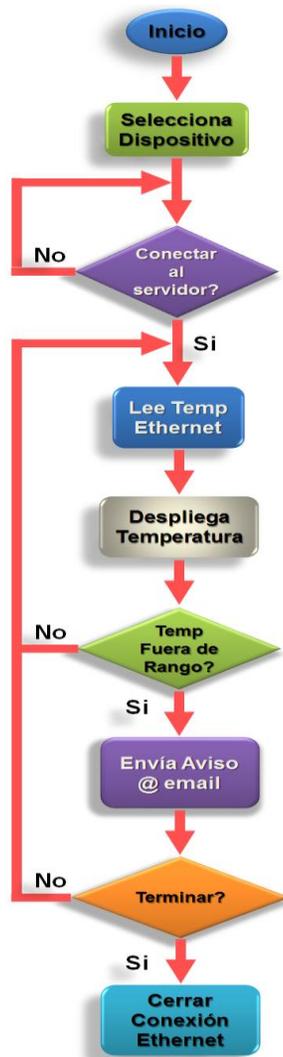


Figura 8 Diagrama de flujo del programa en Visual Basic.

3. Resultados

El resultado que se presenta de este proyecto es el equipo físico y la interface desarrollada. Una vez que el diseño de las distintas partes del equipo fue realizado, se procedió a construir el módulo, el cual se encuentra dentro de un gabinete, así como a elaborar el programa de cómputo. En esta sección del artículo, se presentan los resultados obtenidos.

Monitor de Temperatura

Se diseñaron y construyeron dos tarjetas electrónicas, la primera de ellas corresponde al sistema electrónico. En esta se encuentran los elementos asociados al sistema digital, así mismo, en esta tablilla se ubicaron los convertidores RS-485 a TTL y TTL a Ethernet. La segunda tarjeta soporta los tres indicadores numéricos de 7 segmentos. La primera de las tarjetas se encuentra instalada en una platina al interior del gabinete, mientras que la correspondiente a los indicadores se colocó al frente del mismo. La conexión entre las dos tarjetas se realiza mediante un conector de cable plano.

Adicionalmente se tiene una fuente de 24 VDC, la cual alimenta los distintos elementos del equipo, así como un interruptor de perilla que permite el encendido del equipo. El gabinete empleado es el modelo CRN-3025/150 de la marca Himel, se trata de un gabinete metálico con puerta y platina interior, sus dimensiones externas son: 300 x 250 x 150 mm. La figura 9 muestra una vista del interior del gabinete con los elementos instalados.



Figura 9 Vista del interior del monitor de temperatura construido.

En la imagen se observa al lado izquierdo el interior del gabinete. Se tiene en la parte superior la fuente de voltaje, así como un conjunto de clemas que facilitan las conexiones y el mantenimiento del equipo. Del mismo lado, pero en la parte inferior se encuentra la tarjeta electrónica correspondiente al sistema electrónico. En el lado derecho de la imagen se tiene la parte trasera de la puerta del gabinete. En esta se observa en la parte superior la tarjeta electrónica con los indicadores numéricos, mientras que en la parte inferior se tienen los indicadores luminosos que señalan localmente el estado de la variable monitoreada. Se observan también la parte posterior del controlador de temperatura, así como del interruptor del equipo. En la figura 10 se tienen dos vistas frontales del monitor de temperatura encendido, mientras que la figura 11 se muestran imágenes de dos monitores instalados en la planta.



Figura 10 Vistas frontales del monitor de temperatura construido.



Figura 11 Vistas de dos monitores instalados en la planta.

Interface de Monitoreo

La interface que se elaboró contempla la conexión de tres monitores de temperatura. La figura 12 muestra la vista de la pantalla de monitoreo por computadora del sistema desarrollado.



Figura 12 Pantalla de monitoreo de la interface desarrollada.

La ventana de la interface desarrollada es bastante sencilla. En la parte superior se despliega el logotipo de la empresa, en este documento se omitió por razones de propiedad industrial. En la parte inferior se despliegan tres campos en los cuales se muestra el valor de la temperatura en igual número de recintos. Se incluyó un indicador que señala cuando el equipo ha logrado conectarse a la red en la cual se encuentran los equipos.

4. Discusión

Anterior al desarrollo de este proyecto, la única forma de saber si había un problema era cuando el personal detectaba esta situación y verbalmente lo hacía saber a los responsables. En caso de alguna situación de peligro, una alarma era activada manualmente por el personal. Respecto al monitoreo de la temperatura, un empleado estaba encargado de leer cada dos horas termómetros instalados al interior de cada cuarto frío. La forma establecida de supervisar la temperatura, al ser dependiente de personas, implicaba demasiados riesgos, además de no ser funcional por las noches o en los días que la planta no tenía labores.

Los equipos construidos y descritos en este artículo han permitido a la empresa contar con un sistema de monitoreo y de alarma, tanto de forma local como remota, confiable. Lo anterior redundó en un incremento de la seguridad tanto para las instalaciones como para el personal. Debido a que desde el inicio de operaciones de la empresa nunca se ha presentado algún problema mayor con respecto al control de la temperatura en los cuartos fríos, no se puede cuantificar la ventaja de contar con los equipos construidos. El beneficio radica en contar con un sistema confiable que deja de ser dependiente del personal.

5. Conclusiones

Tomando en cuenta los requisitos propuestos por la empresa al momento de plantear el proyecto, se considera que los objetivos fueron alcanzados en forma adecuada. Al momento de redactar este artículo, se tienen instalados tres monitores de temperatura en igual número de puntos de la planta. Los equipos tienen cerca de 18 meses operando. Durante este período los aparatos han facilitado las tareas relacionadas con el monitoreo de la temperatura de forma local y remota. Respecto al sistema de alertamiento remoto se tiene el problema que éste es funcional solo si una persona se encuentra frente a la computadora y tiene abierta la aplicación. Así mismo, la opción de enviar correos electrónicos fue desactivada al poco tiempo de empezar a operar los equipos, lo anterior debido a que los rangos de operación para las temperaturas establecidos en los manuales de seguridad estaban demasiado reducidos generando constantemente envíos de mensajes.

Como trabajo a futuro se están elaborando nuevas versiones de los programas, tanto para el sistema electrónico, como para la interface, que contemplan comentarios realizados por el personal de la planta. Así mismo, se considera el manejo de la información de forma remota con ayuda de una página web, lo anterior permitiría a los usuarios el tener acceso a la misma, desde cualquier dispositivo capaz de conectarse a internet.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Etherpower, SUN 2232, Manual de usuario, Buenos Aires, Argentina, 2015.
- [2] García S., Recomendaciones, salud y seguridad en la manipulación de las resinas, Revista Iberoamericana de Polímeros, ISSN 1988-4206, Vol.14, No.5, Septiembre 2013.
- [3] Laurel Electronics Inc., Magna Process 4-Large Digit Process Indicator, California, USA, 2016.
- [4] Moxa Inc., NE-4100 Series, User's Manual, USA, 2008.
- [5] Omega Engineering Inc., IDL-44 UTP Big Display Universal Temperature & Process Controller Manual, Connecticut, USA, 2014.

- [6] Red Lion Controls, The 1/16 DIN Controllers Temperature/Process, Instruction Manual, USA, 2007.
- [7] Silveira E., Bonho S., Temperature Monitoring Through Wireless Sensor Network Using an 802.15.4/802.11 Gateway, IFAC Papers on Line, Vol. 49, No. 30, pp. 120-125, 2016.
- [8] Wen-Tsai S., Yao-Chi H., Designing an industrial real-time measurement and monitoring system based on embedded system and ZigBee, Expert Systems with Applications, Vol. 38, No. 4, pp. 4522-4529, April 2011.
- [9] Xytronix Research & Design Inc., X-DAQ. Temperature Module, User's Manual, Utha, USA, 2016.