Monitoreo en red de temperatura industrial por medio de termopares

Juan Cota-Ruiz[1], David Rivera[1], Francisco J. Enríquez Aguilera[1], Pablo Rivas-Perea[1], Antonio Guerra Jaime[1], Victor Manuel Hinostroza Zubia[1], Francisco Javier López Benavides[1]

[1]Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

Un gran beneficio para las empresas es el tener sistemas de monitoreo con arquitecturas flexibles, económicas, confiables y que tengan la capacidad de ser acezadas remotamente desde cualquier PC o teléfono móvil. El presente proyecto presenta un sistema de monitoreo de temperatura donde se utilizan sensores inteligentes. Estos sensores tienen la capacidad de ser integrados en red y ser monitoreados por la tarjeta Arduino Mega (controlador de la arquitectura). Las mediciones adquiridas por el controlador de la red son actualizadas constantemente en un servidor WEB instalado en la misma plataforma de Arduino. Las mediciones de temperatura fueron comparadas con un patrón de referencia obteniéndose resultados satisfactorios en cuestión de precisión y exactitud.

Palabras clave: Sensor inteligente, Monitoreo en red.

Introducción

La adquisición de datos consiste en tomar muestras de señales analógicas del mundo real (a través de sensores) y su conversión a formato digital, la cual puede ser utilizada por microcontroladores o computadoras para su posterior procesamiento y despliegue de información. En el campo de los procesos industriales el monitoreo de la temperatura es fundamental para la obtención de un producto determinado. Existen distintos instrumentos que son utilizados para la medición de la temperatura, básicamente entre los mas comunes tenemos: termómetro de vidrio, termómetro bimetálico, termopares, termoresistencias (RTD), termistores, CI's, entre otros. Estos sensores aunque son muy útiles algunos carecen de linealidad, rango de medición y algunas veces de precisión. También existen módulos y/o aparatos más sofisticados capaces de medir la temperatura en sistemas más rigorosos y controlados de la industria, tales como los sistemas de termómetros infrarrojos digitales, sistemas de barrido lineal, entre otros, que aunque son muy eficientes tienen un costo elevado (Doebelin, & Manik, 2007; Giannuzzi, 2006; King, 2008; Maurizio Di Paolo, 2013).

Uno de los sensores o transductores de temperatura más comunes para la medición de rangos amplios de temperatura son los termopares, los cuales basan su funcionamiento en el efecto seebeck. El termopar es un circuito formado por dos conductores de metales o aleaciones diferentes, unidos en sus extremos. Estos dispositivos utilizados en el área de la medición de la temperatura, aunque no son muy sensibles juegan un papel muy

importante en función de su rango de medición y precisión (Solé, 2012; Thermoelectrics Handbook, 2006).

En la industria, el control de altas temperaturas es un factor muy importante para mantener la calidad de ciertos productos. Por ejemplo, en un proceso metalúrgico, los rangos de temperatura fluctúan entre 250°C y 1460°C aproximadamente. Si una maquina produce o emite más calor del que puede soportar, puede dejar de funcionar parcial o totalmente, esta falla puede retrasar por completo el proceso de producción y traer consigo pérdidas considerables. Es ahí donde el presente trabajo cubre la necesidad de monitorear la temperatura durante un proceso y el despliegue de dicha medición. Existen métodos y dispositivos capaces de realizar dicha tarea, pero con esta investigación se agregará la capacidad de enviar y monitorear estos datos a través de Internet y sobre todo se tendrá la capacidad de poder monitorear una red de sensores de temperatura con termopares. Además, reducir el costo del proceso de medición por medio de sensores inteligentes resulta en una alternativa muy viable. Como se trata de medir y desplegar la temperatura de un proceso industrial, la elección del transductor debe de ser fundamentada principalmente en el rango de medición (Morris and Langari, 2012).

En resumen el propósito general de esta investigación es implementar un monitoreo de temperatura en el campo industrial a través de una red de termopares ubicados en distintos puntos. Aunque es necesario trabajar en su linealización, poca sensibilidad y la compensación de la unión fría, los termopares K y J son más indicados para este proyecto. El sensor inteligente seleccionado es el CI DS2762 (Gonzales, 2009; Maxim Integrated, 2007), el cual permite comunicación digital en red y cuenta con sensores internos de voltaje y temperatura que serán utilizados para la medición del voltaje entregado por el termopar y la compensación de la unión fría, respectivamente. Además, se cuenta con una tarjeta de desarrollo (Arduino Mega) el cual permite monitorear la red local a través del protocolo 1-wire y sobre todo exponer dichas mediciones en Internet por medio de la interface Ethernet Shield.

La estructura de este trabajo de investigación está compuesta de la siguiente manera. En la sección 2 se presenta el diseño y análisis del sistema de monitoreo. La sección 3 describe la auto-calibración de los sensores de temperatura. En la sección 4 se analizan resultados y finalmente se presentan las conclusiones del proyecto de investigación.

Diseño y descripción del sistema de monitoreo

En esta sección se describen los elementos claves o esenciales que conforman este proyecto de investigación: termopares, sensor inteligente, protocolo digital-serial, tarjeta de desarrollo Arduino y plataforma Ethernet Shield, los cuales permiten el

monitoreo en red e Internet como lo muestra la Figura 1. Se puede considerar a un termopar como un transductor constituido por dos metales diferentes, unidos en un extremo, denominado junta de medición o junta caliente la cual suministra una señal de tensión eléctrica que depende directamente de la temperatura de la unión de los metales. Un termopar no mide temperaturas absolutas, sino la diferencia de temperatura entre el extremo caliente y el extremo frio. Si la junta de medición tiene una temperatura t1 y la junta de referencia tiene una temperatura t2, existirá en este circuito una Fuerza Electro Motriz (F.E.M) (Thermoelectrics Handbook, 2006). Este valor de F.E.M. tiene una correlación bien definida con la diferencia t1-t2 como se indica en la Figura 2. Sin embargo, cuando se desea realizar una medición en los extremos opuestos de la unión principal con un multímetro, por ejemplo, los cables de conexión crean una nueva unión termoeléctrica, a lo que se llama comúnmente "Unión Fría" (Morris and Langari, 2012).

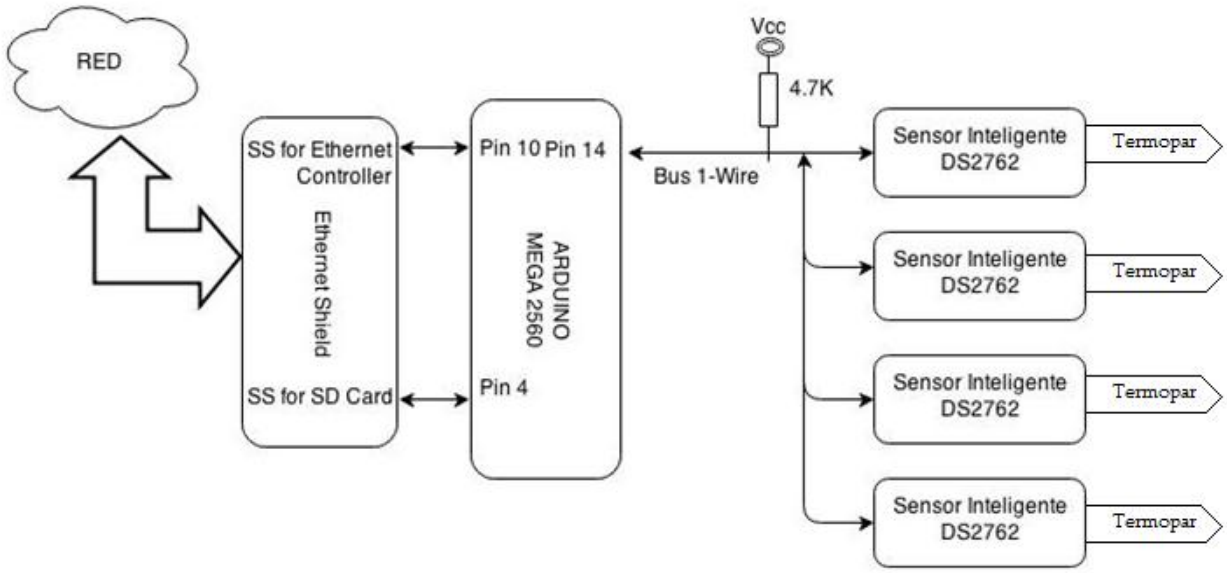

Figura 1. Sistema de monitoreo de temperatura por Internet.

La tensión resultante leída en el voltímetro será proporcional a la diferencia de temperaturas de las uniones. Por lo tanto para conocer el valor de temperatura de la unión principal se debe saber el valor de la temperatura de la unión fría.

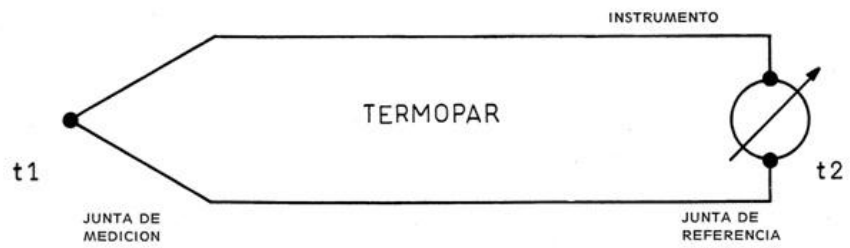

Figura 2. Relación de voltajes en un termopar.

Una de las desventajas o limitaciones de los termopares radica en que su voltaje generado por la unión no es una función lineal de la temperatura. Además su sensibilidad viene dada en mili-volts por grados centígrados de temperatura. Más sin embargo, este comportamiento se puede aproximar por medio de un polinomio de LaGrange. Aparte, otra desventaja se advierte al tener que lidiar con la compensación de unión fría. Las relaciones de temperatura – F.E.M. en diferentes tipos de termopares están reportadas en las tablas del International Society of Automation (I.S.A.) (INGENIERIA CONTROL Y TEMPERATURA SA DE CV, 2015). Para verificar su sensibilidad y linealidad, en la Figura 3, se muestra la relación grados centígrados (multiplicados por 1000) con respecto a mili volts.

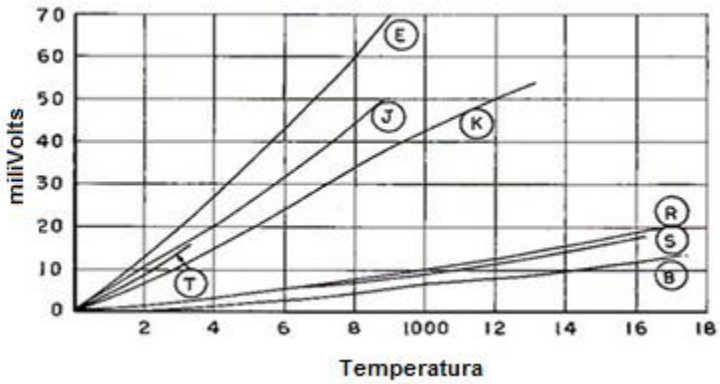

Figura 3. Relación Temperatura y F.E.M en diferentes tipos de termopares.

Para poder adquirir las mediciones de temperatura provenientes de los termopares se utilizo el sensor inteligente DS2762, el cual utiliza interface serial 1-wire y puede ser integrado en red. Estos sensores se han vuelto particularmente populares, debido a que son económicos y robustos, proveen de una calibración digital de temperatura, la cual puede ser leída directamente en una localidad de memoria dentro del mismo CI y puede ser utilizada para la compensación de la unión fria. Además, cuentan un convertidor de voltaje con 12 bits de resolución con un rango de escala de 64mV lo que proporciona una resolución menor a 1°C considerando la salida más baja de un termopar tipo K. Este sensor puede registrar y almacenar la temperatura cada 220 ms en dos formatos distintos con una resolución 0.125 °C. El protocolo digital-serial utilizado para el intercambio de información entre microcontrolador y sensores es el 1-wire. El bus 1-wire funciona con un solo maestro (microcontrolador) y puede controlar n-dispositivos esclavos (sensores de temperatura) donde está garantizado fabrica que cada CI DS2762 tendrá una dirección

única dentro de la red. La red de dispositivos 1-wire tiene capacidad para manejar hasta 100 dispositivos esclavos distribuidos a lo largo de 300 metros si se manejan FETs para la interface serial (Maxim Integrated, 2015).

La interface DS2762 se muestra en la Figura 4 y su esquemático en la Figura 4. Como se puede apreciar este requiere de los siguientes componentes:

- 1 Resistencia de 1 KΩ
- 2 Capacitores 0.1µF
- 1 conexión de 2 puntos para el termopar
- 1 conexión de 3 puntos para voltaje, referencia y la comunicación 1-Wire.

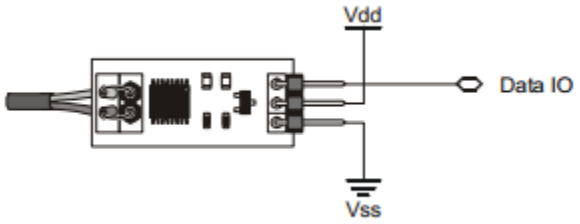

Figura No.4 Interface DS2762 con termopar

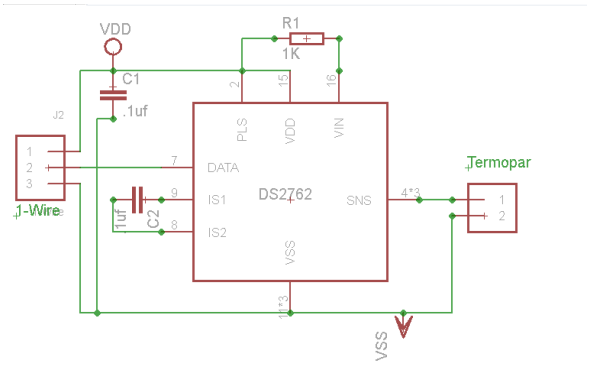

Figura No.5 Esquemático DS2762

Como se puede apreciar en la Figura 5. Los componentes externos al chip son mínimos y de bajo costo. Estos sensores son la interface entre el microcontrolador y los termopares. Pero con las ventajas antes mencionadas que ofrece la medición inteligente. Enseguida se describe la plataforma de desarrollo utilizada tanto para la interfaz con la red de sensores de temperatura (por medio del protocolo 1-wire) así como también la interfaz que permite publicar los datos adquiridos de la red local en la WEB.

La plataforma Arduino ofrece una gran gama de posibilidades en el campo de la electrónica para el desarrollo de proyectos y aplicaciones multidisciplinares. Arduino es una plataforma de hardware libre que consta de un microcontrolador (principalmente Atmel), un entorno de desarrollo (IDE) basado en el lenguaje C, compilador-debug y cargador que se ejecuta desde la misma plataforma. Para el desarrollo de este proyecto se utilizó la plataforma Arduino Mega. Este modulo de desarrollo contiene el microcontrolador ATmega2560, con 54 entradas/salidas digitales (15 de las cuales pueden ser usadas como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 puertos seriales, interfaces I^2C, SPI, un oscilador de 16MHz entre otras características.

Este modulo de desarrollo cuenta con soporte (conectores) para poder integrar

módulos extras, los cuales realizan diversas funciones. En nuestro caso, se le integro el modulo Ethernet Shield el cual permite la creación de aplicaciones cliente/servidor web en la misma plataforma de desarrollo Arduino. La tarjeta Ethernet Shield cuenta con el conector RJ-45 para integrarse a la red LAN y una tarjeta de almacenamiento micro SD donde se almacena el programa cliente/servidor que expondrá las mediciones de los termopares.

Afortunadamente Arduino cuenta con muchas librerías y código abierto que permite a los desarrolladores agilizar el proceso de desarrollo de aplicaciones. En este proyecto de investigación se utilizaron las librerías One_wire, Ethernet y SD, las cuales permites acceder a la red de sensores de temperatura, acceso a Internet y almacenamiento información (comúnmente paginas HTML), respectivamente.

La plataforma Ethernet Shield debe de tener una dirección MAC asignada además de una dirección IP para que la librería Ethernet pueda comunicarse a internet. La dirección MAC es un identificador único para cada dispositivo, algunas de las plataformas Ethernet tienen una imagen indicando su dirección MAC, mientras que otras que no tienen ninguna dirección asignada deberán crear una dirección al azar con la precaución de no repetir la misma dirección de otros dispositivos conectados a la misma red. La dirección IP depende totalmente de la configuración de red a la que se tenga conectada la plataforma. Por ejemplo, para declarar la dirección MAC y la dirección IP dentro del entorno de programación de Arduino se utilizan las siguientes sentencias: *Byte mac[] = {0xDE, 0xAD, 0xBE,0xEF, 0xFE, 0xED};*y *Byte IP [] = {192, 168, 1, 177};*. El arreglo *mac []* se declara como byte porque según los estándares de las direcciones MAC este debe ser un identificador de 48 bits divididos en 6 bloques hexadecimales. La dirección IP como se menciono con anterioridad depende de la configuración de la red donde está conectado la plataforma Ethernet. La librería Ethernet.h utilizada por Arduino es el motor que mueve la plataforma Ethernet, pues se necesitan varias funciones para conectarse, recibir y enviar datos a través de la red por lo que las direcciones mencionadas anteriormente necesitan de una inicialización por parte de esta librería, siendo esta: *Ethernet.begin(mac, ip);*. La sentencia anterior configura las direcciones para que puedan ser identificadas por el protocolo de red utilizado. Además, cuando se intenta realizar una conexión a la red, por el protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP), se debe de conectar a través del puerto 80 (*EthernetServer server(80);*).

Como es conocido, el protocolo HTTP define la sintaxis y la semántica que utilizan los elementos de la arquitectura web (clientes, servidores y proxies) para comunicarse. Este es un protocolo orientado a transacciones y sigue el esquema petición-respuesta entre un cliente y un servidor. Dado que la plataforma Ethernet Shield será el servidor, mientras el navegador de cualquier computadora tomará el papel de cliente. Sera necesario enviar información al cliente (a petición de este) a través de una página WEB desarrollada en lenguaje HTML. Un código HTML debe de llevar

una extensión .html o .htm forzosamente para que el navegador reconozca el archivo y pueda interpretarlo mostrando el código como una página web, también es recomendable guardar la página principal bajo el nombre de “index”.

Una vez que ha sido configurado el servidor Arduino, este puede enviar a un cliente la pagina WEB (o archivo hmtl) serialmente por medio del objeto “cliente” como lo muestra la Figura 6.

Web_Server §

```
//Función cíclicla
void loop() {
  EthernetClient client = server.available();
  if (client) { //Una petición http termina con una línea en blanco
    boolean current_line_is_blank = true;
    while (client.connected()) {
      if (client.available()) {
        char c = client.read();
        // Si hemos llegado al final de la línea (recibió una nueva línea carácter) y la línea está en blanco, la petición http ha terminado,
        // Para que podamos enviarle una respuesta
        if (c == '\n' && current_line_is_blank) {
        }
        client.println("HTTP/1.1 200 OK"); // Envió encabezado estándar de respuesta HTTP
        client.println("Content-Type: text/html");
        client.println("Connection: Close");
        client.println();
        //Envia pagina WEB
        client.print("<!DOCTUYPE html>");
        client.print("<html>");
        client.println("<head>");
        client.println("<title>Arduino WEB Page</title>");
        client.print("<body>"); //Imprimir valor entrada análoga
        client.print("<Hola desde Arduino!");
        client.print("<p>Pagina web desde el servidor Arduino");
        client.println("</body>");
        client.println("</html>");
        break;
```

Figura 6. Servidor web en Arduino enviando página HTML por petición del cliente.

Como se ha mencionado, Arduino permite enviar el programa HTML a través del objeto client, cada sentencia imprime una cadena de carácter que es reconocida por el navegador como el lenguaje HTML sin importar el orden o el tamaño con el que se envía a imprimir, mientras las sentencias tengan un orden lógico. Finalmente, para poder acceder a la página WEB de Arduino una PC o teléfono celular basta con escribir la dirección IP que asignamos previamente en el campo de la URL (192.168.1.177).

Auto Calibración del Sensor de Temperatura

El sensor inteligente de temperatura creado a partir del CI DS2762 tiene la capacidad de monitorear la variable temperatura compensando el efecto de la unión fría sin tener que conectar una etapa de acondicionamiento extra, entre termopar y CI. El dispositivo DS2762 es un dispositivo de baja potencia que integra medición de temperatura, voltaje y corriente. La lectura de temperatura del termopar se obtiene por medio del sensor de corriente de 12bits el cual emplea sensor interno de 25mΩ. Estas lecturas tienen una resolución

de 15.625µV a una escala que va desde los -64mV hasta los +64mV.

Para compensar el efecto de la unión fría se utiliza el sensor interno de temperatura del CI DS2762, para tal efecto se asume que la unión del termopar (unión no fría) está cerca del encapsulado del CI. El sensor de temperatura del CI tiene una resolución de 0.125°C en un rango de ±127°C. Si la temperatura del encapsulado obtenida por el sensor interno fuera de 22°C. El voltaje en mili volts a esta temperatura proporcionada por un termopar tipo K según sus tablas de conversión seria de 0.879mV, entonces teniendo el termopar conectado a la entrada del ADC de corriente de 12 bits (con resolución de 15.625µV) se leería un código digital idealmente de

$$\text{Valor}_{\text{Union Fria}} = \frac{\text{Volts}_{\text{tablas K}}}{\text{resolución}} \rightarrow \frac{0.879\text{mV}}{15.625\mu\text{V}} = 56 \quad (1)$$

Este valor obtenido será útil para eliminar el efecto de la Unión Fría en la medición real de la temperatura del termopar. En el sistema real esta constante es obtenida por software utilizando las tablas del termopar tipo K guardadas en la memoria EEPROM y aplicando la interpolación lineal. Ahora, para obtener la constante que elimine el efecto de la unión fría se utiliza la ecuación siguiente

$$\text{Constante} = \text{Valor}_{\text{ADC}} - \text{Valor}_{\text{Union Fria}} \quad (2)$$

donde $Valor_{ADC}$ es el código digital real que está proporcionando el ADC. El valor guardado en la variable *Constante* elimina el efecto de la Unión Fría aunque este valor es solo un ejemplo, por lo que el valor es genérico y depende del valor de la temperatura de la unión fría otorgada por el sensor interno de temperatura al momento de la calibración. Esta constante es utilizada en cada lectura que ofrece el termopar, esto con el fin de eliminar el efecto de la Unión Fría en cada lectura.

La relación °C/mV en cada termopar se puede encontrar en tablas donde cada valor en grado centígrado equivale a un valor en mili-volts. Sin embargo, la tabla de los termopares es una tabla muy extensa con demasiados valores que no podrían ser incluidos cada grado centígrado ya que sobre cargarían la memoria EEPROM del microcontrolador. Para guardar los datos en la memoria EEPROM se crearon dos arreglos, uno con los datos en grados centígrados con intervalos fijos de 5 grados centígrados y otro con el valor en milivolts usando el mismo intervalo. Como ejemplo, en el termopar tipo K asumiendo que se tienen lecturas desde 0°C hasta 30°C, en la Tabla 1 se muestran los valores almacenados para el termopar tipo K (código digital del ADC).

Tabla 1. Relación grados centígrados y milivolts en un termopar tipo K

Grados Centígrados (°C)	MiliVolts (mV)	Código Digital (ADC)
0	0	0
5	0.198	12
10	0.397	25
15	0.597	38
20	0.798	51
25	1.000	64

30	1.203	77

Tomando en cuenta la tabla anterior se utiliza la interpolación lineal para estimar valores intermedios. Se puede encontrar el valor que se encuentra entre dos puntos conocidos utilizando la ecuación 3, que se deduce de la igualdad de los triángulos rectángulos como la muestra la Figura 7.

$$f(x) = f(x_1) + \frac{f(x_2)-f(x_1)}{((x_2-x_1))(x-x_1)} \quad (3)$$

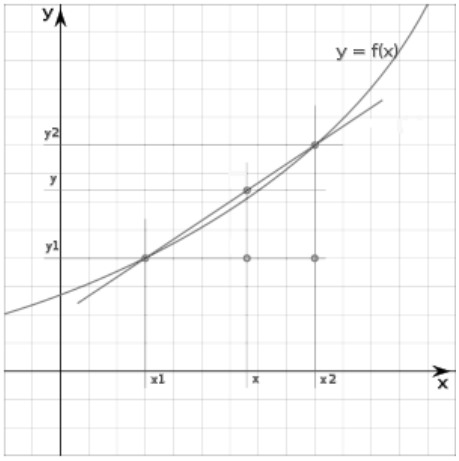

Figura 7. Interpolación lineal.

Resultados

Para poder evaluar el desempeño del proyecto propuesto, en esta sección se analizan los aspectos o características relevantes que debe cumplir el sistema de monitoreo, siendo estas: el monitoreo de la red de sensores de temperatura por medio del microcontrolador y la interfaz de la página por medio del navegador de una computadora.

El microcontrolador es el responsable de adquirir las mediciones de cada uno de los sensores conectados a la MicroLAN creada por los DS2762 y los termopares. Para obtener las direcciones únicas de los dispositivos conectados a la MicroLan, se aplicó el comando NET search (de la librería OneWire.h). La Tabla 2 muestra los dispositivos detectados y su IDs.

Tabla 2. ID único de cada sensor DS2762 integrado en la red microLAN

Sensor	ID ÚNICO
DS2762 (1)	0x30, 0x8C, 0x70, 0xC0, 0x12, 0x00, 0x00, 0xD2
DS2762 (2)	0x30, 0x25, 0xE2, 0xBD, 0x12, 0x00, 0x00, 0x19
DS2762 (3)	0x30, 0x2A, 0xE2, 0xBD, 0x12, 0x00, 0x00, 0x3D
DS2762 (4)	0x30, 0x85, 0x70, 0xC0, 0x12, 0x00, 0x00, 0x44
DS2762 (5)	0x30, 0xA4, 0x74, 0xC0, 0x12, 0x00, 0x00, 0xDA

Debido a que el microcontrolador contiene el ID único de cada DS2762, este puede enviar los comandos de lectura específicos para cada DS2762 individualmente a través del bus 1-Wire sin crear conflictos entre el esclavo controlado y los demás esclavos en la red.

Usando las tablas de un termopar tipo K, se generaron los códigos digitales de un ADC (de 12 bits) para cada valor de temperatura considerando intervalos de 5°C y un rango de 0 a 110°C como se aprecia en la Figura 8.

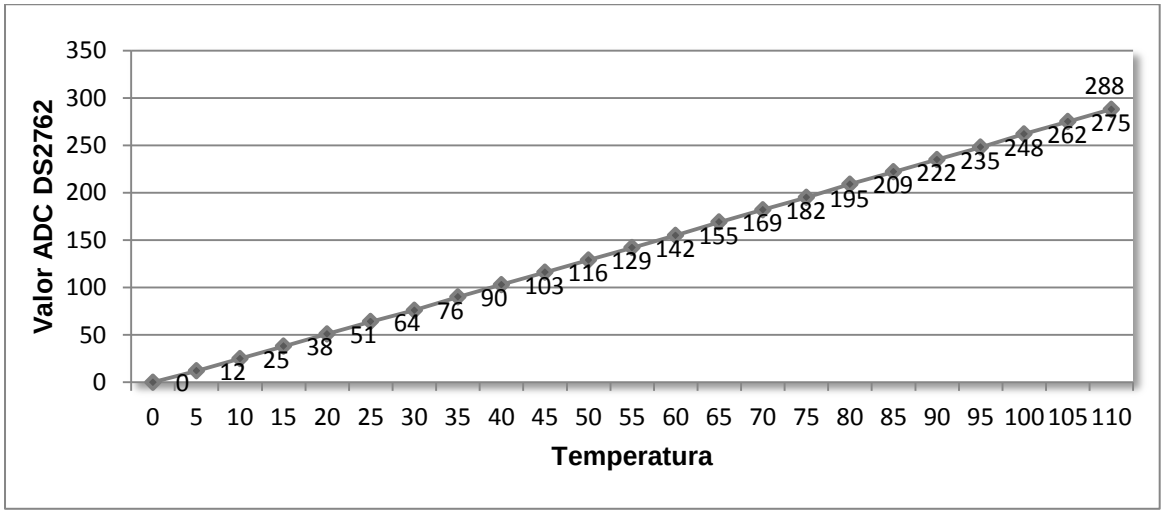

Figura 8. Relación temperatura contra Código Digital de un ADC (de 12 bits de resolución) en un termopar tipo K.

Con esta relación de valores, se logró estimar la temperatura medida por el termopar tipo K mediante un algoritmo de interpolación. La siguiente tabla muestra tres lecturas de temperatura entregadas por el termopar tipo K, donde se utilizo como referencia un sensor de temperatura lineal LM35.

Tabla 3 Caracterización de un termopar tipo K con tres diferentes medidas y usando como patrón un LM35.

Sensor	Temp. 1	Temp. 2	Temp. 3
LM35	18°C	27°C	31°C
Termopar tipo K	Min:18.46°C Max:18.5°C	Min: 26.12°C Max: 26.25°C	Min: 30.20°C Max: 30.38°C

Se puede apreciar que las mediciones entregadas por el termopar varían muy poco, estas mediciones presentan variaciones de 0.04°C, 0.13°C y 0.18°C para las tres mediciones respectivamente. Sin embargo, si comparamos dichas mediciones con un patrón (tomando en cuenta el máximo error) estas resultan en errores absolutos de 2.77%, 3.25% y 2.58% respectivamente. Por ejemplo, para la medición tres el error absoluto se obtuvo como

$$E_R = \frac{31 - 30.2}{31} \text{x} 100 = 2.58\% \qquad (4)$$

Aunque, debemos resaltar que el patrón utilizado es una referencia regular de comparación, las mediciones obtenidas mostraron una exactitud y precisión aceptables.

Por otra parte, la Figura 9 muestra la página web que se despliega al usuario una vez que accede o genera una petición al servidor WEB instalado en el Arduino. Como se puede ver es una interfaz sencilla, pero tiene los elementos suficientes para que el usuario lea la temperatura de cada sensor.

La página web puede ser accedida a través de múltiples clientes como PCs o dispositivos móviles, puede ser manipulada por uno de ellos y la información se actualiza en todos los clientes de manera rápida y continua.

Figura 9 Página WEB del sistema de monitoreo remoto.

Los sensores fueron probados a diferentes temperaturas y se pudo observar los cambios de estos por medio de la página web, la actualización se lleva a cabo cada segundo, puesto que es el tiempo de respuesta establecido en la programación del servidor- cliente. Otro aspecto a considerar es que las lecturas son precisas y mantienen las lecturas con mínimas fluctuaciones.

El menú de botones que se aprecia en la parte derecha de la página es un menú que se puede utilizar para seleccionar un determinado sensor y mostrar el valor de la medición en el tacómetro industrial, este se hizo con el fin de establecer comunicación bidireccional entre servidor y cliente.

Conclusiones

En este trabajo de investigación se diseñó e implemento una red de sensores con el objetivo de monitorear temperatura en ambientes industriales. Para esto se utilizo el CI DS2762 el cual es el elemento clave para una medición inteligente ya que cuenta con las características necesarias para ser integrado en red y a la vez que permite compensar el efecto de la unión fría usando un sensor extra interno de temperatura.

Las mediciones de temperatura de la red local se llevaron a cabo a través de una tarjeta de desarrollo Arduino Mega, el cual utilizo el protocolo 1-wire para poder acceder a cada uno de los sensores. Por otra parte, para la publicación de las mediciones de temperatura de cada uno de los sensores de la red local en un servidor WEB, se requirió el uso de una tarjeta Ethernet Shield.

Las mediciones de temperatura mostraron tener precisión y exactitud, prueba de ello es que se compararon con un patrón con resultados satisfactorios. Aunque no se logro establecer dicho sistema en un ambiente industrial por políticas de privacidad de la misma empresa, este sistema fue probado en ambientes similares mostrando inmunidad al ruido y factores externos.

Se puede considerar que el sistema desarrollado en esta investigación es de bajo costo y sobre todo tiene la capacidad de ser escalable al podérsele agregar más sensores de monitoreo con cambios mínimos en hardware y software, así como también se puede ampliar las distancias de monitoreo (hasta 300m) agregándose FETs en la interface de comunicación 1-wire.

Como trabajo futuro se pretende emigrar a un sistema inalámbrico de sensores de temperatura. Esto con el fin de hacer más flexible y robusto el sistema de monitoreo.

Referencias

Doebelin, E. O., & Manik, D. N, (2007), "Measurement systems: application and design".

Giannuzzi, L. A. (Ed.). (2006). "Introduction to focused ion beams: instrumentation, theory, techniques and practice". Springer Science & Business Media.

Gonzales, G. (2009). Protocolo 1-wire, Aplicación de microcontroladores con lenguajes de alto nivel..

INGENIERIA CONTROL Y TEMPERATURA SA DE CV. (2015). http://icytsa.com.mx/termopares.html

King, R. H. (2008). "Introduction to data acquisition with LabVIEW". McGraw-Hill Science/Engineering/Math.

Maurizio Di Paolo Emilio, (2013), "Data Acquisition Systems: From Fundamentals to Applied Design", Ed. Springer, ISBN 9781-14614-4214-1.

Maxim Integrated (2015), https://www.maximintegrated.com/en/products/digital/one-wire.html.

Maxim Integrated. (2007). DS2762 High-Precision Li+Battery Monitor with Alerts. Dallas Semiconductor Maxim. En: https://www.maximintegrated.com/en/products/power/battery-management/DS2762.html#popuppdf.

Morris A. S. and Langari, R. (2012). "Measurement and Instrumentation theory and aplications", Ed. Elsevier.

Solé, A. C. (2012). "Instrumentación industrial". Marcombo.

Thermoelectrics Handbook (2006): Macro to Nano. Taylor & Francis. Rowe, D. M.