

SISTEMA DE BAJO COSTO PARA MEDIDA REMOTA DE PRESIÓN EN TUBERÍAS DE AGUA USANDO UN SENSOR PIEZOELÉCTRICO

José Ignacio Vega Luna

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
vji@correo.azc.uam.mx

Mario Alberto Lagos Acosta

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco

Gerardo Salgado Guzmán

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco

Víctor Noé Tapia Vargas

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco

Francisco Javier Sánchez Rangel

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco

Resumen

El objetivo de este trabajo fue implantar una red de dispositivos para monitoreo remoto de presión en tuberías de agua en un centro de datos. El monitoreo se realiza desde una estación central y la red consiste de dos tipos de módulos: cinco módulos de medida y un módulo coordinador. Los módulos de medida se ubican en el lugar donde están instalados los medidores de presión. El módulo coordinador se encuentra conectado a una computadora personal ubicada en la estación central. En la computadora se ejecuta una interface de usuario que solicita periódicamente, a través del módulo coordinador, el valor de presión a cada módulo de medida y muestra en pantalla el valor de presión medido por los sensores y lo almacena en un archivo. Se usaron transceptores Bluetooth para la comunicación inalámbrica entre el módulo coordinador y los módulos de medida.

Bluetooth se usa comúnmente para comunicar computadoras y periféricos, por lo que la contribución del sistema es el uso de transceptores Bluetooth con alcance de 100 metros para la comunicación entre módulos del sistema y monitoreo de presión, lo cual puede aplicarse para el control de cualquier variable o proceso sin instalar cableado adicional ni modificar el existente.

Palabra(s) Clave(s): Bluetooth, centro de datos, comunicación inalámbrica, presión, transceptor.

1. Introducción

Hoy en día existen muchos ambientes donde es necesario medir periódicamente la presión de un gas o un líquido, algunos de estos ambientes son: instalaciones industriales, laboratorios, hospitales y centros de datos. Se mide la presión para control o monitoreo de procesos, por protección (seguridad), control de calidad o para transacciones comerciales de fluidos (transferencias de custodia, medición fiscal, estudio e investigación, balances de masa y energía). En el caso particular de centros de datos, los mecanismos de seguridad usados y medidas preventivas de accidentes y siniestros son auditados al menos dos veces por año para certificar la operación segura sin interrupciones. En los centros de datos existen tuberías donde circulan gases inertes para combatir el fuego en equipo de cómputo y comunicaciones en caso de incendio. Si el fuego va más allá del equipo de cómputo se usa agua ultra-pura que circula por un sistema de tuberías. La presión del agua es monitoreada permanentemente para cumplir con los estándares de certificación [1]. Actualmente la mayoría de sistemas de monitoreo de presión de agua y otras variables ambientales en centros de datos, usan comunicación alámbrica entre los sensores y la estación de monitoreo [2]. Otros sistemas usan comunicación inalámbrica. Los de comunicación alámbrica configuran una red CAN (Controller Area Network) de sensores [3] y controladores o usan un segmento de red de datos LAN [4]. Los que usan comunicación inalámbrica utilizan transceptores de radio frecuencia de corto alcance (no mayor a 40 metros) o tecnología GPRS (General Packet Radio Service) [5]. Hoy en día, cuando es necesario implantar un sistema de monitoreo

en la mayoría de centros de datos, no está permitido instalar cableado adicional o modificar el ya existente porque pone en riesgo su operación y certificación. Tampoco es una opción usar transceptores de radio de corto alcance porque los sensores se ubican a distancia entre 60 y 100 metros. Usar tecnología GPRS tiene la desventaja de que es necesario implantar una red celular cuyo costo es relativamente alto y los dispositivos de mayor tamaño [6].

En el sistema aquí desarrollado se monitorea la presión en diferentes puntos de la red de agua de un centro de datos. El valor de presión entregado por los sensores se transmite a la estación de monitoreo usando transceptores inalámbricos Bluetooth cuyo alcance es 100 metros. Los sensores de presión ya se encontraban instalados en la tubería de agua y la medida se realizaba manualmente. Esto presentaba ciertas desventajas, siendo las principales la falta de precisión, tanto en los valores de presión medida como en la fecha y hora reportada, y la disponibilidad de personal para realizar la medida. Los sensores instalados son modelo PBT-RB010SG1SSNAMA0Z. Estos sensores son de tipo piezoeléctrico. Los sensores piezoeléctricos son los más utilizados para medir presión por su precisión y confiabilidad. Estos sensores utilizan el efecto piezoeléctrico para medir presión, aceleración, tensión o fuerza; transformando el valor medido en señales eléctricas [7]. El efecto piezoeléctrico consiste en la generación de polarización eléctrica al deformarse un material bajo la acción de un esfuerzo. Es un efecto reversible, de modo que al aplicar una diferencia de potencial eléctrico entre dos caras de un material piezoeléctrico, se genera una deformación. La piezoelectricidad es la propiedad que tienen algunas sustancias no conductoras, cristalinas (no tienen centro de simetría), al presentar cargas eléctricas de signo opuesto, en caras opuestas, al ser sometidas a deformaciones mecánicas [8]. El sensor PBT-RB010SG1SSNAMA0Z está construido en base a una membrana circular piezoeléctrica protegida por una capsula de acero inoxidable para emplearse inclusive en ambientes corrosivos. Entrega el valor de presión medido a través de una señal de 4-20 mA y dos cables.

Los sensores empleados en la mayoría de sistemas de control de procesos están distribuidos geográficamente, por lo que la información que proporcionan en su salida viaja grandes distancias. La transmisión de datos sobre distancias considerables comúnmente causa grandes problemas en sistemas de procesos distribuidos. Para que la información se transmita de manera confiable se usan diferentes esquemas de comunicación y productos asociados. Una técnica usada en la señal de salida de sensores en el ámbito industrial, es el lazo de corriente de 4-20 mA.

Una gran variedad de sensores y dispositivos de medición usan el lazo de corriente de 4-20 mA para enviar el valor que miden sobre grandes distancias (más de 300 metros). En esta técnica, 4 mA representan el nivel de salida cero del sensor y 20 mA representan la salida a máxima escala del sensor [9]. Colocando un receptor en un extremo remoto se convierte la corriente a voltaje para ser procesado por un dispositivo digital. La transmisión de la información se realiza en forma de corriente debido a que si se realiza por voltaje se produciría disminución en su nivel debido al alambrado y resistencias conectadas en el circuito, a menos que los dispositivos que actúan como cargas tengan impedancias de entrada muy grandes. A pesar de esto, los dispositivos de alta impedancia pueden ser muy sensibles a ruido generado por interferencia sobre los cables de interconexión. En el sistema desarrollado, la señal de 4-20 mA se usó para determinar el valor de presión por medio de un microcontrolador. El valor de presión se transmite inalámbricamente a la estación central de monitoreo usando tecnología Bluetooth.

La tecnología Bluetooth usa la banda ISM de frecuencia de 2.4 GHz. para transmitir voz y datos. Originalmente Bluetooth fue diseñada para facilitar la comunicación entre equipos móviles y fijos, eliminando cables y conectores entre los equipos a comunicar, pero se puede usar para implantar una red de transceptores Bluetooth compactos y de bajo costo para el monitoreo de variables [10]. Cada dispositivo Bluetooth tiene una dirección única de 48 bits (PIN o dirección Bluetooth) basada en el estándar IEEE 802.15, simplificando su configuración y detección para formar pares en redes de este tipo de circuitos. La

comunicación entre dos dispositivos Bluetooth es bajo el esquema maestro-esclavo y punto a punto. En una red con transceptores Bluetooth existe un maestro y hasta siete esclavos. La comunicación se realiza por radiofrecuencia de forma que los dispositivos no tienen que estar alineados. En la tabla 1 se indican las tres clases de dispositivos Bluetooth existentes de acuerdo a la potencia de transmisión y todos son compatibles entre sí [11].

Tabla 1 Clasificación de dispositivos Bluetooth según su potencia.

Clase	Potencia máxima (mW)	Potencia máxima (dBm)	Alcance (m)
Clase 1	100	20	100
Clase 2	2.5	4	10
Clase 3	1	0	1

Los dispositivos con Bluetooth también se clasifican según su ancho de banda en 4 versiones como se indica en la tabla 2.

Tabla 2 Clasificación de dispositivos Bluetooth según ancho de banda.

Versión	Ancho de banda (Mbps)
Versión 1	1
Versión 2	3
Versiones 2.1 y 3	24
Versión 4	24

Los transceptores Bluetooth usados en este trabajo son los circuitos RN41 Clase 1, Versión 2.1.

2. Desarrollo

La metodología usada consistió en dividir el diseño del sistema en dos partes. La primera parte fue la realización de los módulos de medida y la segunda parte fue la construcción del módulo coordinador. Se construyeron cinco módulos de medida ubicados en lugares de la tubería de agua donde está instalado un sensor de presión. El módulo coordinador se encuentra en una estación central de monitoreo. Para comunicar los módulos de medida con el módulo coordinador se utilizó una red de transceptores Bluetooth. Los dos tipos de módulos

incorporan un transceptor Bluetooth. El transceptor del módulo coordinador se configuró como maestro y el transceptor de los módulos de medida como esclavo. Periódicamente el maestro solicita a los esclavos determinar el valor de presión en base a la salida del sensor y al recibirla la envía a una interface de usuario ubicada en una computadora personal en la estación central. A continuación se explica el diseño de los módulos que componen al sistema y en la figura 1 se muestra el diagrama de bloques del sistema.

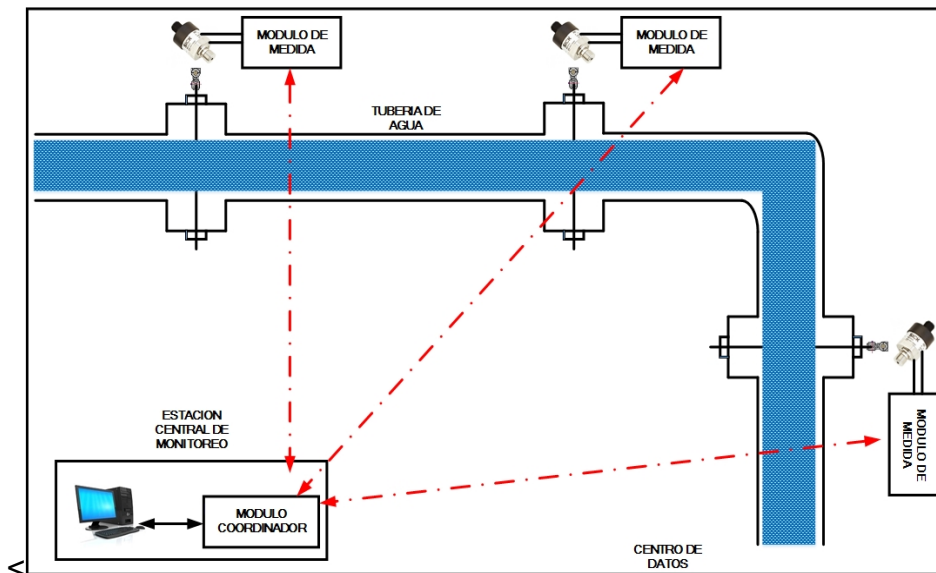


Figura 1 Diagrama de bloques del sistema.

Los módulos de medida

Los cinco módulos de medida tienen la misma arquitectura. Cada módulo está compuesto por cuatro unidades funcionales: el sensor de presión, la etapa adaptadora de señal, el microcontrolador y el transceptor inalámbrico, como se indica el diagrama de bloques de la figura 2.

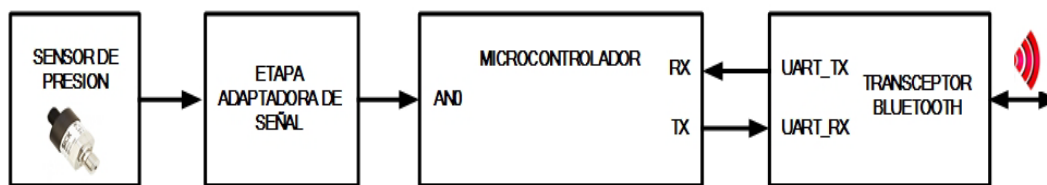


Figura 2 Diagrama de bloques del módulo de medida.

Sensor de presión

Se utilizó el sensor PBT-RB010SG1SSNAMA0Z ya instalado en la tubería de agua. El rango de medida de presión de este dispositivo es 0 a 10 bar, trabaja a una temperatura de 0 a 80 °C y tiene una precisión de 1%. El sensor entrega el valor de presión medido a través de lazo de corriente de 4-20 mA usando dos terminales. Esta señal de corriente se conecta a la entrada de la etapa adaptadora para convertirlo a un valor de voltaje antes de ser leído por el microcontrolador.

Etapa adaptadora de señal

Esta etapa fue necesaria ya que la señal de entrada del convertidor analógico/digital (ADC) del microcontrolador debe estar en el rango de 0 a 5 V y el sensor entrega una señal que varía en corriente. En la figura 3 se indica el circuito electrónico de la etapa adaptadora de señal, se puede observar que en la entrada de esta etapa se encuentra una resistencia que genera una caída de voltaje cuyo valor máximo se obtiene a partir del valor máximo de corriente (20 mA) de la señal de entrada (salida del sensor).

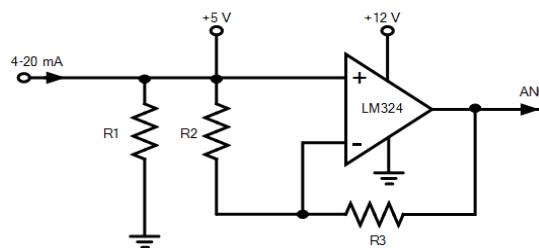


Figura 3 Circuito de la etapa adaptadora de señal.

Para calcular el valor de la resistencia se usó la siguiente relación:

$$R = V_{MAX}/I_{MAX} = 5 \text{ V} / 20 \text{ mA} = 250 \Omega$$

Utilizando una resistencia de este valor se genera un voltaje proporcional a la corriente, sin embargo el valor de voltaje que se obtiene con el valor mínimo de corriente tendrá el siguiente valor:

$$V_{\text{MIN}} = R * I_{\text{MIN}} = 250 \Omega * 4 \text{ mA} = 1 \text{ V}$$

Si se usa una resistencia de 250Ω el rango de voltaje a la entrada del ADC estará en el rango de 1 a 5 V, perdiendo 20% de resolución. Por tal razón, la caída de voltaje en la resistencia se conectó a la entrada positiva de un amplificador operacional (OPAM) para ajustar su valor y no tener pérdida de voltaje al no circular corriente a través del OPAM. En la entrada negativa del OPAM se conectó un divisor de voltaje para que la señal varíe dentro del rango necesario de voltaje usando un voltaje de referencia de +5 V. De esta forma, se obtuvo correspondencia lineal entre la señal de 4-20 mA y el voltaje de 0-5 V suministrado al ADC.

Microcontrolador

El microcontrolador usado fue un PIC18F2455. Se utilizó este dispositivo porque tiene al menos los recursos necesarios para leer la salida de voltaje de la etapa acondicionadora, convertirla a un valor digital y transmitirla en forma serie al transceptor inalámbrico. El PIC integra los siguientes recursos: CPU de 8 bits, 24 kB de memoria de programa, 2,048 Bytes de memoria RAM, 256 Bytes de memoria EEPROM, convertidor analógico-digital de 10 bits, 10 canales y un puerto EUSART. La salida del OPAM de la etapa acondicionadora se conectó a la entrada AN0 del ADC del microcontrolador, la salida TX del USART del PIC se conectó a la terminal UART_RX del transceptor inalámbrico y la entrada RX del EUSART del PIC se conectó a la terminal UART_TX del transceptor inalámbrico Bluetooth.

El programa que se ejecuta en el microcontrolador se diseñó en base al diagrama de flujo indicado en la figura 4, se implantó en lenguaje mikroC FOR PIC y realiza las tareas que se explican a continuación. Configura el ADC indicando que use como fuente de referencia analógica la señal de voltaje de la terminal V_{DD} . Configura el Puerto EUSART en modo asíncrono e indica a los registros del generador de baud rate la velocidad de 921 kbps. A continuación espera en el Puerto EUSART la llegada de la petición de lectura de presión enviada por el

módulo coordinador. Una vez que llega la petición, solicita al ADC muestrear la entrada AN0. Posteriormente lee los registros de datos del ADC para obtener la palabra digital de 10 bits correspondiente al valor de presión. Finalmente transmite al Puerto EUSART la palabra digital para que sea enviada por el transceptor RN41.

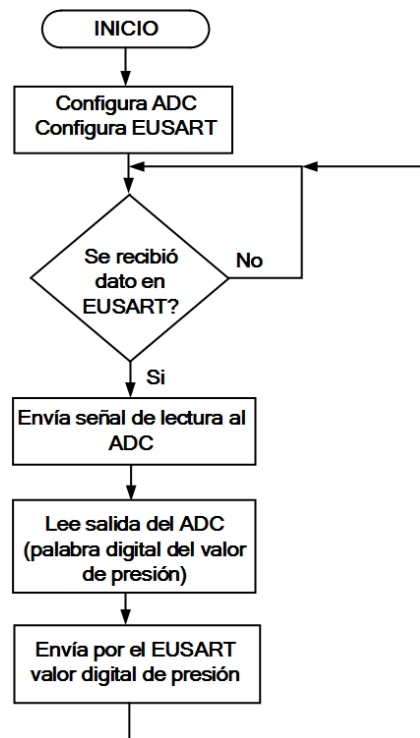


Figura 4 Diagrama de flujo del programa del módulo de medida.

Transceptor Bluetooth

Debido a que un requisito básico en el diseño de este sistema fue que la distancia máxima entre el módulo coordinador y los módulos de medida sea 100 metros, se utilizó el circuito RN41. El RN41 es un transceptor Bluetooth Clase 1 Versión 2.1 de tamaño compacto con antena integrada que transmite información inalámbricamente a una velocidad máxima de 240 kbps y alcance de 100 metros. Se alimenta con 3.3 V y consume menos de 10 mA, trabaja en el rango de temperatura de -40°C - 85°C y humedad relativa menor a 90%. El RN41 tiene asignada una dirección Bluetooth única de 48 bits, se comunica inalámbricamente con el módulo coordinador por radio frecuencia y con el

microcontrolador por medio del puerto EUSART a una velocidad de 921 kbps. El circuito RN41 de este módulo se configuró desde la computadora personal usando un programa emulador de terminal enviándole comandos AT. La configuración incluyó inicializarlo en Modo Esclavo, velocidad de transferencia serie 921 kbps, longitud del dato 8 bits, sin paridad y un bit de parada. En esta configuración también se le asignó el nombre y código de enlace o PIN, lo cual es usado cuando se aparea con otro dispositivo Bluetooth maestro antes de transmitir información.

El módulo coordinador

La arquitectura de este módulo, indicada en el diagrama de bloques de la figura 5, es similar a la de los módulos de medida, ya que la tarea de ambos tipos de módulos es complementaria para el funcionamiento del sistema.

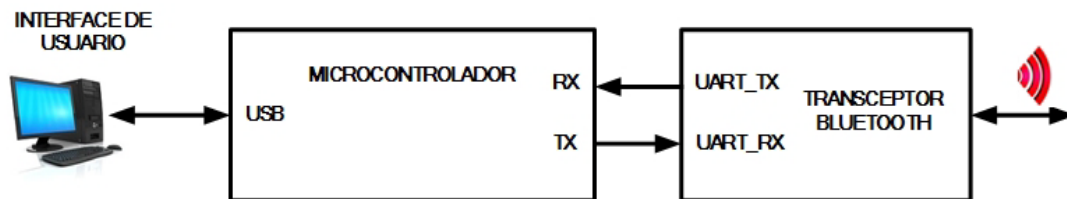


Figura 5 Diagrama de bloques del módulo coordinador.

El módulo coordinador está compuesto por un transceptor inalámbrico Bluetooth y un microcontrolador. El transceptor inalámbrico es el circuito RN41 configurado en Modo Maestro, el cual se encarga de enviar por radio frecuencia las solicitudes de lectura de presión a los módulos de medida, recibir la respuesta y transmitirla al puerto EUSART del microcontrolador. El microcontrolador usado fue un PIC18F2455 principalmente porque cuenta con un puerto EUSART para comunicarlo con el circuito RN41 y un puerto USB V2.0. El puerto USB puede usar un regulador interno de 3.3 V para generar los niveles de voltaje de sus líneas de salida y comunicarlo con la computadora. Este puerto puede configurarse en uno de dos modos: low speed (1.5 Mbps) o full speed (12 Mbps). El programa que se ejecuta en el microcontrolador del módulo coordinador se diseñó en base al diagrama de flujo indicado en la figura 6.

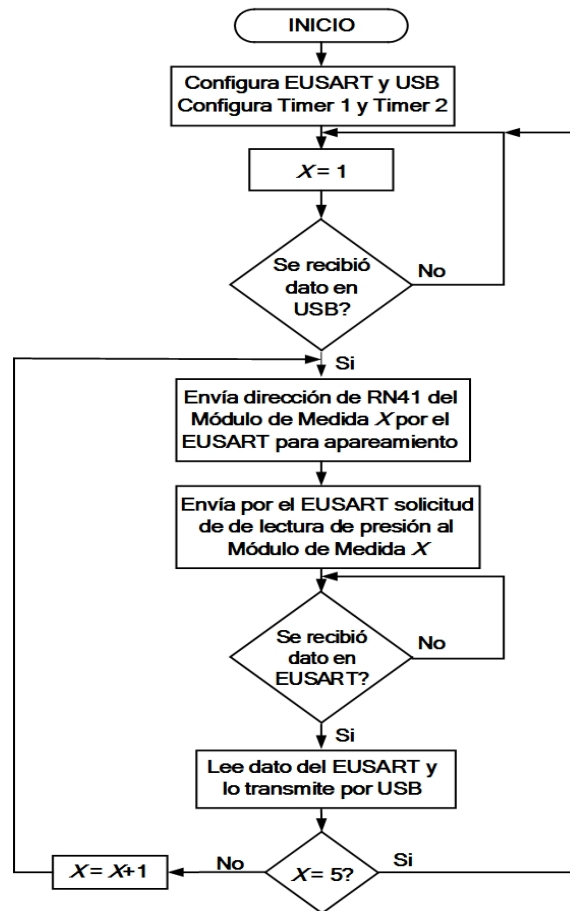


Figura 6 Diagrama de flujo del programa del módulo coordinador.

El programa se implantó en lenguaje mikroC FOR PIC y realiza las tareas que se explican a continuación. Configura el Puerto EUSART en modo asíncrono e indica a los registros del generador de baud rate la velocidad de 921 kbps. Configura el Puerto USB e indica en los registros del Puerto que active el regulador interno de 3.3 V y modo full speed. A continuación espera en el Puerto USB la llegada de la petición de lectura de presión enviada por la interface de usuario. Una vez que llega la petición, envía el comando de apareamiento al transceptor RN41 de cada módulo de medida y finalmente, solicita la lectura de presión a cada sensor.

La interface de usuario se ejecuta en la computadora y se programó en lenguaje Visual Basic. La interface realiza las siguientes tareas: configura el Puerto USB, solicita periódicamente, cada 60 segundos, al microcontrolador del módulo coordinador enviar la petición de lectura de presión a cada módulo de medida

(este periodo de tiempo es configurable) muestra en pantalla el valor actual de los valores de presión de los sensores (figura 7) y almacena en un archivo el histórico los valores de presión de cada sensor como se puede ver en la figura 8.



VALOR PRESIÓN (BAR)	HORA-FECHA
3.05	04/03/2016 15:42
3.05	04/03/2016 15:43
3.05	04/03/2016 15:44
3.05	04/03/2016 15:45
3.06	04/03/2016 15:46
3.05	04/03/2016 15:47
3.05	04/03/2016 15:48
3.07	04/03/2016 15:49
3.07	04/03/2016 15:50
3.04	04/03/2016 15:51
3.04	04/03/2016 15:52
3.04	04/03/2016 15:53
3.04	04/03/2016 15:54
3.04	04/03/2016 15:55
3.04	04/03/2016 15:56
3.04	04/03/2016 15:57
3.04	04/03/2016 15:58

Figura 7 Menú principal de la interface de usuario.



SENSOR	Valor	SENSOR	Valor
SENSOR 1	1.75 bar	SENSOR 2	1.9 bar
SENSOR 3	2.03 bar	SENSOR 4	2.35 bar
SENSOR 5	3.09 bar	SENSOR 6	
SENSOR 7		SENSOR 8	

Figura 8 Valores históricos de presión mostrados en la interface de usuario.

3. Resultados

En la implantación de este trabajo se realizaron cinco módulos de medida, todos con la misma arquitectura. Se llevó a cabo un conjunto de pruebas de funcionalidad del sistema que tuvieron tres objetivos principales:

- Determinar la tasa de transferencia máxima que se puede lograr entre los módulos de medida y el módulo coordinador.

- Determinar el alcance entre ambos tipos de módulos.
- Comparar el valor de la precisión medida por este sistema con respecto a las medidas manuales que se realizaban.

El primer conjunto de pruebas realizadas podría pasar inadvertido en aplicaciones de monitoreo remoto de variables ya que no se transmiten bloques de tamaño grande entre los módulos de medida y el módulo coordinador, sin embargo se llevó a cabo y se obtuvieron resultados interesantes. Para realizar estas pruebas se transmitió 10 veces un bloque de datos de 10 kB (100 kB) desde un módulo de medida. Se transmitió 10 veces el bloque porque el microcontrolador de la unidad de medida solo tiene 24 kB de memoria de programa. El transceptor RN41 se puede comunicar con el USART del microcontrolador a velocidades de 1.2 a 921 kbps y transmitir información por RF a 240 kbps. Inicialmente se configuró el USART a 1.2 kbps, la transmisión del bloque de 100 kB se realizó en 14 segundos, posteriormente se incrementó la velocidad gradualmente hasta llegar a la máxima de 921 kbps y el tiempo de transmisión disminuyó a 3 segundos como se indica en la gráfica de la figura 9.

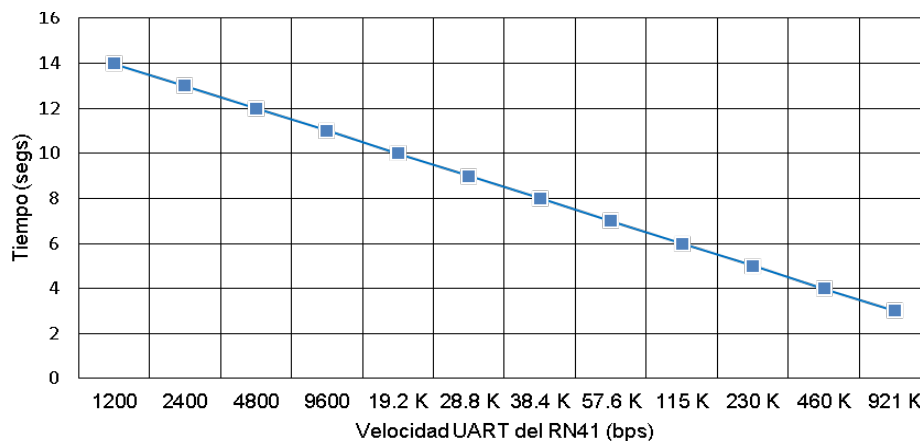


Figura 9 Tasa de transferencia entre los módulos de medida y el módulo coordinador.

Configurando el USART a 921 kbps la transmisión del bloque de 100 kB (un poco más de 800 kbits) debería tardar 1 segundo. Tardó 3 segundos porque la velocidad de la salida RF (240 kbps) del transceptor Bluetooth es menor a la velocidad de la salida del USART (921 kbps).

En el segundo conjunto de pruebas se ubicaron módulos de medida, sin conectar sensores, a diferentes distancias con línea de vista del módulo coordinador y se transmitió un bloque de 64 bytes, ya que los sensores no se pueden mover, están conectados de manera fija en la tubería de agua. Se transmitió un bloque de 64 bytes, y no de 100 kB como en el primer conjunto de pruebas, porque se necesitaba determinar el alcance usando un bloque de tamaño real al enviado en esta aplicación. Configurando el USART del transceptor RN41 con velocidades de 1.2 a 115 kbps, la distancia alcanzada fue 102 metros. Con velocidades de 230, 460 y 921 kbps la distancia alcanzada disminuyó hasta 95 metros como se indica en la gráfica de la figura 10. Ya que la cantidad de información transmitida entre los módulos de medida y el módulo coordinador no son bloques grandes como el de 100 kB usado en la primera gráfica, la velocidad entre el microcontrolador y el circuito RN41 se estableció a 115 kbps en ambos tipos de módulos para lograr la mayor distancia (102 metros) entre ambos. Esta distancia es un poco mayor a los 100 metros especificados por el fabricante del transceptor Bluetooth.

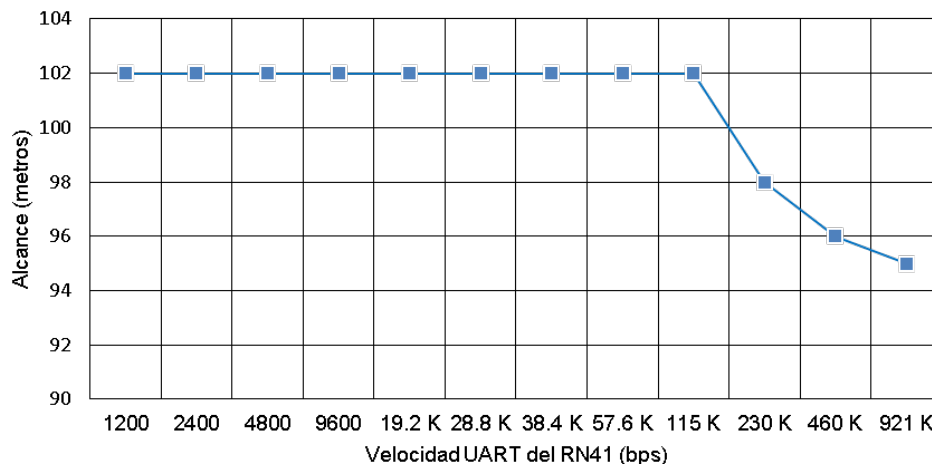


Figura 10 Alcance entre los módulos de medida y el módulo coordinador.

En el tercer grupo de pruebas se solicitó a personal del centro de datos variar la presión del agua de las tuberías. Las pruebas se realizaron en una ventana de mantenimiento, ya que no es común modificar la presión. Se comparó el valor de presión indicado por la interface de usuario con la mostrada en el display LCD del sensor y se tuvo una diferencia de +/- 1%.

4. Discusión

Al transmitir un bloque de datos de 100 kB entre los módulos de medida y el módulo coordinador en 3 segundos, configurando el USART del RN41 a máxima velocidad de 921 kbps, no tiene impacto mayor en esta aplicación de monitoreo por dos razones: 1) la cantidad de información transmitida no supera los 64 bytes, sin embargo, el sistema está preparado para transmitir bloques de datos de 100 kB entre ambos módulos, por ejemplo cuando el módulo coordinador necesite enviar órdenes, comandos o archivos a controladores o actuadores, 2) la interface de usuario monitorea el valor de presión cada 60 segundos, tiempo suficiente para transmitir el archivo en 3 segundos.

En la aplicación desarrollada, el alcance logrado de 102 metros con transceptores Bluetooth es suficiente, ya que el área de los centros de datos sigue creciendo en la actualidad pero siempre se dividen en áreas pequeñas llamada bunkers cuya distancia a la oficina central no es mayor a 100 metros.

Por otra parte, puede verse como desventaja que el sistema construido use tecnología Bluetooth, ya que una red Bluetooth puede estar formada por un dispositivo maestro y hasta siete esclavos. En este sistema se construyeron cinco módulos de medida, puede crecer hasta siete, si es necesario que el sistema tenga más de siete, por ejemplo cuando el centro de datos ha crecido e instalado sensores de presión adicionales, será necesario contar con más de una red Bluetooth incorporando otro transceptor al módulo coordinador, lo cual tiene la ventaja de separar las redes Bluetooth, una para cada bunker, y contar con mayor seguridad y velocidad en la transmisión de información.

5. Conclusiones

Se construyó un sistema sencillo de medida y registro de presión remota, de bajo costo y fácil de instalar y usar que cumple con la función solicitada. Una ventaja del sistema implantado, con respecto a los existentes actualmente en centros de datos e industrias, es el uso de comunicación inalámbrica entre los módulos que lo componen ya que no interfiere ni modifica la infraestructura de cableado y comunicaciones usada en el lugar donde se instale. El haberlo

construido de forma modular fue con el propósito de extender su funcionalidad para adaptarlo a las dimensiones de las instalaciones donde vaya a usarse o bien si se necesita mayor alcance se pueden sustituir los transceptores Bluetooth por otros de tecnología más reciente como por ejemplo transceptores LoRa Wireless para implantar redes de área amplia de baja potencia (Low Power Wide Area Network-LPWAN) o XBee SX, ambos enfocados a aplicaciones metropolitanas con alcance de decenas de kilómetros.

Otra ventaja del sistema implantado con respecto a los comercialmente existentes es el método de muestreo automático, remoto y con periodo configurable que genera un archivo de valores que no solo es accedido por la interface de usuario, si no también puede ser usado por otros procesos y herramientas de auditoría y monitoreo del centro de datos.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] J. Qu, L. Li, L. Liu, "Smart temperature monitoring for data center energy efficiency". IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI). Dongguan. 28-30 July 2013. Pp.: 360-365.
- [2] M. R. C. Trusca, S. Albert, M. L. Soran, "The benefits of data center temperature monitoring". 2015 Conference Grid, Cloud & High Performance Computing in Science (ROLCG). Cluj-Napoca. 28-30 Oct. Pages: 1-3. 2015.
- [3] W. Sun, X. Chen, F. Liu, "Collection System for Pressure Information of Buildings Based on the IoT and CAN Bus". International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC). Sanya. 10-12 Oct. 2012. Pp. 274-277.
- [4] A. Roohi, K. Raeisifard, S. Ibrahim, "An application for management and monitoring the data centers based on SNMP". IEEE Student Conference on Research and Development (SCOReD). Batu Ferringhi. 16-17 Dec. 2014. Pp. 1-4.
- [5] A. M. Telgote, V. Narayanan, N. A. Dave, "Design and implementation of water environment monitoring system using GSM technology". International

- Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD). Mumbai, 4-6 Feb. 2015. Pp. 1-4.
- [6] Q. Wu, Y. Liang, Y. Sun, C. Zhang, "Application of GPRS technology in water quality monitoring system". World Automation Congress (WAC). Kobe. 19-23 Sept. 2010. Pp. 7-11.
- [7] J. Kim, H. Lee, S. Cha, B. Choi, "Fabrication and evaluation of implantable pressure sensor using strain gauge". Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON). Ubon Ratchathani. 5-7 Dec. 2012. Pp. 1-4.
- [8] L. G. Occhipinti, E. Fontana, S. Smerzi, E. Spoto, "Flexible and conformable strain gauges for smart pressure sensors systems: Static and dynamic characterization". IEEE 15th International Conference on Nanotechnology (IEEE-NANO). Rome. 27-30 July. 2015. Pp. 1303-1307.
- [9] C. Pornpatkul, W. Suksathid, "Pressure control design by Fieldbus system for the pressure gauge calibration". 13th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS). Gwangju. 20-23 Oct. 2013. Pp. 1565-1570.
- [10] M. A. Dayioğlu, "Development of real-time wireless monitoring system for greenhouses: Industrial Bluetooth application". 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). Trabzon. 23-25 April. 2014. Pp. 548-551.
- [11] R. Nagarajan, R. Dhanasekaran, "Implementation of wireless data transmission in monitoring and control". International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP). Melmaruvathur. 3-5 April. 2013. Pp. 83-87.

7. Autores

M.C. José Ignacio Vega Luna obtuvo su título de Maestría en Ciencias de la Computación en la UAM-Azcapotzalco. Sus áreas de especialización y trabajo son: aplicaciones de microcontroladores, UNIX y sistemas de alta disponibilidad. Desde 1985 es Profesor Titular de carrera en la UAM-Azcapotzalco.

Ing. Mario Alberto Lagos Acosta es Ingeniero en Electrónica por la UAM-Azcapotzalco. Sus áreas de especialización y trabajo son: aplicaciones con microprocesadores y microcontroladores. Actualmente es Profesor Asociado en la UAM-Azcapotzalco.

Ing. Gerardo Salgado es Ingeniero en Electrónica por la UAM-Azcapotzalco. Sus áreas de especialización y trabajo son: aplicaciones con microprocesadores y microcontroladores. Actualmente es Profesor Titular en la UAM-Azcapotzalco.

Ing. Víctor Noé Tapia Vargas es Ingeniero en Electrónica por la UAM-Azcapotzalco, cuenta con el 100% de créditos de la Maestría en Ciencias de la Computación en la UAM-Azcapotzalco. Sus áreas de especialización y trabajo son: aplicaciones con microprocesadores, microcontroladores y robótica. Actualmente es Profesor Titular en la UAM-Azcapotzalco.