

Implementación de una red de sensores inalámbricos

Álvarez Erazo Francisco Xavier, Rodas Benalcázar Ana Verónica

Escuela Politécnica Nacional
Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Quito, Ecuador

Abstract—Se realizó el diseño e implementación de una red de sensores inalámbricos con topología Cluster Tree para el Laboratorio de Instrumentación Industrial de la Escuela Politécnica Nacional. Esta red permite realizar un monitoreo del ambiente del laboratorio y mediante una interfaz realizada en LabVIEW 2013 se pueden graficar, visualizar y registrar las respectivas variables. Adicionalmente se envían alarmas por e-mail con la ayuda de LabVIEW 2013 y mediante comunicación serial se activa al módulo SIM900 con el ARDUINO UNO para envío de mensajes de texto a un celular.

Index Terms—Red de sensores inalámbricos, LabVIEW, IEEE 802.15.4, NI WSN, SIM900, ARDUINO UNO

I. INTRODUCCIÓN

El propósito de las redes de sensores inalámbricos WSN es integrar el procesamiento de la información al medio que nos rodea y no concentrarla en determinados dispositivos electrónicos, logrando “nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial” [1]

Para implementar una WSN se puede utilizar la norma IEEE 802.15.4 la cual permite formar topologías que se ajustan al espacio de la aplicación, mediante la configuración de los dispositivos de la red.

Si falla uno o varios nodos dentro de la red se pueden utilizar protocolos de ruteo o de seguridad en caso de falla en la transmisión de datos. [2]

En ambientes industriales las normas de cableado son estrictas e implican un alto costo y tiempo de implementación, en tanto que una red de sensores inalámbricos los suprimiría.

Al extender una red de sensores inalámbricos se puede obtener una información más completa de un escenario determinado, debido a que proporciona datos del mismo espacio pero desde diferentes posiciones.

II. HARDWARE DEL SISTEMA

La red de sensores inalámbricos implementada presenta tres nodos, un gateway y una estación base.

Para ubicar a los nodos y el gateway se realizó una estimación de alcance en base a la ecuación (1); estableciendo el rango estimado (R, en metros) entre los dispositivos inalámbricos.

$$R = 10^{\left(\frac{P_0 - F_m - P_r - 10 * n * \log_{10}(f) + 30 * n - 32.44}{10 * n}\right)} \quad (1)$$

Donde:

P₀ (dBm): potencia de transmisión

P_r (dBm): sensibilidad del receptor

n: exponente de pérdidas por trayectoria

F_m (dB): margen de desvanecimiento

f (MHz): frecuencia de la señal

La máxima distancia que se consideró al momento de posicionar a los nodos en el Laboratorio de Instrumentación Industrial fue de R=24.32m, considerando la peor condición para un escenario sin línea de vista y similar al interior de un edificio típico de oficina.

Una vez establecida la distancia máxima entre los dispositivos, se calcula la potencia de la señal (en dBm) para garantizar la conexión inalámbrica usando las distancias de posicionamiento. En [2] se encuentra la ecuación que es resultado de varios experimentos en aplicaciones *indoor*.

$$P_d = P_0 - 10 * n * \log_{10}(f) - 10 * n * \log_{10}(d) + 30 * n - 32.44 \quad (2)$$

Donde:

P_d: potencia de la señal (en dBm) a una distancia d

P₀: potencia de la señal (en dBm) a una distancia cero de la antena

f: frecuencia de la señal en MHz

d: distancia (en metros) desde la antena

n: exponente de pérdidas por trayectoria (path-loss exponent)

En la *Tabla 1* se observa que todas las potencias de la señal calculadas a las diferentes distancias y con la variación de los parámetros fueron menores a -102 dBm, que corresponde a la sensibilidad de recepción de los dispositivos; por lo que fue posible establecer un enlace inalámbrico entre ellos.

Tabla 1 Resultados de los cálculos de las potencias de la señal

Frecuencia [MHz]	Pd [dBm]					
	R=2.42 m n=2.7	R=2.42 m n=4.3	R=4.98 m n=2.7	R=4.98 m n=4.3	R=5.92 m n=2.7	R=5.92 m n=4.3
2405	-36.09	-48.33	-44.56	-61.81	-46.58	-65.04
2410	-36.12	-48.37	-44.58	-61.85	-46.61	-65.08
2415	-36.14	-48.41	-44.60	-61.89	-46.63	-65.12
2420	-36.17	-48.45	-44.63	-61.92	-46.66	-65.15
2425	-36.19	-48.49	-44.65	-61.96	-46.68	-65.19
2430	-36.21	-48.53	-44.68	-62.00	-46.70	-65.23
2435	-36.24	-48.56	-44.70	-62.04	-46.73	-65.27
2440	-36.26	-48.60	-44.72	-62.08	-46.75	-65.31
2445	-36.29	-48.64	-44.75	-62.12	-46.78	-65.35
2450	-36.31	-48.68	-44.77	-62.16	-46.80	-65.38
2455	-36.33	-48.72	-44.80	-62.19	-46.82	-65.42
2460	-36.36	-48.75	-44.82	-62.23	-46.85	-65.46
2465	-36.38	-48.79	-44.84	-62.27	-46.87	-65.50
2470	-36.41	-48.83	-44.87	-62.31	-46.90	-65.54
2475	-36.43	-48.87	-44.89	-62.34	-46.92	-65.57
2480	-36.45	-48.91	-44.92	-62.38	-46.94	-65.61

A. Ubicación de los nodos y gateway

La *Figura 1* muestra la posición de los nodos y el gateway en el Laboratorio de Instrumentación Industrial. La representación del flujo de comunicación indica la formación de una topología Cluster Tree, la cual permite cubrir a todos los espacios del laboratorio. La configuración que utilizan los nodos 2 y 3 es como nodos router y el nodo 1, como nodo final.

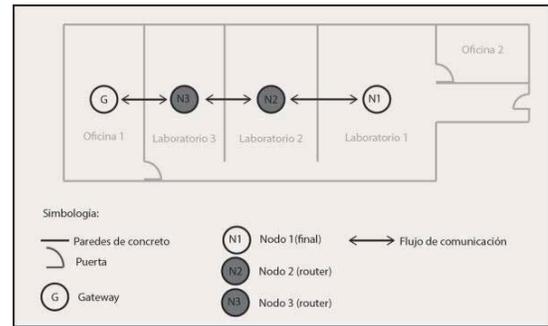


Figura 1 Representación de una red inalámbrica con topología Cluster Tree en el Laboratorio de Instrumentación Industrial

B. Instalación eléctrica para alimentación de los nodos

La opción de alimentación externa de 9 a 30 VDC que poseen los nodos NI WSN 3202, permiten alimentarlos con adaptadores. Se consideró realizar una instalación de tomacorrientes para energizar constantemente a los nodos. En la *Figura 2* se representa el posicionamiento de los tomacorrientes que se ubicaron en el techo de cada división del laboratorio.

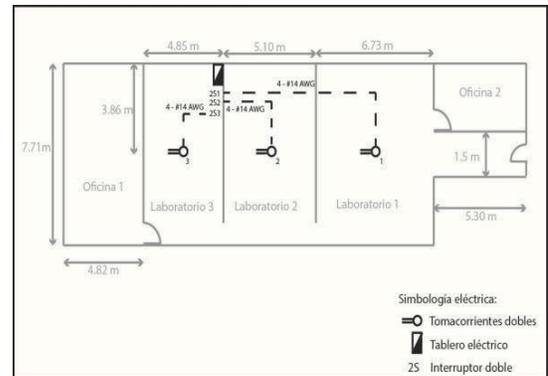


Figura 2 Instalación de tomacorrientes en el Laboratorio de Instrumentación Industrial

C. Sensores del Nodo 1

Módulo sensor de gas MQ-135, módulo sensor de sonido para Arduino, módulo sensor de gas MQ-9, módulo sensor de gas MQ-7, módulo sensor infrarrojo de proximidad para Arduino y el módulo sensor PIR de presencia para Arduino. En la *Figura 3* se presentan las conexiones de los sensores en el Nodo 1.

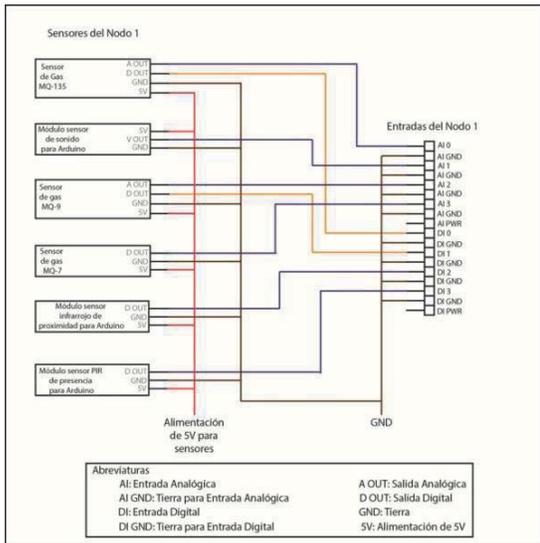


Figura 3 Conexiones del Nodo 1

D. Sensores del Nodo2

Sensor de intensidad de luz TEMENT6000, sensor de humedad HIH-4030, sensor de presión MPX4115, módulo sensor de sonido para Arduino, módulo sensor PIR de presencia SURE electronics, módulo sensor de gas MQ-9, módulo sensor de gas MQ-2 y el módulo sensor infrarrojo de proximidad para Arduino. En la Figura 4 se presentan las conexiones de los sensores en el Nodo 2.

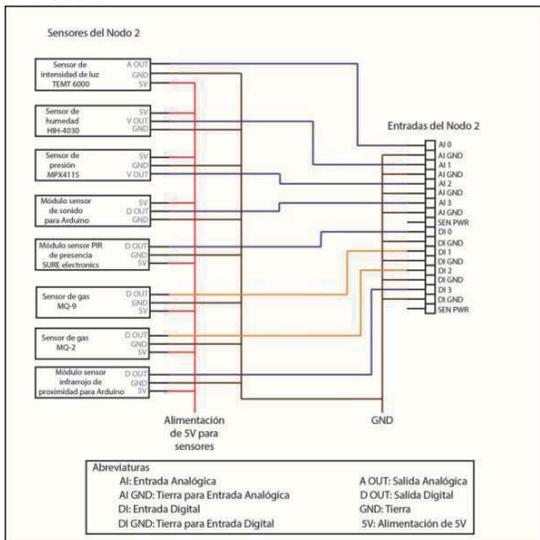


Figura 4 Conexiones del Nodo 2

E. Sensores del Nodo3

Sensor de corriente ACS712, sensor de intensidad de luz TEMENT6000, sensor de temperatura LM35, módulo sensor de gas MQ-135, módulo sensor PIR de presencia SURE electronics, módulo sensor infrarrojo de proximidad para Arduino y el módulo sensor de gas MQ-2. En la Figura 5 se presentan las conexiones de los sensores en el Nodo 3.

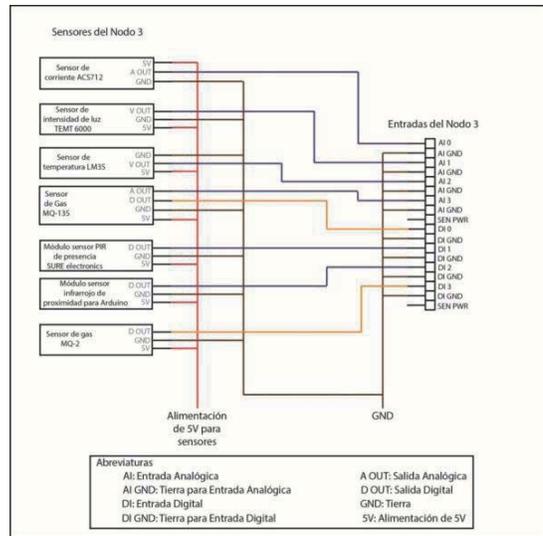


Figura 5 Conexiones del Nodo 3

III. SOFTWARE

Se utilizó LabVIEW 2013 para realizar el software de monitoreo. En él se añadió al gateway NI 9792 y a los tres nodos NI WSN 3202. Reconocidos los dispositivos de la red en el Project, en un solo VI se programaron tres interfaces; una para cada nodo.

En el Nodo 1 se mide, se grafica y se registra el nivel de sonido en dB, la cantidad de CO₂, CO y H₂ en ppm (Figura 6). En caso de presencia de gas inflamable o humo se envían alarmas por e-mail correspondientes a los sensores de humo. Adicionalmente el módulo de sensor de gas MQ-135 tiene programada una alarma por comunicación serial para activar el envío de mensaje de texto que alerta de dicha situación.

En caso de existir ruido se activa una alarma de e-mail del sensor de sonido.

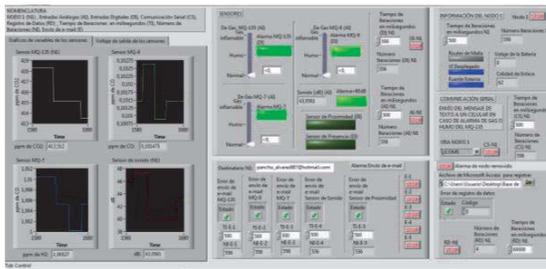


Figura 6 Interfaz del Nodo 1

En el Nodo 2 se mide, se grafica y se registra la cantidad de luz en luxes, la humedad relativa en %RH, la presión en kPa y el nivel de sonido en dB (Figura 7). En caso de presencia de gas inflamable o humo se envía una alarma por e-mail y por mensaje de texto, correspondiente al sensor MQ-9. De igual manera que en el Nodo 1 si existe demasiado ruido se activa una alarma por e-mail.



Figura 7 Interfaz del Nodo 2

En el Nodo 3 se mide, se grafica y se registra la cantidad de luz en luxes, corriente del sensor MQ-135 en amperios, la temperatura en °C y el nivel de CO2 en ppm (Figura 8). En caso de presencia de gas inflamable o humo se envía una alarma por mensaje de texto, correspondiente al sensor MQ-135.

En los tres nodos existe una alarma por e-mail en caso de que algún nodo de la red sea removido cuando esté funcionando y una alarma por mensaje de texto en caso que se corte el suministro eléctrico de los mismos.

Cada una de las interfaces presenta un LED virtual que se activa en caso de detectar presencia en cada espacio del laboratorio.

Todas las rutinas que se presentan en las interfaces poseen un control de tiempo de iteraciones y un botón de STOP independiente.

El registro de los datos fue posible realizarlo con el Database Connectivity Toolkit [5] y el envío de e-mail con *Send Email Express VI* [4]



FIGURA 8 INTERFAZ DEL NODO 3

IV. RESULTADOS

Al usar los canales inalámbricos 14, 18, 19, 21, 23 y 24 a la frecuencia de 2.4GHz con el estándar IEEE 802.15.4, se obtuvo una calidad de enlace entre los dispositivos de la red, entre el 87% y 100%, según la calificación del enlace que se presenta en [6].

Con las mediciones realizadas de la potencia de la señal inalámbrica entre los dispositivos y los errores con respecto a los valores teóricos conseguidos con la ecuación (2), se estableció el valor de 4,3 como exponente de pérdidas por trayectoria.

Las interfaces para cada nodo funcionaron de una forma adecuada para las rutinas de registro, gráfico, adquisición y envío de alarmas.

V. CONCLUSIÓN

La red de sensores inalámbricos implementada en el Laboratorio de Instrumentación Industrial es capaz de cambiar de topología, mediante la configuración inalámbrica de los dispositivos con el software NI-MAX. No es necesario modificar la programación de las interfaces para cambiar de topología.

Se logró establecer conexión inalámbrica para la red en todos los canales disponibles de los equipos. Con las mediciones de potencia de la señal realizadas con el analizador de espectros Will tek 9102, se estableció un exponente de pérdidas por trayectoria que se obtuvo en función de la potencia de la señal a una determinada distancia, la potencia de la señal a una distancia cero de la antena, la frecuencia de la señal y la distancia.

La selección adecuada de frecuencia y topología de acuerdo a la ubicación de los dispositivos de la NI WSN, permiten obtener una mejor calidad de enlace de los dispositivos dentro del Laboratorio de Instrumentación Industrial.

Para presentar mayor seguridad en el sistema, los nodos poseen una alerta para el usuario para indicar la desconexión del suministro eléctrico de los nodos; este tipo alarma es posible programarla ya que las señales analógicas y digitales que se adquieren de los nodos se congelan al momento de desconectar los nodos.

El software LabVIEW 2013 presenta las facilidades para trabajar con redes de sensores y permite cumplir con los procesos de adquisición, registro de datos, envío de alarmas y gráfico de las señales analógicas de los respectivos sensores de una manera sencilla y fácil de programar.

VI. REFERENCIAS

- [1] N. Aakvaag y J. Frey. (2006, Feb.). Redes de sensores inalámbricos - Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial, Revista ABB. Disponible: http://www.ie.com.co/pdf/ABB/02-2006/39-42%25202M631_SPA72dpi.pdf
- [2] O. Daqui. (2011, Feb.). Diseño e implementación de una solución de monitoreo remoto vía internet, para una red inalámbrica de sensores. Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero en electrónica y redes de información. Escuela Politécnica Nacional. Quito. Disponible: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2739/1/C-D-3401.pdf>
- [3] S. Farahani, "RF Propagation, Antennas, and Regulatory Requirements," en *Zigbee Wireless Networks and Transceivers*. United States of America: Elsevier Ltd, 2008, pp. 171-206
- [4] *Send Email Express VI*, Support National Instruments, LabVIEW2013Help. Edition Date: June 2013. Disponible: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361K-01/lvcomm/smtp_send_email_express/
- [5] *LabVIEW Database Connectivity Toolkit User Manual*, National Instrument Corporation, Austin, Texas, 1997-2008, Disponible: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371525a.pdf>
- [6] *What Do The Different WSN Link Quality Values Mean?*, Support National Instruments. Disponible: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/F2481F62895C7CAB862576AE001C3EDF>



F. Álvarez, nació en la ciudad de Quito el 16 de julio de 1989. Sus estudios primarios y secundarios los realizó en la Unidad Educativa Municipal "Quitumbe", obteniendo el Título de Bachiller en Ciencias, especialización Físico-Matemáticas. Sus estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional (EPN), obteniendo el

Título de Ingeniero en Electrónica y Control. Actualmente trabaja como Técnico Docente Politécnico del Departamento de Formación Básica en la EPN y se encuentra admitido en el programa de la "Maestría en Mecatrónica y Robótica" de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN.



A. Rodas. Ingeniera en Electrónica y Control. Magister en Gerencia Empresarial con mención en Operaciones y Calidad. Profesora e investigadora del Departamento de Automatización y Control Industrial. Sus áreas de interés son los sensores, instrumentación y tratamiento de señales