

## Desarrollo de una red inalámbrica para el registro automático de parámetros en los laboratorios de técnicas analíticas nucleares

Jean Pierre Tincopa<sup>1,\*</sup>, Oscar Baltuano<sup>2</sup>, Patricia Bedregal<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional del Callao, Av. Juan Pablo II 306, Bellavista, Callao, Perú.

<sup>2</sup> Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú.

### Resumen

En este artículo se presenta el desarrollo de una red inalámbrica de bajo costo, para el registro automático de los parámetros de temperatura y humedad ambiental en las instalaciones de los laboratorios de técnicas analíticas nucleares. El prototipo desarrollado cuenta con un sensor DHT22 que otorga ambos parámetros con alta precisión de manera automática, los mismos que son leídos y visualizados mediante un microcontrolador ATmega328P. Estos datos son luego transmitidos mediante transceivers Xbee Pro S2B formando una red mesh para su posterior almacenamiento en una memoria micro SD en tiempo real mediante un RTC (Real Time Clock). Se muestran los resultados experimentales obtenidos en la implementación del mismo.

Palabras claves: Red mesh; Transceiver; Xbee; Laboratorios; Temperatura; Humedad

### Wireless network development for the automatic registration of parameters in laboratories of nuclear analytical techniques

#### Abstract

This paper presents in detail the development of a low-cost wireless network for automatic recording of temperature and relative humidity parameters in the laboratory of nuclear analytical techniques. This prototype has a DHT22 sensor which gives us both parameters with high precision and are automatically read and displayed by a ATmega328P microcontroller. This data is then transmitted through transceivers Xbee Pro S2B forming a mesh network for real time storage using an RTC (Real Time Clock). We present the experimental results obtained in its implementation.

Keywords: Mesh network; Transceiver; Xbee; Laboratories; Temperature; Humidity

#### 1. Introducción

En la actualidad, mundialmente se utilizan diferentes métodos de monitoreo mediante redes de sensores [1,2], muchos de los cuales tienen aplicaciones para el control [3] y predicción de eventos [4], destacando los mismos por su implementación a través de microcontroladores de bajo costo.

Un requerimiento de la Norma ISO 17025 es el registro de las condiciones ambientales del laboratorio donde se llevan a cabo los ensayos de análisis. Los laboratorios de Técnicas Analíticas del IPEN cuentan con sensores analógicos de temperatura y humedad ambiental, que registran de forma manual cada uno de estos parámetros, siendo ésta una tarea que consume tiempo del analista y es susceptible al error humano, además solo posibilita realizar un limitado número de

mediciones por día y no permite el registro los días no laborables, también no admite el registro directo de la información en una base de datos.

Debido a la creciente aplicación de sistemas automatizados en los laboratorios de análisis químicos se implementó un sistema automatizado de monitoreo de las condiciones ambientales, que permita el registro directo de la información en una computadora central, considerando que se viene desarrollando una red controladora de procesos en dichos laboratorios [5].

En este trabajo presentamos los procedimientos para elaborar un conjunto de dispositivos que conforman una red inalámbrica de monitoreo de los parámetros

\* Correspondencia autor: jp.tincopa@gmail.com

como temperatura y humedad relativa, los cuales, en conjunto, forman una red que usa topología Mesh [6], haciendo uso de algunos de ellos como clusters [7]. Para la elección de los sensores tomamos en cuenta los requisitos de la World Meteorological Organization (WMO) teniendo una resolución de 0.1 celcius para la temperatura y 0.1 % para la humedad [8]. Estos parámetros son cumplidos por el sensor DHT22 [9].

## 2. Experimental

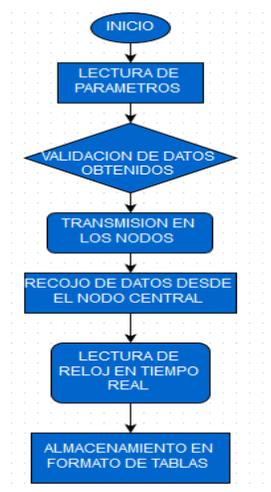
El desarrollo de la red de comunicación se realizó mediante microcontroladores de 8 bits, además de dispositivos transceiver para la transmisión y recepción de datos. La información adquirida fue almacenada dentro de una memoria micro SD conteniendo la hora y fecha obtenida a través de un reloj en tiempo real (Real Time Clock).

### 2.1. Procedimiento

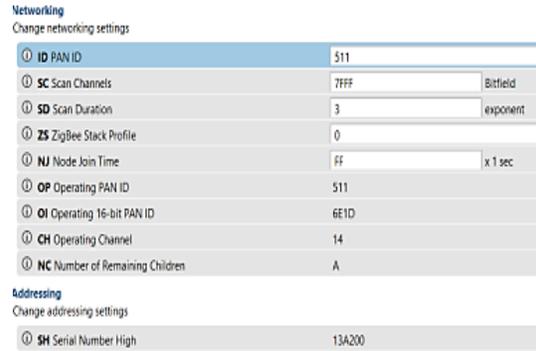
El procedimiento contempla el diseño del software y los materiales necesarios para el desarrollo de la red inalámbrica de sensores.

#### 2.1.1. Diseño del software

En la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo que describe el comportamiento de toda la red, en ella podemos ver que se realiza una validación previa de los datos obtenidos, antes de pasar a la etapa de transmisión de los mismos; luego, el nodo central recoge los datos para almacenarlos con una estampa de tiempo en formato de tablas para que sean postprocesados.



**Figura 1.** Diagrama de flujo del comportamiento de la red.



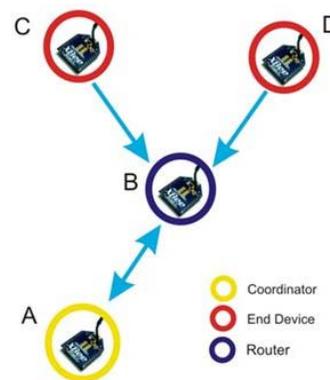
**Figura 2.** Captura de pantalla de programa XCTU.

#### 2.1.2. Materiales

- Arduino IDE: Entorno de programación para toda la gama de módulos de Arduino.
- XCTU (Figura 2): Programa para establecer los parámetros de los transceivers Xbee como nombre de la red, MAC, Nivel de potencia y número de canales.
- Librerías de programación de Xbee, RTCLib, DHT, SPI, Wire.

#### 2.2. Descripción de la red

La red implementada es del tipo mesh, en la cual los nodos intermedios actúan como repetidores (Figura 3). Está compuesta por un conjunto de 3 nodos, 2 Router/End Device y un Coordinator, ubicadas cada uno en una sala distante una de la otra. En el proceso de diseño se ha considerado diferentes etapas por nodo (Figuras 4 y 5).



**Figura 3.** Topología de la red [10].

La Figura 4 muestra las etapas para el caso de los nodos Router/End Device, mientras que la Figura 5 muestra las etapas para el caso del nodo Coordinator.



Figura 4. Etapas de los nodos Router/End Device.



Figura 5. Etapas del nodo Coordinator.

### 2.3. Hardware utilizado

- Sensor DHT22: Sensor digital que nos otorga los valores de temperatura y humedad ambiental con alta precisión y con amplio rango (Figura 6).
- Arduino UNO: Módulo de programación que cuenta con el microcontrolador ATmega328P de 8 bits a 16MHz.
- Shield RTC – SD: Placa compatible con el módulo Arduino que cuenta con un Real Time Clock que se comunica por el bus I2C y una interfaz para memoria SD comunicada mediante el bus SPI.
- Shield Xbee: Placa compatible para comunicación entre el microcontrolador y el transceiver mediante comunicación serial UART.



Figura 6. Sensor DHT22

Adicionalmente, para las pruebas dentro de los laboratorios se diseñaron estructuras de plástico para todos los nodos de la red mediante impresión 3D (Figura 7).

Asimismo, con el archivo obtenido en formato de tablas (CSV) se hace uso de una hoja de cálculo para generar una gráfica (Figura 8) que permite visualizar el comportamiento de la temperatura (línea roja) y humedad relativa (línea azul) de una de las salas del laboratorio a lo largo de alrededor de 1171 segundos, en ella se observa que la temperatura tiende a ser un valor estable a lo

largo del tiempo a diferencia de la humedad que tiende a tener cambios bruscos en sus valores.

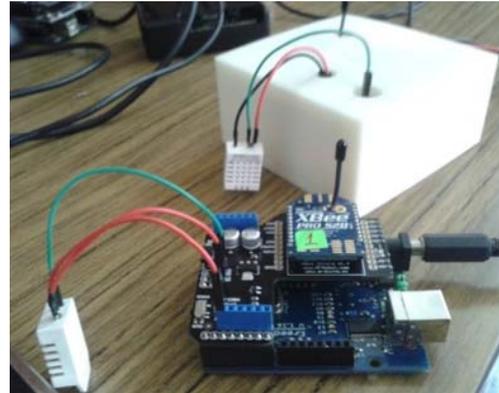


Figura 7. Nodo dentro del Case 3D.

### 3. Resultados y discusión

En la Figura 1 se puede apreciar el funcionamiento de la red que se inicia con una validación previa de los datos obtenidos, antes de pasar a la etapa de transmisión de los mismos; luego, el nodo central recoge los datos para almacenarlos con una estampa de tiempo en formato de tablas para que sean postprocesados.

Los resultados de la prueba de registro automático de temperatura y humedad se muestran en la Tabla 1. Se han monitoreado dos laboratorios simultáneamente y se puede observar que los datos obtenidos por el sistema desarrollado son consistentes con los datos medidos con los instrumentos clásicos dentro del laboratorio (Sala 1: T = 24 °C , H = 56 % y Sala 2: T = 24.2 °C y H = 54 %).

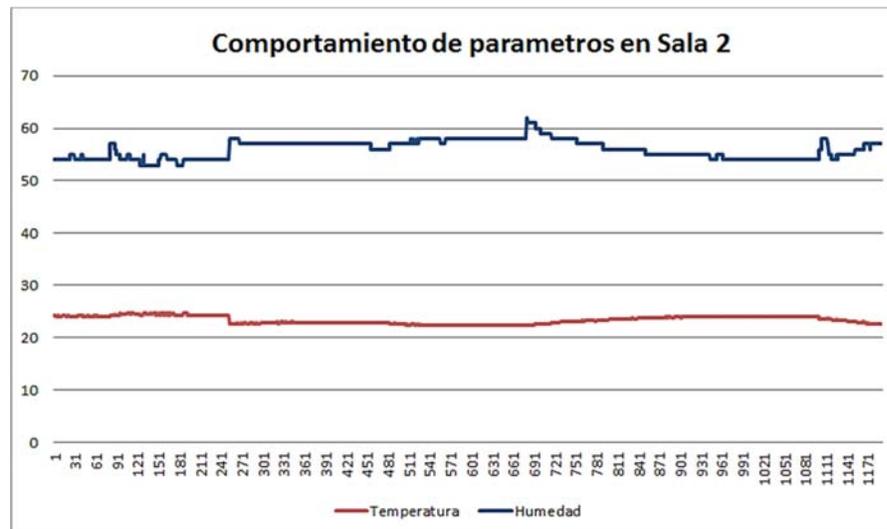
Las mediciones obtenidas confirman el correcto desempeño de la red de sensores en el tiempo. Actualmente, el nodo coordinador es encendido mediante una fuente de alimentación y los nodos transmisores utilizan baterías de 12V para operar.

A pesar que las pruebas se realizaron únicamente con dos puntos de medición, el sistema es fácilmente escalable a mayor número de puntos. Teóricamente, el protocolo ZigBee utilizado permite incluir dentro de su topología un máximo de 65,535 nodos; sin embargo, para esta aplicación el requerimiento de nodos es significativamente menor; razón por la cual la tasa y velocidad de transferencia de datos no se vería afectada por la carga de los nodos adicionales que se

implementarían.

**Tabla 1.** Valores obtenidos de temperatura y humedad relativa para la Sala 1 y Sala 2, respectivamente en forma simultánea.

	Fecha	Hora	Temperatura Sala 1 (°C)	Humedad Sala 1 (%)	Temperatura Sala 2 (°C)	Humedad Sala 2 (%)
1	14/10/2015	10:29:31	23.9	56	24.3	54
2	14/10/2015	10:29:32	23.9	56	24.3	54
3	14/10/2015	10:29:33	23.8	56	24.3	54
4	14/10/2015	10:29:35	23.8	56	24.1	54
5	14/10/2015	10:29:36	23.8	56	24.1	54
6	14/10/2015	10:29:41	23.8	56	24.3	54
7	14/10/2015	10:29:42	23.8	56	24.3	54
8	14/10/2015	10:29:43	23.8	56	24.1	55
9	14/10/2015	10:29:44	23.8	56	24.1	55



**Figura 8.** Comportamiento de la temperatura y humedad ambiental dentro de la Sala 2 en el rango de 0 a 70 (°C y % HR, respectivamente) en el transcurso de 1171 segundos.

#### 4. Conclusiones

El sistema transmite satisfactoriamente los parámetros de temperatura y humedad ambiental a través de todos sus nodos, facilitando al personal el registro de las condiciones ambientales de los laboratorios en una memoria SD dentro de un formato de tablas para su procesamiento posterior, concluyendo así que, es posible desarrollar e implementar este tipo de redes dentro de los laboratorios del IPEN.

Adicionalmente, es posible obtener una gráfica del registro realizado por el monitor automático de ambiente, de tal forma que nos permita mostrar la variabilidad de los datos en un rango de variación prefijado y de acuerdo

con el requerimiento establecido por el laboratorio.

#### 5. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado por el Bachiller Renzo Chan para la realización de las pruebas finales de la red.

#### 6. Bibliografía

- [1]. Lambebo A, Haghani S. A wireless sensor network for environmental monitoring of greenhouse gases. In: ASEE 2014 Zone I Conference. 2014 April 3-5; Connecticut, USA; 2014.
- [2]. Valverde J, *et al.* Wireless sensor network for environmental monitoring: Application in a coffee factory. Centro de

Electrónica Industrial, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid: España; 2012.

[3]. Rhman Z, Ramzy A, Jasim B. Wirelessly controlled irrigation system. *Iraq J Electrical and Electronic Engineering*. 2014; 10(2):89-99.

[4]. Gaddam A, Hrooby M, Esmael W. Designing a wireless sensors network for monitoring and predicting droughts. In *Proceedings of the 8th International Conference on Sensing Technology*. 2014 September 2-4; Liverpool, United Kingdom; 2014.

[5]. Cunya E, Baltuano O, Bedregal P. Implementación de una red de comunicación y control para instrumentos de un laboratorio de técnicas analíticas nucleares. *Informe Científico Tecnológico*. 2013; 13: 95-109.

[6]. DIGI International [Homepage]. Wireless mesh networking ZigBee vs. DigiMesh. [acceso 2015]. Disponible en: [https://www.digi.com/pdf/wp\\_zigbeevsdigimesh.pdf](https://www.digi.com/pdf/wp_zigbeevsdigimesh.pdf)

[7]. Abbasi A, Younis M. A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks. *Computer Communications*. 2007; 30(14-15): 2826-2841.

[8]. World Meteorological Organization (WMO). *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. 2008 edition. WMO N° 8, Chapter 2. Measurement of temperature. Geneva: Switzerland; 2008.

[9]. World Meteorological Organization (WMO). *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. 2008 edition. WMO-N° 8. Chapter 4. Measurement of humidity. Geneva: Switzerland; 2008.

[10]. Aosong Electronics Co., Ltd. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22.

[11]. FFI: Free as in Free Internet. Blogspot. [Homepage]. Disponible en: <http://freeasinfreinternet.blogspot.pe/2011/06/xbee-mesh.html>