

Desarrollo de un prototipo para la recolección de datos meteorológicos usando una red de sensores inalámbrica

¹M.F., Quiñones-Cuenca ¹M.A., Jumbo-Sedamano ²Victor Gonzalez-Jaramillo

¹Santiago Quiñones ¹Marco Morocho

Universidad Técnica Particular de Loja

¹Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica

²Departamento de Geología, Minas e Ingeniería Civil

San Cayetano Alto S/N

Loja, Ecuador

{mfquinonez, majumbo2, vhgonzalez, lsquinones, mvmorocho}@utpl.edu.ec

ABSTRACT

En este trabajo se describe el desarrollo de un prototipo de nodo para la recolección de datos meteorológicos aplicable a diferentes ambientes. Para ello se ha utilizado una red de sensores inalámbrica (RSI) con el fin de proveer un dispositivo a bajo costo, genérico, escalable con el uso de tecnología abierta (Open Source), eficiente y de bajo consumo energético (autosustentable). Se desarrollaron 3 prototipos, 2 nodos recolectores de variables meteorológicas y un nodo central. Cada nodo recolector está provisto por módulos de sensores (de bajo costo) para adquirir las variables deseadas, un módulo de procesamiento conformado por una tarjeta de adquisición RedBoard encargada del tratamiento de los datos, y por un módulo de comunicación para enviar la información al nodo central. El nodo central (coordinador - Gateway) está formado por 2 módulos de comunicación, el primero interactúa con los nodos recolectores y el segundo con los servidores IoT. Toda la información recolectada por los nodos finales se visualizará mediante un servidor Web. Adicional a esto, el prototipo cuenta con una fuente de alimentación independiente (energía solar). La importancia de este trabajo radica en minimizar los costos en comparación con estaciones meteorológicas profesionales, esto sin comprometer la exactitud de las mediciones realizadas.

Categories and Subject Descriptors

C.2.1 [Network Architecture and Design]: Network communications, Wireless communication

General Terms

Design; Performance; Measurement

Keywords

WSN; IoT; 802.15.4; 802.11; Zigbee; Weather-Station; cli-

matology; environment; Open-Source

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día con las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), se ha logrado grandes adelantos en aplicaciones como el conocimiento del estado climático en distintas zonas, monitoreo de variables medioambientales, estudios de biodiversidad, entre otras; el uso de esta información tiene distintos fines, entre ellos la preservación digital de datos y su representación gráfica. Alunas iniciativas van más allá, y sus objetivos se enfocan en mejoras de la calidad de vida de los ciudadanos, mediante la obtención de variables de factores que afectan el entorno del ser humano, entre ellos: infraestructura y transporte, agricultura, datos de la biodiversidad del sitio observado, entre otros. Estas iniciativas de Ciudades Inteligentes o Territorios Inteligentes (Smart Cities and Smart Lands), entre otros, son ejemplos de algunos de los adelantos tecnológicos que emplean Redes de Sensores Inalámbricas (RSI) para su funcionamiento [22] y [3].

Las RSI constituyen un sub-campo especializado de la computación distribuida heterogénea, donde los recursos que emplean y el consumo de energía, son algunos de los tópicos más importantes [22]. Las RSI o WSN (Wireless Sensor Network), están conformadas por nodos (motas) capaces de obtener información acerca de su entorno, son capaces de procesar y transmitir los datos mediante enlaces inalámbricos hasta un nodo central de coordinación [24] - [?]; cuentan con características como auto-diagnóstico, auto-configuración, auto-organización y restauración de los nodos que la conforman.

Una RSI en general utiliza topologías altamente dinámicas, inducidas por las fluctuaciones típicas de la propagación a través de un medio inalámbrico, y por los patrones necesarios para extender la vida útil de la red; están conformadas por "nodos" de sensores, un Gateways y una "estación base". Además incorporan un patrón de interacción, donde los datos se canalizan desde los nodos recolectores hacia un nodo central dentro de la red [28], [27], [2], [29], [25], [13] y [23].

En esta investigación, primero se determinó las variables mínimas a adquirir para conocer las condiciones climáticas de una zona en específico, que según la Organización Mundial de Meteorología (OMM) son: temperatura ambiental, radiación solar, presión atmosférica, dirección y velocidad del viento, precipitación pluvial y humedad ambi-

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, to republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

Copyright 20XX ACM X-XXXXX-XX-X/XX/XX ...\$15.00.

ental [3], [23]. A continuación, para iniciar las pruebas de adquisición de datos meteorológicos se decidió tomar en cuenta todas las variables mencionadas excepto la radiación solar; adicional a ello se planteó 2 arquitecturas de pruebas y en base a estas se desarrollaron 3 prototipos que siguen el modelo de una RSI (ver Figure 1).

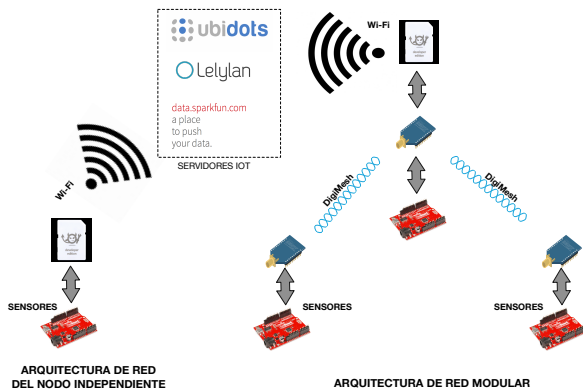


Figure 1: Modelos de arquitecturas

Para la arquitectura de red del nodo independiente se planteó el diseño de un prototipo (Nodo Independiente) con todas las funcionalidades para adquisición, procesamiento y envío de datos a Internet (RedBoard - Electric Imp 01 Servidor IoT); mientras que para la Arquitectura de red modular se propuso el diseño de dos modelos de prototipos, el primero que corresponde al nodo recolector, y el segundo al nodo central (Coordinador- Gateway).

Los nodos recolectores están formados por 3 módulos, un módulo de sensores, un módulo de adquisición-procesamiento y un módulo de comunicación. Estos nodos tienen por función recolectar los valores adquiridos por los sensores, procesarlos y comunicarse con el nodo central para el envío de datos; los llamados nodos centrales están conformados por dos módulos de comunicación que tienen por función coordinar la comunicación con los nodos finales (nodos recolectores) para la entrega de los valores recolectados, y retransmitir la información obtenida de los nodos recolectores a un servidor IoT en Internet [13], [23], [1] y [4].

A largo de este trabajo se describen los elementos que se utilizaron, el proceso que se siguió para conseguir desarrollar e integrar cada prototipo, los escenarios en los que se probó el rendimiento de los módulos empleados para la comunicación, y las pruebas de validación que se realizaron con el propósito de determinar la eficiencia de los nodos y la precisión de los sensores en la recolección de las variables, esto comparado con una estación meteorológica profesional de rango medio (Ver Figure2).

2. DISEÑO DE PROTOTIPOS

En ésta sección se detalla el diseño de los tres modelos de prototipos planteados, los primeros dos que forman parte de la arquitectura de red modular (Nodo Final - Nodo Coordinador) y último prototipo que forma parte de la arquitectura de red del nodo independiente (Nodo Recolector - Envío de datos al servidor); además al final de este apartado se detalla el consumo energético que requiere cada prototipo.

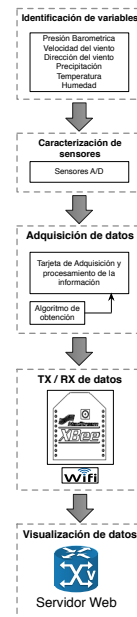


Figure 2: Metodología de desarrollo del prototipo

2.1 Modelo de Arquitectura de Red Modular

En ésta sección se describen los dos modelos de prototipos que forman la arquitectura, el nodo final y el nodo central.

2.1.1 Diseño del prototipo recolector (Nodo Final)

Para describir su funcionamiento se han considerado tres etapas: adquisición de datos, procesamiento y transmisión (ver Figure 3).

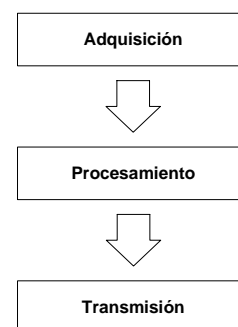


Figure 3: Etapas del prototipo recolector de datos

Adquisición

Las variables que se adquieren con este prototipo son las descritas en la introducción y para adquirirlas se utilizan los sensores descritos en la Tabla 2.1.2 [4], [20], [18], [19] y [7], como características determinantes para la elección de

los sensores se tomo en cuenta los rangos de medición y las interfaces de comunicación.

Características Generales de los Sensores					
Sensor		Voltaje Op.(V)	Rangos Medición	Exact.	
Weather Shield	HT - U21D	Temp.	1.5-3.6	-40+125°C	±0.3°C
		Hum.		0-100 %HR	±2%HR
	MPL3-115A2	Pres.	1.9-3.6	20-11 kPa	±0.4kPa
Interfaz de Comunicación I ² C Resolución Hum. 8 – 12bits. Resolución Temp. 12 – 14bits					
Ambiente	RHT03	Temp.	3.3-6.0	-40+80°C	±0.5°C
		Hum.		0-100 %HR	±2%HR
Interfaz de Comunicación 1 – Wire					
Suelo	SHT10	Temp.	2.4-5.5	-40+123 °C	±0.5°C
		Hum.		0-100 %HR	±4.5%HR
Interfaz de Comunicación 2 – Wire Resolución Hum. 8 – 12bits. Resolución Temp. 12 – 14bits					
Agua	DS - 18B20	Temp.	3.0-5.5	-55+125°C	±0.5°C
		Interfaz de Comunicación 1 – Wire Resolución Temp. 9 – 12bits.			
Weather Meter	Pluviómetro	2.5-5.5		0.2794mm	
	Anemómetro			2.4-228 $\frac{Km}{h}$	
	Veleta			0-360°	
Interfaz de Comunicación I ² C					

Tabla 2.1.2 Especificaciones generales de los sensores.

En la Figura 4 se muestra el montaje de los sensores para este prototipo.

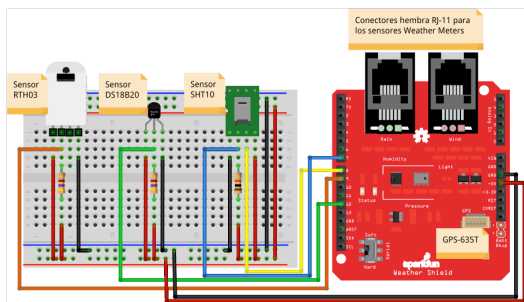


Figure 4: Acondicionamiento de sensores

Procesamiento

De acuerdo al nivel de procesamiento exigido por el prototipo se decidió escoger una tarjeta RedBoard, que es la encargada de adquirir y procesar toda la información obtenida por los sensores y administrar parte de la comunicación en-

tre el nodo final y el nodo central. En la Tabla 2.1.3 se muestran las características de la tarjeta RedBoard.

Características de la RedBoard	
Parámetros	Valores
Voltaje de operación	7-15 V
I/O Digitales	14(6 PWM)
Memoria	FLASH 32KB
Interfaces de comunicación	SPI,I2C y UART

Tabla 2.1.3 Especificaciones generales del RedBoard.

La principal función de la tarjeta, es administrar el procesamiento de toda la información que pasa por el prototipo y enviarla a los dispositivos encargados de la visualización y almacenamiento. Por otra parte, las funciones secundarias se encargan de obtener todas las variables recogidas por los sensores y entregar esta información a la función principal (ver Figure5).De acuerdo al conocimiento que se tiene de cada sensor que compone el prototipo, se decidió tomar en cuenta sus características técnicas, forma de comunicación y modo de funcionamiento para la programación de las funciones necesarias para adquirir el valor instantáneo de cada variable. Para lograr mayor precisión en la recolección de datos, el prototipo entrega un valor promedio de las mediciones instantáneas realizadas en un período de 5 minutos.

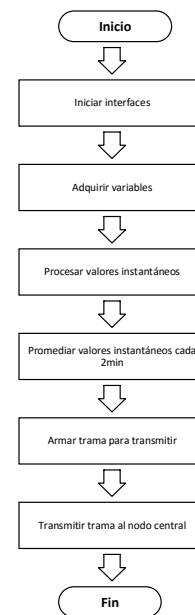


Figure 5: Procesamiento del prototipo recolector

Transmisión

De acuerdo al alcance requerido para el envío de la información, se usó los equipos descritos en la Tabla 2.1.1 [8], [10].

Características de los Módulos de Comunicación					
Prmt.	XBee S2	XBee PRO S2	XBee PRO 900	XBee PRO 900HP	
Generales	Pout (mW)	2	50	50	250
	Pmax (dBm)	+3	+17	+17	+24
	Sens (dBm)	-96	-102	-100	-101 -110
	Taza (kbps)	250		156	610 305
	f (Hz)	2.4G		902M – 928M	
Comunicación	Topologías: Pto – pto, Pto – Multipto, Malla				
	Protocolos : ZigBee, DigiMesh				
	Chan	16	14	12	
Eléctricos	Int Com	UART – SPI		UART	UART SPI
	Técnicas de Espectro Ensanchado: DSSS(XBee – XBeePROS2) y FHSS(XBeePRO900y XBee – PRO900HP)				
Eléctricos	V.Op (V.DC)	2.1-3.6	3.0-3.4	3.0-3.6	2.1-3.6
	I.TX (mA)	40	295	210	215
	I.RX (mA)	40	45	80	29
	I.Sleep (mA)	1	3.5	60	2.5

Tabla 2.2.3 Especificaciones generales de los módulos de comunicación RF.

Para transmitir la información recolectada se construyó una trama API 2 de tipo **TX Request** que incluye toda la información recogida por los sensores.

La construcción de la trama se basa en las genéricas de un XBee, para este caso en específico **TX Request** modo API 2. Para organizar la información útil (payload) dada por los sensores se agregó un carácter para indicar el inicio y fin del payload; y otro carácter para separar cada variable (ver Figura 6).

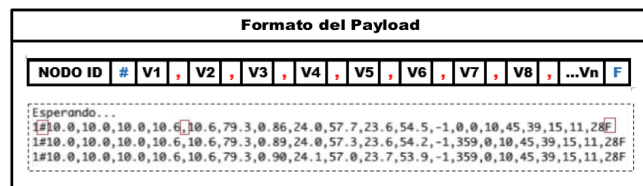


Figure 6: Estructura de los datos útiles (payload)

2.1.2 Diseño del prototipo coordinador (Nodo Central)

El diseño del prototipo coordinador se dividió en dos etapas: recepción y envío de información al servidor.



Figure 7: Etapas del prototipo central

Recepción

Un nodo central (coordinador) debe tener la capacidad de recibir, almacenar y enviar toda la información recibida desde los diferentes nodos finales a cualquier servidor; Para que se cumplan estas tareas se desarrolló un algoritmo que reciba las tramas de todos los nodos, las identifique, obtenga la información de cada nodo y la envíe si es preciso a cualquier servidor IoT (ver Figura 8).

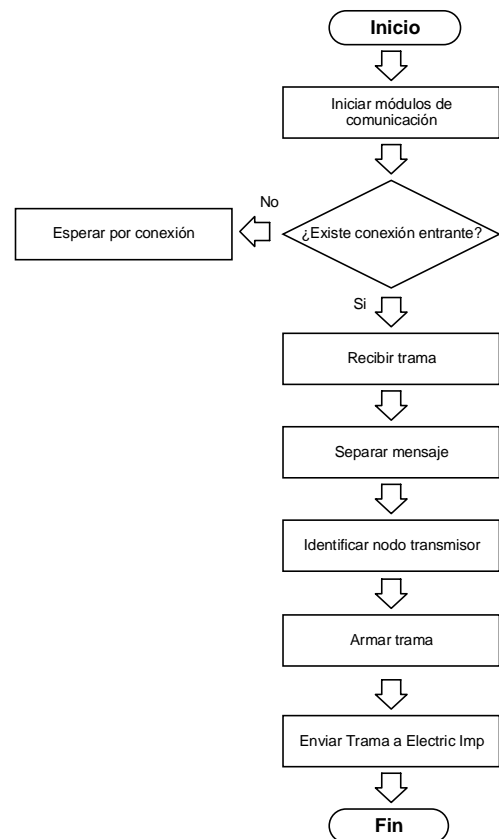


Figure 8: Recepción de los datos recolectados

Envío de datos al servidor IoT

Para el envío de datos a los servidores IoT, se dispuso de los siguientes módulos Wi-Fi: Electric Imp 01 y WiFly RN-XV (ver Tabla 2.2.4). [8], [10], [21], [12], [15], [16], [6], [14], [17], [9] y [11]. Cuando la información que llega desde los

Características de Módulo WiFly y Electric			
Parámetros	RN XV WiFly	Electric Imp 01	
Generales	P. TX (dBm)	12	16.75 (802.11b)
	Sensibilidad (dBm)	-83	-97
	Estándar IEEE 802.11	b,g	b,g,n
	Canales	1 – 14	11
Interfaz	TTL UART	SPI(2chan) I2C(3chan) UART(3chan)	
Eléctricos	V.Op. (V.DC)	3.0-3.7	1.8-3.6
	I.TX (mA)	180	80-400

Tabla 2.2.4. Especificaciones generales de los módulos Wi-Fi

Los nodos finales se encuentran procesados y disponibles en el nodo central, la placa base la envía al Device del Electric imp 01 (módulo Wi-Fi). Una vez que la información se encuentra en el Device (Electric imp 01) esta es retransmitida al Agente (Electric imp 01). El Agente se encuentra alojado en un servidor propietario de la plataforma Electric Imp y es el encargado de desentramar y enviar la información que se visualizará en las plataformas middleware IoT que se eligió (Ubidots, Lelylan y Data SparkFun) (Ver Figura 9).

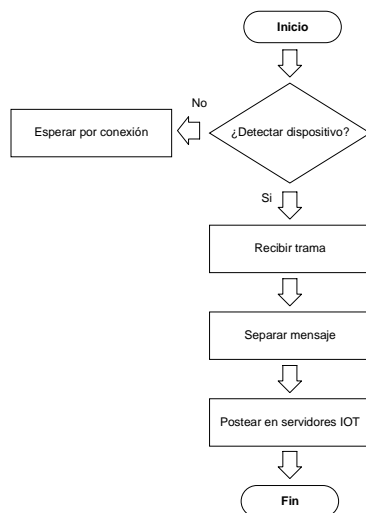


Figure 9: Proceso para el envío de datos a los servidores IoT

En la Figure 10 se indica el resultado de envío de los datos al servidor Ubidots.

2.2 Modelo de Arquitectura de Red del Nodo Independiente

Está conformada por un nodo independiente, que con-

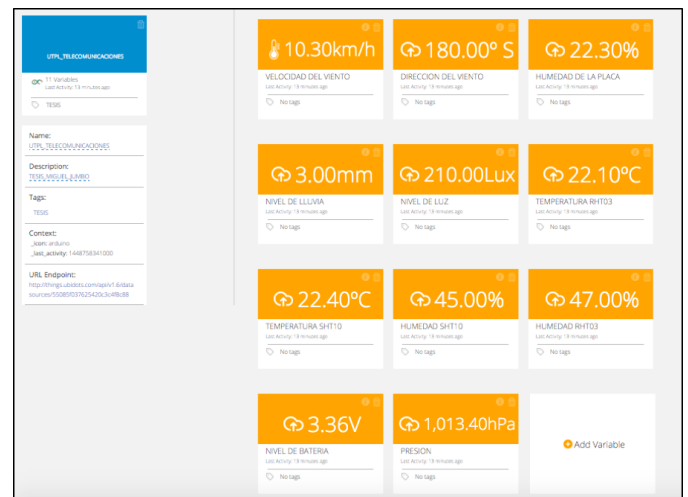


Figure 10: Envío de datos al servidor Ubidots

tiene una tarjeta RedBoard, un Electric imp 01 y módulos de sensores para adquirir las variables meteorológicas. El proceso de adquisición y procesamiento sigue el mismo procedimiento que el de la arquitectura de red modular, con la diferencia que la información recolectada no se transmite a un nodo central sino que directamente se envía a un servidor IoT alojado en Internet.

2.3 Consumo Energético

Como prueba inicial para el consumo de energía que tienen los prototipos se realizó mediciones con un multímetro digital KEYSIGHT 3446 y su software propietario BenchVue Keysight (Agilent). A continuación se muestra el consumo de potencia diario requerido por cada prototipo, producto de las mediciones que se realizaron con los equipos para los prototipos (modo activo - modo sleep). (ver Tabla 4). Como

Consumo Energético	
Prototipos	Potencia Diaria (Wh/día)
Nodo Final	5.28
Nodo Central	7.3
Nodo Independiente	2.29

Tabla 4. Consumo energético.

fuentes alternativas de alimentación eléctrica se planteó el uso de un panel solar, cuyo dimensionamiento se realizó tomando como referencia las especificaciones en [26], [30] y [5], los resultados se indican en la Tabla 5.

Dimensionamiento del Panel Solar	
Nodo coordinador	
Número de Paneles (NT)	1
Potencia (w)	3.2
Ángulo de Inclinación (°)	30
Hora pico solar (HPS)	3.92
Nodo final	
Número de Paneles (NT)	1
Potencia (w)	3.2
Ángulo de Inclinación (°)	30
Hora pico solar (HPS)	3.92
Nodo independiente	
Número de Paneles (NT)	1
Potencia (w)	3.2
Ángulo de Inclinación (°)	30
Hora pico solar (HPS)	3.92

Tabla 5. Consumo energético.

3. ESCENARIOS DE PRUEBAS

Para las pruebas de funcionamiento de los equipos de comunicación se planteó tres escenarios. En el primer escenario se empleó dispositivos XBee Digi Series 1 con el estándar IEEE 802.15.4 (Ver Figure 11). Para el segundo escenario se usó dispositivos XBee Digi Series 2 con el protocolo de comunicación ZigBee (Ver Figure 12). En el tercer escenario se utilizó dispositivos XBee Pro 900 HP con el protocolo de transmisión de datos inalámbrica desarrollado por Digi conocido como DigiMesh (Ver Figure 13)[52]; estos equipos fueron descritos en la sección anterior.

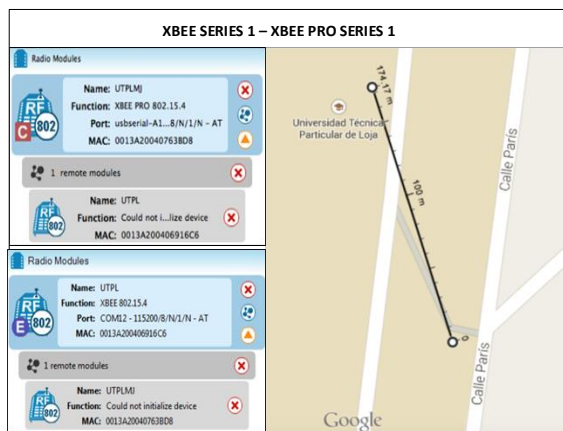


Figure 11: Pruebas realizadas en el escenario 1

Los dispositivos del primer y segundo escenario usaron antenas con una ganancia de 3dBi, mientras que los módulos del tercer escenario usaron antenas de 3 dBi y 14dBi de ganancia. La topología que se implementó en todos los escenarios es punto a punto (peer to peer). En estas pruebas de funcionamiento se empleó dos Wasmote Gateway que sirven como interfaz Serial USB entre los módulos XBee y los puertos USB del computador. Además se utilizó el Software X-CTU en estas pruebas. En algunos módulos se realizó las

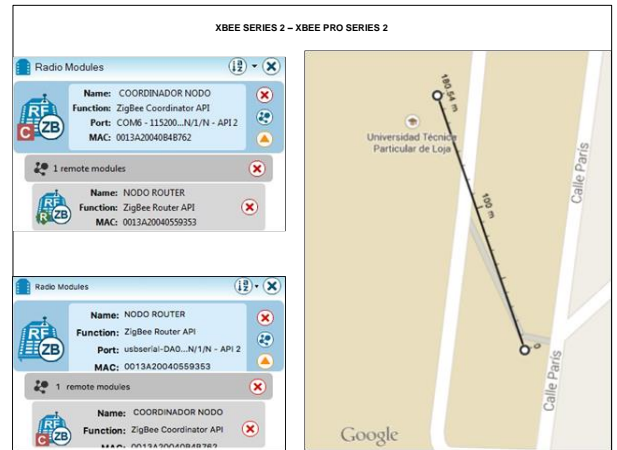


Figure 12: Pruebas realizadas en el escenario 2



Figure 13: Pruebas realizadas en el escenario 3 con XBEE PRO 900 HP

pruebas de funcionamiento en modo API 2.

3.1 Formato de trama TX-REQUEST

El formato de la trama TX Request, es parecido a otros formatos de trama XBee, diferenciándose por un byte que especifica el tipo de trama. La trama TX Request comienza

con un byte delimitador de inicio, dos bytes que contienen la longitud de la trama, un byte que especifica el tipo de trama en este caso el (TX Request = 0x10), un byte que indica el ID de la trama, el que al ser diferente de cero permite un ACK de respuesta, luego se añade la dirección MAC del dispositivo XBee destino, esta dirección es de 64bits y ocupa 8 bytes, después dos bytes para especificar la dirección de 16 bits (opcional), a continuación un byte para definir la cantidad de saltos máximos que puede realizar la trama (conocido como radio difusión - normalmente en configuración broadcast), después se tiene un byte para detallar las opciones adicionales que se pueden añadir a la trama, luego los bytes necesarios para contener los datos útiles de radio frecuencia (payload) y finalmente un byte que contiene el checksum que es la suma de verificación de todos los bytes.

4. VALIDACION Y PRUEBAS

Para las pruebas de validación se siguió la metodología descrita en la figura 14

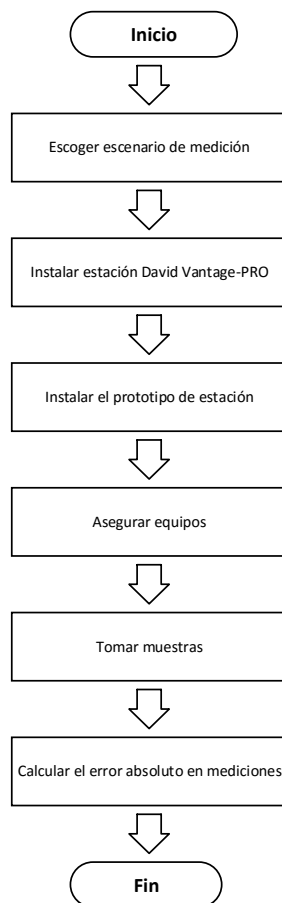


Figure 14: Metodología de las pruebas de validación

En las figuras 15 y 16 se muestra el proceso de montaje de las estaciones para las posteriores pruebas de validación, las que se efectuaron en el campus de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL).



Figure 15: Montaje de las Estaciones



Figure 16: Prototipo de nodo de recolección de datos meteorológicos

Para las pruebas de validación se utilizaron los prototipos realizados para la Arquitectura de Red Modular, frente a una estación meteorológica Davis Vantage PRO cuyas características se indican en la Tabla 6. A continuación en la

Características generales Davis Vantage Pro	
Voltaje de alimentación	3.7V
Variables	Velocidad del viento Dirección del viento Lluvia Instantánea Temperatura del ambiente Humedad del ambiente Radiación Solar Presión atmosférica
Alcance entre nodos	300m
Batería	Lithium Ion
Frecuencia de Operación	900MHz
Antenas	Dipolo 1dBi
Tiempo de Tx	5 minutos 10 minutos
Panel Solar	1.2W

Tabla 6. Especificaciones generales de Davis Vantage Pro.

Tabla 7 se resumen las características técnicas de los prototipos desarrollados (Arquitectura de Red Modular); con el propósito de contrastarlos con la estación meteorológica de gama media (Davis Vantage Pro) que se empleó como referencia.

Características generales Prototipos	
Voltaje de alimentación	3.7V
Variables	Velocidad del viento Dirección del viento Lluvia instantánea Temperatura del ambiente Humedad del ambiente Temperatura del suelo Humedad del suelo Presión atmosférica
Alcance entre nodos	4.11Km
Batería	Lithium Ion
Frecuencia de Operación	900MHz
Antenas	Yagi 14 dBi (Nodo Final) Omnidireccional 8 dBi (Nodo Central)
Tiempo de Tx	5 minutos 10 minutos
Panel Solar	5.2W

Tabla 7. Especificaciones generales del prototipo recolector.

A continuación se ilustran los resultados al comparar los datos obtenidos por la estación meteorológica Davis Vantage Pro (Instrumento de referencia) y el prototipo recolector de datos meteorológicos (Instrumento de medición). Estas mediciones se realizaron en campo abierto, ambas estaciones se ubicaron en el mismo lugar tomando en cuenta las recomendaciones que pone a consideración la OMM [68]. Los requerimientos para montar una estación meteorológica se describen a continuación:

- Terreno llano aproximadamente de (10m x 7m), rodeada por una cubierta para no permitir el acceso al público,

para mediciones del suelo se necesita una área de (2m x 2m). No deben haber laderas inclinadas en las proximidades.

- El emplazamiento debe estar suficientemente alejado de los árboles o edificios. La distancia entre cualquiera de esos obstáculos (incluidas las vallas) y el pluviómetro no debe ser inferior al doble de la altura del objeto por encima del borde del aparato y preferentemente debe de cuadruplicar la altura.
- El pluviómetro y el anemómetro deben de encontrarse en emplazamientos con exposiciones que satisfagan sus requisitos, y en el mismo lugar que los otros instrumentos.
- Los instrumentos de medición deben estar dentro de una caja protectora, con una buena ventilación. La caja de protección debe tener un estándar adecuado para condiciones hostiles.

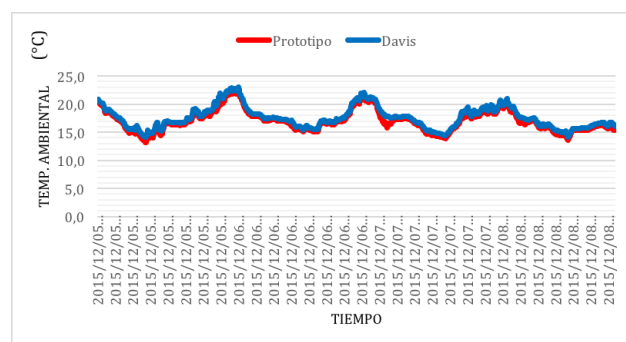


Figure 17: Mediciones de la Temperatura Ambiental.

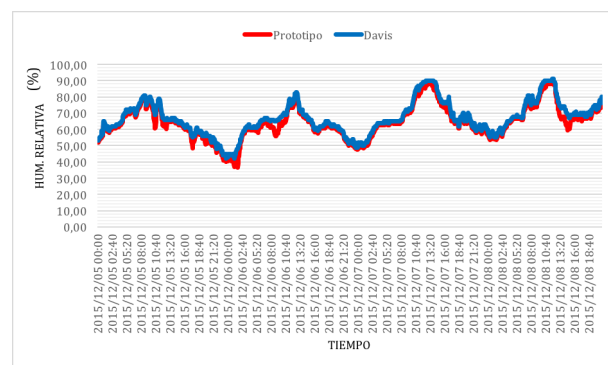


Figure 18: Mediciones de la Humedad Relativa del ambiente.

Con la finalidad de validar la correspondencia entre el prototipo desarrollado y la estación de referencia (Davis Vantage Pro), se calculó el error relativo entre los resultados arrojados por el prototipo y la estación de referencia. La muestra de los valores registrados por los dos instrumentos se pueden visualizar en las Figuras 17 - 22. Los valores de error relativo calculado para cada una de las variables se hallan entre 0.11% y 4.93% respectivamente (Figure 23).

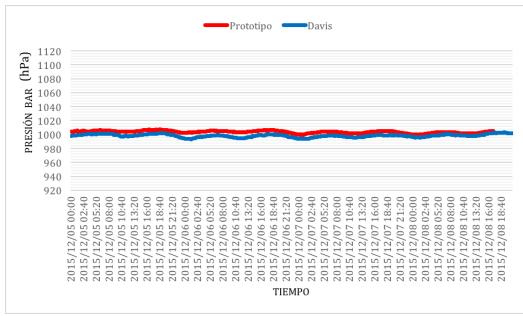


Figure 19: Mediciones de la Presión Barométrica.

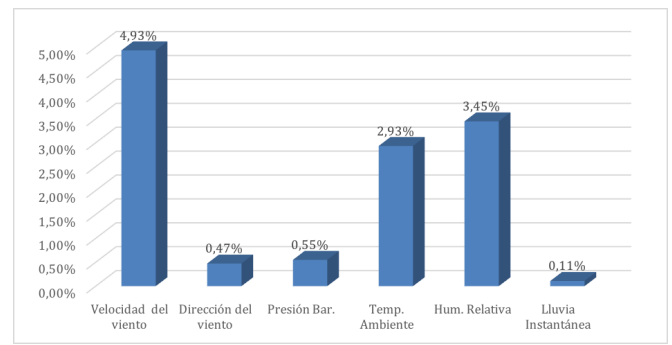


Figure 23: Resultado de mediciones.

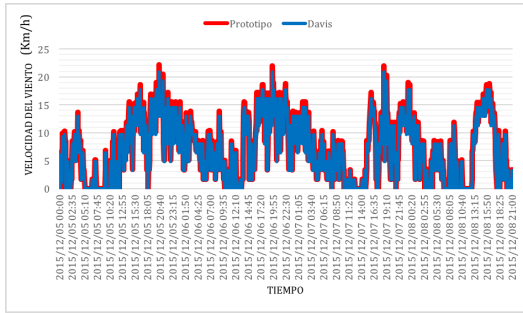


Figure 20: Mediciones de la Velocidad del viento.

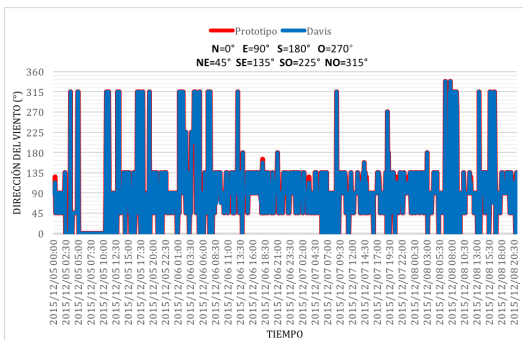


Figure 21: Mediciones de la Dirección del viento.

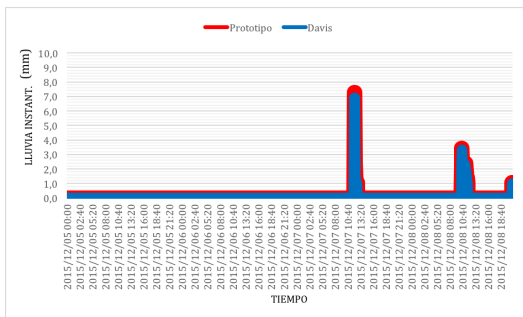


Figure 22: Mediciones de la Lluvia Instantánea.

5. CONCLUSIONES

- Se desarrollo una RSI utilizando plataformas hardware y software OpenSource, conformada por dos nodos recolectores y un nodo coordinador. Además como pruebas previas a la construcción de la red, se diseñaron dos nodos recolectores de datos independientes, que sirvieron para comprobar el funcionamiento de los sensores y la configuración de envío de información a los servidores IoT; teniendo como parámetros mínimos de medición las variables meteorológicas recomendadas por la OMM.
- El prototipo fue diseñado empleando componentes de bajo costo pero que cumplen con las recomendaciones de la OMM; los mismos que permiten la integración de más módulos de sensores o de comunicación, para incrementar las funcionalidades del prototipo, empleando protocolos estándares permitiendo escalabilidad y reconfiguración. Además cuenta con un sistema de abastecimiento de energía y de almacenamiento empleando un panel solar y una batería, garantizando de esta manera su funcionamiento autónomo y continuo. Incluyendo transmisión de datos en tiempo real.
- Todos los resultados recolectados por la red de sensores se publicaron en plataformas middleware IoT (Ubidots, Lelylan, Data SparkFun). Para el envío de los datos a las plataformas de almacenamiento se construyó una trama en formato JSON con los valores de todas las variables recolectadas por el prototipo, utilizando los protocolos HTTP y MQTT.
- La RSI desarrollada fue probada en la bandas ISM de 900MHz y 2.4GHz; luego de las pruebas se determinó emplear la banda de 900MHz, esto debido a que presenta ventajas como menor interferencia de canal y alcance frente a la banda de 2.4GHz.

6. REFERENCES

- [1] I. Bangalore, Karnataka. Solar powered weather station and rain detector, 203.
- [2] S. Z. Bin Xiao, Hekang Chen. Distributed localization using a moving beacon in wireless sensor networks, 2008.
- [3] P. V. K. H.-H. P. C.-G. L. Chih-Kuang Lin, Vladimir I. Zadorozhny. A distributed and scalable time slot allocation protocol for wireless sensor networks, 2011.

- [4] P. V. K. H.-H. P. y. C.-G. L. Chih-Kuang Lin, Vladimir I. Zadorozhny. A distributed and scalable time slot allocation protocol for wireless sensor networks, 2011.
- [5] CONELEC. Atlas solar del ecuador, 2014.
- [6] Datasheet. Sensor de presión barométrica, altitud, temperatura mpl3115a2, sparkfun electronics, 2015.
- [7] Datasheet. Sparkfun: Datasheet sensors als-pt19-315c-1177-tr, 2015.
- [8] Datasheet. Sparkfun: Datasheet sensors rht03, 2015.
- [9] Datasheet. Sparkfun: Datasheet, xbee pro 900, 2015.
- [10] Datasheet. Sparkfun: Sensor ds18b20, 2015.
- [11] Datasheet. Sparkfun: Wireless wifi rn-171-xv-ds-v1, 2015.
- [12] Datasheet. Wind vane weather meter , sparkfun electronics, 2015.
- [13] M. S. E. Diaz. Wireless sensor networks, estado del arte investigacion, 2013.
- [14] S. Electronics. Electronics, sparkfun: Xbee series 2, 2015.
- [15] S. Electronics. Redboard, sparkfun electronics, 2015.
- [16] S. Electronics. Sensor de humedad relativa y temperatura htu21d, sparkfun electronics, 2015.
- [17] S. Electronics. Sparkfun: Productos, xbee pro 900, 2015.
- [18] S. Electronics. Temperature and humidity rht03, sparkfun electronics, 2015.
- [19] S. Electronics. Temperature and humidity soil sht10, sparkfun electronics, 2015.
- [20] S. Electronics. Temperature sensor, waterproof, ds18b20, sparkfun electronics, 2015.
- [21] S. Electronics. Weather meter , sparkfun electronics, 2015.
- [22] R. Faludi. *Building Wireless Sensor Networks*. OREILLY Media, Inc., Sebastopol, CA, 2011.
- [23] D. Geofísica. Meteorología, geofísica de la atmosfera, 2015.
- [24] M. Harris. A web of sensors unfolds an entire forest to uncover clues to climate change, 2015.
- [25] W.-T. S. Kuang-Yow Liana, Sung-Jung Hsiaoa. Intelligent multi-sensor control system based on innovative technology integration via zigbee and wi-fi networks, 2013.
- [26] NASA. Nasa surface meteorology and solar energy: Retscreen data, 2015.
- [27] A. J. K. Omar AlFandi. Wireless sensor networks: Architectures (wsn 2015), 2015.
- [28] T. I. K. A. M. B.-K. P. y. K. A. P. Papageorgas, D. Piromalis. Wireless sensor networking architecture of polytropon: An open source scalable platform for the smart grid, 2014.
- [29] P. J. J. M. Prof. Mrs. S. S. Patil, Prof. V. M. Davande. Smart wireless sensor network for monitoring an agricultural environment, 2015.
- [30] L. P. Viñas. Nasa surface meteorology and solar energy: Retscreen data, 2003.