

## MEDICIÓN DE RSSI, LQI Y PRUEBAS DE COBERTURA PARA DIFERENTES ESCENARIOS DE PROPAGACIÓN EN UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES

Daboín Angela., Verde Gustavo.,  
Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”  
[daboin.a@gmail.com](mailto:daboin.a@gmail.com)

Torrealba Freddy  
Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”

Gharbi Tijani  
Universidad de Franche-Compté

**RESUMEN.** La estimación y medición de cobertura, latencia y consumo de energía en redes inalámbricas de sensores WSN (Wireless Sensor Networks) son parámetros importantes para evaluar su desempeño, y han despertado un gran interés a través de numerosas investigaciones. Con el objeto de medir el comportamiento de estos parámetros se desarrolla una WSN compuesta de cinco nodos y una estación central o Host, que recibe los datos entregados por éstos y coordina algunas acciones de la red. La medición de cobertura y sensibilidad de los nodos se realiza mediante pruebas de recepción de paquetes y de niveles de potencia recibida a través del parámetro RSSI (Received Signal Strength Indicator) y LQI (Link Quality), en diferentes entornos y escenarios de propagación. La latencia se mide a través del envío de una carga de paquetes entre los nodos, considerando los tiempos de llegada entre los mismos. De esta manera se concluye que los indicadores de enlace LQI y RSSI proporcionan información útil dependiendo de la cantidad de paquetes recibidos y perdidos, presentando una gran variabilidad en ambientes internos. Sin embargo, la pérdida de paquetes se mitiga mediante la retransmisión de los mismos.

---

**Palabras clave:** medición de cobertura en WSN, consumo de baterías en WSN, RSSI, LQI, PRR.

## MEASUREMENT OF RSSI, LQI AND TESTS OF COVERAGE FOR DIFFERENT SCENARIOS OF PROPAGATION IN A WIRELESS SENSOR NETWORKS

**ABSTRACT.** The estimation and measurement of coverage, latency and power consumption in Wireless Sensor Network WSN are parameters to evaluate its performance and have aroused great interest by many research. In order to measure the behavior of these parameters is developed a WSN composed of five nodes and a central station or host, which receives the data delivered by them, and coordinate certain actions of the network. The measurement of coverage and sensitivity of the nodes is done by testing reception of packets and received power levels through the parameter RSSI (Received Signal Strength Indicator) and LQI (Link Quality) in different environments and propagation scenarios. The latency is measured by sending a load of packets between nodes, considering the arrival times between them. Hereby one concludes that the indicators of link LQI and RSSI provide useful information depending on the quantity of received and lost packages, presenting a great variability in internal environments. Nevertheless, the loss of packages is mitigated by means of the retransfer of the same ones.

---

**Keywords:** measurement of coverage of WSN, consumption of batteries in WSN, RSSI, LQI, PRR.

La monitorización y el control de variables de entorno para diferentes aplicaciones es un campo que incrementa cada vez más su desarrollo. Actualmente se encuentran estándares para la implementación de sistemas de supervisión y detección de innumerables eventos, siendo las WSN unos de los más atractivos debido a su bajo consumo de energía y facilidad de despliegue.

Las WSN constituyen la interfaz entre el mundo físico y el mundo virtual, que proveen una rapidez de acción suficiente y respuestas necesarias en los procesos que así lo demanden, con la capacidad de cubrir espacios inhóspitos donde se amerite flexibilidad al momento actuar. Además, los costos se reducen debido a la sustitución de respuestas lentas de personal, la rapidez de medición y análisis de procesos que pueden ser críticos en el desempeño de una aplicación.

Dentro de los diseños de WSN, la medición de la distancia RSSI es uno de los parámetros más empleado debido a que necesita menor complejidad de implementación y consumo de energía. El principio de medición de la distancia RSSI describe la relación entre la potencia transmitida y la recibida de la señal inalámbrica y la distancia entre los nodos [1].

Otro parámetro que caracteriza la calidad del enlace es el LQI, y se puede asociar la recepción de paquetes PRR (Packet Reception Rate), tanto a RSSI como al LQI, bajo diferentes niveles de potencias y en diferentes entornos de propagación, logrando describir el comportamiento de una WSN en un ambiente determinado [2].

El objetivo de esta investigación consiste en realizar mediciones de cobertura de una WSN prototipo mediante los parámetros RSSI y LQI, enviando paquetes entre los nodos y el coordinador de la red en diferentes escenarios de propagación. Adicionalmente se realizan pruebas de consumo de energía y los retardos en el envío de paquetes.

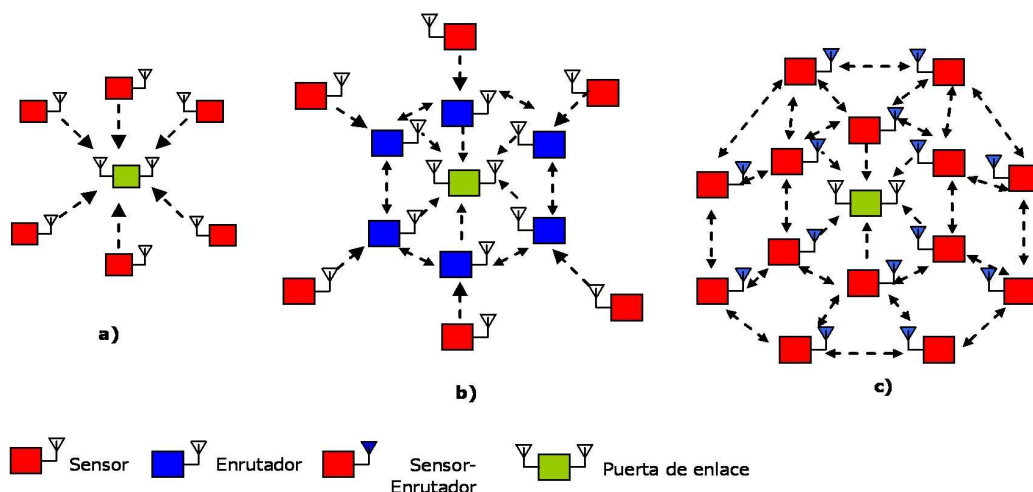
### *Red inalámbrica de sensores (WSN)*

Una WSN es una red tipo PAN (Personal Area Network) de dispositivos electrónicos diminutos, denominados “nodos” o “motas”, compuesta por unidades autónomas distribuidas espacialmente, equipados cada una con sensores, para monitorizar en conjunto condiciones

ambientales o físicas como temperatura, presión, sonido o vibración en diferentes lugares en tiempo real [3].

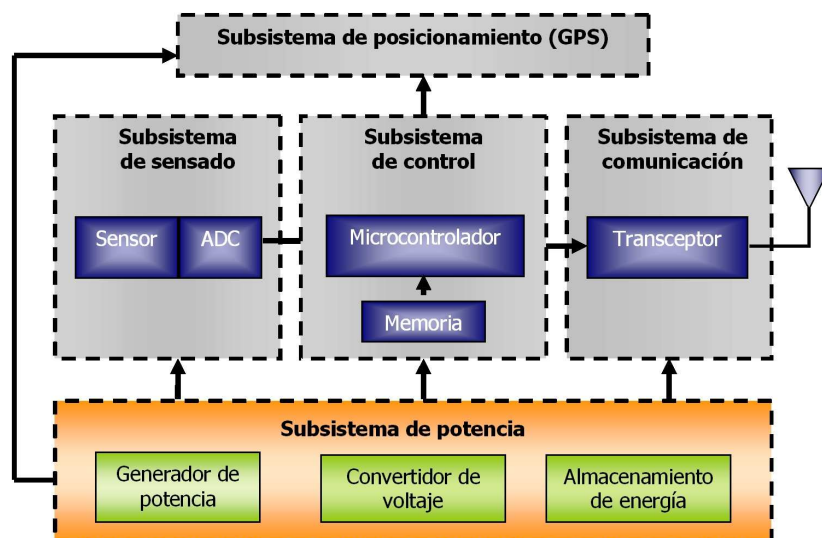
Esta clase de redes se caracterizan por su facilidad de despliegue y por ser autoconfigurables, pudiendo convertirse en todo momento en emisor, receptor, ofrecer servicios de encaminamiento entre nodos sin visión directa, así como registrar datos referentes a los sensores locales de cada nodo. Otra de sus características es su gestión eficiente de la energía, que les permite obtener una alta tasa de autonomía que las hacen plenamente operativas [4].

Se presentan configuraciones típicas tales como: estrella, malla e híbrida. Un diagrama de una WSN se puede observar en la figura 1, con diferentes topologías de red, donde se destacan los diferentes elementos., tales como: sensores, enrutadores, coordinadores (sensor-enrutador) y las puertas de enlace (gateway) [5].



**Figura 1.** Topologías de redes de sensores. a) Tipo estrella, b) Tipo híbrida y c) tipo malla con jerarquía

Cada nodo está típicamente conformado por unidades de control, transmisión y alimentación, y en algunas aplicaciones de sistemas de posicionamiento global GPS. El costo de la red varía dependiendo del área cubierta por la misma y de la complejidad de cada uno, lo cual está vinculado a limitaciones de recursos como energía, memoria, velocidad, complejidad de cómputo y ancho de banda [2,4,5,6]. En la figura 2 se puede apreciar la configuración básica de un nodo o mota.



**Figura 2.** Configuración básica de un nodo

Debido a la diversidad de sensores que incluyen las WSNs, entre ellos: sísmicos, magnéticos, térmicos, visuales, acústicos, éstos son capaces de monitorizar cualquier variación en las condiciones ambientales, generalmente temperatura, humedad, presión, velocidad, presencia de objetos o seres vivos, lo que proporciona un amplio rango de aplicaciones posibles. Estas aplicaciones se puede clasificar en cinco categorías: militares, medioambientales, salud, hogar e industriales, encontrándose hoy día aplicaciones sofisticadas como prototipos de retina artificial y agricultura de precisión en viñedos inteligentes, entre otros [7].

Para establecer comunicaciones en redes, comúnmente se emplea el concepto de capas de red, donde cada una de ellas se encarga de realizar una o más funciones, transfiriendo datos sólo a las capas que estén directamente por encima o por debajo de ella.

### *Transmisión de paquetes en WSN*

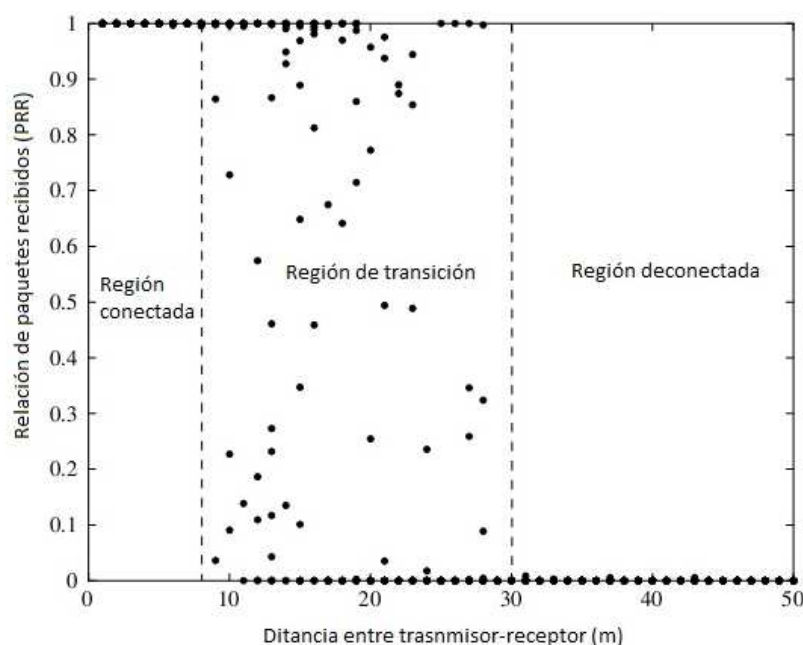
Entre los elementos que conforman la red existe un proceso llamado enrutamiento, que constituye un camino lógico por el cual se retransmitirán mensajes desde un dispositivo inicio hasta un dispositivo final. La probabilidad de entrega exitosa de paquetes se puede estimar utilizando varios métodos, la más común está basada en un promedio del indicador de calidad de enlace LQI (Link Quality Indicator), que representa el número de retransmisiones requeridas para recibir con éxito un paquete [8], o mediante la intensidad de señal recibida RSSI (Received Signal Strength Indicator), que es una medida de la energía total de la señal

recibida, o la relación señal a ruido total en banda (SNR, Signal-to-Noise Ratio). Ambos constituyen una manera de estimar la calidad de un enlace inalámbrico [8,9].

Para realizar estudios de calidad de enlace en una red inalámbrica de sensores, se deben considerar varios aspectos. Por ejemplo que el contorno de recepción de paquetes formado por varios receptores ubicados en distintos lugares relativos a un mismo transmisor no es regular o isótropo. Además que las distribuciones de calidad de enlace con y sin control de potencia son altamente dependientes del entorno y del hardware utilizado por los nodos.

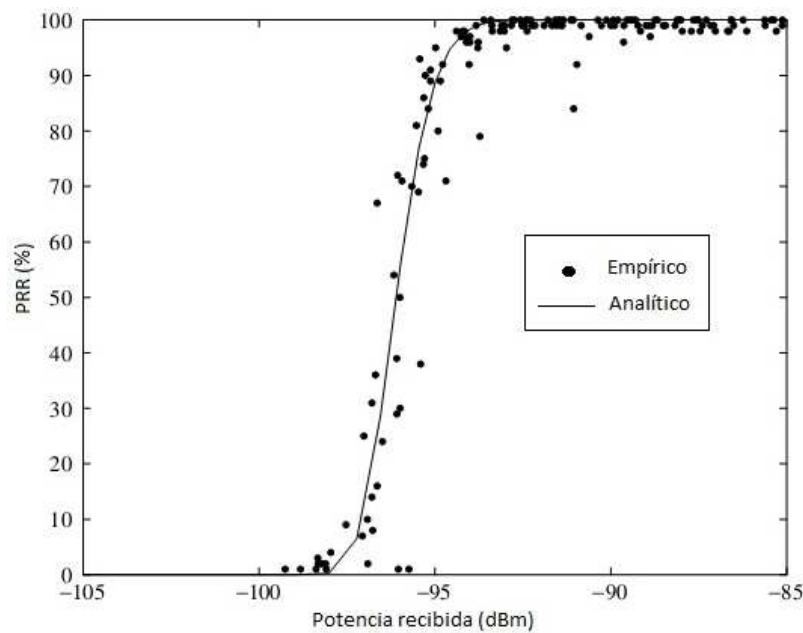
En escenarios prácticos la señal recibida es afectada severamente por diferentes fenómenos, tales como: reflexiones sobre objetos metálicos, superposición y polarización de los campos electromagnéticos, difracción sobre obstáculos, entre otros [8].

Algunos autores [9] consideran que existen tres regiones distintas de calidad de enlace relacionadas con la tasa de recepción de paquetes PRR. Una región cercana denominada *región conectada*, donde las tasas de recepción de paquetes son considerablemente altas, luego se entra a una región intermedia, llamada *región de transición*, donde la recepción de paquetes es muy variable, y por último se tiene la *región desconectada*, donde la tasa de recepción de paquetes es muy baja. Estas regiones se ilustran en la figura 3.



**Figura 3.** Representación de la PRR con respecto a la distancia entre nodos.

Adicionalmente la tasa de recepción de paquetes PRR, varía con la intensidad de señal recibida RSSI, cuya función depende de la capa física utilizada por cada módulo de radio en específico, particularmente de la modulación y del esquema de decodificación utilizado. Basado en derivaciones analíticas y medidas empíricas para un nodo típico de una red inalámbrica de sensores, se presenta una curva en la figura 4 donde se puede apreciar que hay dos umbrales de radio significativos con respecto al RSSI, uno bajo para el cual el PRR es cercano a cero, y uno alto donde el PRR es cercano a uno [9].



**Figura 4.** Representación de la PRR con respecto a la RSSI.

El conocimiento de todos los parámetros mencionados anteriormente, son relevantes para el desarrollo de redes inalámbricas de sensores, pues orientan con algunos indicadores, la eficiencia y efectividad de la red, a través de medidas como LQI, RSSI, relaciones de PRR con RSSI y distancia entre los nodos.

Este manuscrito está compuesto por una sección metodológica, donde se describen los procedimientos para realizar las mediciones de cobertura y transmisión de paquetes en diferentes escenarios. Posteriormente se muestran resultados de pruebas realizadas tanto en ambientes internos como externos. Para diferentes escenarios y tipos de enrutamiento de los nodos, se miden los retardos en la transmisión de paquetes (latencia) y el consumo de energía. Finalmente se presentan algunas conclusiones sobre los resultados obtenidos.

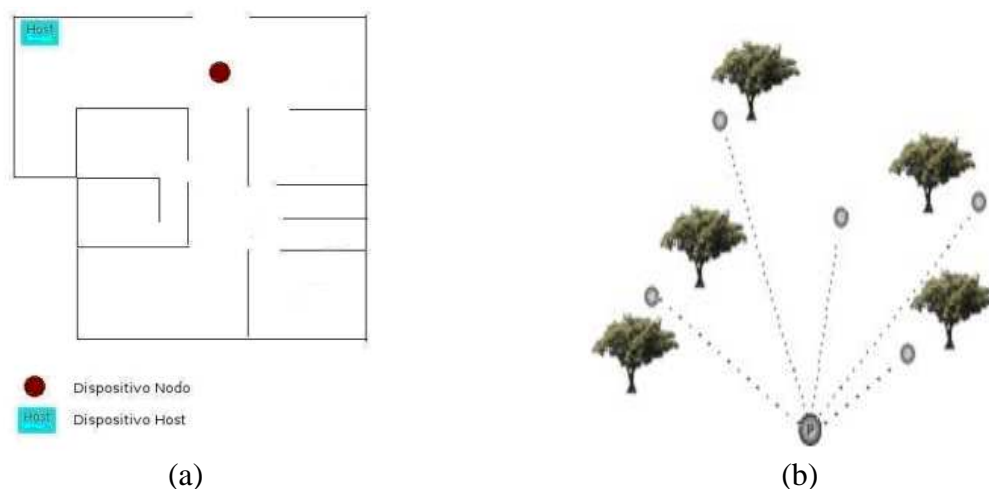
## 2. METODOLOGÍA

En esta sección se muestra un conjunto de técnicas que permiten determinar y medir algunos parámetros importantes en el despliegue de WSN en entornos y escenarios diferentes, tales como: cobertura del sistema, relacionado con la intensidad de la señal recibida (RSSI) y el indicador de calidad del enlace (LQI), además de pruebas de envío de paquetes y consumo de energía de los nodos.

Las pruebas se realizan con nodos de diseño y fabricación propia, empleando un microcontrolador Microchip PIC18F4550, como dispositivo de control y como transceptor el MRF24J40MA, también de la Microchip, cuyo rango de transmisión es 0 dBm a -36,3 dBm, operando en la banda de 2,4 GHz [10].

Las mediciones de cobertura se realizan colocando un nodo operando como sonda y el Host en una posición fija, midiendo el nivel de señal RSSI que posee cada dispositivo, y los valores de potencia de transmisión empleados corresponden a -36,3 dBm, -16,3 dBm y 0 dBm, relacionados con el valor mínimo, medio y máximo del transmisor de los nodos [11].

Debido a que las aplicaciones del estándar son operativas tanto en ambientes internos como externos, se consideran estos dos tipos de entornos para realizar las mediciones, con diferentes escenarios de propagación, es decir, diferentes ubicaciones del nodo receptor. En la figura 5 se pueden apreciar los dos ambientes o entornos de propagación.



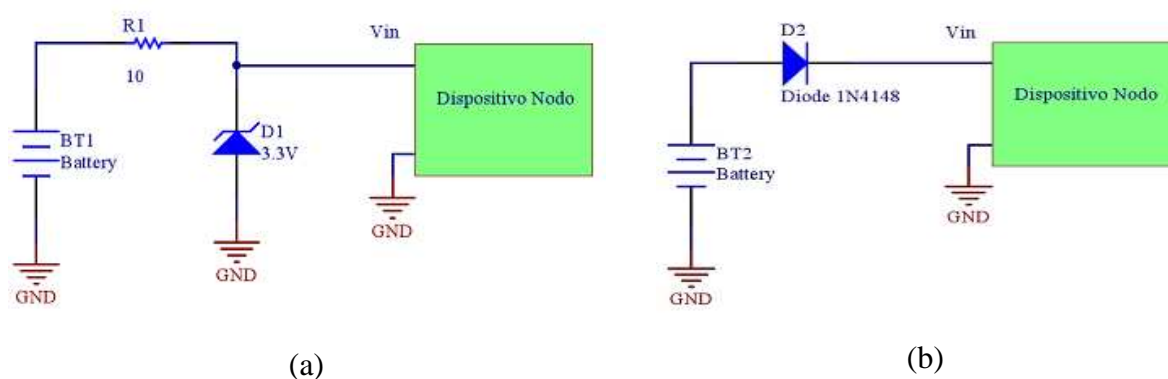
**Figura 5.** Tipos de entornos para realizar las pruebas de cobertura (a) entorno interno y (b) entorno externo.

El entorno interno consiste de un apartamento de aproximadamente 54 m<sup>2</sup> de área, con paredes de concreto. El segundo ambiente corresponde a un lugar abierto, con presencia de vegetación (algunos arbustos) y con un área de 50 m<sup>2</sup>, aproximadamente.

Para las pruebas de envío de paquetes se utiliza la herramienta PING, que consiste en el envío de un paquete de longitud corta por parte de la aplicación hacia cualquier nodo de la red, y éste al recibirlo, devuelve un mensaje de respuesta al gateway, incluyendo en algunos casos al gateway mismo. Generalmente se establece la potencia de transmisión media de los equipos. Una vez que se hayan ubicado los nodos en los espacios adecuados, el operador se debe asegurar de que todos los dispositivos tengan conexión con la red misma y que ninguno haya quedado fuera de la cobertura de todos los nodos [12].

Al enviar el paquete, se mide el tiempo en que el mensaje va y viene del nodo destino. Este retardo entre el envío de los paquetes entre los nodos, incluyendo el esquema de enrutamiento se le denomina latencia de la red [13].

Las pruebas del consumo de energía se realizan en función del sistema de regulación de voltaje. Se pueden emplear diferentes sistemas de regulación. En éste trabajo se emplean dos sistemas de regulación, uno con un diodo zener y otro con diodo simple (1N4148), como puede observarse en las figuras 6 (a) y (b).



**Figura 6.** Circuito de prueba de consumo de energía del nodo (a) con diodo Zener y (b) con diodo 1N4148

Para ambos casos se coloca al dispositivo nodo a enviar una carga de paquetes considerable con una longitud determinada, eligiendo un valor de potencia del transceptor, que puede estar en una gama intermedia con la batería completamente cargada, tomándose medidas cada 15 minutos de los voltajes de la batería hasta que ésta se descargue completamente. Este



procedimiento de realiza en un escenario donde el nodo transmite normalmente sus indicadores de calidad de enlace hacia otro nodo de la red [14].

### 3. RESULTADOS

#### *Pruebas de cobertura*

Para realizar estas pruebas en ambiente interno, se coloca el dispositivo Host en un sitio específico del entorno seleccionado, y el dispositivo nodo se mueve alrededor de todo el recinto. El nodo trasmite 7,5 paquetes por segundo de 20 bytes de longitud.

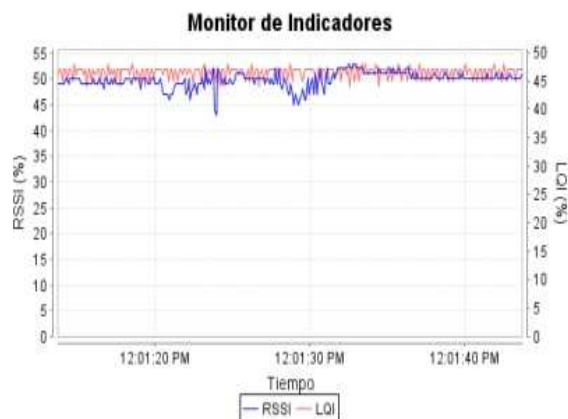
Para una frecuencia de operación de 2,405 GHz y potencia de transmisión de 0 dBm. La figura 7 muestra un gráfico del entorno sujeto a prueba con potencia de transmisión de 0 dBm, la correspondiente a máxima potencia.



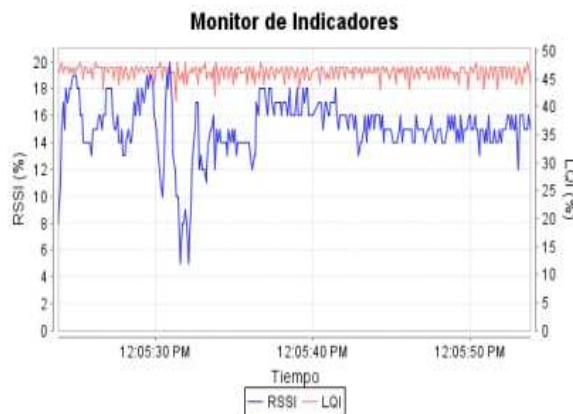
**Figura 7.** Distribución del Host y del nodo prueba para medir cobertura a 0 dBm.

La transmisión de paquetes durante 30 segundos continuos muestra los siguientes resultados gráficos de RSSI para algunas de las posiciones del nodo, en las figuras 8 (a) a la 8 (d).

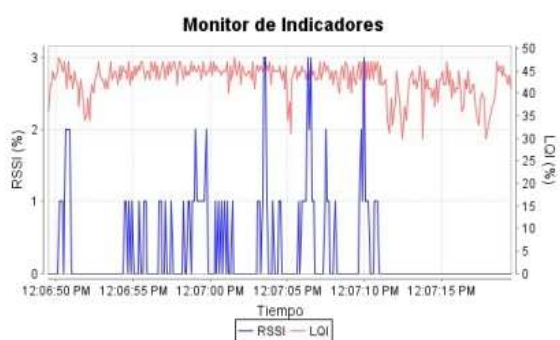
Estas gráficas de potencia recibida presentan desvanecimientos en pequeña escala debido a las reflexiones que generan los objetos que se presentan en el entorno, ocasionando distintos trayectos para la señal transmitida de un nodo hacia el otro, como se indica en [8].



**Figura 8 (a).** Nivel de señal del nodo en la posición 1



**Figura 8 (b).** Nivel de señal del nodo en la posición 3



**Figura 8 (c).** Nivel de señal del nodo en la posición 4

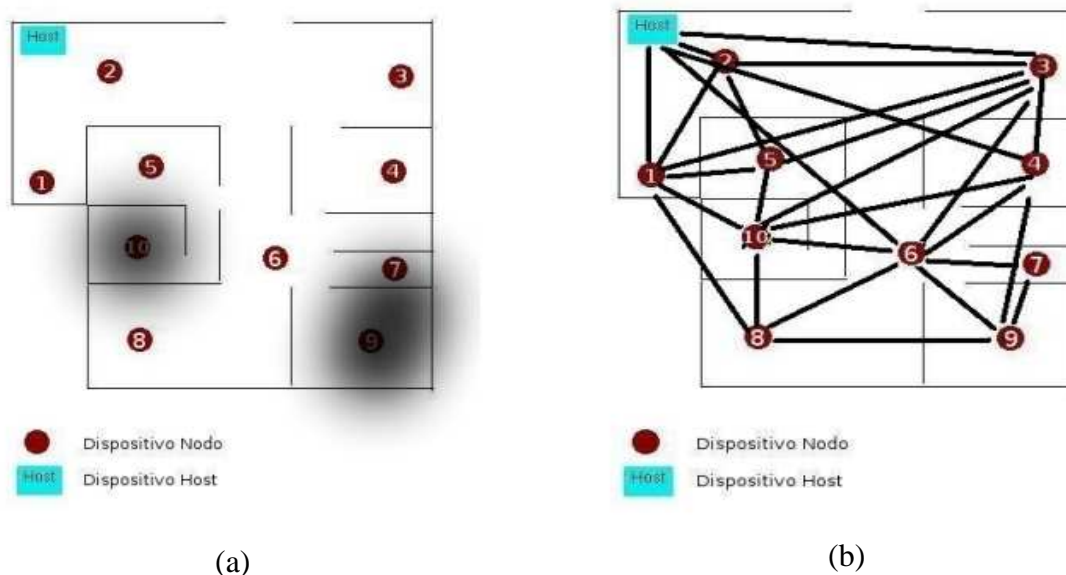


**Figura 8 (d).** Nivel de señal del nodo en la posición 8

Para la figura 8 (a), con el nodo en la posición 1, el valor de RSSI oscila alrededor del 50% de la potencia radiada, y el parámetro LQI, permanece estable, demostrando que esta trayectoria, libre de obstáculos proporciona un enlace en la región conectada. Para las posiciones 3 y 4, mostradas en las figuras 8 (b) y (c), el nivel de RSSI es menor y muy variable alrededor del 20% y 3 % de la potencia radiada respectivamente. Esto es debido a que la distancia entre el nodo y el Host se incrementa y además están presentes algunos obstáculos, lo que también hace inestable el parámetro LQI. En la posición 8, mostrada en 8 (d), el nivel de señal es muy inestable y el LQI del 0%, lo que acerca a este nodo a la región de transición en la red.

Este efecto de múltiples trayectorias que recibe el nodo Host hacen que la señal enviada sea más difícil de interpretar, y pueden generar errores en los paquetes recibidos. El efecto Doppler inducido por objetos cercanos en movimiento también causa desvanecimiento de la señal. El transceptor MRF24J40MA descarta los paquetes con errores de bits, haciendo que la tasa de recepción de paquetes varíe dependiendo de las características del espacio en que se realice la transmisión.

Para la transmisión con 0 dBm se obtienen las siguientes zonas de no cobertura y topologías de organización de red, en las figuras 9 (a) y (b) respectivamente.



**Figura 9.** Diagramas resultantes para una potencia de 0 dBm. (a) Diagrama de cobertura, donde la zona sombreada corresponde a no cobertura, y (b) Topología de la red.

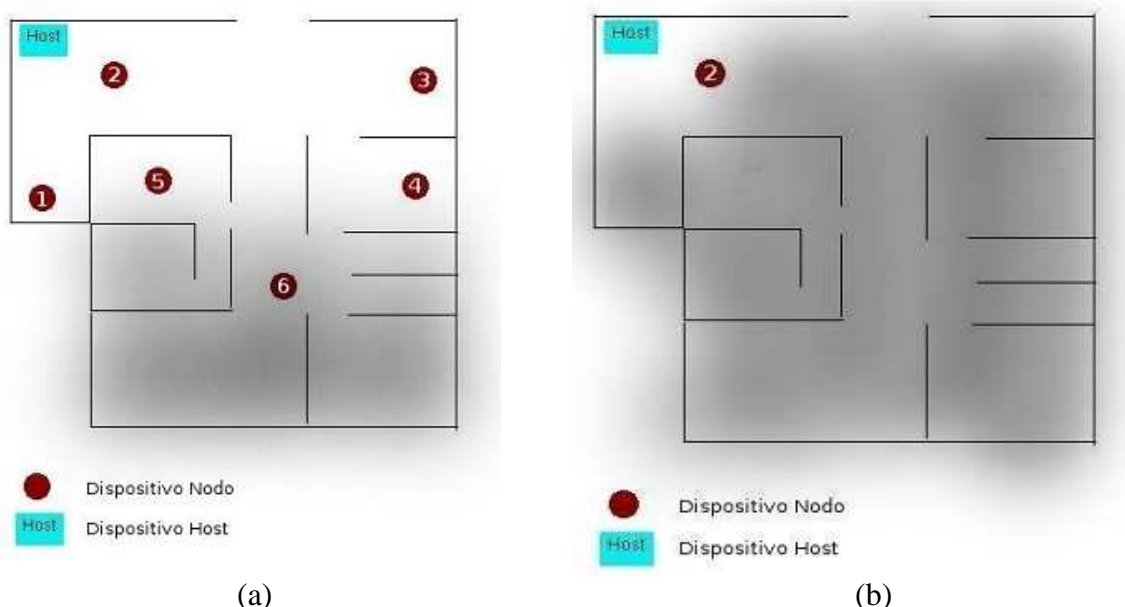
Las mediciones de distancias entre la posición del nodo sonda y el Host, PRR y la región de cobertura para la misma potencia y ubicación del nodo sonda se observa en la tabla 1.

**TABLA 1.** Distancias entre el nodo sonda y el Host, PRR y la región de cobertura para 0 dBm

Posición Sonda	d (m)	PRR (%)	Región de cobertura
1	5,8	99,8	Conectada
2	3,35	99,8	Conectada
3	8,5	99,8	Conectada
4	10,3	98,4	Conectada
5	4,6	99	Conectada
6	11,2	98	Conectada
7	11,8	0	Desconectada
8	11,4	55,6	Transición
9	13,1	19,2	Transición
10	8,4	78,6	Transición

Se observan las diferentes regiones de cobertura de acuerdo con la ubicación del nodo sonda y su relación con la tasa PRR. Algunas de estas variaciones se deben a las características del entorno de propagación, en los puntos 7, 9 y 10, se observa una PRR baja y regiones de desconexión y transición, concordando con la relación entre RSSI, distancia y PRR en [9].

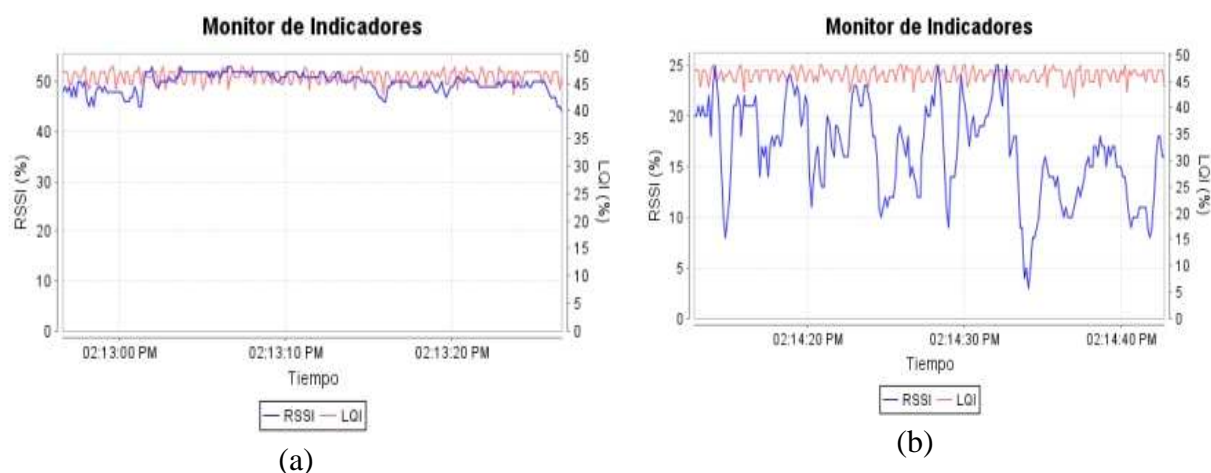
Se realizan medidas para diferentes valores de potencia de transmisión, dentro del rango permitido, obteniéndose para una potencia media (-16,3 dBm) y una potencia mínima (-36,4 dBm), menores coberturas dentro del ambiente cerrado. En las figuras 10 (a) y (b), se pueden observar los diagramas de distribución de las coberturas obtenidas para cada valor de potencia mencionado.



**Figura 10.** Diagramas de no cobertura para una potencia de: (a) -16,3 dBm y (b) -36,3 dBm.

Como se puede observar en las mediciones, la transmisión de paquetes a máxima potencia incrementa el área de cobertura de los nodos, como es de esperarse. La potencia de transmisión de cada nodo estará relacionada de acuerdo a la cantidad de dispositivos desplegados y a su distribución espacial en un determinado ambiente, razón por la cual, es necesario analizar previamente el área de trabajo de la red, para estimar la cobertura y así distribuir los nodos y la potencia de transmisión de manera eficiente en este tipo de entorno.

La segunda prueba se realizó en un ambiente externo, donde las interferencias por objetos físicos entre dispositivos, disminuye. Se considera una potencia media de transmisión -16,3 dBm para la sonda y el Host, una transmisión de paquetes de 7,5 paquetes/s y cada paquete con 20 bytes de longitud. El nodo sonda se ubica en tres posiciones distintas: a 9 y 14 metros del Host, y se obtienen las siguientes gráficas representadas en las figura 11(a) y b).



**Figura 11.** Nivel de señal del nodo (a) a 9 m del Host y (b) a 14 m del Host

Aunque la señal recibida en ambientes externos presenta el fenómeno de desvanecimiento rápido, éste siempre será más lento que en un ambiente interno, debido a la menor cantidad de objetos dispersores en la trayectoria de la señal transmitida.

Se observa que el valor de RSSI a 9 m es mayor que a 14 m, esto es debido a la degradación que sufre la señal con la distancia, sin embargo, en ambos casos permanecen alrededor de un valor, no así el valor de LQI, que presenta severas variaciones a medida que el enlace se degrada. Estos resultados concuerdan con [15], donde se afirma que LQI sólo da una buena estimación de la calidad de enlace en la medida en que el valor de RSSI se degrada.

*Pruebas de envío de paquetes*

Las pruebas de ping se realizaron a potencia media -16,3 dBm y con 25 bytes de datos realizadas para cuatro escenarios distintos: ping al Host (gateway), entre dos vecinos o de salto único, entre un nodo con distancia al gateway a través de dos saltos y ping a un nodo con distancia al gateway con tres saltos, se muestran en la tabla 2.

**TABLA 2.** Pruebas de envío de de paquetes para diferentes saltos en los nodos

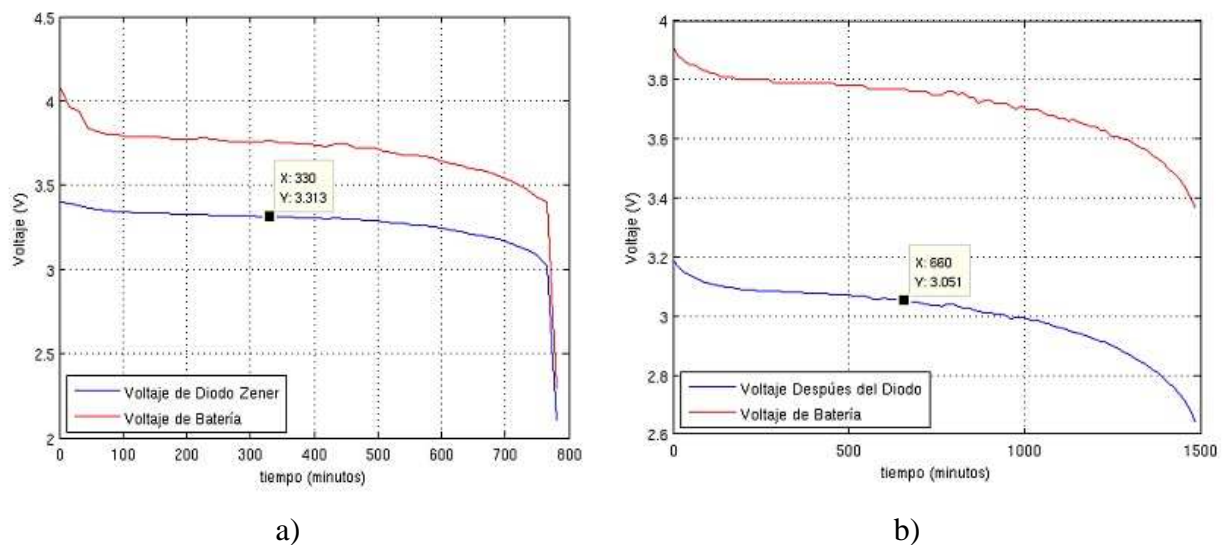
Paquetes	Host	Salto único	Dos saltos	Tres saltos
Enviados	20	20	20	20
Recibidos	20	20	18	20
PRR (%)	100	100	90	100
Perdidos	0	0	2	0
Perdidos (%)	0	0	10	0
Latencia (ms)	0-16	16-31	32-47	72-62

Se observa que la latencia en la transmisión de un paquete aumenta con respecto a la cantidad de saltos que debe atravesar un mensaje entre un nodo y otro a través de la red. Igualmente la cantidad de saltos en la red no afecta la cantidad de paquetes perdidos, siempre y cuando todos los nodos estén establecidos dentro de la región conectada de los vecinos al cual se le entrega el paquete para la retransmisión.

### Pruebas de consumo de batería

Para ambos esquemas de regulación se coloca al dispositivo nodo a enviar 7,5 paquetes/s de manera continua con una longitud de 20 bytes (longitud mínima para monitorizar potencia) cada uno a una potencia media (-16.3 dBm) de transmisión igual y la batería completamente cargada.

De acuerdo a las pruebas de energía realizadas, las curvas de consumo para el sistema con diodo zener se representan la figura 12 (a) y (b).



**Figura 12.** Consumo de energía del nodo (a) con diodo zener y (b) con diodo 1N4148,

Se observa que la tensión del diodo Zener permanece bastante estable durante todo el período de funcionamiento hasta la descarga, regulando las curvas abruptas de tensión generadas por la batería.

Para el diodo 1N4148, la gráfica anterior demuestra que este sistema no regula las curvas de tensión de la batería sino que la sigue con una diferencia de 0,7 V, pero a su favor tiene un consumo mucho menor de potencia que hace que su carga total dure más tiempo que el sistema basado en diodo Zener. Además, la tensión resultante en el cátodo del diodo siempre está dentro del rango de operación, tanto del microcontrolador, como del transceptor.

El primer sistema logra que el dispositivo nodo permanezca activo por 780 minutos continuos, mientras que el segundo sistema permite la actividad del dispositivo nodo por 1485 minutos, lo que indica que el sistema basado en diodo simple mejora el consumo de energía en un 90,4% con respecto al sistema basado en diodo Zener.

Estos valores indican de manera práctica la duración de una batería de Níquel-Cadmio de 3.6V, para una transmisión continua del nodo. En el caso de envío de información por eventos, que es la aplicación típica en WSN, a duración de las mismas se extiende a varias semanas.

## 5. CONCLUSIONES

Se realizan pruebas para dos tipos de ambientes, interno y externo. Para el ambiente interno, las gráficas de potencia recibida presentan desvanecimientos en pequeña escala debido a las reflexiones que generan los objetos que se presentan en el entorno, ocasionando distintos trayectos para la señal transmitida de un nodo hacia el otro.

Los valores de RSSI oscilan entre 50% y 3% de la potencia radiada, mientras que el parámetro LQI varía, aún donde los valores de RSSI no están tan degradados, lo que indica que éste último parámetro no es buen indicador de la calidad de enlace a menos que la señal esté muy degradada, es decir, valores de RSSI muy bajos, cercanos al umbral del receptor.

La tasa de PRR es medida relacionándola con diferentes ubicaciones del nodo sonda, estableciéndose los puntos de conexión, transición y desconexión del entorno, lo cual está vinculado con los niveles de recepción y LQI.

De acuerdo con las mediciones de RSSI, LQI y PRR, la transmisión de paquetes a máxima potencia incrementa el área de cobertura de los nodos. Sin embargo, en algunos casos no es necesario radiar a la máxima potencia para obtener un despliegue de red adecuado, lo que permite reflexionar que es necesario estudiar primero el área de trabajo de la red, para estimar

la cobertura y así distribuir los nodos y la potencia de transmisión de manera eficiente en cada tipo de entorno.

La latencia en la transmisión de un paquete aumenta con respecto a la cantidad de saltos que debe atravesar un mensaje entre un nodo y otro a través de la red, como era de esperarse, sin embargo esto no afecta la cantidad de paquetes perdidos debido a la retransmisión de paquetes efectuada por el transceptor ZigBee MRF24J40MA y siempre que los nodos estén dentro de la región de conexión.

El sistema de prueba de consumo de energía, basado en un diodo zener logra que el dispositivo nodo permanezca activo por 780 minutos, mientras que el basado en diodo simple permite la actividad del dispositivo nodo por 1485, mejorando el consumo de energía en un 90,4% con respecto al primero.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Xu, J; Liu W; Lang, F; Zhang, Y y Wang, C. *Distance measurement model based on RSSI in WSN. Wireless sensor network*. Scientific research. 2010. Pp 606-611.
- [2] D. Bartolomé Arquillo, D. Claros Moreno, M. Domínguez Durán, C. Urdiales García, R. Trapero Miralles, F. Sandoval. *Caracterización del alcance y la potencia en redes de sensores inalámbricas*. XXII Symposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio (URSI 2007). Universidad de la Laguna. Tenerife, España. 2007. Pp 1- 4.
- [3] Akyildiz, I. y Vuran, M. *Wireless sensor networks*. Singapur, Singapur. Wiley. 2010. Pp 2-48.
- [4] Fernández, R; Ordieres, J; Martínez de Pisón, F; González, A; Alba, F; Lostado, R. y Pernía, A. *Redes inalámbricas de sensores; teoría y aplicación práctica*. Universidad de Rioja, servicio de publicaciones, Logroño, España. 2009. Pp 5-12.
- [5] Chio Cho Nayibe, Tibaduiza Burgos Diego Alexander, Aparicio Zafra Laura Cristina, Caro Ortiz Luis Miguel. *Redes de Sensores Inalámbricos*. II Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica – UNAB. Vol 1, No 1. Bucaramanga, Colombia. 2009. Pp 1-15.



- [6] Verdone, R; Dardari, D; Mazzini, G. y Conti, A. *Wireless sensor and actuator Networks, technologies, análisis and design*. London, United Kingdom. Elsevier. 2008. Pp 6-11.
- [7] Dargie, W. y Poellabauer, C. *Fundamentals of Wireless Sensor Networks, theory and practice*. Wiley. Singapore, 2010. Pp 17-42.
- [8] Blumenthal, J; Grossmann, R; Golatowski, F. y Timmermann, D. *Weighted centroid localization in Zigbee-based Sensor Networks*. on International Symposium on Intelligent signal processing, IEEE, 2007. Singapore. Pp 1-6.
- [9] Krishnamachari, B. *Networking Wireless Sensors*. New York, USA. Cambridge University Press. 2005. Pp 70-77.
- [10] Data Sheet MRF24J40MA. Microchip. 2008. Pp 28.
- [11] Avilés G, A. *Una técnica para la caracterización de nodos en redes de sensores inalámbricas*. Proyecto de fin de carrera. Cartagena, España. 2008. Pp 146.
- [12] Verde, G. *Desarrollo de una red de sensores inalámbricas para la monitorización y control de variables*. Trabajo de grado. Barquisimeto, Venezuela. 2010. Pp 117.
- [13] Bradley, M. What Is a Computer Ping Test?. Disponible en:  
<http://compnetworking.about.com/od/homenetworktroubleshooting/f/pingtest.htm>
- [14] Méndes D.; Guerrero M. y Peña N. *Wireless Sensor Network Design*. Circuit Cellar, Issue 211. 2008. Pp 12-21.
- [15] Srinivasan, K. y Levis, P. *RSSI is under appreciated*. Proceeding of the third workshop on embedded networked sensor. Boston, 2006. Pp 1-7.