

Diseño de una red de sensores para la detección y protección de incendios forestales

José Guamán-Quinche¹, René Guamán-Quinche¹, Hernán Torres-Carrión², Roberth Figueroa-Díaz²

¹ Carrera de Sistemas y Automatización, Instituto Tecnológico Superior Sudamericano, Miguel Riofrío y Sucre, Loja, Ecuador, EC110150.

² Carrera de Ingeniería en Sistemas, Área de la Energía, Universidad Nacional de Loja, Av. Pío Jaramillo y Reinaldo Espinoza, Loja, Ecuador, EC110150.

Autores para correspondencia: joguaman@tecnologicosudamericano.edu.ec, {rguaman, hltorres, roberth.figueroa} @unl.edu.ec

Fecha de recepción: 31 de julio 2016 - Fecha de aceptación: 17 de octubre 2016

ABSTRACT

With the growth of monitoring applications in intelligent environments in the engineering, transport, communications, business, agriculture sector, and the significant reduction in the manufacturing costs of sensors, enabled the introduction of monitoring applications in new contexts, where their application benefits any population. Furthermore, today's sensor networks permit the monitoring of places of difficult access and large territorial extension. This paper details the design and implementation of a network of sensors for the prevention of forest fires, where its main objective is to rely on technology as an alternative to early warning.

Keywords: Sensor network, forest fires, specks, ubiquity.

RESUMEN

Con el crecimiento de aplicaciones de monitoreo en entornos inteligentes a nivel de ingeniería, transporte, comunicaciones, empresa, agricultura y la considerable disminución de costos en la fabricación de sensores, ha permitido experimentar nuevos contextos, donde su aplicación beneficia a cualquier población y el uso de redes de sensores presenta ventajas para monitorizar lugares de difícil acceso y gran extensión territorial. El presente artículo detalla el diseño y puesta en marcha de una red de sensores destinada a la prevención de incendios forestales, donde su objetivo principal es apoyarse en la tecnología como alternativa de alerta temprana.

Palabras clave: Red de sensores, incendios forestales, motas, ubicuidad.

1. INTRODUCCIÓN

Cada año miles de hectáreas de áreas verdes se ven consumidas por culpa de los incendios forestales, estos se producen ya sea por causas naturales (factores ambientales) o por la mano del hombre (pirómanos, actividades agrícolas, campamentos, etc.), provocando el deterioro del ecosistema, incalculables pérdidas económicas e incluso llegar a perder la vida de las personas. En definitiva, los incendios forestales influyen significativamente en la alteración y degradación de la vida. Según la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos el año 2015 se perdió 21,250 hectáreas de bosques, páramos y cultivos. Los cuales han causado pérdidas de vidas humanas, de flora, fauna y económicas. Bajo estas referencias debemos indicar que “las causas de los incendios forestales en nuestro país el 5% son provocados por factores ambientales apropiados para desatar un incendio, mientras que en un 95% son de origen antrópico (Galindo, 2005)”; debido a negligencias, desconocimiento o situaciones

intencionales; de hecho, la actividad humana ha disparado la frecuencia de los incendios de modo que, incluso la vegetación mejor adaptada a sobrevivir al fuego llega a ver comprometida su regeneración, y muchos ecosistemas sucumben de forma definitiva ante el poder devastador de las llamas. Para prevenir la problemática antes mencionado se propone un método para la prevención de incendios forestales utilizando una red de sensores inalámbricos, su principal objetivo es la monitorización en tiempo real en zonas donde serán desplegados, utilizando sensores de temperatura (para la detección de incendios forestales) y humedad (para la prevención de incendios forestales).

2. TRABAJOS RELACIONADOS

Una red de sensores es un conjunto de nodos sensores (se compone de sensores, CPU, memoria, comunicación y alimentación) distribuidos aleatoriamente y tienen como objetivo la recolección, procesamiento y envío de los datos de grandes extensiones de terreno utilizando sensores convencionales, cabe recalcar que estos nodos sensores tienen limitaciones en cuanto al procesamiento de la información, consumo de energía y los costos, pero a su vez debe ser escalable y autoconfigurable (Ortiz, 2011). La red de sensores está compuesta principalmente de los nodos sensores, nodos coordinadores (slink, recolectan toda la información de la red de sensores y envía a la estación base) y la estación base (se encarga de procesar la información y enviar las notificaciones).

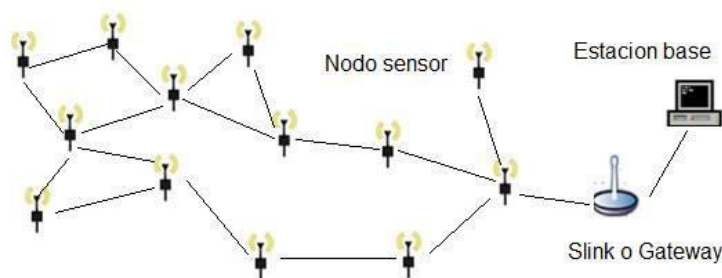


Figura 1. Elementos de una red de sensores.

Además, para el buen diseño de una red de sensores se debe considerar varios aspectos que se citan continuación:

- Factores ambientales.
- La elección del método de transmisión. Se debe considerar con cual tecnología se va a transmitir los datos ya sea por infrarrojos, GSM, GPRS, Bluetooth, wi-fi, Zigbee (802.15.4), etc. (Alavés Sempere, 2015).
- Elección de sensores.
- Elección del algoritmo de enrutamiento.
- La forma de alimentación. La alimentación es un problema en las redes de sensores ya que esta debe durar un largo periodo de tiempo, existen varias técnicas para poder solventar esta dificultad desde utilizar placas solares hasta utilizar dispositivos que se configuren para que puedan quedar dormidos (Zigbee).

En Camacho & Díaz-Ramírez (s.f.) propone una forma de cómo detectar los incendios forestales utilizando sensores de temperatura y humedad, esto lo hacen primero conociendo el entorno (lugar donde se va a instalar la red de sensores) en condiciones normales (sin presencia de incendios) y en condiciones de incendio, para ello recolectaron información de la temperatura y humedad durante el verano, pudiendo tener como resultado un algoritmo para poder programarlo en los nodos sensores. Mientras tanto que en (Arellano, 2015) propone una forma de cómo hacer la detección de incendios forestales utilizando el modelo el análisis de propagación y simulaciones computacionales de tres tipos de versiones que utilizan el estándar IEEE 802.15.4, Xbee Series 2, Xbee Pro 2,4 GHz y Xbee Pro de

900 MHz, utilizaron como base a la medición de variables como: tasa de entrega de paquetes, rendimiento, consumo energético y cobertura bajo parámetros que describen un entorno forestal. Los resultados de cada variable lo analizaron utilizando el método estadístico de Tukey (prueba todas las diferencias entre medias de un análisis de resultados) dando como resultado que el estándar 802.15.4 genera soluciones con un mínimo consumo de energía.

En Erazo (2016) nos da las pautas para poder diseñar una red de sensores utilizando la tecnología Zigbee y a su vez la arquitectura de un nodo sensor a bajo coste, aunque aún está en prototipo promete ser una solución viable en el futuro. En Serna & Bermudez (s.f.) proponen un modelo para la representar las diferentes zonas afectadas por el fuego mediante un conjunto de envolventes convexas. En Chirinos (2013) hace una comparación entre el protocolo AODV (Ad-Hoc Demand Distance Vector) y OLSR (Optimized Link State Routing) tanto en la utilización de recursos, así como de ancho de banda, consumo de energía y a la escalabilidad.

Hay que ver los posibles escenarios en donde se puede suscitar un incendio forestal y analizar la utilización de estrategias para apagar estos incendios ya sea utilizando actuadores o enviando señales de alertas a las estaciones de bomberos (Paweł Kułakowski, 2012). En esta investigación se muestra los factores que influyen en el diseño de las redes de sensores, estos factores son la arquitectura de comunicación, algoritmos y protocolos. Además, se investiga de la convergencia entre los sistemas microelectrónicas, comunicación inalámbrica y la electrónica digital (Akyildiz, 2002)

3. DISEÑO DE LA RED DE SENSORES

3.1. Sitio de prueba

Para elaborar la red de sensores se escogió el sitio de San José de Ceibopamba perteneciente a la parroquia Malacatos, cantón Loja, provincia de Loja ubicada a -4.1904422 de latitud, y -79.29502 , 18.55 de longitud, sus dimensiones son de 1 km de ancho por 1.5 km de largo



Figura 2. Sitio escogido para el diseño de la red de sensores.

3.2. Tecnología de la red de sensores

La topología usada en redes de sensores va desde el punto a punto, jerárquico y de malla. Para este proyecto se utilizará la topología de malla ya que permite la comunicación entre todos los nodos sensores y así poder tener una red más robusta y más tolerante a fallos. Para llegar a esta elección se realizó varias comparativas entre las otras topologías de las cuales se llegó a la siguiente tabla:

Tabla 1. Comparativas entre topologías de res para wsn.

Protocolo	Ventajas	Desventajas
Punto a punto	Se puede hacer una conexión simple	Solo soporta dos componentes. No son escalables.
Estrella	Todos los nodos están comunicados a un punto central La comunicación toda esa sección de la red. ya está definida por un salto.	Si se pierde el nodo central, se pierde toda esa sección de la red.
Malla	Todos los nodos sensores son idénticos. Si un nodo falla la red se vuelve a configurar sola. Altamente tolerable a fallos.	Depende del número de nodos, la red puede experimentar periodos de espera elevados.

3.3. Tecnología de la red de sensores

El protocolo de enrutamiento es muy importante para la red de sensores, se ocupará el AODV (AdHoc on Demand Distance Vector), ya que este protocolo es el más idóneo para redes de sensores ya que intercambia mensajes a los vecinos para calcular la mejor ruta, cada nodo tiene asociada una tabla de enrutamiento y que es de mucha utilidad para establecer enlaces con otros nodos.

3.4. Arquitectura de la red

En la red de sensores propuesta se utilizará los nodos sensores, el nodo coordinador y la estación base. Tanto el nodo sensor como el coordinador van a estar conformados de la siguiente arquitectura. En la red en malla se podrán comunicar entre todos los nodos sensores entre sí, además se comunicarán con el nodo coordinador, este entregara la información recolectada a la estación base.

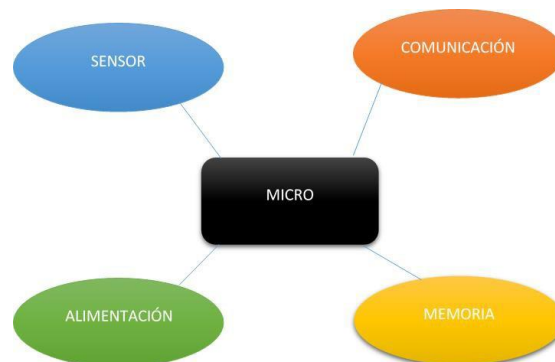


Figura 3. Componentes de un nodo sensor.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

En la elaboración del diseño de la red de sensores se tuvo que tener en cuenta el tipo de comunicación (se tomará como referencia xbee 2), el lugar donde se va a desplegar la red de sensores (parroquia Malacatos) y las dimensiones del sitio, con estos antecedentes se tiene como lo siguiente:

Para poder realizar los cálculos se tomó en cuenta la distancia mínima de transmisión entre cada nodo y la distancia total de todo el terreno que se quiere cubrir: Transmisión mínima = 70 m, distancia a cubrir = 1000 m

Tabla 2. Datos para el diseño de la red de sensores.

Elemento	Distancia cobertura mínima	Distancia cobertura máxima
Xbee (Motas)	70 m	100 m
Xbee (Coordinador)	70 m	100 m
Tamaño del área	1000 m	1000 m

Luego se procedió a ir ubicando los nodos de tal forma que cada nodo cubriera con cierta parte del terreno, cabe recalcar que no se cubrirá todo ya que se requerirá más nodos sensores y eso podría llevar a una sobre población de nodos. Se requieren 4 nodos separados entre ellos por 70 m para poder cubrir una distancia de 200 m pero se requiere de un nodo más para que pueda hacer de puente de comunicación entre los nodos que están a los extremos.

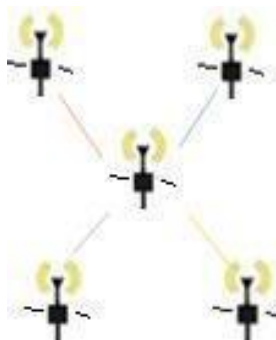


Figura 4. Datos a considerar.

Se puede concluir que con 5 nodos se pueden cubrir perfectamente 40000 m². Se dejará un espacio de 200 m por cada 5 nodos, esto permite optimizar la cantidad de nodos a utilizar, y para cubrir 1000 m² se hará el siguiente cálculo:

Tabla 3. Datos para el diseño de la red de sensores.

Metros totales	Metros a cubrir	Metros sin cubrir
1000	200 (por cada 5 nodos)	200

$$\text{Nodos_utilizar} = 1000 / 200 = 5 \text{ (de 5 nodos)}$$

Ahora se sabe que se requiere 5 nodos para cubrir los 1000 m lineales y para optimizar la utilización de sensores se los ubicara con 200 m de separación entonces los nodos a utilizar serán:

$$\text{Nodos_utilizar_totales} = \text{Nodos_utilizar} - 2 = 3 \text{ (de 5 nodos)}$$

Pero eso solo cubrirá 1000 m lineales y 200 metros en vertical y se pide cubrir 1000 metros cuadrados así que se calculará para la siguiente fila:

$$\text{Nodos_utilizar_totales} = \text{Nodos_utilizar} - 3 = 2 \text{ (de 5 nodos)}$$

Se utilizará 3 (de 5 nodos) y no cumplirá con la condición de reutilización de los nodos, entonces si en la línea superior se requiere 3 (de 5 nodos) en la siguiente se requerirán 2 (de 5 nodos) para que puedan hacer la conexión entre ellos. Esto se hará hasta cubrir todo el espacio que se definió. En el gráfico 5 se muestra la distribución a tener en cuenta, cabe recalcar que el terreno es de fácil acceso, si fuese de difícil acceso, a los nodos se los distribuirá de forma aleatoria. Ya se ha definido la cantidad de sensores por kilómetro cuadrado, ahora se escogerá los sensores más adecuados para la detección y prevención de incendios.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Distribución de los nodos

Los cálculos obtenidos en la sección 3 nos sirven para ir ubicando los nodos sensores en el lugar escogido y el sitio es de fácil acceso así que se podrá agregar los nodos sensores según el diagrama planteado.

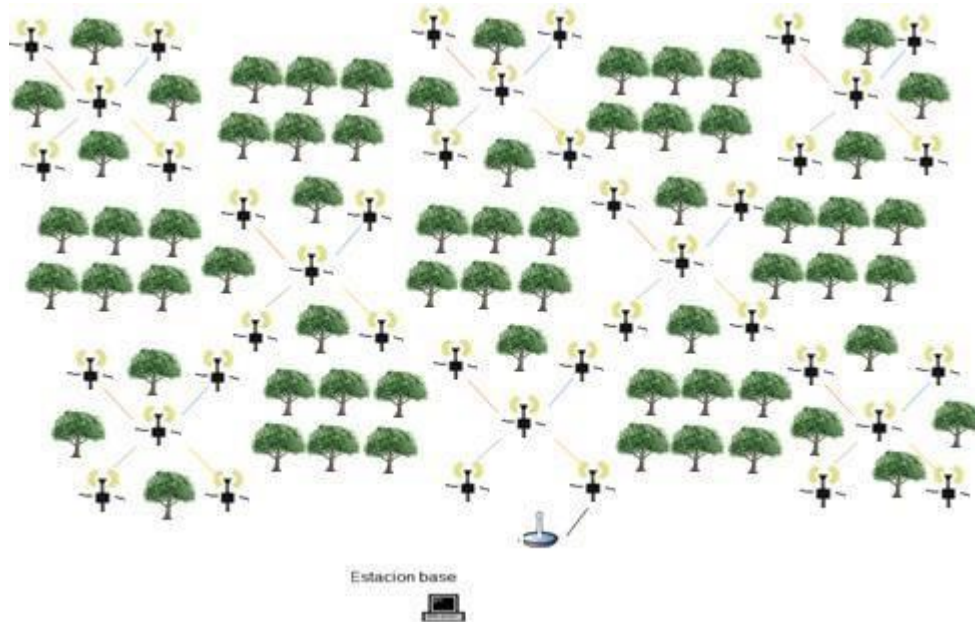


Figura 5. Distribución de los nodos de sensores.

Para que pueda tener una buena conectividad entre nodos sensores se debe poner cada nodo sensor en un determinado rango de conexión, en el siguiente gráfico se puede describir los valores.

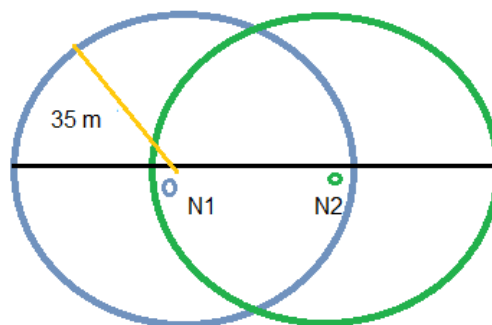


Figura 6. Rango de comunicación entre nodos.

El rango de conexión entre cada nodo es de 70 m. Además, de esta distribución se debe tener en cuenta dos partes principales la detección y la prevención de incendios.

5.2. Simulación con todos los nodos conectados

Para realizar la simulación de conectividad del modelo, se utilizó la herramienta Diagramo, lo que se demuestra la eficiencia de la conectividad del modelo planteado cuando todos los nodos están conectados y cuando existe conectividad, en el cual arrojo los siguientes resultados:

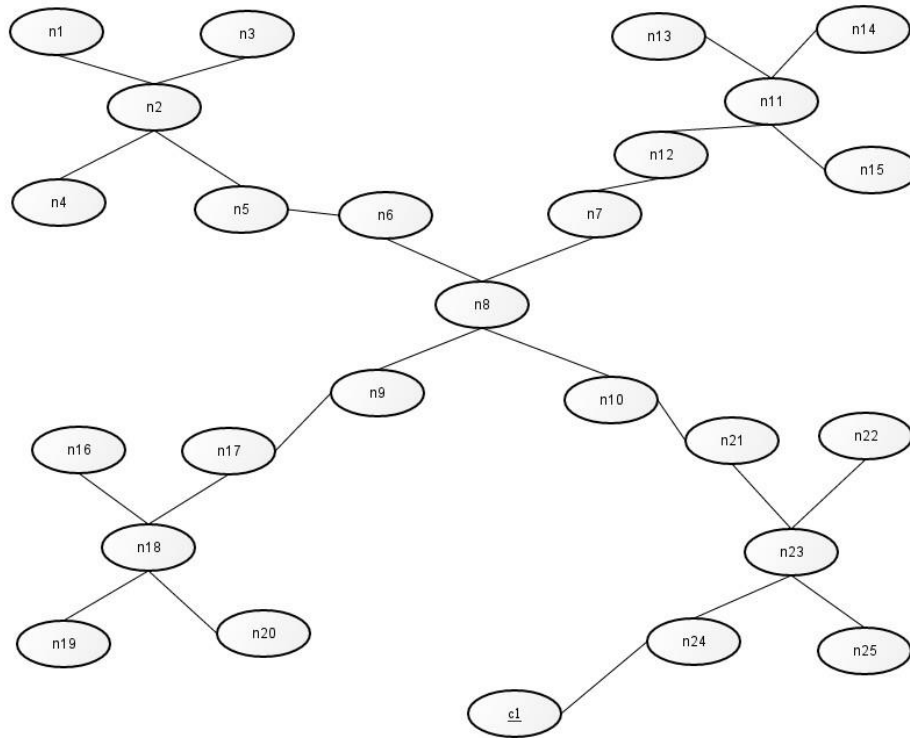


Figura 7. Simulación de nodo.

Al ejecutar el emulador con el esquema de la figura 7 se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 4. Datos obtenidos de la simulación.

Nro.	Nombre	Conectividad	Conectividad al coordinador
1	n1	n2	Si hay conexión
2	n2	n1, n3, n4, n5	Si hay conexión
3	n3	n2	Si hay conexión
4	n4	n2	Si hay conexión
5	n5	n2, n6	Si hay conexión
6	n6	n5, n8	Si hay conexión
7	n8	n6, n7, n9, n10	Si hay conexión
8	n7	n8, n12	Si hay conexión
9	n9	n8, n17	Si hay conexión
10	n10	n8, n21	Si hay conexión
11	n11	n14, n13, n12, n15	Si hay conexión
12	n14	n11	Si hay conexión
13	n13	n11	Si hay conexión
14	n12	n11, n7	Si hay conexión
15	n15	n11	Si hay conexión
16	n17	n18, n9	Si hay conexión
17	n18	n17, n16, n20, n19	Si hay conexión
18	n16	n18	Si hay conexión
19	n20	n18	Si hay conexión
20	n19	n18	Si hay conexión
21	n21	n10, n23	Si hay conexión
22	n23	n21, n22, n24, n25	Si hay conexión
23	n22	n23	Si hay conexión
24	n24	n23, c1	Si hay conexión
25	n25	n23	Si hay conexión
26	c1	n24	Si hay conexión

Resultados de simulación conectividad: nodos conectados: 26; nodos totales: 26; efectividad de conectividad: 100%.

5.3. Simulación con algunos los nodos desconectados

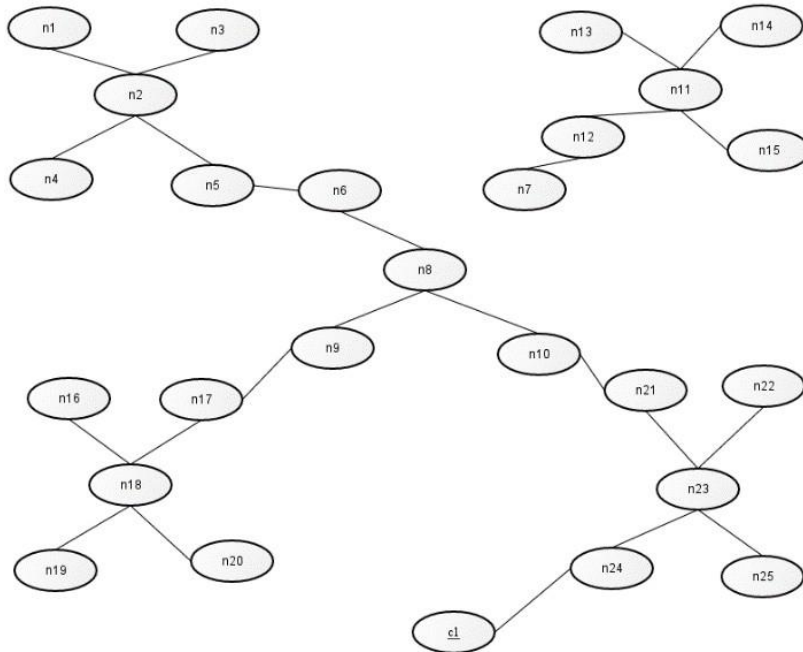


Figura 8. Simulación de la red de sensores con nodos desconectados.

Tabla 5. Datos obtenidos de la simulación.

No.	Nombre	Conectividad	Conectividad al coordinador	Nro. de saltos coordinador
1	n1	n2	Si hay conexión	18
2	n2	n1, n3, n4, n5	Si hay conexión	18
3	n3	n2	Si hay conexión	18
4	n4	n2	Si hay conexión	18
5	n5	n2, n6	Si hay conexión	18
6	n6	n5, n8	Si hay conexión	18
7	n8	n6, n9, n10	Si hay conexión	18
8	n9	n8, n17	Si hay conexión	13
9	n10	n8, n21	Si hay conexión	18
10	n11	n14, n13, n12, n15	No existe conexión	5
11	n14	n11	No existe conexión	5
12	n13	n11	No existe conexión	5
13	n12	n11, n7	No existe conexión	5
14	n15	n11	No existe conexión	5
15	n7	n12	No existe conexión	5
16	n17	n18, n9	Si hay conexión	18
17	n18	n17, n16, n20, n19	Si hay conexión	15
18	n16	n18	Si hay conexión	16
19	n20	n18	Si hay conexión	16
20	n19	n18	Si hay conexión	16
21	n21	n10, n23	Si hay conexión	18
22	n23	n21, n22, n24, n25	Si hay conexión	18
23	n22	n23	Si hay conexión	18
24	n24	n23, c1	Si hay conexión	19
25	n25	n23	Si hay conexión	19
26	c1	n24	Si hay conexión	0

Resultados de simulación conectividad

Resultados: nodos conectados: 20; nodos desconectados al coordinador: 6; nodos totales: 26; efectividad de conectividad: 76.92%.

Cuando existe un nodo o nodos desconectados de la red de sensores baja la eficiencia de toda la red debido esto se debe a que si una parte de la red o algún nodo se daña (por incendios, daño de algún componente o por agotamiento de su fuente de energía).

Prevención de incendios

Se utilizar el sensor DHT 11, este sensor tiene doble funcionalidad: recoge la información de la temperatura ambiente y además recoge la humedad ambiente. Para realizar una predicción exacta de prevención se tomará en cuenta el 30 30 30 que significa: humedad relativa menor al 30%, temperatura mayor a 30°C, y vientos de 30 Km/h, en nuestro caso tomaremos en consideración sólo dos parámetros (temperatura y humedad), si estas dos condiciones se cumplen emitiremos un mensaje a la estación central para que pueda dar aviso a la estación de bomberos más cercana de un posible incendio forestal. Solo se utilizarán por cada kilómetro cuadrados 2 sensores de este tipo ya que son muy costosos de implementar en cada nodo.

Detección de incendios

Para poder detectar un incendio los nodos estarán equipados con sensores de temperatura los cuales irá midiendo cada minuto la temperatura del medio ambiente, si la temperatura sobrepasa los 50°C se enviará una notificación a la estación base que existe un incendio forestal cerca de ese nodo, e inmediatamente notificará a la estación de bomberos más cercana.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se diseñó una red de sensores, donde se obtuvo los datos de la dimensión del espacio escogido y los datos de transmisión mínima y máxima de un módulo de comunicación xbee 2. Se comprobó que teniendo estos a la mano se puede estimar cuantos nodos sensores entrarían en la red de sensores, además que se puede saber la distribución de dichos nodos. Cabe recalcar que el lugar escogido es de fácil acceso por lo cual se pueden ubicar los nodos sensores según el esquema que salió en la distribución de nodos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Loja, el Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, y a la Carrera de Ingeniería en Sistemas por el apoyo técnico, logístico y académico desinteresado para la culminación exitosa del proyecto.

REFERENCIAS

- Akyildiz, W.S., 2002. *Wireless sensor networks: a survey*.
- Alavés Sempere, J., 2015. *Monitorización remota de las condiciones ambientales de un entorno delimitado*.
- Arellano, A., D. Ávila, J. Erazo, C. Herves, 2015. Evaluación de una red de sensores inalámbrica para detección de incendios forestales. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 28(3).
- Camacho, J.A.A., A. Díaz-Ramírez, R.I.A. Figueroa, V.Q. Rosas, s.f. *Red de sensores inalámbrica*

para la detección de incendios forestales.

Chirinos Cadavid, S., 2013. *Evaluación de los protocolos de enrutamiento AODV y OLSR en redes VANET.*

Erazo, J.K., C.A. Hervas, 2016. *Sistema de detección de incendios forestales mediante redes sensoriales inalámbricas (Zigbee).* Maskana, 1-11.

Galindo, G., 2005. *Los incendios forestales en Ecuador.* Ministerio del Ambiente, Dirección nacional Forestal. Quito, Ecuador.

Ortiz, A., A. Manuel, 2011. *Técnicas de enrutamiento inteligente para redes de sensores inalámbricos.* Doctoral dissertation, Universidad de Castilla La Mancha, Albacete, España.

Paweł Kułakowski, E.C., 2012. *Performance study of wireless sensor and actuator networks in forest fire scenarios.*

Serna, A., A. Bermudez, A. Casado, s.f. *Modelado de incendios forestales con WSNs mediante múltiples envolventes.*