



Redes inalámbricas de sensores para detección temprana de incendios forestales

Wireless sensor networks for early detection of forest fires

Byron Oviedo¹
boviedo@uteq.edu.ec

Emilio Zhuma Mera¹
ezhuma@uteq.edu.ec

Ángel Torres Quijije¹
atorres@uteq.edu.ec

María Vicuña Gaibor¹
mbvicuna@gmail.com

Cinthia Solís López¹
cinthiaklop.solis@uteq.edu.ec

Recibido: 1/07/2018, Aceptado: 1/09/2018

RESUMEN

En el presente trabajo se implementa un sistema de detección de incendios forestales denominado Forest Fire System, en el que se aplica redes de sensores inalámbricos (WSN). Esta red está constituida por 2 nodos sensores, los encargados de la detección de humo; conectados a través del protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4) con una estación base (nodo coordinador) el mismo que apoyándose en la tecnología GSM (Global System for Mobile Communications) enviará un mensaje de texto al administrador; adicionalmente se encuentra conectado a una aplicación informática de escritorio que permite mostrar información capturada por la red de forma amigable y comprensible al usuario final. Finalmente, se implementó la WSN la finca experimental "La Represa" simulando incendios controlados.

Palabras Clave: redes, sensores, inalámbrica, redes de sensores inalámbricos, incendios forestales, ZigBee

¹ Docentes de la Universidad Técnica de Quevedo. Ecuador

ABSTRACT

In this work, a forest fire detection system called Forest Fire System is implemented, in which wireless sensor networks (WSN) are applied. This network consists of 2 sensor nodes, those responsible for smoke detection; connected through the ZigBee protocol (IEEE 802.15.4) with a base station (coordinating node) the same as relying on GSM (Global System for Mobile Communications) technology send a text message to the administrator; additionally it is connected to a desktop computer application that allows to display information captured by the network in a friendly and understandable way to the end user. Finally, the WSN was implemented the experimental farm "La Represa" simulating controlled fires.

Keywords: networks, sensors, wireless, wireless sensor networks, forest fires, ZigBee

Introducción

Anualmente en el mundo se queman 350 millones de hectáreas de bosque, así como se pierden 14,2 millones de hectáreas a causa de la deforestación de acuerdo con un informe de la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2016). Según estudios realizados por la NASA y Greenpeace International el 70% de desastres naturales son atribuidos a incendios y tala de bosques.

En el Ecuador, el deterioro ambiental viene dado por los incendios forestales debido a que influyen significativamente en la alteración y degradación de la calidad de vida (Galindo, 2005). De acuerdo a los Informes de Situación Diarios, sobre la evolución de los Incendios Forestales, durante el año 2017, los incendios forestales (INF) mayores o iguales a 2 hectáreas han ocasionado la pérdida de 13.011,08 hectáreas de cobertura vegetal, en 929 eventos registrados (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017).

Lo anteriormente mencionado ha causado pérdidas de vidas humanas, flora, fauna y económicas. Según Alonso (2008), las causas de los incendios forestales en nuestro país son provocados en un 5% por factores ambientales apropiados para desatar un incendio, mientras que un 95% son de origen antrópico, debido a negligencias, desconocimiento o situaciones intencionales.

El documento describe el uso de las redes inalámbricas de sensores o WSN (Wireless Sensor Network), una tecnología novedosa cuya aparición se debe al desarrollo de las áreas de la electrónica, sistemas computacionales y de telecomunicaciones. El potencial de esta tecnología radica en la posibilidad de construir una solución conformada por Nodos Sensoriales (Motas) receptoras de información para retransmitirlas hasta un centro de recolección o base central.

El objetivo de esta tecnología consiste en la creación de dispositivos económicos que puedan ser utilizados masivamente para extraer información del medio y posteriormente someterla a un análisis con el fin de servir de apoyo en la toma de decisiones, según la problemática que se esté abordando.

Morillo (2013) muestra una variada compilación de las aplicaciones de WSN tanto para aplicaciones militares, medioambientales, médicas, entre otras.

En la Universidad de Córdoba-Colombia, desarrollaron un sistema de monitoreo de cultivos agrícolas a través de redes inalámbricas de sensores para medir variables ambientales como humedad relativa, temperatura y radiación solar (UVA-UVB) en el municipio de Montería (Mercado, 2012).

En la Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela, se presentó un proyecto de investigación que consistió en la implementación de una red inalámbrica de sensores en los viñedos de una empresa productora de vino en Venezuela para medir velocidad y dirección del viento, humedad ambiental, humedad del suelo, temperatura, pluviometría y radiación solar. Para la implementación de la red se utilizó el eKo PRO Kit compuesto por seis nódulos con el panel solar, cada nódulo con sus correspondientes sensores, la radio base y el Gateway que integra una interfaz gráfica de usuario en ambiente Web llamada eKoView. En pruebas realizadas para evaluar la duración de la batería en condición atípica sin luz solar se determinó que los nodos son capaces de mantenerse activos durante aproximadamente 58 días, sin embargo, hubo pérdida de datos por la no disponibilidad de energía eléctrica en la caseta (lugar de alojamiento del Gateway y la radio base); el software eKoView sirvió de apoyo a los supervisores para verificar el buen funcionamiento de sistemas con el de riego (Flores et al., 2010).

Hay un trabajo desarrollado por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) en el año 2014 presentó un sistema de detección de incendios forestales mediante redes sensoriales inalámbricas utilizando la tecnología Zigbee por medio de Arduino. Dichas tecnologías permitieron crear un sistema denominado Natura Sys (Ruirui et al., 2010).

En base a esto se diseñó un sistema de comunicaciones para la detección temprana de incendios forestales mediante redes de sensores inalámbricas, tomando como plan piloto la Finca Experimental "La Represa" perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo; mediante la implementación de una red de dispositivos sensoriales de bajo costo y mínimo consumo de energía, para de esta forma detectar presencia de humo, lo que permitirá disponer de una alerta temprana de un posible incendio forestal.

Métodos

En este estudio empezamos revisando la constitución de las redes inalámbricas de sensores, las mismas que están formadas por diversos nodos de sensores, distribuidos a lo largo de un área para ser monitoreada, una de las principales características de estas redes es que sus nodos son autónomos, capaces de organizarse y auto-configurarse, es por ello que si se presenta una falla los nodos se encargan de tomar otras rutas para transportar los paquetes hasta el destino. Hay diferentes factores que influyen sobre estas redes y es la escalabilidad, el consumo de energía y un factor mencionado anteriormente como lo es la tolerancia a fallas. Para el diseño de estas redes WSN existen diferentes arquitecturas, pero estas parten de la necesidad de una organización de forma distribuida y descentralizada (Mercado, 2012).

Luego se realiza una comparación entre varios estándares para la comunicación inalámbrica tal como se puede ilustrar en la tabla 1.

Tabla 1. Comparación de tecnologías Inalámbricas

Estándar	WI-FI 802.11 g	WI-FI 802.11 b	Bluetooth 802.15.1	ZigBee 802.15.4
Aplicación principal	WLAN	WLAN	WPAN	Control y Monitorización
Memoria necesaria	1MB y más	1MB y más	250KB y más	4KB a 32KB
Vida Baterías (días)	0.5 a 5	0.5 a 5	1 a 7	100 a 1000 y más
Tamaño red	32 nodos	32 nodos	7	65000
Velocidad	54Mbps	11Mbps	720Kbps	20 a 250Kbps
Cobertura (Metros)	100	100	10	100
Parámetros más importantes	Velocidad y flexibilidad	Velocidad y flexibilidad	Perfiles de aplicación	Fiabilidad, bajo consumo y bajo costo.

Fuente: Elaboración propia

Experimentación

Finca Experimental "La Represa" cuenta con diferentes áreas dedicadas a: investigación, producción y conservación de recursos naturales; permitiendo así que los estudiantes universitarios puedan realizar sus diferentes prácticas e investigaciones.

Posee diferentes zonas como: vivero forestal, banco de germoplasma, sistemas agroforestales, orquideario, área de producción de abonos orgánicos, laguna, área de cacao, banco de especie, plantación de teca, plantación de pachaco, cultivo de naranja, plantación de melina.

El clima que prevalece en este sitio es seco-tropical con una temperatura media que oscila entre los 24 y 33 °C.

Agua: La finca posee tres espejos de agua represados con un total aproximado de 5has. También posee un pozo profundo para el abastecimiento de agua para el área de vivero.

Flora: Se encuentran establecidas 60 especies forestales en un sitio determinado (Banco de Especies Forestales), así como también otras especies distribuidas en toda el área, además se cuenta con: proyectos agroforestales, viveros: ornamental, forestal y de investigación (forestal).

Fauna: Se producen ovinos tropicales, cuyes, conejos de manera controlada y en forma natural se cuenta con una gran diversidad de aves de la zona, así como animales menores en estado natural.

Tabla 2. Condiciones meteorológicas del área de estudio.

Latitud	01° 05' S
Longitud	79° 27' W
Altura	75 m.s.n.m
Precipitación promedio	269,12 mm
Temperatura media anual	24,93 °C
Humedad relativa	85,5%
Heleofanía media anual	84,325 h/luz

Fuente: Elaboración propia

Diseño de la Investigación

Fase 1: Análisis de la información

En esta fase se realizó un estudio del tema a tratar y su respectivo entorno, determinando así los incendios forestales como tema principal y con el análisis de avances, estudios y trabajos realizados sobre el diseño de sistemas de apoyo de incendios forestales basado en WSN y las diferentes tecnologías existentes para los mismos, se pudo elegir el hardware adecuado para el presente proyecto.

Una vez obtenida toda la información se procedió a definir los requerimientos tanto funcionales como no funcionales de los elementos que componen el sistema.

Para efectuar el cumplimiento de esta fase se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- **Recopilación de información**
Se realizó una investigación profunda en diferentes fuentes tales como artículos científicos, revistas especializadas, estudios y proyectos realizados, también se hizo uso de la llamada literatura gris o lectura no convencional, que comprende un sin número de documentos obtenidos de la Web entre ellos el portal de la IEEE, para determinar el estado del arte de las redes de sensores inalámbricos.
- **Elección del hardware**
De acuerdo a la información recolectada en la actividad anterior referente a las tecnologías utilizadas en el diseño de las WSN, se eligieron los sensores a utilizar para detección de humo, así como los elementos necesarios para crear la red inalámbrica, es decir: los módulos de comunicación, placas de desarrollo, fuentes de energía, y demás elementos necesarios para realizar las conexiones tales como adaptadores y cables especiales. Todo esto teniendo en cuenta una de las características principales de las redes inalámbricas de sensores como lo es el bajo consumo de energía.
- **Definición de requerimientos**
En esta actividad se identificaron los requerimientos funcionales y no funcionales a los cuales debe estar sujeto el sistema para cumplir con las especificaciones planteadas, estos se definieron de una forma clara y detallada a fin de garantizar

que sean implementados de forma adecuada.

Fase 2: Diseño

Teniendo en cuenta la información recopilada en las fases anteriores se procede a definir la arquitectura del sistema, así como las herramientas de programación y configuración disponibles para lograr el desarrollo de las arquitecturas propuestas, además se elaboraron los diferentes diagramas en los que se plasma gráficamente, la forma en que interactúan los elementos del sistema.

- **Arquitectura del sistema**
Para el diseño de la arquitectura del sistema en primera instancia se definió la arquitectura de la red inalámbrica de sensores, estableciendo la topología bajo la cual va a operar y los protocolos de comunicación utilizados para la conexión entre los nodos de la red.
- **Diseño del sistema**
En esta actividad se plasmó visualmente cómo está constituido el sistema, por ello en esta fase se realizaron los diagramas de bloques, de secuencia, relación, casos de uso, con los que se muestra gráficamente cómo se comporta el sistema a la hora de realizar las respectivas interacciones con el usuario y cada uno de los procesos asociados a la administración de la información.

Fase 3: Desarrollo

De acuerdo con el diseño realizado en la fase anterior, se inicia la construcción del sistema teniendo en cuenta los requerimientos, diagramas y la arquitectura del mismo definidos anteriormente. En esta fase se realiza la configuración y programación de cada uno de los elementos que componen la red inalámbrica de sensores, así como el desarrollo del software que comprende la aplicación de escritorio, los cuales permiten demostrar de forma comprensible y amigable con el usuario la información obtenida por la red inalámbrica.

- **Configuración de la red inalámbrica de sensores**
Una vez realizadas las actividades anteriormente descritas se inicia el proceso relacionado con la configuración de los módulos de comunicación de la red inalámbrica basándose principalmente en los requerimientos planteados en la fase de análisis y las especificaciones definidas en la fase de diseño, estas configuraciones se realizaron por medio de una plataforma que permite la interacción con los módulos de comunicación necesarios para la red inalámbrica.
- **Programación de los nodos**
Luego de haber cumplido a cabalidad la actividad anterior relacionada con la configuración de los módulos de comunicación se procede a programar cada uno de los nodos sensores y nodo coordinador para lograr la comunicación entre los mismos, además se programan cada uno de los sensores para obtener los datos de las variables ambientales a medir.
- **Desarrollo del software**
Para esta actividad se desarrolló la aplicación de escritorio realizado siguiendo paso a paso los procesos definidos en los diagramas, especificaciones de caso de uso, requerimientos funcionales y no funcionales, tomando como referencia la arquitectura definida para obtener un óptimo funcionamiento del sistema.

Fase 4: Montaje y Pruebas del sistema.

En esta fase se procede a ubicar cada uno de los nodos y elementos pertenecientes a la red dentro del área a monitorear, además de alojar la aplicación de escritorio en la PC principal. También se realizaron diversas pruebas a fin de comprobar el correcto funcionamiento del sistema de acuerdo a ciertas acciones realizadas, además se analizaron y corrigieron los fallos presentados.

- **Ubicación de los nodos**
En esta actividad se ubicaron de manera estratégica cada uno de los nodos dentro del área de muestreo seleccionada, teniendo en cuenta los rangos de distancias que abarca cada uno de los nodos en base a los módulos de comunicación que estos utilizan.
- **Pruebas del sistema**
Una vez ubicados los nodos se procede a realizar diversas pruebas a fin de comprobar el correcto funcionamiento del sistema. Primero, se verificó la obtención de datos por medio de los sensores, segundo que existiera comunicación entre los nodos de la red; tercero, que los datos enviados por los nodos sensores llegaran correctamente al nodo coordinados; cuarto, se verificó la correcta comunicación entre el nodo coordinador y la aplicación de escritorio; por último se realizaron pruebas para verificar la autosuficiencia energética de los nodos.
- **Análisis de resultados y corrección de fallos**
Luego de realizar las pruebas anteriormente descritas se procede a analizar cada uno de los datos obtenidos, a fin de verificar que estos si correspondieran a los requerimientos del sistema previamente establecidos, logrando así identificar diferentes fallos para su posterior corrección.

Resultados

Para corroborar el adecuado funcionamiento de la red inalámbrica de sensores se realizaron pruebas en la finca Experimental "La Represa" a través de fuegos controlados para verificar el funcionamiento de los sensores, la comunicación entre los nodos de la red con el nodo coordinador y el nivel de autonomía energética de los nodos.

En esta prueba se realizó la comunicación entre sensores y la aplicación informática de escritorio, esto a fin de verificar el adecuado funcionamiento de la red inalámbrica.

Se procedió a realizar fuegos controlados a la cercanía (2m de altura) del nodo router 1 y 2. Como se muestra en la figura 1 y 2 los cuales fueron detectados por sus correspondientes sensores de humo los que accionaron la comunicación con el software y este emitió la alerta.



Gráfico 1. Nodo R1 detectando presencia de Humo

Fuente: Elaboración propia



Gráfico 2. Nodo R2 detectando presencia de Humo

Fuente: Elaboración propia

Como se ha mencionado anteriormente el consumo de energía es un criterio muy importante en este tipo de redes, por lo cual se realizaron diversas pruebas a fin de determinar el nivel de autonomía energética.

Para definir el nivel de autonomía energética de los nodos se realizaron pruebas para determinar la durabilidad de la batería con la ayuda del panel solar, tal como se aprecia en la tabla tuvo una duración de 35 días (5 semanas), en las cuales la batería dependiendo del estado climático presentaba carga y descarga. El clima actual

presente en la Finca "La Represa" es variable, se presentan condiciones de tiempo mayormente nublado, parcialmente nublado y soleado.

Tabla 3. Promedio de carga y descarga de la Batería

Prueba N°	Batería Voltaje	Batería Amperio Hora	Duración (Horas)	Promedio de carga	Promedio de descarga
Semana 1	6V	4AH	168	-3.91%	10pm 5.79V
Semana 2	12V	5AH	168	6.01%	15.59%
Semana 3	12V	9AH	168	3.03%	3.49%
Semana 4	12V	9AH	168	1.20%	3.60%
Semana 5	12V	9AH	168	4.88%	3.25%

Fuente: Elaboración propia

En la semana 1 se utilizó una batería de 6V 4AH con 2 paneles solares conectados en serie de 6V- 2W cada uno determinando lo siguiente:

En las pruebas realizadas el porcentaje de carga fue de -3.91% porque el consumo energético de los equipos utilizados fue mayor a lo generado por las celdas fotovoltaicas. Por consiguiente durante la noche llega al tope límite (5.79V) lo cual produjo que el sistema deje de funcionar (10pm) y se determina la no autosuficiencia del sistema.

En la semana 2 se utilizó una batería de 12V 5AH con un panel de 18V 20W considerando lo siguiente:

En las pruebas realizadas el porcentaje de carga fue de 6.01% mientras que el de descarga fue de 15.59% porque la capacidad de almacenamiento de la batería no satisface el consumo de los equipos. Por consiguiente durante la noche (12am) el controlador se desconectó al llegar al voltaje de 10.8V que es el valor mínimo para el funcionamiento según especificaciones técnicas del fabricante.

En la semana 3 se utilizó una batería de 12V 9AH con un panel de 18V 20W lo que determina lo siguiente:

La figura 3 presenta la evolución de la batería tomando como escenario un día de la semana en condiciones de tiempo parcialmente nublado, concluyendo que la carga inicial de la batería fue de 12,45V alcanzado su pico máximo a las 17:00 con 13,56V indistinto de las condiciones climáticas. Es decir si al amanecer la carga es considerable, al ocaso mantendrá su voltaje óptimo para su funcionamiento durante la noche.



Gráfico 3. Evolución de batería tiempo parcialmente nublado
Fuente: Elaboración propia

En la semana 4 se utilizó una batería de 12V 9AH con un panel de 18V 20W concluyendo lo siguiente:

La figura 4 presenta la evolución de la batería tomando como escenario un día de la semana en condiciones de tiempo mayormente nublado, es decir durante el día recibiendo un porcentaje de carga de 1.20% y durante la noche respondiendo satisfactoriamente y considerando su autonomía energética.



Gráfico 4. Evolución de batería en tiempo Soleado
Fuente: Elaboración propia

En la semana 5 se utilizó una batería de 12V 9AH con un panel de 18V 20W concluyendo lo siguiente.

Por último, la figura 5 presenta la evolución de la batería tomando como escenario un día de la semana soleado, concluyendo que la carga inicial de la batería fue de 11,89V alcanzado su pico máximo a las 16:00 con 12,97V. Es decir si al amanecer la carga es baja durante días soleados su funcionamiento igualmente será óptimo.

A continuación se aborda los valores resultantes de diferentes parámetros entre ellos consumo energético, tiempo de respuesta y cobertura obtenidas por el sistema Forest

Fire System.

Tabla 4. Energía consumida por el equipamiento del sistema

Equipamiento	Potencia en Vatios	Horas de uso diario	Energía consumida
Arduino Mega 2560	0.88W	24 horas	21.12W/día
XBee S2	0.18W	24 horas	4.32W/día
Shield para XBee	0.2W	24 horas	4.8W/día
Sensor MQ-135	0.8W	24 horas	19.2W/día
Total	2.06W		49.44W/día

Fuente: Elaboración propia

A continuación se determina un aproximado de la cantidad de nodos necesarios para abastecer de este sistema a todo el campus Finca Experimental "La Represa", trabajo investigativo que debe considerarse en un futuro para un estudio previo.



Gráfico 5. Mapa de la posible ubicación de los Nodos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Aproximación de la cantidad de nodos Necesarios

APROXIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE NODOS SE UTILIZARÍA EN LA FINCA LA REPRESA DE UTEQ.					
Ha	M ²	Rio	Nodos	Estimación x ha.	Total de nodos.
91.18h	911,800m ²	- 10.000m ²	100m	1nodo	90

Fuente: Elaboración propia

Con la finalidad de aportar a la solución de problemas propios de la detección temprana de incendios forestales vinculando nuevas tecnologías, el presente trabajo se desarrolló siguiendo la arquitectura del sistema plasmada en la ilustración 8 representada de forma general, la cual consta de una red inalámbrica de sensores constituida por 2 nodos router que operan bajo una topología tipo estrella, los cuales se encargarán de tomar la información del medio a través de los sensores y enviarla hacia el nodo coordinador a través del protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4), el nodo coordinador por su parte recibe dicha información y la presenta en una aplicación informática de escritorio alojada en el computador del administrador de la Finca Experimental "La Represa". Además haciendo uso de la tecnología GSM/GPRS transmitir un mensaje de texto a los destinatarios.

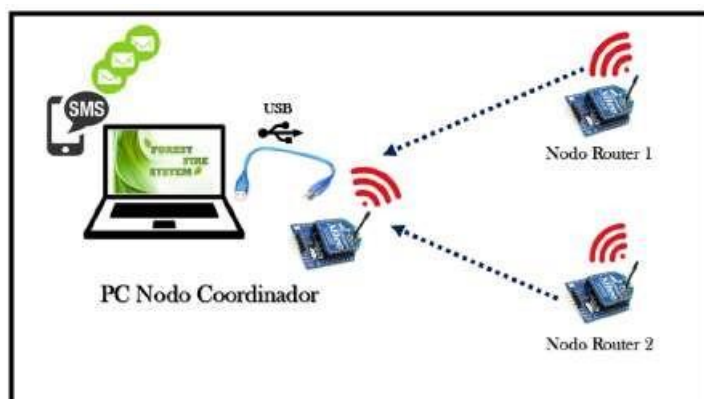


Gráfico 6. Arquitectura general

Fuente: Elaboración propia

En la arquitectura del hardware se encuentra representada la forma como se comunican cada uno de los componentes de los nodos que forman parte de la red, además se muestra como se genera el flujo de la información.

En la Ilustración 7, se observa la arquitectura interna de los nodos sensores, mostrando sus componentes y la manera en que estos interactúan entre sí. Estos nodos están formados por 3 capas: la capa de sensado, capa de procesado y comunicación.

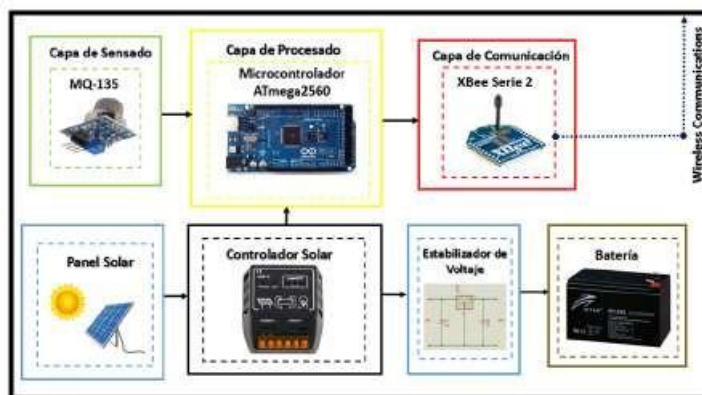


Gráfico 7. Arquitectura nodo sensor

Fuente: Elaboración propia

Para la alimentación de los nodos sensores se utilizó un controlador solar el cual posee terminales para batería y panel solar. En un terminal se conecta la batería recargable con un voltaje de 12V 9AH y en el otro se conecta el panel solar de 18V 20W.

En el gráfico 8 se observa el circuito utilizado para la alimentación del nodo sensor.



Gráfico 8. Circuito de alimentación de nodo sensor

Fuente: Elaboración propia

Por su parte el nodo coordinador a diferencia del nodo sensor, no cuenta con capa de sensado, como se puede apreciar en la figura 9, pues su función será la de servir como puente entre los nodos sensores y la aplicación de escritorio.

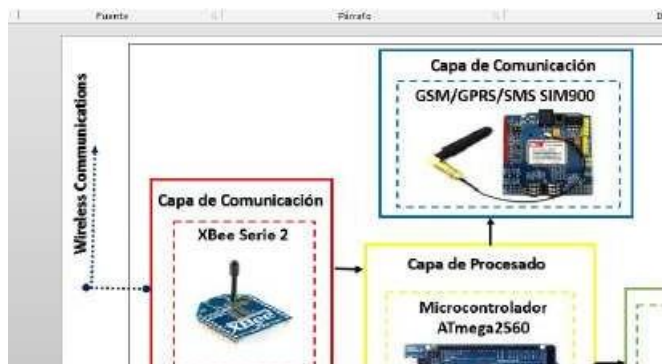


Gráfico 9. Arquitectura Nodo coordinador
Fuente: Elaboración propia

Una vez configurados los parámetros de los módulos XBee se observa la topología de la red, como se aprecia en el gráfico 10.

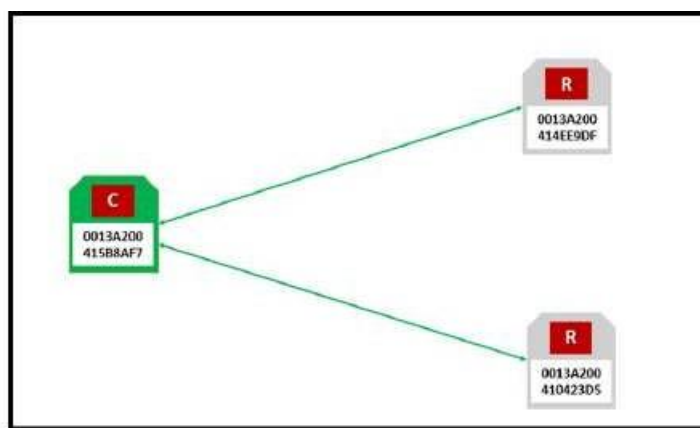


Gráfico 10. Topología de la red
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se especifican las restricciones que tiene el sistema, las cuales deben tenerse muy en cuenta para lograr que el sistema funcione correctamente:

- El sistema se debe implementar en un área en la cual exista cobertura GSM.
- El módulo GSM/GPRS/SMS debe usar una SimCard Claro/Movistar, la cual debe tener activo un paquete de mensajes de texto, para el envío del SMS.
- La distancia entre los nodos de la red no debe ser superior a los 120m.
- Preferentemente la topografía del terreno debe ser llana.
- Debe existir un punto de corriente en la garita del lugar para la conexión de la PC.

Conclusiones

Se diseñó un sistema de comunicaciones para la detección temprana de incendios forestales mediante la implementación de una red de sensores inalámbricos con el

objetivo de mostrar un mecanismo diferente al tradicional que trata estos problemas cuando el incendio forestal ha causado cuantiosos daños materiales, económicos, de vidas humanas y un impacto ambiental significativo.

Se implementó un plan piloto en el campus Finca Experimental "La Represa" ubicado en la ciudad de Quevedo para detección de presencia de humo de un área determinada provocando incendios controlados por los autores de la investigación debido que el Vivero Forestal se encuentra en un área húmeda tropical y los incendios forestales por lo general se dan en sitios o regiones secas.

Se recolectó la información de forma inalámbrica enviada por los dispositivos sensoriales hacia el nodo coordinador.

El sistema denominado Forest Fire System está constituido por 2 nodos sensoriales configurados como nodo router 1 y 2 respectivamente. Se utilizó módulos de comunicación modelo XBee S2, plataforma Arduino, un controlador solar con terminales que permiten la conexión de la batería y el panel solar; fuentes de alimentación de los nodos sensores. El nodo coordinador utilizó una plataforma Arduino, módulo XBee S2C, Shield GSM/GPRS/SMS para enviar mensajes de texto en el momento de la detección; conectados directamente al computador mediante puerto USB en el cual se encuentra la aplicación informática de escritorio.

Se desarrolló la aplicación informática de escritorio para almacenar eventos e identificar la presencia de humo en el área determinada mediante los sensores. El software cuenta con el mapa de Google Maps que mediante la librería Gmaps.net, permitió mantenerlo altamente disponible ante la ausencia de internet o que éste deje de funcionar. Además cumple con unas de las principales funciones que es emitir un sonido con el fin de alertar de manera audible el evento. Además, permite registrar las zonas de riesgo, clasificando los eventos ocurridos.

Referencias bibliográficas

- Alonso, P. (2008). *Redes de sensores, Fundamentos y aplicaciones*, Santander: Grupo de Procesado de Datos y Simulación y Universidad Politécnica de Madrid.
- FAO (2016). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i4793s.pdf>
- Flores M., Velasco V., Flores F. y González, G. (2010). Red Inalámbrica de Sensores para Monitoreo de Humedad Enterrada. *Revista Iberoamericana de Sensores (IBERSENSOR)*, Vol. 7, No. 1: 1-6.
- Galindo, G. (2005). *Los incendios forestales en Ecuador*. Ministerio del Ambiente, Dirección Nacional Forestal. Quito, Ecuador. Recuperado de http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26354/1/TICEC_2016_23.pdf
- Mercado, G. O. (2012). Red de sensores SIPIA. XIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación.
- Morillo, H. R. (2013). *Aplicación a la Monitorización de Variables Fisiológicas. Redes Inalámbricas de Sensores Inteligentes*.

Ruirui Z., Liping C., Jianhua G., Zhijun M., & Gang, X. (2010). An Energy-Efficient Wireless Sensor Network Used for Farmland Soil Moisture Monitoring. IET International Conference on Wireless Sensor Network (IET-WSN 2010), Beijing, China.

Secretaría de Gestión de Riesgos (7 de 12 de 2017). Informe de Situación – Incendios Forestales. Obtenido de https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2017/12/Informe-de-situaci%C3%B3n_INF_07122017_15h00.pdf