

**PROTOTIPO DE UNA RED INALÁMBRICA CON TOPOLOGÍA TIPO MALLA
UTILIZANDO MÓDULOS XBee**

DEISY JOMARA LONDOÑO ROLDÁN

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA
MEDELLÍN
2018**

**PROTOTIPO DE UNA RED INALÁMBRICA CON TOPOLOGÍA TIPO MALLA
UTILIZANDO MÓDULOS XBee**

DEISY JOMARA LONDOÑO ROLDÁN

Trabajo de grado para optar al título de Tecnóloga en Electrónica

Asesor

Sergio Hernando Ruiz Obando

Ingeniero Electrónico

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

MEDELLÍN

2018

Contenido

	Pág.
Resumen	8
Abstract.....	9
Glosario.....	10
Introducción	11
1. Planteamiento del problema	12
1.1 Descripción.....	12
1.2 Formulación	12
2. Justificación	13
3. Objetivos.....	14
3.1 Objetivo general	14
3.2 Objetivos específicos.....	14
4. Marco teórico.....	15
4.1 XBee.....	15
4.2 Definición del estándar ZigBee.....	15
4.3 Tipos de XBee.....	17
4.3.2 XBee serie 2 (2.5, ZB, 2B).....	17
4.3.3 Potencias de transmisión.....	18
4.3.4 Teoría adicional.....	19
4.3.5 XBee PRO S3B referencia XSC RPSMA.....	19
4.4 Red en malla.....	20
4.4.1 Funcionamiento.....	21
4.4.2 Ventajas de red tipo malla.....	22
4.5 Sensores.....	24
4.5.1 StreamPro.....	24
4.5.2 RiverPro.....	25
4.5.3 RiverRay.....	26
5. Metodología.....	27
5.1 Tipo de proyecto.....	27
5.2 Método	27

5.3 Instrumentos de recolección de la información.....	27
5.3.1 Fuentes Primarias.	27
5.3.2 Fuentes secundarias.	28
6. Resultados.....	29
7. Conclusiones.....	37
8. Recomendaciones	38
9. Referencias bibliograficas	39
10. Bibliografía.....	41
11. Anexos	42

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Programador USB para XBee	16
Figura 2. XBee serie 1	17
Figura 3. XBee serie 2	17
Figura 4. Diagrama genérico de red tipo malla.....	21
Figura 5. Sensor stream pro	25
Figura 6. Sensor Riverpro	25
Figura 7. Sensor RiverRay	26
Figura 8. Esquema de red diseñado	30
Figura 9. Esquema de red final	31
Figura 10. Primer ensayo de comunicación	32
Figura 11. Ensayo de comunicación física	32
Figura 12. Configuración punto a punto	33
Figura 13. Configuración de los módulos tipo malla.....	34
Figura 14. Diagrama ilustrativo de las pruebas	35
Figura 15. Diagrama de la prueba final	36

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Características de los módulos XBee.....	18
Tabla 2. Funcionalidades de los módulos XBee.....	20
Tabla 3. Ventajas y desventajas de red en malla	23

Lista de anexos

	Pág.
Anexo A. Proceso de configuración de los XBee.....	42

Resumen

PROTOTIPO DE UNA RED INALÁMBRICA CON TOPOLOGÍA TIPO MALLA UTILIZANDO MÓDULOS XBee

DEISY JOMARA LONDOÑO ROLDÁN

El propósito de este proyecto es el diseño e implementación de un prototipo de red inalámbrica con topología tipo malla basada en el estándar ZigBee para comunicar de una manera efectiva, confiable y segura, la información recolectada por las unidades remotas hacia una unidad principal del proyecto de investigación “Prototipo de un sistema de alerta temprana” que actualmente se está desarrollando en la Institución Universitaria Pascual Bravo.

Para obtener los datos se utiliza un dispositivo terminal equipado con sensores para medir variables físicas como el nivel del agua, estos permiten al sistema obtener datos y enviarlos hacia un dispositivo principal utilizando la topología de comunicación inalámbrica mencionada.

Para el desarrollo de esta investigación se llevaron a cabo varias fases, en donde la principal fue recolectar toda la información acerca de cómo funcionan los transceptores XBee, sus principales características y de qué manera se configura el tipo de red seleccionada para establecer todos los parámetros necesarios.

En el desarrollo del proyecto se halló que para este tipo de red tipo malla es necesario configurar sólo un coordinador y los demás dispositivos como enrutadores; esto permite transmitir la información en ambos sentidos, lo que es ideal para el tipo de red. De esta manera se puede ubicar cada XBee en puntos estratégicos formando una malla para garantizar la efectiva comunicación entre todos los nodos de la red.

Palabras claves: XBee, red tipo malla, alertas tempranas, protocolo ZigBee, sensores

Abstract

PROTOTYPE OF A WIRELESS NETWORK WITH MESH TYPOLOGY USING XBee MODULES

DEISY JOMARA LONDOÑO ROLDÁN

The purpose of this Project is the design and implementation of a prototype of a wireless network with mesh typology using the ZigBee standard to communicate in an effective way, confidently and securely, the information collected by the remote units towards a principal unit the project of the investigation “Prototype of an early alert system” that is currently being developed at the Pascual Bravo University Institution.

To obtain the data a terminal device equipped with sensors to measure physical variables in the water level is used, these permit the system to obtain data and send it to the primary device utilizing the wireless communication typology mentioned.

For the development of this investigation several phases were undergone, of which the primary was to collect information about how the XBee transceivers function, their primary characteristics and in what manner the type of network selected is configured to establish all of the necessary parameters.

It was found in the development of the project that for this type of mesh type network it is necessary to configure only one coordinator and the other devices as routers; this allows information to be transmitted in both directions, which is ideal for this type of network. In this manner each XBee can be located in strategic points forming a mesh to guarantee effective communication between all of the nodes of the network.

Key words: XBee, mesh type network, early alerts, ZigBee protocol, sensors

Glosario

XBee: pequeño dispositivo electrónico diseñado para brindar conexiones inalámbricas a baja velocidad y alta frecuencia, ideales para usarse en domótica y automatización ya que permiten la omisión de cables, siendo así más prácticos y fáciles de instalar.

Sensor: dispositivo capaz de convertir una variable física análoga a digital para ser procesada y medida con respecto a los cambios.

Topología tipo malla: forma estratégica de intercomunicación para realizar redes inalámbricas donde cada nodo está conectado a todos los nodos.

Coordinador: configuración del módulo XBee que se encarga de reorganizar la red para que se comuniquen entre sí, es decir es el módulo principal.

Router: configuración del módulo XBee que se encarga de recibir y entregar la información para que llegue a la unidad central o dispositivo final.

Dispositivo final: es donde se conectan los sensores de una red ZigBee, estos dispositivos suelen estar más en contacto con las variables.

ZigBee: protocolo de comunicación inalámbrica de alto nivel, su uso se centra en la radiodifusión digital de bajo consumo.

Introducción

Debido a los efectos del cambio climático se han presentado varias catástrofes de tipo ambiental tales como inundaciones y deslizamientos, estas han cobrado no solo pérdidas materiales, sino también vidas humanas y de animales, estos eventos pudieron ser alertados de forma anticipada en su gran mayoría con algún sistema de alertas y atención de desastres.

El semillero de investigación SICEI ha pensado en esta casuística y ha querido desarrollar un sistema de alertas tempranas para la detección de inundaciones o desbordamientos de fuentes hídricas como ríos y quebradas; a esto básicamente es a lo que está enfocado el proyecto de investigación.

El prototipo al cual está enfocado el presente proyecto consiste en diseñar una red tipo malla con los dispositivos inalámbricos XBee que trabajan bajo el protocolo Zigbee; esta topología se puede aplicar en varios escenarios y diversos procesos para monitorear a distancia el comportamiento de la variables involucradas en una fuente hídrica; el beneficio de las redes tipo malla es que permiten cubrir una mayor distancia de forma segura, pues se tiene uno o varios puntos por los que viaja la información a supervisar; en este caso en particular se utilizará para un afluente hídrico, ya sea río o quebrada.

Con la idea de desarrollar mejores ideales en el campo de la electrónica y ayudar a la sociedad, se realiza el diseño de un prototipo mediante una investigación, ejecución y puesta a punto que beneficie a gran parte de la misma, principalmente las poblaciones que viven cerca de afluentes; implementando un sistema de alertas que sea comandado por medio sensores y módulos XBee para el transporte de la información hasta una unidad central que alerte sobre la posible ocurrencia de una emergencia y de esta manera evitar las pérdidas tanto humanas como materiales.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

En la Institución Universitaria Pascual Bravo se está ejecutando un proyecto de investigación cuyo fin es alertar sobre la posible ocurrencia de crecientes de fuentes hídricas, los objetivos de dicho proyecto solamente serán resueltos si existe una comunicación efectiva y segura; por esta razón se vio la necesidad de diseñar una red de comunicaciones usando módulos inalámbricos XBee en topología tipo malla debido a la estabilidad y confiabilidad que brinda dicha distribución.

Este tipo de redes permite que la cobertura de área de transmisión de la información sea mayor y más efectiva, ya que cada nodo se comunica con los demás y si llegara a existir falla en alguno de ellos esto no interrumpiría la comunicación en el resto de la red, además de ser un sistema fácil de utilizar y a bajo costo de acuerdo a los requerimientos del proyecto.

1.2 Formulación

¿Cómo diseñar una red inalámbrica utilizando módulos XBee en topología malla que permitan la plena y segura comunicación entre las unidades remotas y la unidad central del proyecto de investigación “Prototipo de un sistema de alerta temprana” de la Institución Universitaria Pascual Bravo?

2. Justificación

Se decidió realizar un prototipo de red inalámbrica en topología tipo malla utilizando módulos XBee con el fin de cumplir a cabalidad con los objetivos propuestos en el proyecto “Sistema de alertas tempranas” de la Institución Universitaria Pascual Bravo, esta aportará un importante avance en el proyecto, ya que da solución al problema de la comunicación, la cual es crucial en el funcionamiento del sistema.

La importancia de diseñar e implementar este prototipo es desarrollar nuevas ideas para darle solución al problema específico de la comunicación a distancia a baja potencia, alta frecuencia y bajo costo para el público en general; utilizando una tecnología que también se pueda aplicar a sistemas de monitoreo a distancia mediante una topología que presenta muchos beneficios.

Con la ejecución de este proyecto se aplican gran parte de los conocimientos adquiridos en la Tecnología Electrónica, pues se requiere del conocimiento de amplios conceptos vistos a lo largo del proceso de formación, aportando a un sistema de comunicaciones que en la actualidad es bastante necesario para cualquier entorno industrial.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Diseñar y configurar una red inalámbrica de diez módulos XBee en topología tipo malla para transmitir tres señales analógicas y visualizarlas en una unidad central.

3.2 Objetivos específicos

Realizar una investigación que permita establecer las acciones que se deben llevar a cabo para configurar efectivamente los módulos XBee en una red con topología tipo malla.

Diseñar y configurar una red inalámbrica en topología tipo malla utilizando módulos XBee acorde a las necesidades del sistema de alertas tempranas.

Implementar un circuito de verificación para realizar pruebas de la funcionalidad de la red.

4. Marco teórico

Para la ejecución del proyecto fue necesario realizar una investigación exhaustiva que permitiera conocer detalladamente acerca del funcionamiento de los diferentes elementos que conforman una red inalámbrica bajo el protocolo Zigbee, de tal forma que sea posible programar los módulos XBee para llevar a cabo la configuración de la red; los resultados de la investigación se muestran a continuación.

4.1 XBee

Los módulos XBee son pequeños dispositivos azules que pueden comunicarse entre sí de manera inalámbrica, son fabricados por Digi International, empresa que ofrecen una gran variedad de combinaciones de hardware, protocolos, antenas y potencias de transmisión; cada dispositivo integra un transceptor bajo el protocolo ZigBee y un procesador en un mismo módulo, lo que le permite a los usuarios desarrollar aplicaciones de manera rápida y sencilla (Coronado, 2013).

4.2 Definición del estándar ZigBee

ZigBee es un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la ZigBee Alliance. Es un conjunto estandarizado de soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante. ZigBee está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal Area Network, WPAN) y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías (UNAM, 2015).

ZigBee es un sistema ideal para redes domóticas, específicamente diseñado para reemplazar la proliferación de sensores/actuadores individuales, fue creado para cubrir la necesidad del mercado de un sistema a bajo coste, un estándar para redes Wireless de pequeños paquetes de información, bajo consumo, seguro y fiable (UNAM, 2015).

El nombre "ZigBee" se deriva de los patrones erráticos comunicativos que hacen muchas abejas entre las flores durante la recogida de polen. Esto es evocador de las redes invisibles de las conexiones existentes en un entorno totalmente inalámbrico. ZigBee se ha desarrollado para satisfacer la creciente demanda de capacidad de red inalámbrica entre varios dispositivos de baja potencia. En la industria ZigBee se está utilizando para la próxima generación de fabricación automatizada, con pequeños transmisores en cada dispositivo, lo que permite la comunicación entre dispositivos a un ordenador central (UNAM, 2015).

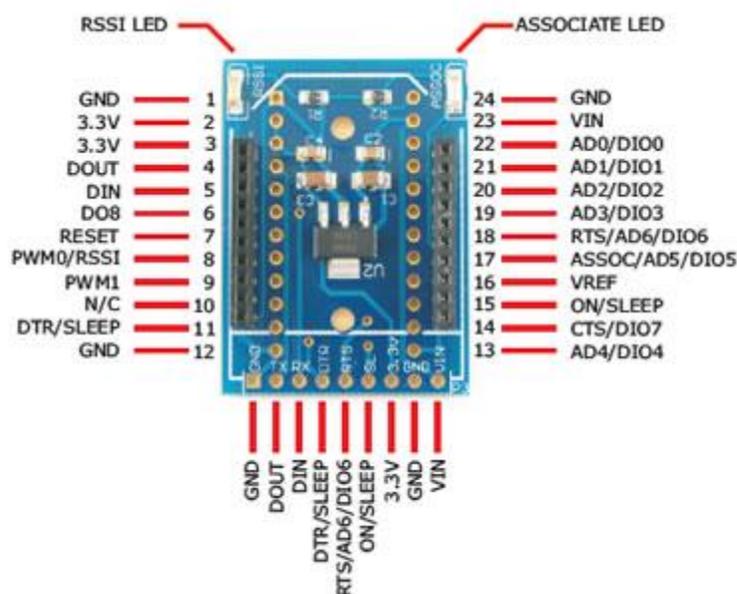


Figura 1. Programador USB para XBee

Fuente: extraído de <https://bit.ly/2J0brXQ>

4.3 Tipos de XBee

4.3.1 Serie 1. No necesitan ser configurados, por lo tanto, son fáciles para trabajar e ideales para empezar, la comunicación que ofrecen es punto a punto, punto-multipunto (Coronado, 2013).



Figura 2. XBee serie 1

Fuente: extraído de <https://bit.ly/1VPgkSm>

4.3.2 XBee serie 2 (2.5, ZB, 2B). La comunicación puede ser punto a punto, punto-multipunto y redes malla, necesitan ser configurados (nota importante: la comunicación entre las series 1 y 2 no es posible) (Coronado, 2013).



Figura 3. XBee serie 2

Fuente: extraído de <https://bit.ly/1VPgkSm>

4.3.3 Potencias de transmisión. Tanto la Serie 1 y Serie 2 están disponibles en dos potencias de transmisión diferentes, la normal (simplemente XBee) y la PRO (XBee-PRO). La versión PRO consume más energía, son más caros y tienen más rango de distancia (de 1 a 15 millas) (Coronado, 2013).

Los módulos XBee son económicos, poderosos y fáciles de utilizar. Algunas de sus principales características son:

Tabla 1.

Características de los módulos XBee

Características generales	Características técnicas
Buen Alcance: hasta 300ft (100 mts) en línea vista para los módulos XBee y hasta 1 milla (1.6 Km) para los módulos XBee Pro.	ISM 2.4 GHz operating frequency
9 entradas/salidas con entradas analógicas y digitales.	1 mW (0 dBm) power output (up to 100m range)
Bajo consumo <50mA cuando están en funcionamiento y <10uA cuando están en modo sleep.	RPSMA Connector, U.FL. Connector, Chip or Whip antenna options
Interfaz serial.	Industrial temperature rating (-40° C to 85° C)
65,000 direcciones para cada uno de los 16 canales disponibles. Se pueden tener muchos de estos dispositivos en una misma red.	Approved for use in the United States, Canada, Australia and Europe
Fáciles de integrar.	Advanced networking & low-power modes supported

Fuente: diseño de Deisy Londoño

4.3.4 Teoría adicional. Los XBee trabajan en la región de radiofrecuencia del espectro electromagnético. Las ondas de radio al chocar con un conductor, como un objeto metálico, inducen una corriente eléctrica. Por este motivo se pueden emplear antenas metálicas para la transducción de señales eléctricas que las computadoras pueden detectar y procesar (Coronado, 2013).

Una de transeptores inalámbricos XBee está compuesta por solo un coordinador responsable de mantener la red, varios enrutadores que actúan como mensajeros entre otros dispositivos que están demasiado separados para transmitir la información por su cuenta. Son generalmente conectados a una toma eléctrica, ya que deben estar encendidos todo el tiempo; y los dispositivos terminales que pueden enviar y recibir información, pero no actúan como mensajeros entre cualquier otro dispositivo. Para ahorrar energía pueden entrar temporalmente en un modo de espera (Coronado, 2013).

4.3.5 XBee PRO S3B referencia XSC RPSMA. Los módulos XBee S3B trabajan a una frecuencia de 900MHz y son capaces de realizar conexiones punto a punto y redes de punto a multipunto. Diseñados para tramos de largo alcance, el XSC-XBee es ideal para soluciones donde la penetración de RF y la distancia de transmisión absoluta son de suma importancia para su aplicación. Con XBee, nuestros usuarios pueden tener su red funcionando en cuestión de minutos sin necesidad de configuración o desarrollo adicional. Una vez que la red está funcionando, módulos XBee pueden aceptar comandos AT para la configuración avanzada (Ojeda, 2018).

Tabla 2.

Funcionalidades de los módulos XBee

Funciones
Comandos AT
20 veces menos consumo de corriente del módulo XSC anterior
Pin-compatible con los módulos existentes XBee RF
Datos RF hasta 20kbps
Topologías de red multipunto
900MHz para la operación de alcance extendido
Totalmente compatible con otros productos, incluyendo Gateway, adaptadores, y extensores
Interior o zona urbana hasta 600 metros
En exterior con LOS puede tener un alcance de hasta 15 millas (24km)* con antena de alta ganancia
Huella XBee común para una variedad de módulos de RF
En exterior con LOS puede tener un alcance de hasta 6 millas (9.6km)* con antena dipolo
Modos de bajo consumo
Múltiples opciones de antena
Calificación industrial de temperatura (-40°C a 85°C) (Ojeda, 2018)

Fuente: diseño de Deisy Londoño

4.4 Red en malla

Una red en malla es una topología de red en la que cada nodo está conectado a todos los nodos. De esta manera es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por distintos caminos. Si la red de malla está completamente conectada, no puede existir absolutamente ninguna interrupción en las comunicaciones. Cada servidor tiene sus propias conexiones con todos los demás servidores (Aguilar, 2018).

4.4.1 Funcionamiento. Esta topología, a diferencia de otras más usuales como la topología en árbol y la topología en estrella, no requiere de un nodo central, con lo que se reduce el riesgo de fallos, y por ende el mantenimiento periódico (un error en un nodo, sea importante o no, no implica la caída de toda la red) (Portal Informática, 2018).

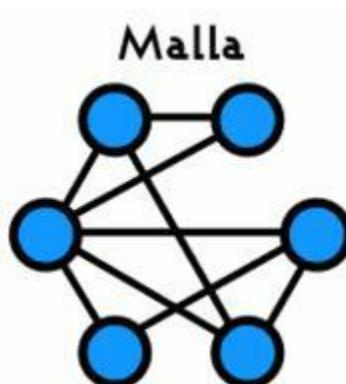


Figura 4. Diagrama genérico de red tipo malla

Fuente: extraído de <http://agusleyva.blogspot.com.co/2010/12/topologia-de-malla.html>

Las redes en malla pueden prescindir de enrutamiento manual, o apenas requerir atención para el mantenimiento de éste. Si se implementan protocolos de enrutamiento dinámicos, podrían considerarse “auto enrutables”, exceptuando escenarios en los que el tamaño o carga de la red son muy variables, o se requiere una tolerancia a fallos prácticamente nula, por ejemplo, debido a la labor crítica que desempeñan algunos de los nodos que la componen (Portal Informática, 2018).

La comunicación entre dos nodos cualesquiera de una red en malla puede llevarse a cabo incluso si uno o más nodos se desconectan de ésta de forma imprevista, o si alguno de los enlaces entre dos nodos adyacentes falla, ya que el resto evitarán el paso por ese punto los nodos adyacentes a un nodo o enlace fallido propagarán un cambio en la tabla de rutas, notificando a nodos contiguos del cambio en la red, y así sucesivamente. En consecuencia, una red en malla

resulta muy confiable. Una red con topología en malla ofrece total redundancia y por tanto una fiabilidad y tolerancia a fallos superiores (Portal Informática, 2018).

Aunque la facilidad de solución de problemas y el aumento de la confiabilidad son ventajas muy interesantes, estas redes resultan caras de instalar, pues requiere forzosamente la interconexión de cada nodo con los nodos vecinos (aumentando el número de interfaces de las que debe disponer cada nodo) y el coste de la infraestructura cableado, switches/puentes, repetidores de señal, puntos de acceso, etcétera de toda la red. Por ello cobran mayor importancia en el caso de redes parcial o totalmente inalámbricas la redundancia de rutas para un mismo destino compensa una mayor susceptibilidad a fallos, entre otros inconvenientes propios de las redes sin hilos. Si desaparece no afecta tanto a los nodos de redes (Portal Informática, 2018).

El número de enlaces que existen en una malla completa en la que existe un enlace punto a punto entre todos los terminales, viene dado por la siguiente fórmula (Portal Informática, 2018):

$$N = \frac{n(n - 1)}{2}$$

4.4.2 Ventajas de red tipo malla. La topología de red mallada es una topología de red en la que cada nodo está conectado a todos los nodos. De esta manera es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por distintos caminos. Si la red de malla está completamente conectada, no puede existir absolutamente ninguna interrupción en las comunicaciones. Cada servidor tiene sus propias conexiones con todos los demás servidores (Moyano Sotelo, 2013).

4.4.2.1 Funcionamiento. Esta topología, a diferencia de otras (como la topología en árbol y la topología en estrella), no requiere de un servidor o nodo central, con lo que se reduce el

mantenimiento (un error en un nodo, sea importante o no, no implica la caída de toda la red). Las redes de malla son auto ruteables. La red puede funcionar, incluso cuando un nodo desaparece o la conexión falla, ya que el resto de los nodos evitan el paso por ese punto. En consecuencia, la red malla, se transforma en una red muy confiable.

Es una opción aplicable a las redes sin hilos (Wireless), a las redes cableadas (wired) y a la interacción del software de los nodos (Moyano Sotelo, 2013).

4.4.2.2 Ventajas y desventajas de la red en malla. A continuación, aparece una tabla donde se enuncia las algunos de los beneficios y las falencias este tipo de red.

Tabla 3.

Ventajas y desventajas de red en malla

Ventajas	Desventajas
Es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos	Los costos se pueden ser mayores dependiendo la capacidad de la red
No puede existir absolutamente ninguna interrupción en las comunicaciones	
Cada servidor tiene sus propias comunicaciones con todos los demás servidores	
Si falla un cable el otro se hará cargo del tráfico	
No requiere un nodo o servidor central lo que reduce el mantenimiento	
Si desaparece no afecta tanto a los nodos de redes (Torres, 2013)	

Fuente: diseño de Deisy Londoño

4.4.2.3. Aplicación práctica. Un proyecto del MIT que desarrolla "One Hundred Dollar Laptops" para las escuelas en países en desarrollo planea utilizar establecimiento de una red de malla para crear una infraestructura robusta y barata para los estudiantes que recibirán los ordenadores portátiles. Las conexiones instantáneas hechas por las computadoras portátiles reducirían la necesidad de una infraestructura externa tal como Internet para alcanzar todas las áreas, porque un nodo conectado podría compartir la conexión con los nodos próximos. Actualmente sólo se ha implementado este sistema en un país entero en todo el mundo. A través del Plan Ceibal, Uruguay ha hecho posible el sueño de miles de sus niños entregando una laptop a cada uno de ellos. Éstas corresponden a un programa originalmente pensado en Estados Unidos conocido como One Laptop Per Child (OLPC) (Moyano Sotelo, 2013).

4.5 Sensores

Existe una gran variedad de sensores de nivel y de caudal comerciales que pueden emplearse para la detección de riesgo de inundaciones por desborde de fuentes hídricas, por esta razón una parte del desarrollo del presente proyecto consiste en la realización de una investigación detallada que permita establecer cuál dispositivo de sensado será el más adecuado elegir de acuerdo con sus características de funcionamiento y costo (Ruiz, 2018).

Los perfiladores de corriente de efecto Doppler acústicos (ADCP) son sensores que pueden medir de forma eficaz las velocidades de los ríos que sean necesarias para comprender mejor los complejos procesos geomórficos, hidrológicos y ecológicos que afectan a los cauces fluviales, así como su interacción en condiciones normales y extremas. Los ADCP necesitan que el sensor esté (Ruiz, 2018).

4.5.1 StreamPro. Se trata del equipo adecuado para medir en ríos de bajo calado, desde 0,1 a 2 m de profundidad. Dispone de una opción para incrementar su profundidad de uso hasta los 6 m.

Se trata de un equipo de grandes prestaciones y muy versátil, con tamaños de celda que se encuentran entre los 2 y los 10 cm (Alava Ingenieros, 2018).



Figura 5. Sensor stream pro

Fuente: extraído de <https://bit.ly/2shnxS5>

4.5.2 RiverPro. Nuevo modelo de ADCP para trabajar en ríos de profundidades medias, entre 20 cm y 25 m de profundidad. Dispone de 4 transductores que trabajan a 1200 kHz de frecuencia para la medida de velocidad de corriente y un transductor de 600 kHz que registra con mayor precisión la profundidad del río en cada punto de medida (Alava Ingenieros, 2018).



Figura 6. Sensor Riverpro

Fuente: extraído de <https://bit.ly/2shnxS5>

4.5.3 RiverRay. Si lo que necesita es un sistema inteligente de medición de caudal en ríos, el RiverRay es el equipo que estaba buscando. Recopila directamente datos precisos de velocidad de corriente, así como datos de profundidad, con lo que calcula los valores de caudal en tiempo real en toda la columna de agua. El rango de medición de perfiles de velocidad alcanza los 60 metros mientras que el rango de medida de profundidad del fondo llega hasta los 100 m (Alava Ingenieros, 2018).



Figura 7. Sensor RiverRay

Fuente: extraído de: <https://bit.ly/2shnxS5>

5. Metodología

5.1 Tipo de proyecto

Este proyecto corresponde a una investigación del tipo aplicada, pues se emplean los conocimientos adquiridos a lo largo del proceso de formación, apoyando la investigación en una búsqueda del sistema más adecuado para resolver el problema propuesto de solventar la necesidad de diseñar una red de comunicaciones usando módulos inalámbricos XBee en topología tipo malla, debido a la estabilidad y confiabilidad que brinda dicha distribución.

5.2 Método

El diseño de este prototipo de red es deductivo, pues aplica temáticas ya establecidas en el campo de la electrónica y las comunicaciones, cuenta con un excelente respaldo documental y teórico. En síntesis, lo que se realizó fue recolectar y clasificar cierta información para el diseño y elaboración con base a la problemática planteada, con el fin de poder brindar la solución y ejecutar el proyecto con todos los objetivos descritos y aplicados para la realización del mismo.

5.3 Instrumentos de recolección de la información

5.3.1 Fuentes Primarias. para el desarrollo del este proyecto principalmente se tuvo el apoyo del docente Sergio Ruiz Obando aportando gran parte de sus conocimientos y experiencias para llevar a cabo la realización, también la tesis de grado del ingeniero electrónico Eduardo Becerra titulada “Diseño e implementación de una red ZigBee mediante módulos XBee-Z para el monitoreo de sensores de temperatura”.

5.3.2 Fuentes secundarias. Para complementar el proyecto y poderlo llevar a cabo con resultados positivos, fue necesario recolectar información de diferentes fuentes utilizando principalmente internet, visitando páginas de electrónica como Mecatronica UASLP.

6. Resultados

Para el desarrollo de este proyecto fue necesario realizar una investigación que permitió establecer las acciones que se deben llevar a cabo para configurar efectivamente los módulos XBee en una red con topología tipo malla, en esta búsqueda se halló gran material documental y teórico de otras experiencias donde se ha implementado este tipo de redes brindando un soporte sólido y confiable para el desarrollo del prototipo.

Se diseñó y configuró una red inalámbrica en topología tipo malla utilizando módulos XBee acorde a las necesidades del sistema de alertas tempranas, consistente en la comunicación entre una unidad central y tres remotas, las cuales, debido a la distancia entre sí, requieren utilizar módulos ubicados estratégicamente para lograr establecer la comunicación y evitar que se pierda la valiosa información.

Una vez establecidos los requerimientos de la red para el proyecto, se procedió a realizar el diseño de la topología utilizando un módulo XBee conectado a la unidad principal, tres módulos a las unidades remotas y seis módulos configurados como enrutadores para retransmitir la información procedente de las diferentes unidades remotas; en la siguiente figura se puede apreciar su distribución.

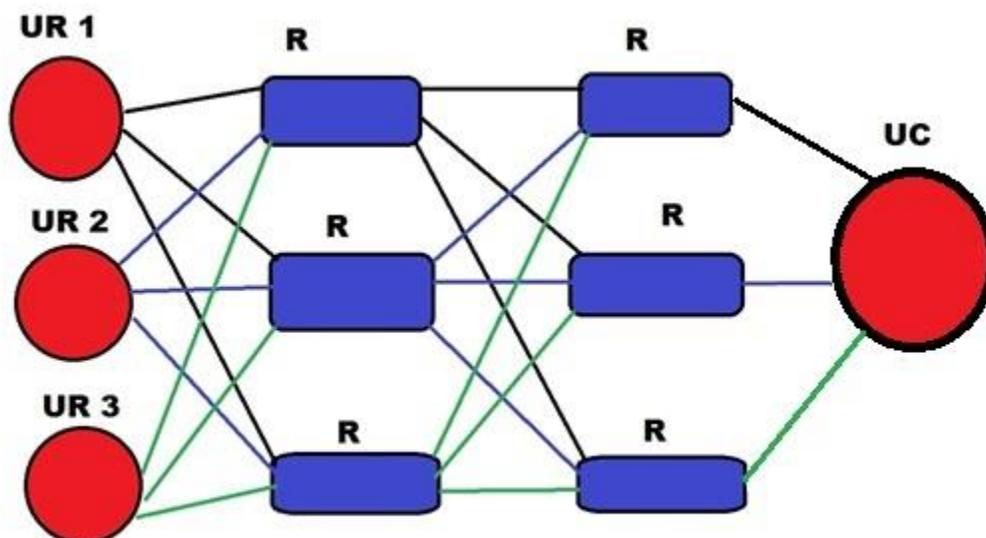


Figura 8. Esquema de red diseñado

Fuente: diseño de Deisy Londoño

Esta parte del diseño cumple con las necesidades de la red y del proyecto en general, pero es posible mejorarlo para aprovechar al máximo las capacidades de este tipo de topología, por esta razón se procede a rediseñar el esquema utilizando las mismas bases con el fin de cumplir en mayor grado el requerimiento. Así lo muestra la siguiente imagen que representa el modelo ideal de la red para esta aplicación.

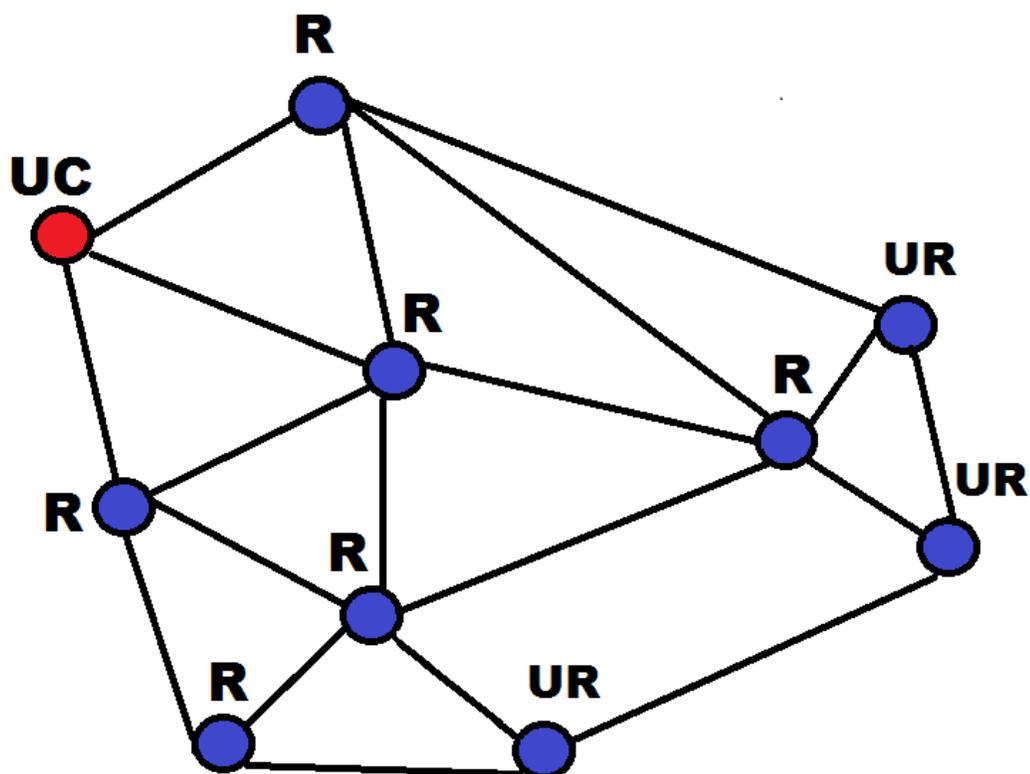


Figura 9. Esquema de red final

Fuente: diseño de Deisy Londoño

Una vez terminada la parte de diseño, se realizaron diferentes tipos de pruebas con el objetivo de establecer la implementación de la topología. Inicialmente se utilizaron dos módulos XBee para realizar pruebas de comunicación mediante el software XCTU; en este primer ensayo fue posible comprender el funcionamiento y la comunicación entre ellos mediante una conexión de tipo punto a punto, entrelazando la MAC del dispositivo coordinador y la del enrutador para lograr establecer y verificar la forma de comunicación.

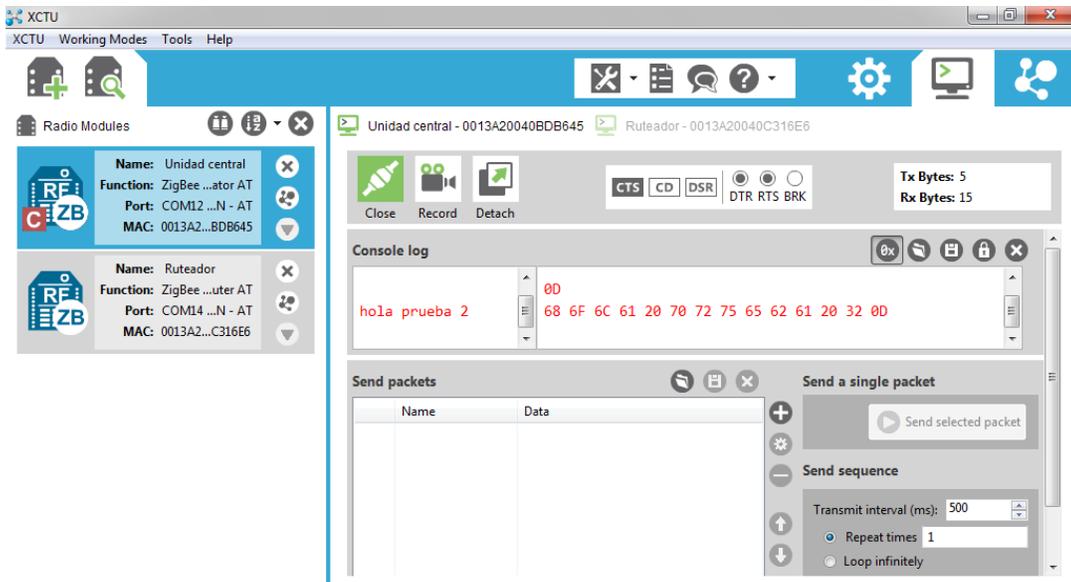


Figura 10. Primer ensayo de comunicación

Fuente: diseño de Deisy Londoño

En la siguiente fotografía se evidencian las conexiones físicas de los módulos XBee al computador para realizar las tareas de configuración.

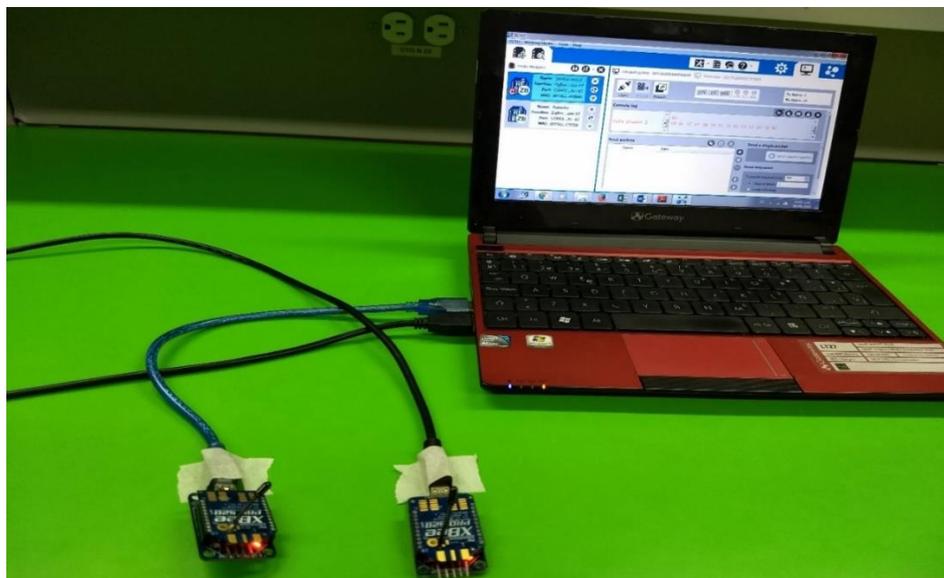


Figura 11. Ensayo de comunicación física

Fuente: diseño de Deisy Londoño

En el software XCTU se configuran los parámetros DH y DL que corresponden a las direcciones alta y baja de la MAC de cada dispositivo, a través de estos parámetros se configuran las diferentes formas de red en los módulos de comunicación XBee, en este primer caso se realizó una configuración para topología punto a punto.



Figura 12. Configuración punto a punto

Fuente: diseño de Deisy Londoño

Después de verificar el comportamiento del sistema de comunicación se procede a iniciar la configuración de la red tipo malla, en este proceso se pasó por algunos intentos fallidos antes de encontrar la configuración definitiva; en primer lugar se configuraron los routers con la MAC del coordinador, lo cual únicamente permitía el tránsito de la información en un solo sentido, como un tipo de red punto a punto, donde existía solamente un dispositivo capaz de recibir la información proveniente de los demás.

En estas pruebas se identificó que tanto el coordinador como los dispositivos enrutadores debían tener la misma configuración para que toda la red cumpla su función de permitir el tránsito de la información en todos los sentidos posibles o por nodos diferentes. En los anexos se

amplía la información a través de un tutorial completo de configuración del coordinador y de los enrutadores.

En la siguiente pantalla se exhiben los campos fundamentales a ser tenidos en cuenta para la configuración del prototipo de red tipo malla, es necesario ser muy enfáticos en afirmar que todos los dispositivos, coordinador y enrutadores, deben llevar la misma configuración en los campos DH y DL, para que se pueda dar la composición de la red tipo malla, permitiendo que, dado el caso de que en algún momento pueda perderse la comunicación con uno de los dispositivos, automáticamente se pueda ubicar otro más cercano para retransmitir la información y así lograr que cumpla su recorrido hacia la unidad central. La configuración de los campos deber ser $DH = 0$ y $DL = FFFF$.

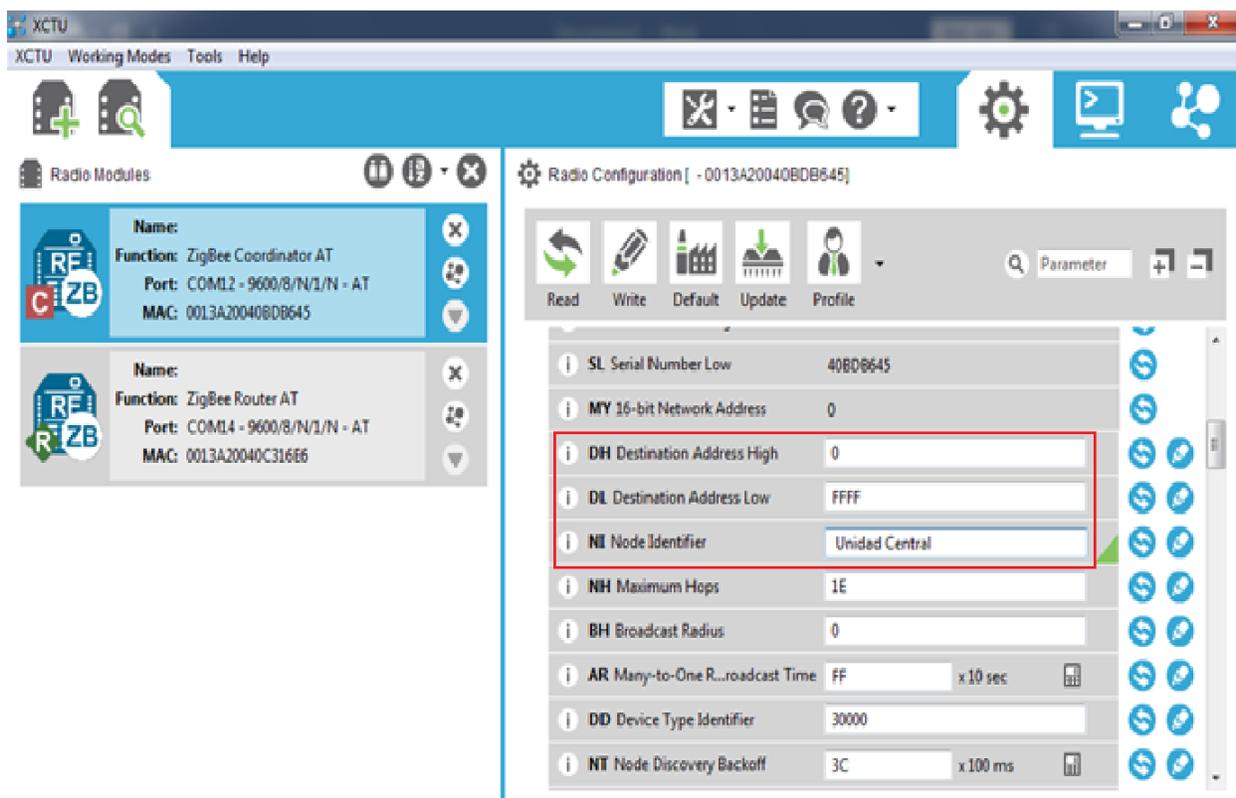


Figura 13. Configuración de los módulos tipo malla

Fuente: diseño de Deisy Londoño

De esta forma la información viaja en diferentes direcciones o caminos, detectando cuál es el camino más óptimo o cuál es el más cercano para llevar la información desde las unidades remotas hasta la unidad central. Es necesario tener muy en cuenta que se deben ubicar los módulos de acuerdo al área y a la línea de vista, incluso entre uno y otro no tiene que presentarse siempre la misma distancia, depende mucho más de la línea de vista de la comunicación que está determinada por las características geológicas del lugar.

Finalmente se implementó un circuito de verificación para realizar pruebas en la Institución Universitaria Pascual Bravo, donde se utilizaron los módulos del laboratorio y se realizaron los ajustes correspondientes para garantizar la funcionalidad de la red, obteniéndose una red que cubre un área bastante extensa y brinda excelentes prestaciones al usuario final.

En la figura a continuación se muestra un diagrama ilustrativo de las pruebas que se hicieron con los módulos XBee configurados para establecer una red tipo malla; en este ensayo se usaron tres módulos ubicados en diferentes puntos para entablar la comunicación; en primer lugar se establece la distancia máxima alcanzada con la comunicación establecida entre ellos y para probar que el enrutador intermedio está retransmitiendo la información, este es desconectado, lo que produce la pérdida de la comunicación y permite confirmar que ese punto intermedio sirve efectivamente para retransmitir los datos entre las unidades remotas y la unidad central.



Figura 14. Diagrama ilustrativo de las pruebas

Fuente: diseño Deisy Londoño

La última prueba realizada consistió en conectar cuatro módulos XBee, tres enrutadores y un coordinador configurados como ya se ha descrito anteriormente para esta topología; se estableció comunicación entre ellos y se realizó el ensayo correspondiente estableciendo antes la conexión entre ellos, posteriormente se desactivó uno de los enrutadores y se probó que a través del enrutador restante se redirecciona el enlace y la red sigue funcionando, lo que evidencia el funcionamiento correcto de la red.

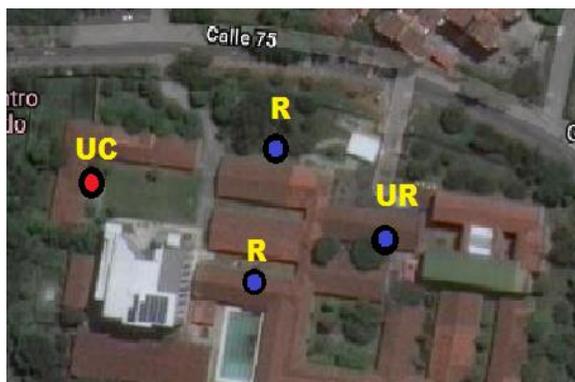


Figura 15. Diagrama de la prueba final

Fuente: diseño Deisy Londoño

7. Conclusiones

Con el desarrollo de este proyecto se obtuvieron buenos resultados y se pudieron establecer aspectos importantes para que el desempeño de la red sea correcto y funcione a plenitud; el más importante es la configuración de los módulos XBee; si la MAC de cada dispositivo se usa para indicar la dirección de la información, solo viajará en un solo sentido y no se devolverá o buscará algún otro XBee que esté habilitado o disponible para transportarla.

Los módulos XBee deben estar ubicados estratégicamente para que pueda obtenerse un buen desempeño de la red; la teoría de funcionamiento de la topología tipo malla describe que se debe “tejer” de acuerdo con la geografía, una especie de malla inalámbrica para cubrir toda la zona a monitorear y así evitar pérdidas de información hacia la unidad central.

8. Recomendaciones

A corto plazo se podría considerar hacer mas efectivo el sistema conectándolo a internet desde la unidad central, de esta forma se puede tener acceso a la red desde cualquier parte del mundo, esto proporcionaría un mejor control y verificación del sistema a monitorear, también alertaría sobre posibles fallas en caso de no encontrar conexión con uno o varios módulos.

Al sistema se le pueden hacer mejoras a futuro implementándolo en diferentes sistemas de monitoreo como puede ser un circuito cerrado de television, en este caso habría imagen en vivo del sistema que se esté validando y se obtendrían evidencias mas sólidas en tiempo real; así se puede tomar desiciones mas acertivas y con mayor confianza.

Se puede implementar un sistema completo de pruebas con una frecuencia determinada que demuestren el desempeño del sistema, de esta forma se evidenciaría el comportamiento de las variables a comprobar, con el propósito de ser medidas, analizadas y controladas, para la toma de desiciones en beneficio de la mejora del sistema.

9. Referencias bibliograficas

(s.f.). Obtenido de <https://mecatronicauaslp.wordpress.com/2013/07/04/xbee-parte-1-que-es-un-xbee-y-que-es-necesario/>

(s.f.). Obtenido de tecnologicobj12.blogspot.com/2011/09

(s.f.). Obtenido de <http://xbee.cl/xbee-pro-s3b-xsc-rpsma/>

(s.f.). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Red_en_malla

Portal Informática. (31 de 05 de 2018). Obtenido de <https://bit.ly/1XAJQtw>

Aguilar, B. (2018). *Calameo.* Obtenido de <https://bit.ly/2JcuoCH>

Alava Ingenieros. (2018). Obtenido de <http://www.grupalava.com/ingenieros/productos/correntímetros-adcp/>

Coronado, E. (04 de Julio de 2013). *Mecatrónica UASLP.* Recuperado el 28 de Mayo de 2018, de <https://mecatronicauaslp.wordpress.com/2013/07/04/xbee-parte-1-que-es-un-xbee-y-que-es-necesario/>

Coronado, E. (04 de 07 de 2013). *Mecatrónica UASLP.* Recuperado el Mayo de 2018, de <https://mecatronicauaslp.wordpress.com/2013/07/04/xbee-parte-1-que-es-un-xbee-y-que-es-necesario/>

Moyano Sotelo, A. (18 de 10 de 2013). *VENTAJAS DE LA RED EN MALLA.* Obtenido de <https://prezi.com/omddbdblwyvi/ventajas-de-la-red-en-malla/>

Ojeda, L. T. (15 de 01 de 2018). *XBee.cl.* Obtenido de <http://xbee.cl/xbee-pro-s3b-xsc-rpsma/>

Ruiz, S. (2018). *Prototipo de un Sistema de alerta temprana para la prevención de*. Medellin.

Torres, M. (06 de 04 de 2013). *Tipos de Topologías*. Obtenido de
<http://mariaangelicatorres.blogspot.com/2013/04/tipos-de-topologias-ventajas-y.html>

UNAM. (10 de 08 de 2015). *Repositorio digital de la Facultad de Ingeniería*. Obtenido de
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/229/6/A6.pdf>

10. Bibliografía

Guia. (2015). *XBee®/XBee-PRO S2C Zigbee®*. Obtenido de <https://bit.ly/2JpON7q>

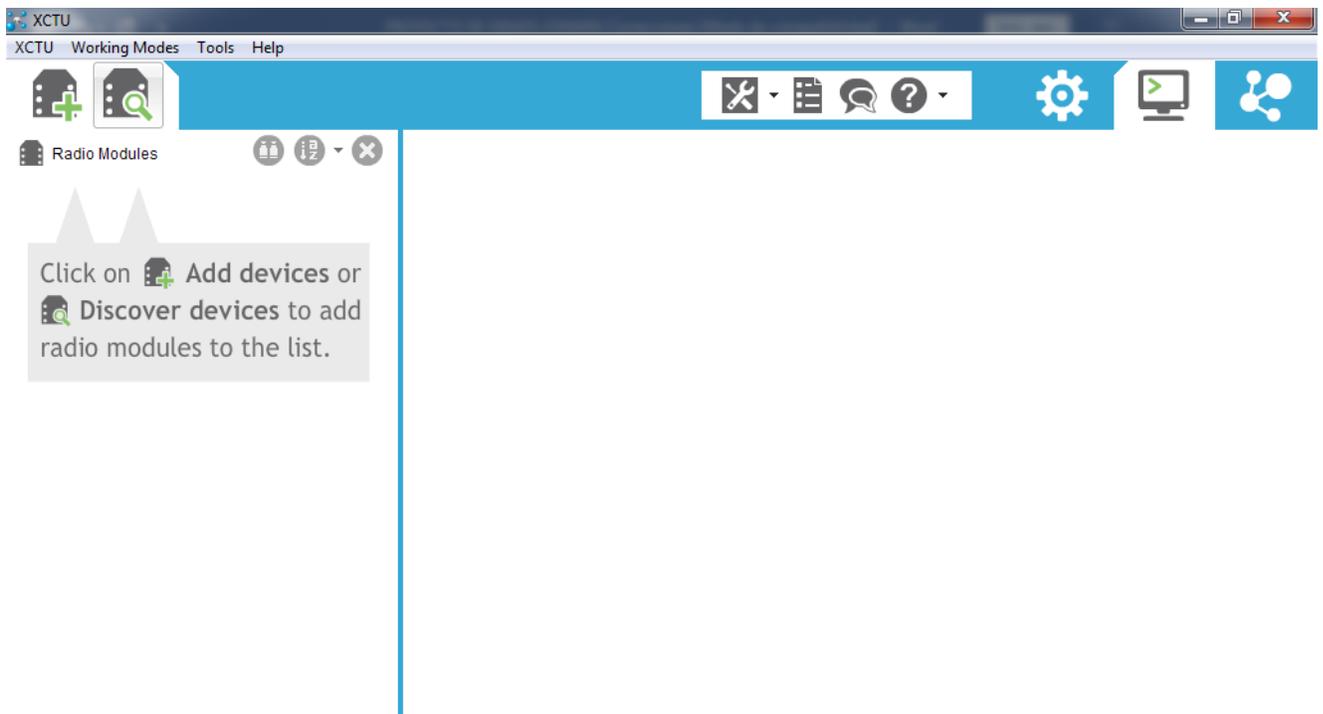
Perez, D. (29 de 03 de 2017). *Omicrono*. Obtenido de <https://omicrono.elespanol.com/2017/03/wifi-en-malla-wifi-mesh/>

Rábago, J. (07 de 06 de 2018). *EcuRed*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Red_en_malla

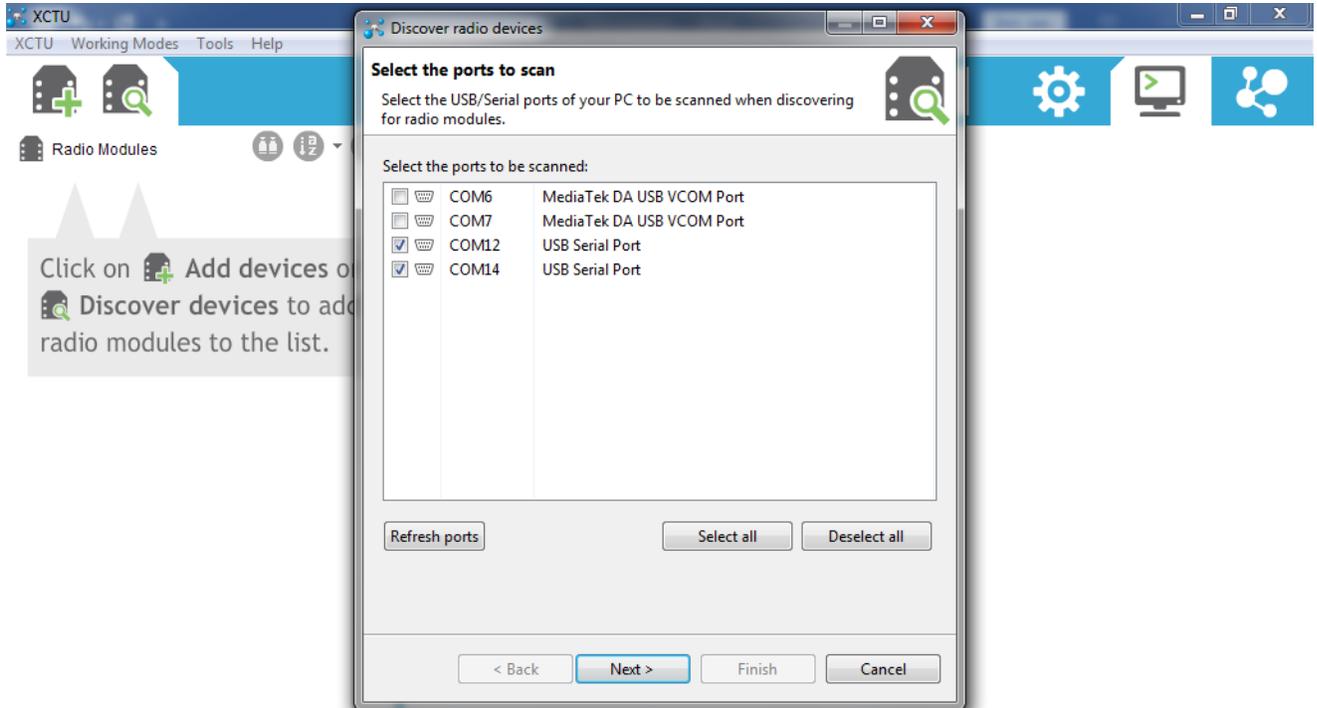
11. Anexos

Anexo A. Proceso de configuración de los XBee

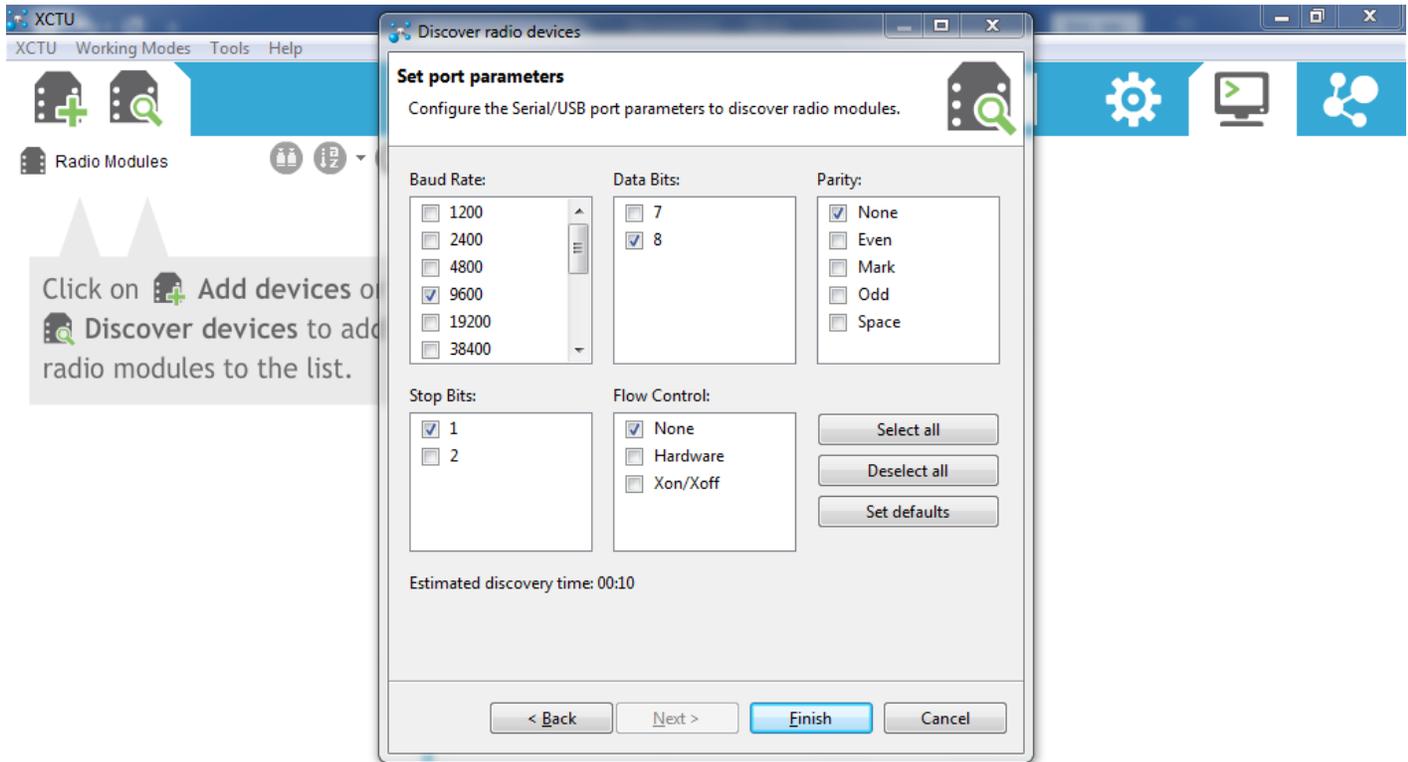
Paso 1: en la pantalla inicial del software XCTU dar clic en el ícono de buscar para que se reconozcan los dispositivos previamente conectados.



Paso 2: seleccionar los puertos seriales para adicionar a la lista.



Paso 3: aparece la ventana con los parámetros para configurar el puerto; se dejan los datos por defecto.



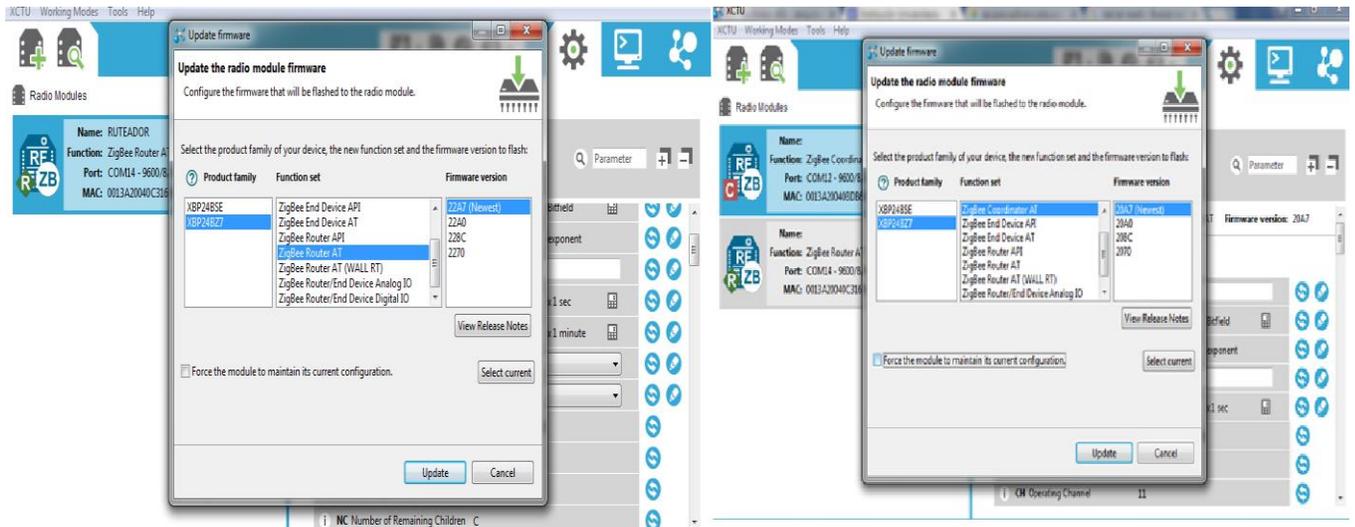
Paso 4: se cargan los parámetros por defecto del fabricante para eliminar configuraciones anteriores.

The screenshot displays the XCTU software interface. The main window is titled "Radio Configuration [UNIDAD CENTRAL - 0013A20040BDB645]". The interface is divided into several sections:

- Radio Modules:** A list of modules is shown on the left. The selected module is "UNIDAD CENTRAL" with the following details:
 - Name: UNIDAD CENTRAL
 - Function: ZigBee Coordinator AT
 - Port: COM12 - 9600/8/N/1/N - AT
 - MAC: 0013A20040BDB645
- Radio Configuration:** The main configuration area on the right. It includes a toolbar with icons for Read, Write, Default, Update, and Profile. Below the toolbar, the configuration parameters are listed:
 - Product family: XBP24BZ7
 - Function set: ZigBee C...nator AT
 - Firmware version: 20A7
- Networking:** A section titled "Networking" with the subtitle "Change networking settings". It contains a table of parameters:

Parameter	Value	Unit/Type
ID PAN ID	0	
SC Scan Channels	7FFF	Bitfield
SD Scan Duration	3	exponent
ZS ZigBee Stack Profile	0	
NJ Node Join Time	FF	x 1 sec
OP Operating PAN ID	2BD0C06AEC895A83	
OI Operating 16-bit PAN ID	C80E	
CH Operating Channel	11	

Paso 5: actualizar el firmware del dispositivo, se selecciona la familia del producto, la función a cumplir y la versión, se debe desmarcar la casilla forzar a mantener la configuración actual.



Paso 6: esta configuración es para los módulos serie 2, los parámetros a configurar para el coordinador son los siguientes ID PAN ID=0, CH Operating Channel= El canal lo elige el sistema en este caso el canal 11.

The screenshot displays the XCTU software interface. On the left, under 'Radio Modules', two modules are listed:

- ZigBee Coordinator AT:** Function: ZigBee Coordinator AT, Port: COM12 - 9600/8/N/1/N - AT, MAC: 0013A20040BDB645.
- ZigBee Router AT:** Function: ZigBee Router AT, Port: COM14 - 9600/8/N/1/N - AT, MAC: 0013A20040C316E6.

The main window shows the 'Radio Configuration' for the selected module. The configuration parameters are as follows:

Parameter	Value
ID PAN ID	0
SC Scan Channels	7FFF (Bitfield)
SD Scan Duration	3 (exponent)
ZS ZigBee Stack Profile	0
NJ Node Join Time	FF (x1 sec)
OP Operating PAN ID	47A8D31C78EF5962
OI Operating 16-bit PAN ID	8617
CH Operating Channel	11
NC Number of Remaining Children	A

Below the configuration table, the 'Addressing' section is partially visible.

Paso 7: DH Destination Address High=0, DL Destination Address Low = FFFF, esto hace que se envíe y reciba de todos los módulos dentro del mismo canal. NI Node Identifier= Nombre que se le asigna al módulo, en este caso Unidad central.

The screenshot displays the XCTU software interface. The main window is titled "Radio Configuration [- 0013A20040BDB645]". On the left, under "Radio Modules", two modules are listed:

- ZigBee Coordinator AT:** Function: ZigBee Coordinator AT, Port: COM12 - 9600/8/N/1/N - AT, MAC: 0013A20040BDB645.
- ZigBee Router AT:** Function: ZigBee Router AT, Port: COM14 - 9600/8/N/1/N - AT, MAC: 0013A20040C316E6.

The main configuration panel on the right shows the following parameters:

Parameter	Value
SL Serial Number Low	40BDB645
MY 16-bit Network Address	0
DH Destination Address High	0
DL Destination Address Low	FFFF
NI Node Identifier	Unidad Central
NH Maximum Hops	1E
BH Broadcast Radius	0
AR Many-to-One R...roadcast Time	FF x10 sec
DD Device Type Identifier	30000
NT Node Discovery Backoff	3C x100 ms

Paso 8: se realiza una prueba de comunicación luego de configurar los módulos que van a hacer parte de la red.

