

**APLICACIÓN DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN) EN UN SISTEMA DE SEGURIDAD PARA LOS EQUIPOS MÓVILES DE LA UNIVERSIDAD EAFIT.**

**Mario Jaramillo Jaramillo  
Sandra Patricia Ospina Mendoza  
Juan Camilo Villada Ramírez**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA Y SISTEMAS  
MEDELLÍN  
2011**

**APLICACIÓN DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN) EN UN SISTEMA DE SEGURIDAD PARA LOS EQUIPOS MÓVILES DE LA UNIVERSIDAD EAFIT.**

**Mario Jaramillo Jaramillo  
Sandra Patricia Ospina Mendoza  
Juan Camilo Villada Ramírez**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero de Sistemas**

**Asesor  
Ingeniero Wilson Medina**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA Y SISTEMAS  
MEDELLÍN  
2011**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

Medellín, Mayo 2011

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>13</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>4. ALCANCE Y PRODUCTOS .....</b>	<b>16</b>
<b>5. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>17</b>
5.1 WSN.....	17
5.1.1 Características de WSN .....	17
5.1.2 Estándares y Especificaciones .....	18
5.1.3 Software en WSN .....	18
5.2 ZIGBEE .....	19
5.2.1 Marca Registrada y Alianza .....	19
5.2.2 Tipos de Dispositivo.....	19
5.2.3 ZigBee vs. Bluetooth.....	20
5.3 MÓDULOS XBEE®/XBEE-PRO® ZB OEM RF.....	21
5.3.1 Especificaciones Módulos XBee-Pro ZB OEM RF.....	22
5.3.2 Señales Pin .....	23
5.3.3 Operación Modulo RF.....	24
5.3.3.1 Operación Transparente.....	24
5.3.3.2 Operación API.....	25
5.3.3.3 Modo de Operación Ocioso.....	25
5.3.3.4 Modo de Operación Transmitiendo.....	25
5.3.3.5 Modo de Operación Recibiendo .....	26
5.3.3.6 Modo Comando.....	26
5.3.3.7 Modo Dormido .....	26
5.4 REDES ZIGBEE .....	26
5.4.1 Creación de PAN .....	27
5.4.2 Conexión a la PAN .....	27
5.4.3 Permitiendo Conexiones a la PAN .....	28
5.4.4 Direccionamiento de Dispositivos ZigBee.....	28
5.4.4.1 Direcciones de red de 16 bits.....	28
5.4.4.2 Direcciones de 64 bits.....	29
5.5 CONFIGURACIÓN REDES XBEE ZIGBEE.....	29
5.5.1 Configuración del Coordinador .....	29
Tabla 6: Configuración del Coordinador.....	29
5.5.2 Configuración de Enrutadores y Dispositivos Finales .....	30
5.5.3 Direccionamiento de Dispositivos .....	30
5.5.4 Configuración de modo Dormido para Dispositivos Finales.....	31
5.5.5 Comandos de Configuración Remota .....	32
5.6 X-CTU.....	32
5.6.1 Características.....	32
5.7 XBEE API .....	33
<b>6. METODOLOGÍA .....</b>	<b>34</b>
<b>7. DESARROLLO DE LA SOLUCION.....</b>	<b>36</b>

7.1 FASE 1: INICIACIÓN .....	36
7.1.1 <i>Conceptualización</i> .....	36
7.1.2 <i>Investigación del estado del arte</i> .....	36
7.1.3 <i>Análisis del problema</i> .....	37
7.1.4 <i>Análisis de recursos</i> .....	38
7.1.5 <i>Análisis de riesgos</i> .....	38
7.1.6 <i>Análisis de requisitos generales</i> .....	39
7.2 FASE 2: ELABORACIÓN .....	40
7.2.1 <i>Diseño de la solución</i> .....	40
7.2.2 <i>Análisis de requisitos no funcionales</i> .....	42
7.2.3 <i>Selección de tecnologías y arquitecturas</i> .....	42
7.2.4 <i>Diseño de la interfaz gráfica</i> .....	44
7.2.5 CASOS DE USO .....	46
7.3 FASE 3: CONSTRUCCIÓN .....	48
7.4 FASE 4: TRANSICIÓN .....	48
<b>8. SOLUCION ALTERNATIVA .....</b>	<b>54</b>
<b>9. ANEXOS .....</b>	<b>58</b>
8.1 MANUAL DE USUARIO .....	58
TABLA DE CONTENIDOS .....	58
<b>10. CONCLUSIONES .....</b>	<b>81</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>83</b>
<i>Libros</i> .....	83
<i>Revistas y/o Documentos</i> .....	83
<i>Referencias Digitales</i> .....	84

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fases de la metodología RUP.....	34
Figura 2. Modelo de la solución .....	40
Figura 3: Modelo del área permitida para un recinto n .....	41
Figura 4: Vista de la ventana “Tabla” .....	44
Figura 5: Vista de la ventana “Gráfico” .....	45
Figura 6: Vista de la ventana “Configuración” .....	45
Figura 7: Vista de la ventana “Zonas” .....	46
Figura 8: Casos de uso para Administrador .....	46
Figura 9: Casos de uso para usuarios.....	47
Figura 10: Casos de uso para el sistema .....	47
Figura 11: Casos de uso para la base de datos .....	47

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones Módulos XBee-Pro Desempeño .....	22
Tabla 2: Especificaciones Módulos XBee-Pro Requisitos de Energía .....	22
Tabla 3: Especificaciones Módulos XBee-Pro General .....	23
Tabla 4: Especificaciones Módulos XBee-Pro Gestión de Redes y Seguridad .....	23
Tabla 5: Señales Pin .....	23
Tabla 6: Configuración del Coordinador .....	29
Tabla 7: Configuración de Enrutadores y Dispositivos Finales .....	30
Tabla 8: Actividades de cada fase RUP .....	35
Tabla 9: Comparación de arquitecturas .....	43

## GLOSARIO

**API:** es un conjunto de normas y especificaciones que los programas de software pueden seguir para comunicarse entre sí.

**Bluetooth:** es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPANs) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz.

**Board:** placa madre o tarjeta madre. Es una placa de circuito impreso a la que se conectan los componentes que constituyen la computadora u ordenador.  
The benefits of migration to PICMG 1.3 for embedded computing applications.

**Captación de Energía:** es el proceso por el cual la energía proviene de fuentes externas (por ejemplo, la energía solar, energía térmica, energía eólica, gradientes de salinidad, y la energía cinética), capturada y almacenada para los pequeños, dispositivos inalámbricos autónomos, como los utilizados en la electrónica portátil y redes de sensores inalámbricos.

**Digi:** fue fundada en 1985 como DigiBoard. La compañía se está enfocando en soluciones de comunicación en redes externas y embebidas (cableadas y no cableadas), así como también productos USB de clase empresarial. La empresa tiene una línea completa de módems de radio y módulos integrados sobre la base de actuales CDMA y GSM de plataformas de comunicaciones.

**E/S:** Entrada/Salida.

**GUI:** es un tipo de interfaz de usuario que permite a los usuarios interactuar con dispositivos electrónicos con imágenes en lugar de comandos de texto.

**Hijo:** nodo enlazado a un enrutador o coordinador; puede ser un enrutador o un dispositivo final.

**ISM:** Industrial, Scientific and Medical radio bands. Las bandas de radio estaban reservadas inicialmente para el uso de radiofrecuencia con fines industriales, científicos y médicos.

**ISA100:** (International Society of Automation). es un estándar abierto de tecnología de red inalámbrica desarrollada por la Sociedad Internacional de Automatización (ISA).



**IEEE 1451:** es un conjunto de normas Smart interfaz del transductor desarrollado por la instrumentación IEEE y el sensor de medición de la Sociedad de Tecnología del Comité Técnico que describen un conjunto de procedimientos abiertos, interfaces comunes, la comunicación de red independiente para la conexión de transductores (sensores o actuadores) a los microprocesadores, sistemas de instrumentación y control / redes de campo.

**IEEE 802.15.4:** es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (low-rate wireless personal area network, LR-WPAN).

**IEEE 802.11:** define el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura OSI (capas física y de enlace de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN. Los protocolos de la rama 802.x definen la tecnología de redes de área local y redes de área metropolitana.

**Mesh:** 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 diferentes caminos.

**Micro Controlador:** es una pequeña computadora en un solo circuito integrado que contiene un núcleo de procesador, memoria y entrada programable / periféricos de salida.

**OEM:** Original Equipment Manufacturer. Se refiere a la compañía que originalmente fabricó el producto.  
Original Equipment Manufacturer (OEM) and Aftermarket Parts [thepartsbin.com](http://thepartsbin.com)

**Padre:** nodo al que se enlaza un dispositivo final o enrutador para conectarse a la red; puede ser un coordinador o un enrutador.

**Pan:** es un conjunto de equipos informáticos conectados entre sí por medio de dispositivos físicos que envían y reciben impulsos eléctricos, ondas electromagnéticas o cualquier otro medio para el transporte de datos para compartir información y recursos.

**Payload:** carga útil en una transmisión de datos a través de una red.  
<http://www.techterms.com/definition/payload>

**Peer To Peer:** es una red de computadoras en la que todos o algunos aspectos funcionan sin clientes ni servidores fijos, sino una serie de nodos que se comportan como iguales entre sí.

**Punto A Punto:** Las redes punto a punto son aquellas que responden a un tipo de arquitectura de red en las que cada canal de datos se usa para comunicar únicamente dos nodos, en contraposición a las redes multipunto, en las cuales cada canal de datos se puede usar para comunicarse con diversos modos.

**Punto a Multipunto:** se refiere a la comunicación que se realiza a través de un tipo específico y distinto de la conexión multipunto, ofreciendo varias rutas de acceso desde una ubicación única para múltiples ubicaciones.

**PWM:** Pulse with modulation (Modulación en ancho de pulso). Es una técnica muy utilizada para controlar el poder de inercia aparatos eléctricos, hecho práctico por los modernos interruptores electrónicos de potencia.

**RF:** se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 Hz y unos 300 GHz. El Hertz es la unidad de medida de la frecuencia de las ondas, y corresponde a un ciclo por segundo.

**RSSI:** (Receive Signal Strength Indication), Indicador de fuerza de señal de recepción. Se usa comúnmente para medir el nivel de potencia de las señales recibidas en las redes inalámbricas. Cuanto más alto sea el número, mejor captura de la misma.

**Ruido electrónico:** interferencias o parásitos a todas aquellas señales, de origen eléctrico, no deseadas y que están unidas a la señal principal, o útil, de manera que la pueden alterar produciendo efectos que pueden ser más o menos perjudiciales.

**Sseac:** Sistema de Seguridad para Equipos de Alto Costo.

**Transceptor:** es un dispositivo que tiene un transmisor y un receptor que se combinan y los circuitos de acciones ordinarias o de una sola cubierta.

**UART:** Universal Asynchronous Receiver-Transmitter. Controla los puertos y dispositivos serie.

**Web Application:** es una aplicación que se accede a través de una red como Internet o una intranet.

**WPAN** : Wireless Personal Area Networks, es una red para la comunicación entre distintos dispositivos tanto computadoras, puntos de acceso a internet, teléfonos celulares, PDA, dispositivos de audio, impresoras) cercanos al punto de acceso.  
WLANs and WPANs towards 4G Wireless, Ramjee Prasad and Luis Muñoz.

**WSN:** (Wireless Sensor Network). Redes de sensores Inalámbricas.

**XBee:** Módulos que permiten agregar conectividad inalámbrica. Son utilizados en automatización de casas, sistemas de seguridad, monitoreo de sistemas remotos, aparatos domésticos, alarmas contra incendio.

**ZigBee:** Es una especificación para un conjunto de protocolos de comunicaciones de alto nivel que usan pequeños radios digitales de bajo poder, basados en el Estándar IEEE 802.15.4 para WPAN de bajo poder y bajo costo, tales como interruptores de luz inalámbricos. La tecnología definida por la especificación ZigBee pretende ser más simple y menos costosa que otras WPN, tales como Bluetooth. ZigBee está dirigido a aplicaciones de RF que requieren una velocidad de transferencia de datos baja, larga duración de batería y gestión de redes segura.

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años las organizaciones se han preocupado cada vez más por la implementación de sistemas informáticos inteligentes soportados en la adquisición de tecnología de alto costo, como lo son computadores personales, video beams, servidores, impresoras u otros dispositivos electrónicos susceptibles a hurtos o pérdidas, resultando de gran importancia garantizar la seguridad de estos equipos que son propiedad de la empresa.

Es por esto que las organizaciones están empezando a invertir en sistemas de seguridad que permitan monitorear y controlar sus equipos, tales como circuitos cerrados de televisión, alarmas, sensores, pines de seguridad, etc.

El presente trabajo de grado presenta una alternativa para lograr un nivel confiable de seguridad en diferentes equipos tecnológicos, utilizando redes de sensores inalámbricos (WSN), a través del diseño e implementación de un sistema de seguridad para Equipos de Alto Costo (Sseac), el cual será aplicado a un entorno específico al interior de la universidad EAFIT y puede replicarse en las empresas.

El desarrollo del sistema incluirá las fases de desarrollo planteadas por la metodología RUP: iniciación, elaboración, construcción y transición, además de un manual de usuario detallado que permitirá al usuario final interactuar y controlar la aplicación.

El resultado de este trabajo de grado tendrá como beneficiario no solo a la universidad EAFIT, sino también a cualquier organización que tenga dispositivos de alto costo que deban ser mantenidos bajo un sistema de monitoreo, seguridad y control.

A partir de este sistema se podrán construir aplicaciones que se empleen para otros campos diferentes a seguridad de equipos, gracias a la flexibilidad de las redes de sensores inalámbricos.

## 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema consiste en construir un sistema que permita detectar variaciones de movimiento de un dispositivo en particular respecto a un punto de referencia.

Mediante el uso de redes de sensores inalámbricos WSN (Wireless Sensor Network), Se puede obtener la intensidad de la señal de transmisión entre el dispositivo y su punto de referencia, permitiendo conocer si existen variaciones de movimiento del dispositivo monitoreado.

A partir de la intensidad de señal obtenida se debe analizar si el dispositivo se encuentra en un rango de potencia de señal aceptable, esto con el fin de garantizar un control sobre la posición de los dispositivos que permita detectar anomalías y ser reportadas al área de seguridad oportunamente.

¿Cuál sería la mejor solución para el problema haciendo uso de redes de sensores inalámbricos y su medición de intensidad de señal de transmisión?

¿Cómo detectar si un dispositivo ha sido desplazado fuera de un rango permitido?

## 2. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo se encuentra bajo el marco teórico de las ciencias de la computación e informática y pretende enfocarse al uso de una tecnología emergente como “las redes de sensores inalámbricos” (WSN: Wireless Sensor Network), que consiste en dispositivos autónomos que usan sensores y se encuentran espacialmente distribuidos para cooperativamente monitorear condiciones físicas o ambientales.

El conocimiento y aplicación de las tecnologías inalámbricas como es WSN es de vital importancia teniendo en cuenta que estas serán las tecnologías que van a ser utilizadas en muchos campos de la vida cotidiana, es decir, tecnologías de vanguardia.

Es de fundamental importancia para la carrera (ingeniería de sistemas) lograr integrar los dispositivos electrónicos, en este caso los sensores inalámbricos, con software desarrollado a la medida, para así crear un sistema que pueda mejorar y controlar algún problema de vida real, como en este caso la seguridad de alguna organización.

Las ventajas de un sistema de seguridad utilizando redes de sensores inalámbricos en una organización son muchas, entre las cuales se destacan su facilidad de implementación, escalabilidad, bajos costos de instalación y mantenimiento. También se destaca la posibilidad de integrar el sistema de seguridad con un sistema de monitoreo de variables del entorno haciendo uso de sensores conectados a los dispositivos.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Con este trabajo de grado se desea implementar un sistema de seguridad para la Universidad EAFIT, integrando redes de sensores inalámbricos (WSN) a una aplicación Java, que permita detectar e informar cuando algún equipo de alto costo pueda estar siendo desplazado de su punto original.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar sobre las tecnologías de redes de sensores inalámbricos.
- Utilizar redes de sensores inalámbricos WSN (Wireless Sensor Network) para el desarrollo de la solución.
- Detectar el desplazamiento de equipos móviles por medio de la intensidad de la señal de transmisión.
- Monitorear la intensidad de la señal de transmisión de los diferentes Nodos por medio de una aplicación Java.
- Implementar un sistema de alarmas, por medio de correos electrónicos al área de seguridad de la organización, en caso de desplazamiento no deseado de alguno de los equipos monitoreados.
- Diseñar de forma práctica una interfaz gráfica que permita la interacción de los usuarios con la aplicación de forma sencilla.
- Crear una base de datos que permita llevar un registro de los cambios en las variables monitoreadas.
- Realizar un prototipo del montaje de sensores en diferentes equipos de la Universidad EAFIT.
- Aplicar de manera integral los conocimientos y habilidades adquiridos en los diversos cursos de la carrera y con proyecciones hacia la creatividad y el inicio de actividades investigativas.

#### **4. ALCANCE Y PRODUCTOS**

El alcance del trabajo se establece en el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- Implementar un software que permita monitorear los diferentes equipos esto para garantizar la seguridad y control sobre el desplazamiento de los dispositivos que permitirá detectar anomalías y ser reportadas oportunamente.
- Por medio del software permitir al departamento de seguridad de la organización donde se implemente el sistema, monitorear en tiempo real el estado de los equipos que se desee tener control.
- Escribir un manual de usuario detallado que permita al usuario final, interactuar y controlar la ejecución.



## 5. MARCO CONCEPTUAL

Para dar solución al problema planteado: implementar un sistema de seguridad para la Universidad EAFIT, integrando redes de sensores inalámbricos (WSN) a una aplicación Java, que permita detectar e informar cuando algún equipo de alto costo pueda estar siendo desplazado de su punto original, es fundamental proporcionar definiciones sobre conceptos clave en el contexto de la investigación, que permitan una buena comprensión del Sseac.

### 5.1 WSN

Una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) se compone de sensores autónomos espacialmente distribuidos con el objetivo de monitorear condiciones físicas o ambientales, tales como temperatura, sonido, vibración, movimiento o humedad, y pasar cooperativamente sus datos a través de la red a una ubicación principal<sup>1</sup>. Las redes más modernas son bidireccionales, permitiendo también controlar la actividad de los sensores<sup>2</sup>. El desarrollo de las WSN fue motivado por aplicaciones militares tales como la vigilancia del campo de batalla<sup>3</sup>; hoy en día tales redes son usadas en muchas aplicaciones industriales y de consumo<sup>4</sup>.

Las WSN son construidas por nodos, desde unos pocos hasta cientos, e incluso miles, donde cada nodo está conectado a uno o varios sensores. Cada nodo de la red de sensores tiene típicamente varias partes: un transceptor de radio con una antena interna o conexión a una antena externa, un micro controlador, un circuito electrónico para interactuar con los sensores y una fuente de energía, usualmente una batería o una forma incorporada de captación de energía. El tamaño de un nodo puede variar mucho dependiendo de sus características. La topología de red de las WSN puede variar desde una simple topología en estrella hasta una avanzada red en topología Mesh con saltos (hops) múltiples<sup>6</sup>.

#### 5.1.1 Características de WSN<sup>39</sup>

- Limitaciones de consumo de energía para nodos que usan baterías o captación de energía<sup>13</sup>.
- Habilidad para afrontar fallas en los nodos.
- Movilidad de los nodos.
- Topología de red dinámica.
- Fallas de comunicación.

- Heterogeneidad de los nodos.
- Escalabilidad a gran escala de despliegue.
- Capacidad para soportar duras condiciones ambientales
- Facilidad de Uso.
- Operación sin atención.

Los nodos pueden imaginarse como pequeños computadores, extremadamente básicos en términos de sus interfaces y componentes.

Las estaciones base son uno o más componentes de la WSN caracterizados por mucho más poder computacional, energía y recursos de comunicación. Estos actúan como puerta de enlace entre los nodos y los usuarios finales, ya que típicamente envían datos desde la WSN hasta un servidor. Otro componente especial en redes basadas en el enrutamiento son los enrutadores, diseñados para computar, calcular y distribuir las tablas de enrutamiento<sup>22</sup>.

### **5.1.2 Estándares y Especificaciones<sup>2</sup>**

Los estándares predominantes usados en comunicaciones WSN incluyen:

- ISA100
- IEEE 1451
- Zigbee/802.15.4
- IEEE 802.11

### **5.1.3 Software en WSN<sup>2</sup>**

La energía es el recurso más escaso de los nodos de las WSN, y ésta determina el tiempo de vida de las WSN, pues estas tienen como objeto ser desplegadas en grandes números y en varios entornos, incluyendo regiones remotas y hostiles, con comunicaciones ad-hoc como la clave. Por esta razón, los algoritmos y protocolos necesitan abordar las siguientes cuestiones:

- Maximización del tiempo de vida.
- Robustez y tolerancia a fallos.
- Autoconfiguración.

Algunos de los tópicos importantes en las investigaciones WSN de software son:

- Sistemas Operativos.
- Seguridad.
- Movilidad.
- Usabilidad.
- Middleware – Diseño de las primitivas de nivel medio entre software de alto nivel y los sistemas.

## **5.2 ZIGBEE<sup>8</sup>**

Es una especificación para un conjunto de protocolos de comunicaciones de alto nivel que usan pequeños radios digitales de bajo poder, basados en el Estándar IEEE 802.15.4 para WPAN de bajo poder y bajo costo, tales como interruptores de luz inalámbricos. La tecnología definida por la especificación ZigBee pretende ser más simple y menos costosa que otras WPN, tales como Bluetooth. ZigBee está dirigido a aplicaciones de RF que requieren una velocidad de transferencia de datos baja, larga duración de batería y gestión de redes segura<sup>9</sup>.

### **5.2.1 Marca Registrada y Alianza<sup>20</sup>**

La alianza ZigBee es una asociación de compañías trabajando juntas para hacer posibles productos de monitoreo y control en redes inalámbricas que sean confiables, rentables y de bajo consumo de energía basados en un estándar global abierto.

La alianza mantiene y publica el estándar ZigBee. Siendo el termino ZigBee una marca registrada de esta asociación y no un simple estándar técnico.

### **5.2.2 Tipos de Dispositivo**

Existen tres tipos de dispositivos Zigbee:

- Coordinador ZigBee (ZC): Es el dispositivo más capaz; el coordinador forma la raíz del árbol de red y puede tender un puente a otras redes. Por cada red solo puede haber exactamente un coordinador, ya que es el dispositivo que crea la

red originalmente. Está en capacidad de almacenar información sobre la red, e incluso actúa como centro de confianza y repositorio para claves de seguridad.

- Enrutador ZigBee (ZR): Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.
- Dispositivo Final ZigBee (ZED): Contiene suficiente funcionalidad para hablar con su nodo padre (ya sea un coordinador o un enrutador); no puede transmitir datos de otros dispositivos. Esta relación permite que el nodo este dormido, una cantidad significativa de tiempo, permitiendo que la batería pueda tener una larga duración. El dispositivo final, es el nodo que requiere la menor cantidad de memoria, y es por esto que resulta menos costosa su fabricación en relación con un Enrutador o un Coordinador.

### 5.2.3 ZigBee vs. Bluetooth

ZigBee es muy similar al Bluetooth pero con algunas diferencias:

- Una red ZigBee puede constar de un máximo de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos, frente a los 8 máximos de una subred Bluetooth.
- Menor consumo eléctrico que el de Bluetooth. En términos exactos, ZigBee tiene un consumo de 45mA transmitiendo y de 15mA en reposo, frente a los 40mA transmitiendo y 0.2mA en reposo que tiene el Bluetooth. Este menor consumo se debe a que el sistema ZigBee se queda la mayor parte del tiempo dormido, mientras que en una comunicación Bluetooth esto no se puede dar, y siempre se está transmitiendo y/o recibiendo.
- Tiene una velocidad de hasta 250 kbps, mientras que en Bluetooth es de hasta 3 Mbps.
- Debido a las velocidades de cada uno, se desempeñan mejor en ciertas aplicaciones. Por ejemplo, mientras que el Bluetooth se usa para aplicaciones como los teléfonos móviles y la informática casera, la velocidad del ZigBee se hace insuficiente para estas tareas, desviándolo a usos tales como la Domótica, los productos dependientes de la batería, los sensores médicos, y en artículos de juguetería, en los cuales la transferencia de datos es menor.
- Existe una versión que integra el sistema de radiofrecuencias característico de Bluetooth junto a una interfaz de transmisión de datos vía infrarrojos desarrollado por IBM mediante un protocolo ADSI y MDSI.

### **5.3 MÓDULOS XBEE®/XBEE-PRO® ZB OEM RF<sup>10</sup>**

Los módulos XBee/XBee-Pro ZB RF están diseñados para operar bajo el protocolo ZigBee y soportan las necesidades únicas de las redes de sensores inalámbricos de bajo costo y bajo consumo de energía. Los módulos requieren mínima energía y proveen confiable entrega de datos entre dispositivos remotos.

Los módulos operan bajo la frecuencia de banda ISM de 2.4 GHz y son compatibles con los siguientes:

- Adaptador XBee RS-232
- Adaptador de captación de energía PH RS-232 XBee
- Adaptador RS-485 XBee
- Adaptador de E/S Análogo XBee
- Adaptador de E/S Digital XBee
- Adaptador Sensor XBee
- Adaptador USB XBee
- XStick
- ConnectPort X Gateways
- Enrutador de pared XBee

### 5.3.1 Especificaciones Módulos XBee-Pro ZB OEM RF

**Tabla 1:** Especificaciones Módulos XBee-Pro Desempeño

Especificación	XBee-PRO
<b>Desempeño</b>	
Alcance en interiores/zona urbana	Hasta 90 metros, hasta 60 metros variante internacional
Alcance en exteriores con línea de vista	Hasta 1600 metros, hasta 750 metros variante internacional
Poder de transmisión	+17 dBm, +10dBm variante internacional
Velocidad de datos en RF	250,000 bps
Velocidad de datos en interfaz serial	1200-230400 bps
Sensibilidad del receptor	-102 dBm

**Tabla 2:** Especificaciones Módulos XBee-Pro Requisitos de Energía

Especificación	XBee-PRO
<b>Requisitos de Energía</b>	
Suministro de voltaje	3.0 – 3.4 V
Corriente al transmitir	295mA (@3.3 V), 170mA(@3.3 V) variante internacional
Corriente eléctrica al recibir	45mA (@3.3 V)
Corriente eléctrica en estado ocioso (sin recibir)	15mA
Corriente eléctrica en estado de bajo consumo de energía	< 10 uA @ 25oC

**Tabla 3:** Especificaciones Módulos XBee-Pro General

Especificación	XBee-PRO
<b>General</b>	
Frecuencia de banda en la que opera	ISM 2.4 GHz
Dimensiones	2.438cm x 3.294cm
Temperatura en la que opera	-40 a 85° C (industrial)
Opciones de antena	Látigo, chip, RPSMA, o conector U.FL

**Tabla 4:** Especificaciones Módulos XBee-Pro Gestión de Redes y Seguridad

Especificación	XBee-PRO
<b>Gestión de Redes y Seguridad</b>	
Topologías de red soportadas	Punto a punto, punto multipunto, peer to peer y mesh
Número de canales	14 canales de secuencia directa
Opciones de direccionamiento	Pan ID y dirección

### 5.3.2 Señales Pin

**Tabla 5:** Señales Pin

# Pin	Nombre	Dirección de Señal	Descripción
1	VCC	-	Suministro de energía
2	DOUT	Salida	Salida de datos de UART
3	DIN/CONFIG	Entrada	Entrada de datos a UART
4	DIO12	Ambas	E/S Digital 12
5	RESET	Entrada	Restablecer modulo
6	PWM0/RSSI/DIO10	Ambas	Salida PWM 0/ Indicador de la fuerza de la señal RX/ E/S Digital
7	DIO11	Ambas	E/S Digital 11
8	[reservado]	-	No Conectar
9	DTR/SLEEP_RQ/DIO8	Ambas	Línea de control para dormir por pin o E/S Digital 8
10	GND	-	Tierra

11	DIO4	Ambas	E/S Digital 4
12	CTS/DIO7	Ambas	Listo para enviar control de flujo o E/S Digital 7. CTS, si está activado es una salida
13	ON/SLEEP	Salida	Indicador del estado del módulo o E/S Digital 9
14	VREF	Entrada	No se usa en este módulo
15	Associate/DIO5	Ambas	Indicador de asociación, E/S Digital 5
16	RTS/DIO6	Ambas	Petición para enviar control de flujo, E/S Digital 6. RTS, si está activado es una entrada
17	AD3/DIO3	Ambas	Entrada Análoga 3 o E/S Digital 3
18	AD2/DIO2	Ambas	Entrada Análoga 2 o E/S Digital 2
19	AD1/DIO1	Ambas	Entrada Análoga 1 o E/S Digital 1
20	AD0/DIO0/Commissioning Button	Ambas	Entrada Análoga, E/S Digital 0, o botón de puesta en marcha

- La dirección de la señal es especificada respecto al modulo

### 5.3.3 Operación Modulo RF

Los módulos XBee OEM RF interactúan con un dispositivo anfitrión a través de un puerto serial asincrónico de nivel lógico. Por medio de su puerto serial, el módulo puede comunicarse con cualquier UART de voltaje compatible; o a través de un transmisor de nivel a cualquier dispositivo serial (ej. A través de un RS-232 propietario de Digi, o una board con interfaz USB).

Los módulos XBee soportan tanto la interfaz serial transparente como la interfaz serial API

#### 5.3.3.1 Operación Transparente

Al operar en modo transparente, los módulos actúan como un remplazo de una línea serial. Todos los datos UART recibidos a través del pin DIN encolados para transmisión por RF. Cuando se recibe datos RF, los datos son enviados a través del pin DOUT. Los parámetros de configuración del módulo son configurados usando la interfaz de comandos modo AT.



### **5.3.3.2 Operación API**

La operación API es una alternativa a la operación transparente. La API basada en tramas extiende el nivel al cual una aplicación anfitrión puede interactuar con las capacidades de red del módulo. En modo API, todos los datos entrando y saliendo del módulo están contenidos en tramas que definen operaciones o eventos en el módulo.

La API provee varias formas de configurar los módulos y direccionar datos en la capa de aplicación del host. Una aplicación anfitrión puede enviar tramas de datos que contienen la información de la dirección y payload, en vez de usar el modo comando para modificar las direcciones. El modulo enviara tramas de datos a la aplicación conteniendo paquetes de estado; así como información de la fuente y del payload de los paquetes de datos recibidos.

### **5.3.3.3 Modo de Operación Ocioso**

El modulo RF se encuentra en modo ocioso cuando no está recibiendo ni transmitiendo datos.

### **5.3.3.4 Modo de Operación Transmitiendo**

Cuando hay datos seriales recibidos y listos para ser incluidos en un paquete, el modulo RF sale del modo ocioso e intenta transmitir los datos. La dirección de destino determina que nodo recibirá los datos.

Previo a la transmisión de datos, el modulo se asegura que se ha establecido una dirección de 16 bits y una ruta hacia el nodo destino.

Si la dirección de 16 bits de destino no es conocida, un descubrimiento de las direcciones de la red se lleva a cabo, en caso de no encontrar un nodo que tenga la dirección de 16 bits, se descarta el paquete. En caso no conocer la ruta, un descubrimiento de rutas se lleva a cabo con el propósito de establecer una ruta al nodo destino con el fin de establecer una ruta hacia el nodo destino, los datos serán transmitidos cuando se establezca la ruta, si se falla al establecer una ruta el paquete será descartado.

Cuando se transmiten datos de un nodo a otro, una confirmación a nivel de red es transmitida de vuelta por la ruta establecida hacia el nodo fuente. Este paquete de confirmación indica al nodo fuente que el paquete fue recibido por el nodo destino. Si una confirmación de red no es recibida, el nodo fuente retransmite los datos.

#### **5.3.3.5 Modo de Operación Recibiendo**

Si un paquete RF válido es recibido, los datos son transferidos al buffer serial de transmisión.

#### **5.3.3.6 Modo Comando**

Para modificar o leer los parámetros del módulo RF, el módulo debe primero entrar en modo comando, un estado en el cual los caracteres seriales que llegan son interpretados como comandos.

#### **5.3.3.7 Modo Dormido**

El modo dormido permite al módulo RF entrar en un estado de bajo consumo de energía cuando éste no está en uso. Los módulos XBee OEM RF soportan tanto dormir por pin (modo dormido debido a la transición de un pin) y dormir cíclicamente (el módulo duerme por un periodo fijado).

### **5.4 REDES ZIGBEE<sup>10</sup>**

Las redes ZigBee son llamadas PAN. Cada red es definida con una identificación de PAN (PAN ID).

Cada uno de los 3 tipos de dispositivos definidos por las redes ZigBee tiene ciertas funciones:

Coordinador:

- Seleccionar un canal y una PAN ID para iniciar la red.

- Puede permitir tanto a enrutadores como a dispositivos finales conectarse a la red.
- Puede asistir en el direccionamiento de datos.
- No puede dormir, debe tener una fuente de energía principal.

Enrutador:

- Debe conectarse a una red PAN ZigBee antes de poder transmitir, recibir, o direccionar datos.
- Luego de conectarse a la red, puede permitir que otros enrutadores o dispositivos finales se conecten a la red.
- Luego de unirse a la red, puede asistir en el direccionamiento de datos.
- No puede dormir, debe tener una fuente de energía principal.

Dispositivo Final:

- Debe conectarse a una red PAN ZigBee antes de poder transmitir o recibir datos.
- No puede permitir a otros dispositivos conectarse a la red.
- Debe siempre transmitir y recibir datos por RF a través de su padre. No puede direccionar datos.
- Puede entrar en un estado de bajo consumo para conservar energía y puede ser alimentado con pilas.

#### **5.4.1 Creación de PAN**

Debido a que el coordinador es el responsable de iniciar una red ZigBee, todas las redes ZigBee deben tener un coordinador presente inicialmente. Para iniciar una PAN, el coordinador realiza una serie de exploraciones para descubrir el nivel de actividad de RF en diferentes canales (exploración de energía), y para descubrir redes PAN cercanas en operación.

#### **5.4.2 Conexión a la PAN**

Los enrutadores y dispositivos finales deben descubrir y conectarse a una Zigbee PAN. Para hacer esto, primero hacen una búsqueda de PAN y reciben una lista con las PAN asociadas a los dispositivos finales cercanos, la cual es analizada para encontrar una red ZigBee válida para unirse.

### **5.4.3 Permitiendo Conexiones a la PAN**

El coordinador y los enrutadores pueden permitir a nuevos enrutadores y dispositivos finales conectarse a ellos. Un coordinador o un enrutador permiten conectarse a otro dispositivo dependiendo de dos cosas:

- El atributo de permitir conexiones, el cual puede tomar los valores de siempre permitir conexiones, permitir conexiones por un periodo corto de tiempo o no permitir más conexiones.
- El número de dispositivos hijo que ya tiene el dispositivo.

### **5.4.4 Direccionamiento de Dispositivos ZigBee**

El protocolo 802.15.4 sobre el cual el protocolo ZigBee está construido, especifica dos tipos de direcciones:

- Direcciones de red de 16 bits.
- Direcciones de 64 bits.

#### **5.4.4.1 Direcciones de red de 16 bits**

Una dirección de red de 16 bits es asignada a un nodo cuando el nodo se conecta a la red. La dirección de red es única para cada nodo en la red. Sin embargo, las direcciones de red no son estáticas, es decir, estas pueden cambiar.

Las siguientes condiciones hacen que un nodo reciba una nueva dirección de red:

1. Si un dispositivo final no se puede comunicar con su padre, deberá abandonar la red y conectarse de nuevo para encontrar un nuevo padre.
2. Si el tipo de dispositivo cambia de enrutador a dispositivo final, o viceversa, el dispositivo abandonara la red y se conectara como un nuevo tipo de dispositivo.

ZigBee requiere que al enviar datos, estos sean enviados a la dirección de red de 16 bits del dispositivo de destino. Esto requiere que la dirección de red de 16 bits sea descubierta previamente a la transmisión de datos.

#### 5.4.4.2 Direcciones de 64 bits

Cada nodo contiene una dirección única de 64 bits. La dirección de 64 bits únicamente identifica al nodo y es permanente.

### 5.5 CONFIGURACIÓN REDES XBEE ZIGBEE<sup>10</sup>

Para crear una red ZigBee, un coordinador debe iniciar en un canal y una PAN ID. Una vez el coordinador ha iniciado, enrutadores y dispositivos finales pueden conectarse a la red. La creación de una red se rige por los comandos EI, SC y SD.

#### 5.5.1 Configuración del Coordinador

Para crear una red, un coordinador debe seleccionar un canal de operación y una PAN ID. Los módulos XBee soportan comandos configurables por el usuario para controlar el proceso de seleccionar un canal y PAN ID.

**Tabla 6:** Configuración del Coordinador

Comando	Descripción
EI	Usado para especificar la PAN ID. Si está configurado como 0, permite el uso de una PAN ID aleatoria.
SC	Selecciona una lista de canales en los cuales buscar al realizar la exploración de energía y de PAN.
SD	Determina la duración de la búsqueda en cada uno de los canales de SC, para la exploración de energía y de PAN.
EE	Determina si el coordinador debe crear una red segura usando encriptación AES

Cuando el coordinador XBee ha creado la red con una PAN ID y un canal

- Permite conexiones por un tiempo determinado (NJ determina este tiempo).
- El LED de Asociación comienza a parpadear (D5, comando LT).
- Envía una trama API con el estado del modem (“coordinador iniciado”) por la salida de la UART.

El parámetro del comando NJ especifica el tiempo que el coordinador permite conexiones. El LED de Asociación parpadea con una frecuencia basada en el comando LT.

Luego de que el coordinador haya iniciado, este se comporta similar a un enrutador. El coordinador guarda la configuración del canal y PAN ID seleccionados en memoria no volátil, esto con el objetivo de conservar esta información al quedarse en algún momento sin una fuente de energía, o en caso de algún evento de re inicialización.

La dirección de 16 bits definida por ZigBee para el coordinador es cero (0).

### 5.5.2 Configuración de Enrutadores y Dispositivos Finales

Antes de que un enrutador o dispositivo final pueda participar en una red ZigBee, debe localizar un coordinador cercano o un enrutador que ya está conectado a la red e intentar conectarse a este. Los comandos a continuación son los que gobiernan el comportamiento al conectarse de enrutadores y dispositivos finales.

**Tabla 7:** Configuración de Enrutadores y Dispositivos Finales

Comando	Descripción
EI	Usado para especificar la PAN ID. Cuando tiene como valor 0, el dispositivo puede conectarse a cualquier PAN ID.
SC	Selecciona una lista de canales en los cuales buscar al realizar la exploración de energía y de PAN.
SD	Determina la duración de la búsqueda en cada uno de los canales de SC, para la exploración de energía y de PAN.
EE	Determina la política de seguridad del dispositivo.

### 5.5.3 Direccionamiento de Dispositivos

Todos los módulos XBee pueden ser identificados por su dirección única de 64 bits o por una cadena de texto ASCII configurable por el usuario que identifica al dispositivo. La dirección de 64 bits del módulo puede leerse usando los comandos SH y SL. La cadena de texto ASCII que identifica al dispositivo es configurada usando el comando NI.

#### 5.5.4 Configuración de modo Dormido para Dispositivos Finales

El modo dormido permite a un dispositivo final ZigBee entrar en un estado de bajo consumo de energía cuando se encuentra en estado ocioso y despertar cuando sea necesario transmitir o recibir datos.

Los dispositivos finales deben conectarse a un coordinador o enrutador para hacerse parte de una red. Cuando la conexión ocurre, el dispositivo final se convierte en el hijo del enrutador o coordinador que le permitió conectarse, y el dispositivo que permitió la conexión se convierte en el padre.

Un coordinador o enrutador solo puede permitir hasta 8 dispositivos finales conectarse a él. Una vez 8 dispositivos finales se han conectado al mismo padre, no se podrá conectar a él ningún dispositivo final adicional.

El padre es el encargado de gestionar las tramas de datos RF para el dispositivo final. Si un padre recibe una trama RF destinada para un hijo suyo, guardara el paquete hasta que ocurra lo siguiente:

- El padre se queda sin espacio de almacenamiento y no puede almacenar un nuevo paquete.
- El paquete ha sido almacenado por un periodo de tiempo determinado (timeout).
- El dispositivo final destino le hace una petición de transmisión a su padre para obtener la trama de datos.

Cuando un padre guarda un paquete destinado para un hijo lo hace por un periodo de tiempo determinado por el comando SP ( $SP * 2.5$ ), no excediendo nunca 30 segundos. Si un dispositivo final implementa dormido cíclico, SP debe tener la misma configuración tanto en el padre como en sus hijos.

El comando SM permite configurar el dormido cíclico en los dispositivos finales cuando tiene como parámetro los valores 4 o 5; el dormido cíclico permite a los módulos despertar periódicamente para verificar si tienen datos RF y dormir cuando estén ociosos.

Cuando un dispositivo final configurado en dormido cíclico recibe datos RF, el modulo comienza un contador de tiempo y permanece despierto hasta que el contador expira. La duración del contador de tiempo es configurada por el comando ST.

Con los comandos SP y SN se determina el tiempo ( $SP * SN$ ) que el dispositivo final permanece dormido durante cada ciclo. El comando SN es un multiplicador del tiempo SP que determina la frecuencia con la que se pone el PIN On/Sleep en alto al despertarse. Por ejemplo, si el dispositivo final duerme por 20 segundos, pero el PIN On/Sleep solo debe ponerse en alto cada minuto, SN se configura con un valor de 3 ( $3 \times 20 = 60$ ).

El comando SO permite configurar las opciones de dormir que tiene un dispositivo.

### **5.5.5 Comandos de Configuración Remota**

El firmware de la API provee la forma de enviar comandos de configuración a dispositivos remotos, usando la API de petición de comando remoto. Este paquete API puede ser usado para leer o configurar los parámetros de los comandos de un módulo remoto.

Para enviar un comando remoto, el paquete de petición de comando remoto debe incluir la dirección de 64 y 16 bits (si se conoce) del dispositivo remoto, las opciones validas del comando, y el comando con los parámetros (opcional). Si se desea recibir una respuesta del comando, el identificador de la trama (Frame ID) debe ser un valor diferente de cero.

Cuando se usan comandos remotos para cambiar la configuración de parámetros de los comandos en un dispositivo remoto, los cambios en los parámetros no toman efecto hasta que se aplican los cambios. Para aplicar los cambios se debe poner el bit de aplicar cambios en el paquete API.

## **5.6 X-CTU<sup>36</sup>**

X-CTU es un software para configurar y probar módems de radio.

### **5.6.1 Características**

- Ventana terminal integrada
- Visualización del Indicador de la Potencia de la Señal (RSSI).



- Visualización tanto caracteres ASCII como Hexadecimales en la ventana terminal.
- Permite actualización del firmware de los módems.
- Crea paquetes en ASCII o en Hexadecimal para transmitir en interfaz terminal.
- Guarda y recupera configuraciones de los módulos comúnmente usadas (perfiles).
- Automáticamente detecta el tipo de modulo.
- Restaura los parámetros de fábrica del modem.
- Visualiza ayuda para cada uno de los parámetros de configuración de los radios.

X-CTU opera estrictamente bajo las plataformas Windows.

## **5.7 XBEE API<sup>11</sup>**

Es una API de Java para comunicaciones en modo API entre los módulos OEM RF XBee/XBee-Pro series 1 (802.15.4) y series 2 (ZNet 2.5 y ZB/ZigBee Pro). El objetivo de este proyecto es proporcionar una manera simple y flexible de usar el modo API para interactuar con los radios XBee. En términos de flexibilidad, el objetivo es no condicionar hacia una implementación particular (ej. GUI, Aplicación Web, Procesamiento, etc.), sino dar la libertad de decidir cómo usar la API. Este software ha sido probado en Windows, Mac, y Linux, y puede ser ejecutado en cualquier otra plataforma compatible con Java 5 o versiones posteriores y con RXTX.

## 6. METODOLOGÍA

La metodología del proyecto consta de 4 fases (ver Figura 1) cada una con sus determinadas etapas o actividades explicadas posteriormente (ver Tabla 8. Actividades por fase). Esta metodología se encuentra enmarcada en las propuestas de RUP (Rational Unified Process) <sup>26</sup>.

RUP divide el proceso en cuatro fases, dentro de las cuales se realizan varias iteraciones en número variable según el proyecto y en las que se hace un mayor o menor hincapié en las distintas actividades. En la Figura muestra cómo varía el esfuerzo asociado a las disciplinas según la fase en la que se encuentre el proyecto RUP.

Las primeras iteraciones (en las fases de Inicio y Elaboración) se enfocan hacia la comprensión del problema y la tecnología, la delimitación del ámbito del proyecto, la eliminación de los riesgos críticos, y al establecimiento de una baseline (Línea Base) de la arquitectura.

Durante la fase de inicio las iteraciones hacen mayor énfasis en actividades de modelado del negocio y de requisitos.

En la fase de elaboración, las iteraciones se orientan al desarrollo de la baseline de la arquitectura, abarcan más los flujos de trabajo de requisitos, modelo de negocios (refinamiento), análisis, diseño y una parte de implementación orientado a la baseline de la arquitectura.

En la fase de construcción, se lleva a cabo la construcción del producto por medio de una serie de iteraciones.

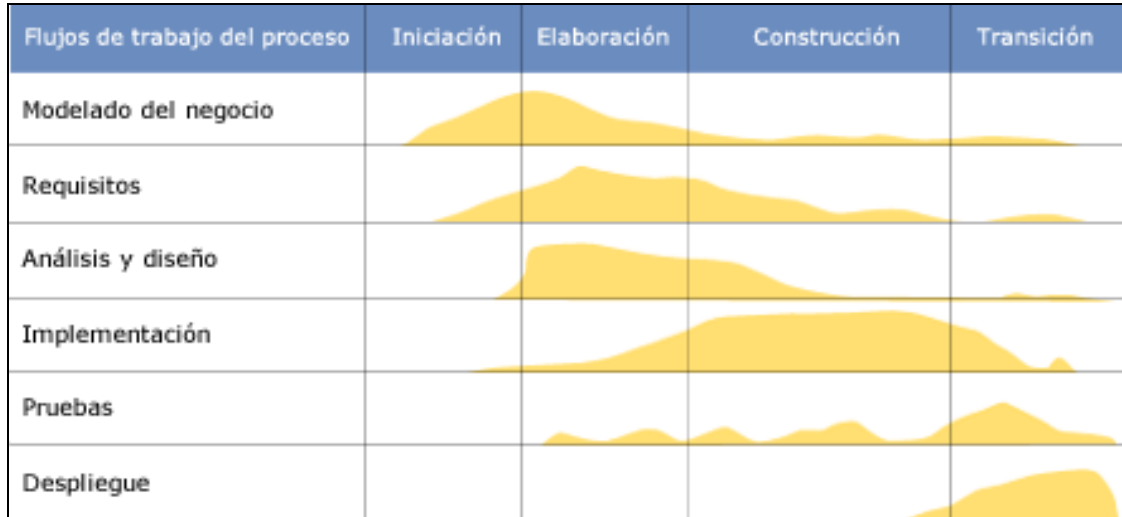
Para cada iteración se selecciona algunos Casos de Uso, se refina su análisis y diseño y se procede a su implementación y pruebas. Se realiza una pequeña cascada para cada ciclo. Se realizan tantas iteraciones hasta que se termine la implementación de la nueva versión del producto.

En la fase de transición se pretende garantizar que se tiene un producto preparado para su entrega a la comunidad de usuarios.

Como se puede observar en cada fase participan todas las disciplinas, pero que dependiendo de la fase el esfuerzo dedicado a una disciplina varía <sup>26</sup>.

Esta metodología se escogió pues es la más utilizada para el análisis, diseño implementación y documentación de sistemas orientados a objetos.

**Figura 1: Fases de la metodología RUP**



**Tabla 8: Actividades de cada fase RUP**

METODOLOGIA RUP APLICADA AL PROBLEMA		
FASES		ACTIVIDADES
1	INICIACION	* Conceptualización
		* Investigación del estado del arte
		* Análisis del problema
		* Análisis de recursos
		* Análisis de riesgos
		* Análisis de requisitos funcionales
2	ELABORACION	* Diseño de la solución
		* Análisis de requisitos no funcionales
		* Selección de tecnologías y arquitecturas
		* Diseño de interfaz gráfica
		* Casos de uso
3	CONSTRUCCION	* Desarrollo de interfaz gráfica
		* Implementación de casos de uso
4	TRANSICION	* Refinamiento de procesos y clases
		* Desarrollo de pruebas de campo
		* Documentación de códigos
		* Creación de manuales

## 7. DESARROLLO DE LA SOLUCION

### 7.1 FASE 1: Iniciación

#### 7.1.1 Conceptualización

Antes de empezar a desarrollar o diseñar la solución del problema, fue necesario realizar una amplia investigación sobre las redes de sensores inalámbricos, que sería la tecnología utilizada para desarrollar el proyecto. Durante la conceptualización se estudiaron diferentes arquitecturas de redes, fabricantes, estándares y aplicaciones. En el marco teórico se puede encontrar el resultado de esta investigación.

#### 7.1.2 Investigación del estado del arte

Al investigar sobre el estado del arte de las redes de sensores inalámbricos, se encontró que los dispositivos más avanzados del momento cuentan con una gran cantidad de sensores que permiten monitorear y controlar temperaturas, intensidad de luz, posicionamiento espacial, movimiento y todo tipo de variables aplicables al entorno. Estos dispositivos deben ser de bajo consumo de energía y permitir comunicaciones a largo alcance.

*Los sistemas de sensores inalámbricos de detección se utilizan cada vez más tanto en aplicaciones convencionales como en situaciones que requieren algunas de sus capacidades específicas. Cada nodo está provisto de capacidades de procesamiento independientes e incorpora el hardware y el software necesario para la adquisición de datos, procesamiento de datos y transmisión de datos a la red de la unidad central. Estos sistemas de medición están etiquetados como redes de sensores inalámbricos (WSN) y en el artículo los autores dan una visión general del estado del arte, la técnica, los problemas a superar y las tendencias futuras de redes inalámbricas de sensores<sup>39</sup>.*

*Las redes inalámbricas de sensores son una nueva tecnología de bajo costo, sin vigilancia, para el seguimiento de una amplia gama de entornos, y su importancia ha sido aumentada por la reciente entrega del estándar IEEE 802.15.4 para las capas física y MAC, y el estándar Zigbee para las capas de red y aplicación. El rápido progreso de la investigación sobre la eficiencia energética, la creación de redes, gestión de datos y la seguridad en redes de sensores inalámbricos, y la necesidad de comparar con las soluciones adoptadas en las normas es lo que motiva la necesidad del estudio y la investigación sobre este campo<sup>40</sup>.*

Las redes de sensores del momento permiten comunicaciones a largas distancias haciendo uso de arquitecturas “mesh” <sup>21</sup> (ver glosario de términos) que permiten enviar información entre nodos conectados para llegar a cualquier nodo del sistema.

Esta investigación del estado del arte permitió conocer cuáles son las tendencias de esta tecnología y los avances que se han logrado a través del tiempo, esto permitiría posteriormente llegar a una decisión en la tecnología que se usaría para el desarrollo del problema.

Sobre el estado del arte de las redes de sensores inalámbricos existen dos trabajos muy bien elaborados cuyo contenido fue de vital importancia para este proyecto. Estos son:

- WIRELESS SENSOR NETWORKS: STATE OF THE ART AND FUTURE TRENDS  
Pedro Silva Girão\* and George Alexandru Enache  
\*Instituto de Telecomunicações/Instituto Superior Técnico
- Wireless Sensor Networks: a Survey on the State of the Art and the 802.15.4 and ZigBee Standards  
Paolo Baronti, Prashant Pillai, Vince Chook, Stefano Chessa, Alberto Gotta, Y. Fun Hu  
Mobile and Satellite Communication Research Centre  
School of Engineering, Design and Technology, University of Bradford, United Kingdom

### 7.1.3 Análisis del problema

Una vez se realizó toda la investigación sobre las redes de sensores inalámbricos y su estado del arte, se pudo realizar un análisis más detallado del problema enfocado en posibles soluciones usando las tecnologías investigadas.

Haciendo el análisis del problema se definió junto con el asesor Wilson Medina que se utilizaría el RSSI (Intensidad de la señal) para realizar una medición entre nodos y poder establecer la posición aproximada de otro nodo. Obteniendo la posición de un nodo, se podría entonces definir unos parámetros o límites permitidos de movimiento, que de ser violados activarían una señal de alarma en el sistema.

Se contempló también la posibilidad de utilizar módulos Crossbow imote2 con acelerómetros incorporados para detectar movimiento en el dispositivo, pero esta opción fue descartada debido al alto costo de los sensores imote2.

#### **7.1.4 Análisis de recursos**

Después de analizar el problema y encontrar una solución posible, se empezó a realizar un análisis de recursos para la solución del problema. Estos recursos se definen después del análisis del problema para garantizar que se conozcan todos los recursos tanto humanos como tecnológicos necesarios durante la elaboración del proyecto.

El sistema operativo que se va a utilizar debe estar directamente relacionado con el hardware elegido, ambos deben ser totalmente compatibles para evitar problemas a futuro.

Se tuvo que definir qué lenguaje de programación se utilizaría para poder hacer un buen análisis del hardware que se iba a adquirir, de acuerdo al sistema operativo, base de datos, etc.

Al igual que el hardware, el software no debe sólo cubrir las necesidades presentes, sino que debe estar perfectamente preparado para necesidades futuras o, en su defecto, debe estar preparado para su adaptación a las necesidades futuras del usuario.

Como sistema operativo se eligió Windows, ya que la herramienta X-CTU que permite configurar fácilmente los nodos, solo funciona bajo Windows, y es la manera más fácil para los usuarios de configurar un nodo final. También porque Windows es el sistema operativo más utilizado en las empresas y en la universidad EAFIT. No obstante el sistema Sseac está desarrollado en Java y esto permite su ejecución bajo sistemas MAC OS y Linux.

Como lenguaje de programación se eligió Java ya que es un lenguaje multi-plataforma orientado a objetos que permitiría flexibilidad en la implementación de la solución. También porque es un lenguaje libre y esto aseguraría la continuidad del proyecto a futuro, permitiendo adicionar o modificar módulos y funcionalidades nuevas.

Otro factor importante a la hora de la elección de Java como lenguaje de programación fue la existencia de un API (ver glosario de términos) desarrollado exclusivamente para redes de sensores inalámbricos utilizando módulos XBee. Esta API fue desarrollada por Andrew Rapp y es de distribución libre y cuenta con un grupo de google donde se pueden compartir opiniones, investigaciones, preguntas y respuestas de todo lo relacionado con los módulos XBee <sup>41</sup>.

#### **7.1.5 Análisis de riesgos**

El daño o pérdida de alguno de los nodos base del sistema sería un gran riesgo de seguridad ya que de estos dependen el correcto funcionamiento del sistema.

El ruido electrónico (ver glosario de términos) producido por dispositivos electrónicos, redes, objetos, etc. Podría interferir las señales entre los nodos y por ende afectar la medida del RSSI, lo que llevaría a mediciones erráticas que harían que el sistema muestre datos equivocados.

La falla de la estación de trabajo donde se instale el sistema podría ocasionar que todo el sistema de seguridad colapse y deje de responder.

### **7.1.6 Análisis de requisitos generales**

En esta etapa se definieron los requisitos funcionales del sistema, que son aquellas características requeridas del sistema que expresan una capacidad de acción del mismo; una funcionalidad; generalmente expresada en una declaración en forma verbal

31

Los requisitos funcionales que se definieron en esta etapa son:

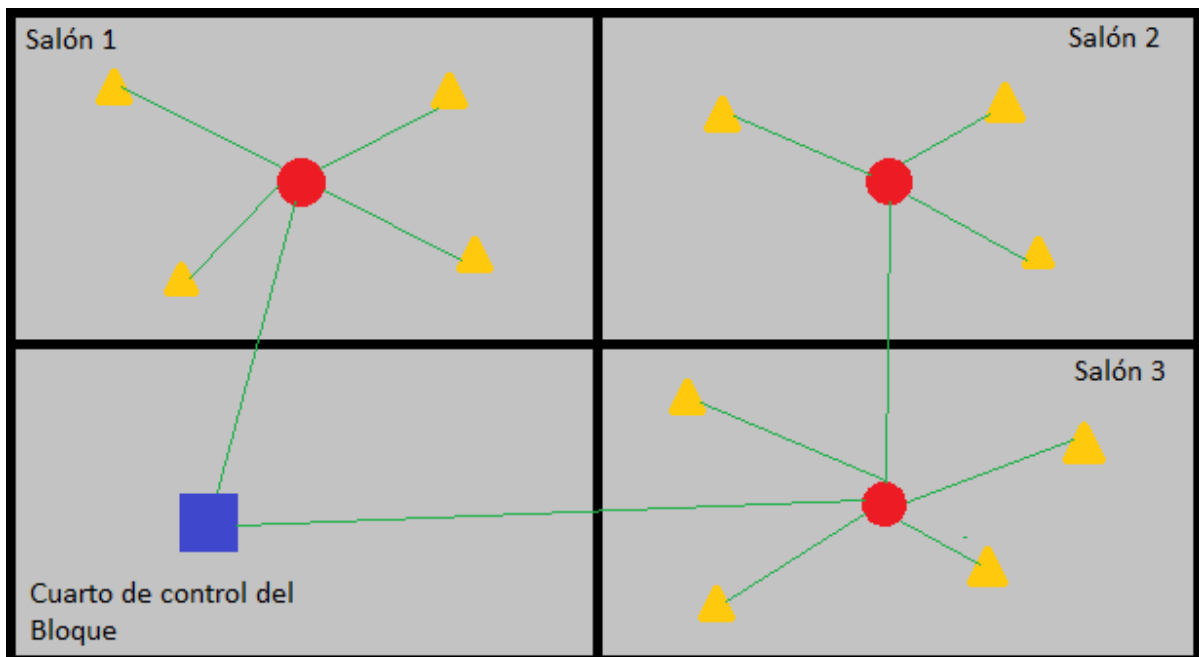
- El sistema debe medir la intensidad de la señal entre el nodo base y cualquier nodo final dentro de la red y mostrar esta información.
- El sistema debe crear una red de sensores inalámbricos capaz de comunicarse con todos sus nodos finales.
- El sistema debe poder listar todos los dispositivos o nodos conectados a la red.
- El sistema debe entregar información específica de cada nodo.
- El sistema debe poder saber si un Nodo se encuentra dentro del rango permitido.
- El sistema debe detectar cuando un nodo esté en una posición no permitida y emitir una señal de alarma vía e-mail.
- El sistema debe enviar información estadística a una base de datos externa, la cual pueda ser accedida vía web usando phpMyadmin.

## 7.2 FASE 2: Elaboración

### 7.2.1 Diseño de la solución

En la etapa de elaboración se definió la solución que se daría al problema usando redes de sensores inalámbricos y con ayuda del asesor se llegó al siguiente modelo:

**Figura 2. Modelo de la solución**



**Fuente:** Los autores

Características de la red:

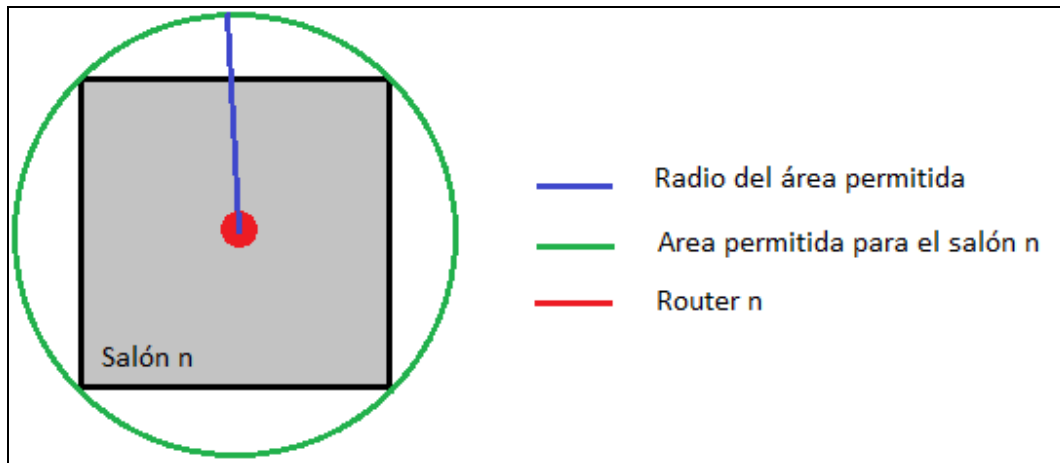
- Red de sensores inalámbricos tipo MESH <sup>32</sup>
- Cada salón o recinto que se desea monitorear cuenta con un nodo base que será configurado como tipo Router
- La configuración de la red es automática.
- Existe comunicación entre Routers lo que permite altísima escalabilidad
- Un solo nodo Coordinador puede controlar todo el sistema
- Al conectar un nodo nuevo, este se conectará con el router más cercano automáticamente.
- Este diseño reduce la cantidad de información que recibe el Coordinador ya que se utilizan menos conexiones directas y esto mejora el desempeño del sistema.



La solución planteada hace uso de Nodos base, configurados como Routers que tienen una posición fija y central en cada uno de los recintos que se desean monitorear. Esto con el fin de obtener la intensidad de la señal entre los nodos finales y el Router correspondiente y así poder monitorear posibles desplazamientos del dispositivo al notar un cambio en la intensidad de su señal.

Los límites permitidos para cada recinto deben ser ingresadas al sistema para su Router asociado, esto permitirá establecer los límites permitidos en los cuales puede moverse libremente el dispositivo final. En la siguiente figura se muestra el rango permitido para un dispositivo final dentro de un recinto con límites conocidos:

**Figura 3: Modelo del área permitida para un recinto n**



**Fuente:** Los autores

Este diseño permite al Nodo base (Router) abarcar toda el área del salón o recinto, con cierto margen de error en los lados del recinto.

Si alguno de los nodos finales sobrepasa en su medición de RSSI el límite permitido por su Router asociado, inmediatamente el sistema envía un mensaje de alarma al administrador del sistema y al área de seguridad de la Universidad o la empresa donde se implemente el sistema de seguridad Sseac.

## 7.2.2 Análisis de requisitos no funcionales

Los requisitos no funcionales son aquellas características requeridas del sistema, del proceso de desarrollo, del servicio prestado o de cualquier otro aspecto del desarrollo, que señala una restricción del mismo <sup>31</sup>.

Durante el levantamiento de requisitos no funcionales del proyecto Sseac se encontraron los siguientes:

- La eficiencia en el rendimiento del sistema no se debe ver afectada por la cantidad de dispositivos monitoreados
- El sistema debe estar corriendo y disponible no menos del 99% del tiempo
- El sistema debe ser estable y no colapsar al desconectar nodos de la red
- El soporte técnico debe ser rápido y oportuno
- El costo de operación y mantenimiento debe ser muy bajo
- El sistema debe ser compatible con futuras versiones del sistema operativo Windows
- El sistema debe ser modificable para ajustarse a necesidades futuras del usuario
- El sistema debe ser escalable y permitir nuevos módulos funcionales en el futuro

Estos requisitos definen aspectos del sistema que deben cumplirse para garantizar el alcance del proyecto y su futuro desarrollo.

## 7.2.3 Selección de tecnologías y arquitecturas

A la hora de elegir el tipo y fabricante de redes de sensores inalámbricos se llegó a 2 posibles candidatos por sus características y prestaciones. En primer lugar se tienen los módulos XBee Pro Series 2 (ver marco teórico) y en segundo lugar se consideraron los iMote2 de Crossbow.

Para seleccionar la mejor alternativa se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos: Costos de implementación, Funcionalidad, Flexibilidad, escalabilidad. A cada una de estas características se le asignó un valor entre 1 y 5 y la alternativa con el mayor puntaje sería elegida para el desarrollo del sistema Sseac. A continuación se explican los criterios evaluados.

**Costos de implementación:** Se busca una alternativa que sea rentable a la hora de ser implementada y que permita adicionar nuevos Nodos en un futuro a bajo costo.

**Funcionalidad:** Los módulos inalámbricos deben proveer funcionalidad al sistema permitiendo realizar mediciones tanto de intensidad de señal como también permitir la integración con otros sensores para futuros desarrollos.

**Flexibilidad:** La arquitectura debe poder ser utilizada en varios sistemas operativos y el desarrollo de aplicaciones debe poder hacerse en diferentes lenguajes de programación orientados a objetos.

**Escalabilidad:** La arquitectura de red debe permitir adicionar nuevos nodos sin afectar el rendimiento del sistema y garantizar la escalabilidad de la aplicación de seguridad Sseac.

**Confiabilidad:** Se busca un sistema con una confiabilidad alta por tal motivo el hardware utilizado debe ser estable y robusto, con mínimas fallas de funcionamiento y larga duración de sus componentes.

En la tabla 9 se muestra la calificación de ambas alternativas y la decisión final.

**Tabla 9:** Comparación de arquitecturas

<b>COMPARACION DE ALTERNATIVAS</b>		
	<b>Digi Xbee Pro</b>	<b>Crossbow iMote 2</b>
<b>Costos de implementación</b>	5	2
<b>Funcionalidad</b>	3	5
<b>Flexibilidad</b>	5	3
<b>Escalabilidad</b>	5	4
<b>Confiabilidad</b>	4	4
<b>TOTAL</b>	<b>22</b>	<b>18</b>

**Fuente:** Los autores

La alternativa seleccionada es la número 1 (Digi XBee Pro) por su bajo costo de implementación que junto con su flexibilidad y escalabilidad serían la mejor opción para el desarrollo del proyecto.

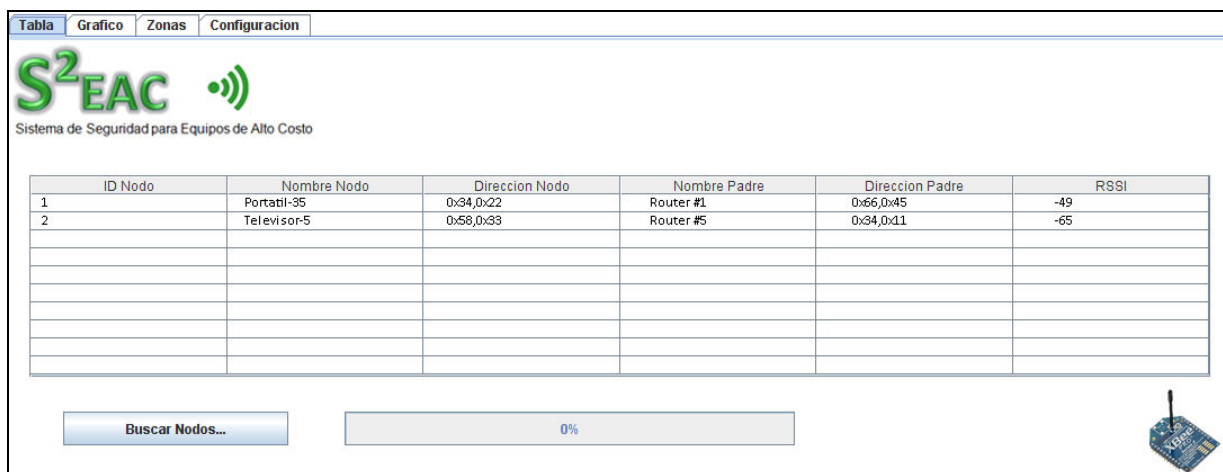
## 7.2.4 Diseño de la interfaz gráfica

La interfaz gráfica del sistema fue diseñada pensando siempre en el usuario final para garantizar el entendimiento fácil del sistema y entregar las funciones necesarias para el control de la aplicación.

Se desarrolló una interfaz dividida en cuatro pestañas llamadas “Tabla”, “Gráfico”, “Configuración” y “Zonas”. Cada una de estas pestañas muestra diferente información sobre la red de sensores inalámbricos al usuario y permite conocer los valores de medición de potencia de señal entre los nodos finales y sus Nodos base.

La primera pestaña, llamada Tabla, muestra una lista de todos los nodos de la red, con su respectivo identificador, nombre, Nodo base al cual está conectado y su valor de RSSI con respecto a su nodo base. Esta medición está dada en dBm (ver glosario de términos) y es una medida de la intensidad de la señal. En esta ventana se encuentra un botón llamado “Buscar nodos” que se encarga de iniciar el sistema. Para mayor información del funcionamiento de la interfaz gráfica véase el manual de usuario Sseac.

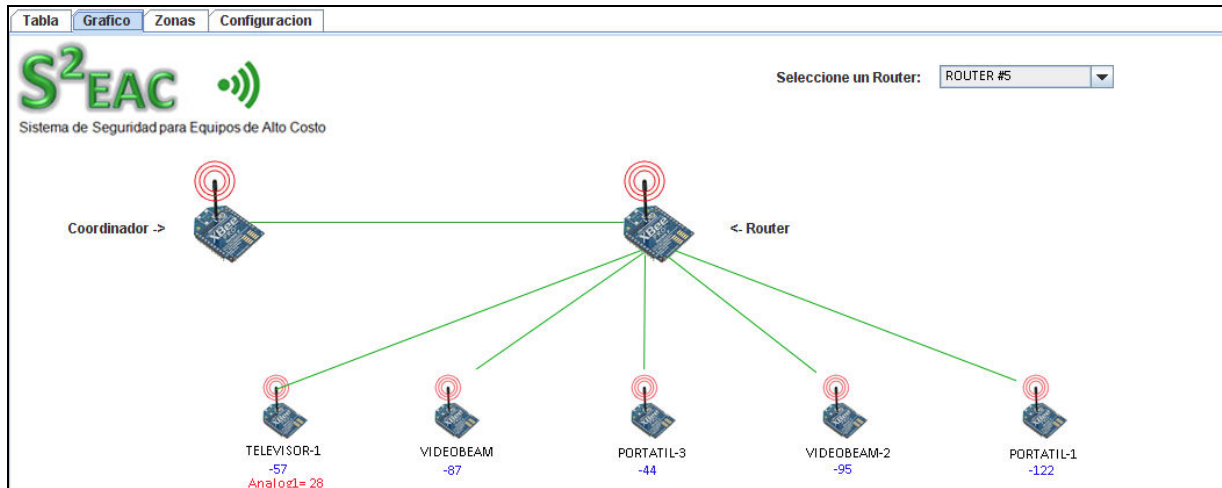
**Figura 4: Vista de la ventana “Tabla”**



ID Nodo	Nombre Nodo	Direccion Nodo	Nombre Padre	Direccion Padre	RSSI
1	Portatil-35	0x34,0x22	Router #1	0x66,0x45	-49
2	Televisor-5	0x58,0x33	Router #5	0x34,0xd1	-65

En la segunda ventana llamada “Gráfico” encontraremos información más específica sobre un Router específico seleccionado por el usuario. En esta ventana se puede ver la potencia en dBs que hay entre el Router seleccionado y todos sus Nodos asociados. Para mayor información sobre el funcionamiento de la ventana Grafico véase el manual de usuario de Sseac.

**Figura 5: Vista de la ventana “Gráfico”**



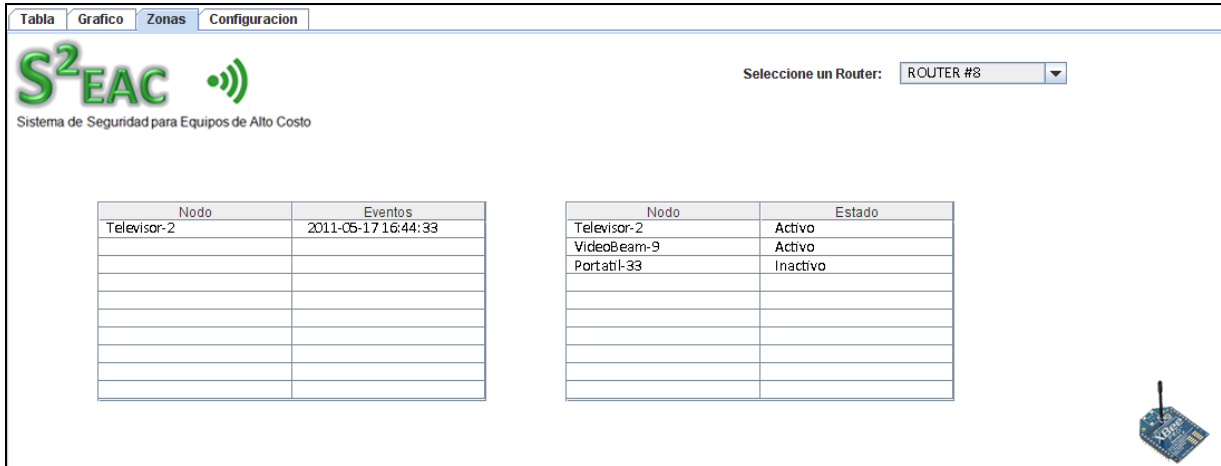
La ventana “Configuración” le permite al usuario configurar los límites permitidos para cada Zona o Router, haciendo uso de cualquier Nodo que esté asociado a ese Router para tomar una medición precisa de la señal máxima que se desea permitir en esa Zona. En esta ventana también se configuran los parámetros de tiempos de medición y de inactividad de los Nodos.

**Figura 6: Vista de la ventana “Configuración”**

The screenshot shows the 'Configuración' window. It includes several input fields and dropdown menus. On the right, there are settings for 'Tiempo muestreo Analogo' (30), 'Puerto COM Coordinador' (COM10), and 'Periodo de inactividad' (1). Below these are dropdowns for 'Selección un Router' (ROUTER #4) and 'Selección un Dispositivo' (PORTATIL-33). The main section is titled '1) CONFIGURACION LIMITES' and contains two input fields: 'Limite Actual' (-120) and 'Limite Nuevo' (-88), with an 'Aplicar Cambios' button. Below this is a section '2) DESACTIVAR (ACTIVAR) DISPOSITIVO' with a 'Desactivar/Activar Dispositivo' button. On the right side, there is a small diagram showing a 'Router' node connected to a 'Dispositivo' node. Below the diagram, there is a text instruction: 'Para configurar el límite permitido de un Router, escoja un Dispositivo de la lista de nodos asociados y desplácelo hacia el punto más lejano que ud considere seguro. Una vez hecho esto, haga clic en el botón para aplicar los cambios.'

La ventana “Zonas” le permite al administrador ver un registro de eventos y estado de los nodos asociados a un Router seleccionado. Esta ventana es informativa y toda la información mostrada acá es obtenida de la base de datos del sistema.

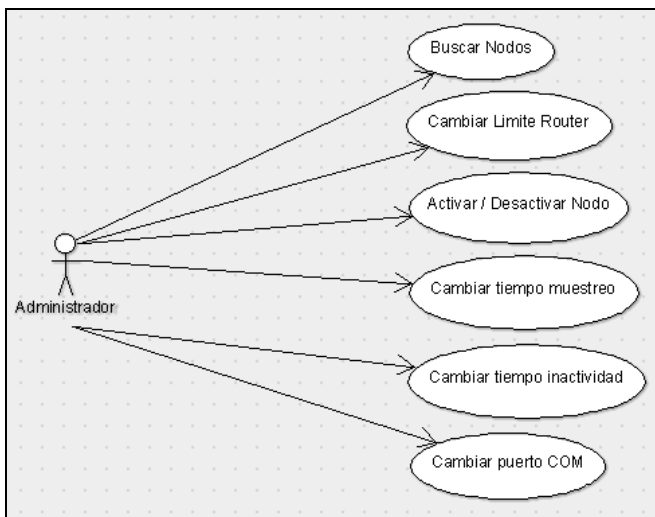
**Figura 7: Vista de la ventana “Zonas”**



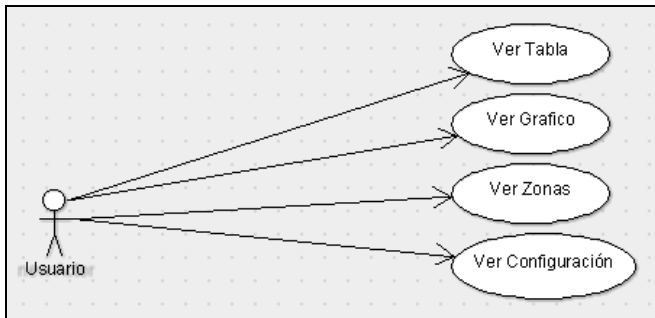
### 7.2.5 Casos de uso

En los siguientes diagramas se muestran los diferentes casos de uso de alto nivel del sistema.

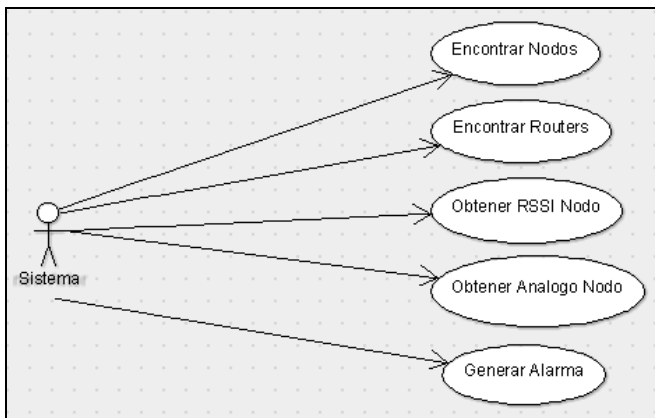
**Figura 8: Casos de uso para Administrador**



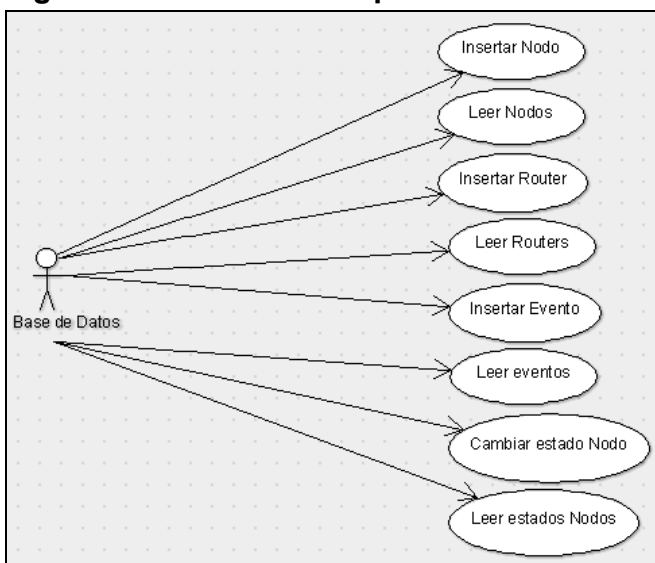
**Figura 9: Casos de uso para usuarios**



**Figura 10: Casos de uso para el sistema**



**Figura 11: Casos de uso para la base de datos**



## **7.3 FASE 3: Construcción**

### **7.3.1 Desarrollo de la interfaz gráfica**

Se desarrolló la interfaz en java de acuerdo a lo establecido en el diseño de interfaz gráfica.

Se hizo uso de Applets de java para la implementación de la interfaz gráfica del sistema.

Las cuatro ventanas de la interfaz se desarrollaron como paneles “JTabbedPane” que permiten ser seleccionados en forma de pestañas. Este tipo de paneles hacen que la interfaz sea fácilmente navegable y visualmente agradable para el usuario <sup>17</sup>.

### **7.3.2 Implementación de casos de uso**

Cada caso de uso fue desarrollado haciendo uso del análisis de requisitos para así garantizar que el sistema cumpla con todos los requisitos funcionales antes mencionados.

Cada caso de uso cuenta con sus pre condiciones y post condiciones, lo que ayudó a la hora de codificar las funciones del sistema.

En esta etapa del proyecto se construyó todo el software que junto con los sensores daría solución al Sistema de seguridad en equipos de alto costo Sseac.

## **7.4 FASE 4: Transición**

### **7.4.1 Desarrollo de pruebas de campo**

En esta etapa se invirtió gran cantidad de tiempo para hacer todo tipo de pruebas al sistema. El objetivo de las pruebas es encontrar errores en el código, mejorar funciones, añadir funcionalidades y adquirir información sobre el funcionamiento real de las redes inalámbricas.

Durante la etapa de pruebas se probaron diferentes formas de red para ver el comportamiento del sistema en diferentes casos.



## Prueba de campo #1 – Construcción de la red

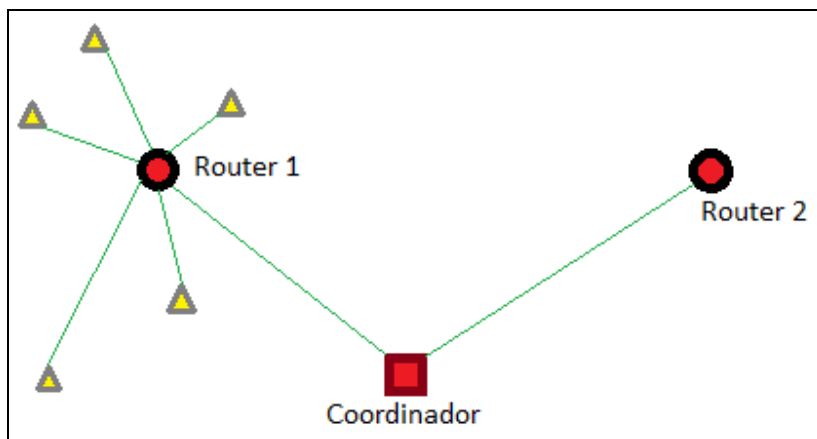
El objetivo de esta prueba era verificar que los Nodos se asocien correctamente con su respectivo Router padre. Es de vital importancia que al crear la red, los Nodos no se asocien a un Router diferente al que se encuentra dentro del recinto monitoreado. Esta prueba permitió corroborar que los Nodos se asocian al Router más cercano, que en la práctica siempre será el Router adecuado.

Para realizar esta prueba se utilizaron dos Nodos configurados en modo Router y cinco Nodos configurados como End Device. Ambos Routers se encontraban separados por una distancia de más de 10 metros, simulando que cada uno de ellos estuviera monitoreando un salón diferente donde se tienen varios dispositivos de alto costo.

En la primera parte de la prueba se organizaron los cinco Nodos finales cerca al Router #1 simulando estar en el salón 1. Se corrió el sistema Sseac y verificó en la tabla principal que en la lista de Nodos encontrados estuvieran los cinco asociados al Router #1 como Nodo Padre. Esta prueba se hizo 3 veces consecutivas y los resultados fueron siempre satisfactorios, mostrando los cinco Nodos asociados al Router #1.

En la figura 12 se muestra la configuración de la primera parte de la prueba.

**Figura 12.** Todos los Nodos asociados a un solo Router

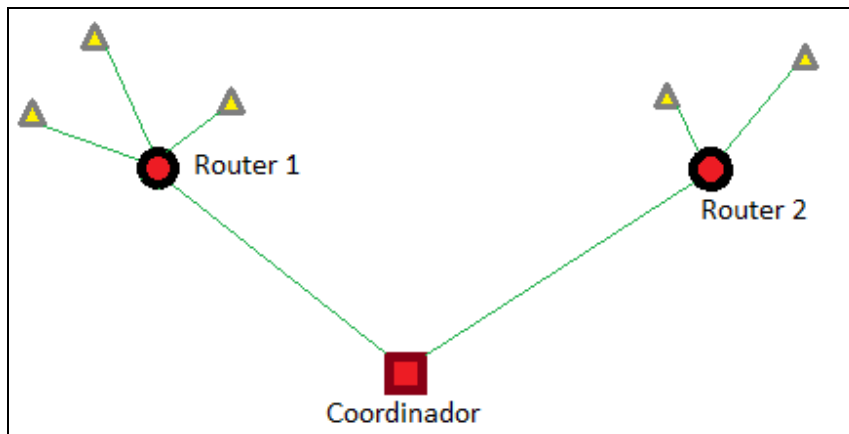


En la segunda parte de la prueba se distribuyeron los Nodos finales en tres y dos, colocando tres Nodos finales cerca del Router 1 y dos Nodos finales cerca del Router 2. Esto con motivo de verificar que los Nodos finales se asocien a su Router más cercano sin importar que haya varios Routers.

Después de distribuir los Nodos, se inició el sistema Sseac y se verificó en la tabla principal que el Router 1 tuviera asociados tres Nodos finales y el Router 2 tuviera asociados dos Nodos finales, lo que resultó correcto en tres corridas consecutivas de la prueba.

En la figura 13 se muestra la configuración de la segunda parte de la prueba

**Figura 13.** Nodos distribuidos asociados a su Router más cercano



## Prueba de campo #2 – Generación de alarmas

El objetivo de esta prueba era asegurar el funcionamiento del sistema de seguridad Sseac en el momento que un dispositivo es sacado del área límite de su Router asociado. Los resultados de esta prueba permitirían conocer si el sistema genera apropiadamente las alarmas y las reporta efectivamente al centro de seguridad vía email.

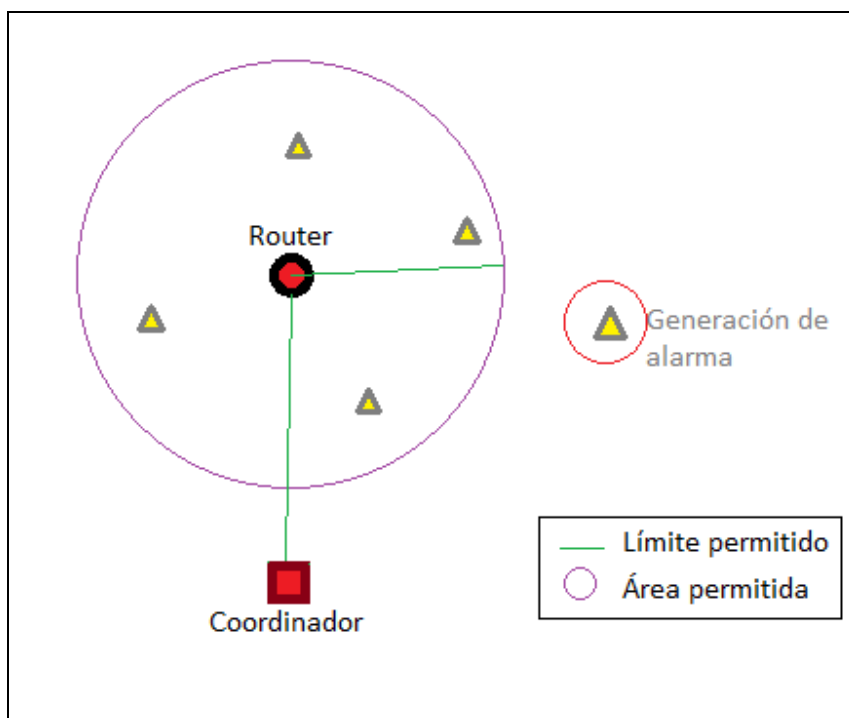
Para realizar esta prueba se utilizó un Nodo configurado en modo Router y cinco Nodos configurados en modo End Device. Se utilizó uno de los cinco Nodos finales para establecer el límite permitido del Router como se explica en el manual de usuario Sseac. Una vez establecido el límite permitido, se empezaron a desplazar los Nodos finales dentro de los límites permitidos para verificar que el radio del límite si se estableciera correctamente, eso permitió corroborar que el límite se cumple para los cinco dispositivos.

Después de probar el área permitida se probó el área no permitida para comprobar la generación de alarmas por el sistema Sseac, tomando cualquiera de los Nodos finales

y desplazándolo fuera de los límites permitidos. Esta prueba se realizó para cada uno de los cinco Nodos finales y el resultado fue satisfactorio. El sistema Sseac generó una alarma para cada evento, con su fecha, hora y el Nodo que generó la alarma. También envió correctamente y oportunamente un email al área de seguridad con los datos específicos de la alarma.

En la figura 13 se muestra la configuración utilizada en la prueba de funcionamiento de las alarmas.

**Figura 13.** Prueba de generación de alarmas



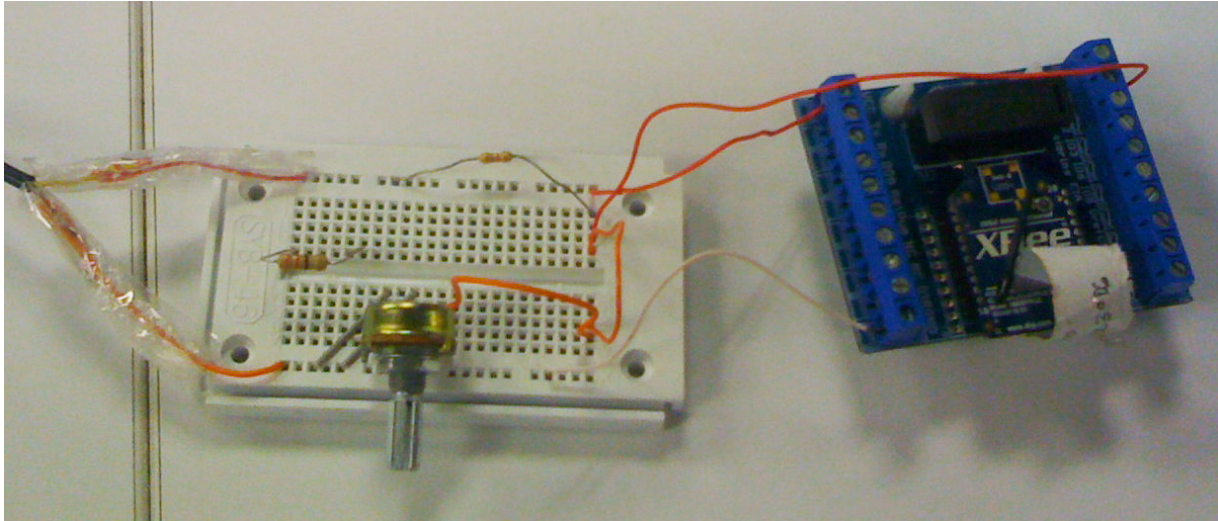
### Prueba de campo #3 – Medición de datos análogos

Esta prueba se realizó con el objetivo de verificar el funcionamiento de la lectura de datos análogos haciendo uso de un Nodo final configurado para recibir una señal análoga y transmitirla al sistema Sseac de manera inalámbrica.

Para esta prueba se utilizó un Nodo configurado en modo Router y un Nodo configurado en modo End Device con entrada análoga. Para la creación de las señales análogas se diseñó un circuito electrónico con un potenciómetro que entrega voltajes

entre 0 y 1.2 voltios. La salida de este circuito se conectó a la entrada análoga del Nodo final para ser enviada al sistema.

**Figura 14.** Circuito generación de señal análoga



Después de crear el circuito generador de señales, se inició el sistema Sseac para empezar a monitorear la entrada análoga del Nodo final. Se hicieron mediciones con el potenciómetro en varias posiciones y se analizaron los datos en Sseac, obteniendo valores entre 0 y 1023 que corresponden a 0 y 1.2 voltios que entrega el circuito. Los datos obtenidos en Sseac se compararon con mediciones tomadas usando un voltímetro y se llegó a la conclusión de que el sistema estaba funcionando correctamente, obteniendo los datos entregados por el circuito.

#### **7.4.2 Refinamiento de procesos y clases**

Las pruebas de campo proveen una excelente retroalimentación para el desarrollo del proyecto y gracias a esta se pueden ajustar procesos y funciones del software, llegando cada vez más a una solución más robusta y funcional.

En esta etapa todos los casos de uso fueron revisados minuciosamente para detectar errores o mejores soluciones y así garantizar que el sistema tenga procesos y funciones de alta calidad, mejorando la eficiencia y la estabilidad.

### **7.4.3 Documentación de códigos**

Una vez refinados todos los procesos y clases del sistema, se procedió a realizar una documentación de todo el código fuente, explicando detalladamente cada método y función dentro del programa.

Esto con el fin de realizar buenas prácticas de programación y a la vez cumplir con el requisito de que el software entregado sea escalable y que otras personas puedan continuar el trabajo realizado y modificar o añadir nuevas funciones al sistema, siempre con la intención de mejorar la solución entregada.

### **7.4.4 Creación de manual de usuario**

El último paso del proyecto fue la creación de un manual enfocado al usuario que le permita entender el funcionamiento de la aplicación al igual que la forma correcta de instalar y manejar el sistema.

En el manual se explica detalladamente los requisitos del sistema, las plataformas soportadas y el hardware necesario para su funcionamiento <sup>29</sup>.

Es un manual muy bien elaborado que lleva al usuario paso a paso por todos los aspectos del sistema haciendo uso de capturas de pantalla e imágenes ilustrativas.

Este manual puede ser encontrado en la sección de anexos.

## **8. SOLUCION ALTERNATIVA (TRABAJOS FUTUROS)**

La solución planteada en el documento al problema de construir un sistema que permita detectar variaciones del desplazamiento de un dispositivo en particular respecto a un punto de referencia, cumple con los requerimientos del problema.

Sin embargo, como solución alternativa se plantea un sistema en donde se determina la posición exacta de un dispositivo con un margen de error, para que de acuerdo a lo parametrizado se informe cuando se detecte un evento en el cual el dispositivo se encuentre en una posición no deseada.

### **8.1 Descripción de la Solución**

La solución determina la posición exacta de un dispositivo en específico en una red de sensores inalámbricos por medio de un algoritmo de triangulación.

Como requisito para llevar a cabo la triangulación, es necesario que en la red de sensores inalámbricos existan tres dispositivos cada uno en una posición fija pero diferente de la de los otros dos; dos dispositivos deben ser configurados como tipo router y el tercero como tipo coordinador.

Al determinar la posición de un dispositivo, el sistema toma los valores de las mediciones del RSSI desde cada uno de los dispositivos fijos hasta el dispositivo que se está monitoreando y luego basándose en los valores obtenidos realiza un algoritmo de triangulación.

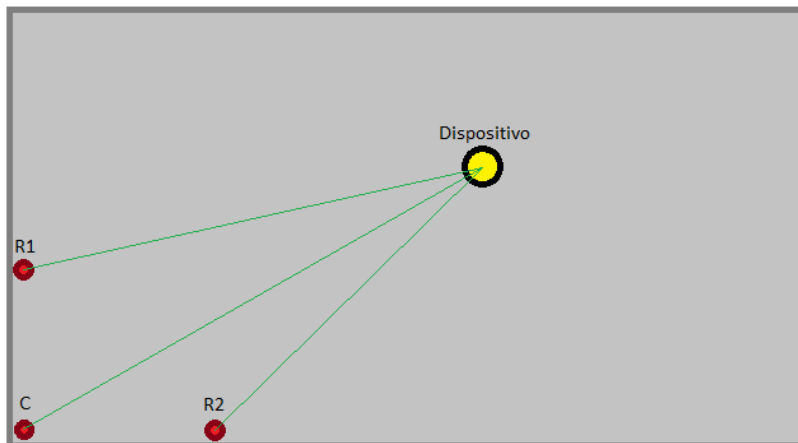
Los tres dispositivos fijos deben estar conectados a un computador, desde donde se ejecuta la aplicación que monitorea la posición y envía los informes de eventos no deseados de los dispositivos.

### **8.2 Descripción del Algoritmo de Triangulación**

El algoritmo de triangulación toma los tres valores de las mediciones del RSSI de los dispositivos fijos respecto al dispositivo monitoreado y busca el punto en donde se intersectan las tres circunferencias, formadas por el radio que describe la trayectoria desde el punto donde se encuentra cada dispositivo fijo (punto central de la

circunferencia), hasta el valor de la medición del RSSI del mismo respecto al dispositivo final (se tiene la magnitud pero no la dirección).

**Figura 15.** Caso ideal (Intersección exacta de los 3 puntos)



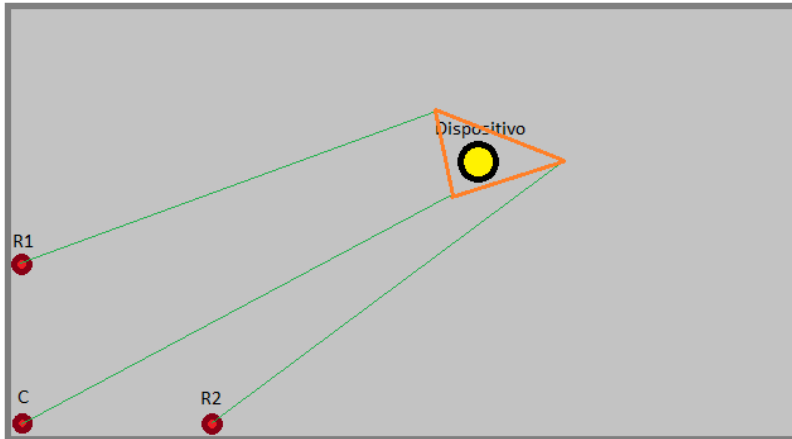
La intersección de las tres circunferencias mencionadas anteriormente es el punto en donde se encuentra localizado el dispositivo final monitoreado. Sin embargo, debido a que las mediciones del RSSI tienen cierto margen de error en sus valores, no es posible encontrar un punto exacto en donde se interseccionen las tres circunferencias.

Para lograr una aproximación al punto donde se interseccionan las tres circunferencias es necesario plantear un problema de optimización, más exactamente un problema de minimización, en donde el objetivo es encontrar el triángulo más pequeño cuyos vértices se encuentren en cada una de las circunferencias.

El método de solución es de minimización, y se conoce como GRG para ecuaciones no lineales.

Una vez obtenido el triángulo minimizado, se puede concluir que el dispositivo se encuentra en algún punto dentro del área del triángulo encontrado. Para lograr entregarle al usuario final el punto más aproximado de la ubicación del dispositivo, se hace uso de la fórmula del centroide del triángulo, que nos entrega el punto medio. Esta aproximación minimiza al máximo el margen de error del sistema y permite al usuario conocer la ubicación del dispositivo con el menor margen de error posible.

**Figura 16.** Caso real (Minimización para hallar triángulo)



### 8.3 Ventajas de la solución

- Permite conocer la posición aproximada del dispositivo
- Gracias a su precisión se evitan las alarmas por ruidos en las señales, ya que si una de las mediciones se ve afectada por interferencia, es poco probable que las 3 lo estén al mismo tiempo.
- Permite el uso de coordenadas (x, y) para definir los límites, esto hace que el sistema tenga mucho menos margen de equivocación a la hora de emitir una alarma.

### 8.4 Desventajas de la solución

- Mayores costos de implementación ya que se requiere de 2 módulos fijos adicionales.
- La escalabilidad del sistema se ve reducida pues por cada Nodo se requiere hacer 3 mediciones, lo que sobrecarga la red.
- Se incrementan los tiempos de respuesta del sistema.



## 8.5 Implementación de la solución

Esta solución no pudo ser implementada para el sistema de seguridad Sseac ya que para lograr realizar la triangulación es necesario conocer la medición del RSSI desde tres nodos base hacia el Nodo o dispositivo monitoreado, pero utilizando los módulos XBee Pro Serie 2 no es posible obtener estas tres mediciones ya que la única medición de RSSI que se puede obtener de un Nodo es la que existe entre el Nodo y su Router asociado o "Nodo Padre".

Lo que esto implica es que solo se puede conocer una de las tres mediciones necesarias, lo que imposibilita la triangulación.

Consultando en foros, principalmente el grupo de Google sobre XBee <sup>41</sup> se encontró una forma de lograr obtener las tres ediciones, creando un protocolo de comunicación diferente al estándar de Zigbee, que permita conocer la intensidad de la señal entre cualquier par de Nodos sin importar sus asociaciones. Esta solución requiere crear una red de tipo punto a punto.

Esta solución se puede considerar como un trabajo futuro, que puede ser desarrollado por futuros investigadores que deseen implementar la triangulación definida en este documento.

## 8.6 Desarrollos futuros

Como desarrollos futuros se podría buscar una conversión para pasar las medidas del RSSI dadas en decibelios a metros, la cual tenga en consideración las variaciones producidas por las barreras físicas como lo puede ser un muro u otro objeto en las mediciones del RSSI. También sería muy conveniente realizar un estudio que permita determinar el tiempo óptimo de dormido de los dispositivos finales, buscando maximizar el tiempo de vida de la pila de los mismos, pero siempre teniendo en cuenta que la funcionalidad del sistema no se vea seriamente afectada en cuanto a la frecuencia con la que se monitorean los dispositivos finales.

## 9. ANEXOS

### 9.1 MANUAL DE USUARIO



### TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCION .....</b>	<b>60</b>
1.1 ¿QUÉ ES SSEAC? .....	60
1.2 ¿CÓMO FUNCIONA SSEAC? .....	60
1.3 ¿POR QUÉ SE DESARROLLÓ? .....	60
1.4 NOTAS IMPORTANTES .....	61
<b>2. ANALISIS Y REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA .....</b>	<b>62</b>
2.1 PLATAFORMAS.....	62
2.2 REQUERIMIENTOS DEL EQUIPO.....	62
<b>3. INSTALACION .....</b>	<b>63</b>
3.1 INSTALACIÓN DE SSEAC EN WINDOWS:.....	63
3.2 INSTALACIÓN DE LOS CONTROLADORES PARA LOS MÓDULOS XBEE® .....	66
3.3 CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS XBEE USANDO X-CTU .....	67
3.3.1 Configuración del Nodo en modo "End Device" .....	67
3.3.1 Configuración del Nodo en modo "Router" .....	69
<b>4. FUNCIONAMIENTO .....</b>	<b>70</b>
4.1 LA VENTANA "TABLA" .....	70
4.1.1 Botón "Buscar Nodos" .....	70
4.1.2 La tabla de valores .....	71
4.1.2.1 Columna "ID Nodo" .....	72
4.1.2.2 Columna "Nombre Nodo".....	72
4.1.2.3 Columna "Dirección Nodo".....	72
4.1.2.4 Columna "Nombre Padre".....	72
4.1.2.5 Columna "Dirección Padre" .....	72
4.1.2.6 Columna "RSSI" .....	72
4.2 LA VENTANA "GRÁFICO" .....	73
4.3 LA VENTANA "CONFIGURACIÓN" .....	73
4.3.1 Listas desplegables.....	74
4.3.2 Límite Actual y Límite Nuevo.....	74
4.3.3 Botón Aplicar Cambios .....	74
4.3.4 Botón Desactivar/Activar dispositivo .....	75
4.3.5 Tiempo de muestreo Análogo .....	75
4.3.6 Puerto COM Coordinador.....	75
4.3.7 Período de inactividad.....	75

4.4 LA VENTANA "ZONAS" .....	75
<b>5. MANEJO DE LA BASE DE DATOS.....</b>	<b>77</b>
5.1 ACCESO A LA BASE DE DATOS .....	77
5.2 INGRESO DE NUEVOS USUARIOS A LA BASE DE DATOS .....	78
<b>6. GLOSARIO.....</b>	<b>79</b>
6.1 WSN .....	79
6.2 PAN ID .....	79
6.3 COORDINADOR ZIGBEE (ZC) .....	79
6.4 ENRUTADOR ZIGBEE (ZR).....	79
6.5 DISPOSITIVO FINAL ZIGBEE (ZED) .....	80
6.6 RSSI .....	80
6.7 DBM .....	80

## **1. INTRODUCCION**

### **1.1 ¿Qué es Sseac?**

Sseac es un Software de seguridad que permite monitorear la posición de un dispositivo en un espacio definido, haciendo uso de redes de sensores inalámbricos, calculando intensidades de señal (RSSI) entregadas por módulos inalámbricos XBee®. Para conocer más sobre la tecnología XBee® puede visitar el sitio [www.digi.com](http://www.digi.com)

### **1.2 ¿Cómo funciona Sseac?**

El sistema hace uso de módulos inalámbricos XBee® para medir la intensidad de la señal entre un par de Nodos (Un Nodo Final y un Nodo Padre) y por medio de esta detectar cuando un nodo ha sido desplazado a una zona no permitida o fuera de los límites establecidos por el administrador del sistema.

El sistema cuenta con Nodos base, un Zigbee Coordinador (ZC) y uno o muchos Enrutadores (ZE), que se encuentran ubicados en posiciones fijas cuyas posiciones son conocidas. Por lo general existe un enrutador por cada zona o salón que se desea monitorear. Cada uno de estos enrutadores está en capacidad de calcular la intensidad de la señal hacia cualquier otro Nodo ó Zigbee Dispositivo Final (ZDF) cuya potencia de señal se desea conocer.

Cada zona que se desea monitorear lleva asignado un límite de potencia permitido, asignado por el administrador. Esto permite crear un radio de operación, que en caso de ser superado generará una señal de alarma en el sistema por violación de los límites permitidos.

### **1.3 ¿Por qué se desarrolló?**

El software Sseac se desarrolló en la Universidad EAFIT por los estudiantes de Ingeniería de Sistemas Mario Jaramillo Jaramillo, Sandra Patricia Ospina y Juan Camilo Villada con la ayuda del asesor Wilson Medina como requisito de grado y con la intención de poner en práctica todos los conocimientos adquiridos durante la carrera aplicados en una idea novedosa, funcional y viable.

#### **1.4 Notas importantes**

El presente documento contiene información sobre requerimientos técnicos, seguridad, especificaciones técnicas y funcionamiento del sistema de seguridad Sseac.

Este manual le ayudará a entender y manejar todos los aspectos del Sistema de Seguridad Sseac haciendo uso de capturas de pantalla para un mejor entendimiento.

## **2. ANALISIS Y REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA**

Sseac está desarrollado utilizando el lenguaje de programación Java® lo que le permite instalar y ejecutar Sseac en computadores personales que usen sistema operativo Windows® y que tengan las especificaciones listadas a continuación. Para mayor información sobre recomendaciones referentes a los sistemas operativos Windows® consulte los respectivos manuales de usuario.

### **2.1 Plataformas**

Windows 2000, XP, Vista, 7

### **2.2 Requerimientos del equipo**

- Un procesador de 2000 MHz (recomendado Dual Core o más rápido).
- 50 MB de espacio en su disco duro.
- 512 MB de memoria RAM (le recomendamos 1 GB o más).
- Una conexión a internet para enviar datos estadísticos a una base de datos externa.
- Unidad lectora de CD (sólo para instalar Sseac desde un CD).
- Resolución de pantalla de 1024x768 o mayor.
- Entorno Java (JRE) versión 1.4 o mayor.
- XBee Api para Java.
- 1 puerto USB disponible.

### 3. INSTALACIÓN

Sseac fue desarrollado usando el lenguaje de programación Java por lo que requiere del entorno Java para funcionar. El CD de instalación de Sseac para Windows le provee el instalador del entorno Java 2. Además incluye los controladores de dispositivo para los Exploradores XBee utilizados en la ejecución del sistema.

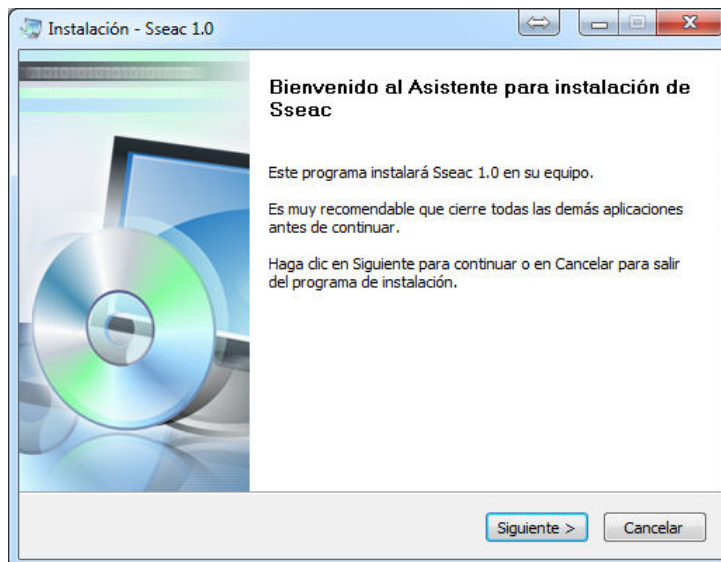
El asistente de instalación le presentará la opción de instalar un ícono de acceso directo a Sseac en el menú Inicio o sobre su escritorio, según requiera. Puede que ya tenga el entorno Java instalado, de no ser así es necesario que lo instale antes de instalar Sseac.

#### 3.1 Instalación de Sseac en Windows:

1. Inserte el CD de Sseac en su lectora de CD-ROM o ejecute el programa de instalación que le haya sido entregado. Se abrirá el instalador de Sseac.

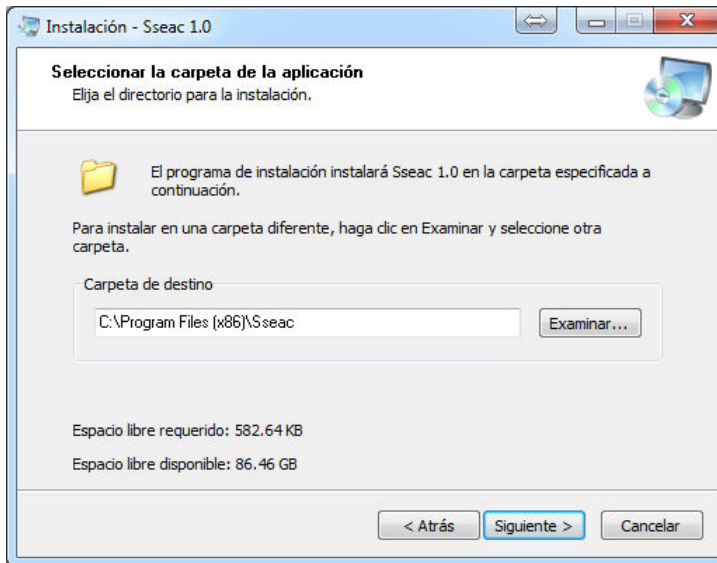
**Nota:** Si el programa de instalación no se inicia automáticamente al insertar el CD-ROM, haga doble clic en el icono 'Mi PC' sobre su escritorio, abra la unidad de CD y haga doble clic sobre el archivo llamado InstaladorSseac.exe.

**Figura 1.** Pantallazo inicial de instalación



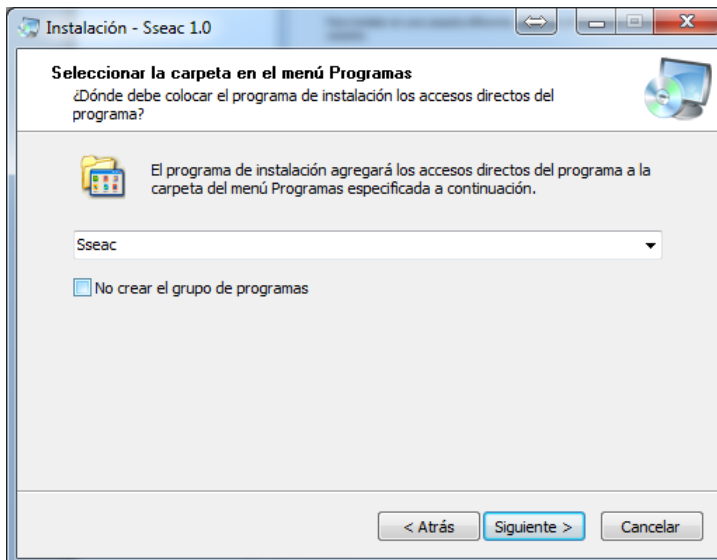
2. Hacer clic en "Siguiente" para continuar con la instalación.

**Figura 2.** Selección de ruta de instalación



3. Haga clic en "Examinar" para buscar la carpeta donde desea instalar Sseac.
4. Una vez seleccionada la ruta destino, haga clic en "Siguiente" para continuar con la instalación.

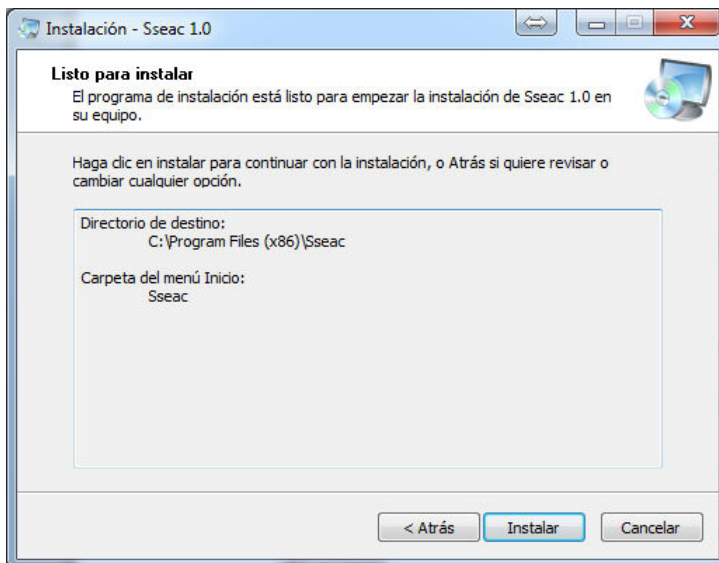
**Figura 3.** Selección de carpeta en Menú Inicio



5. Seleccionar la carpeta en la cual desea los accesos directos del programa dentro del menú Inicio. Si no desea una carpeta en el menú Inicio seleccione la casilla "No crear el grupo de programas".
6. Haga clic en "Siguiente" para continuar con la instalación.

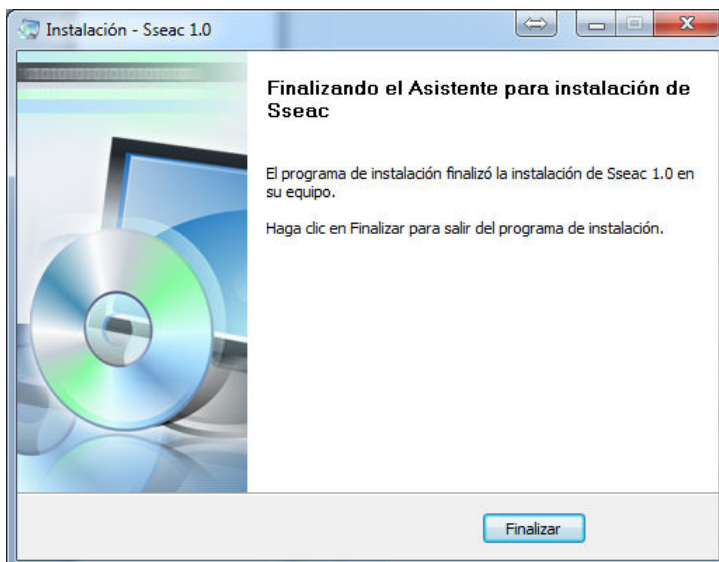


**Figura 4.** Revisión de la información de instalación



7. Revisar que toda la información sea correcta, de lo contrario hacer clic en “Atrás” para realizar cualquier cambio.
8. Una vez revisados los datos de instalación, haga clic en “Instalar” para iniciar la instalación de Sseac en su sistema.

**Figura 5.** Finalización de la instalación



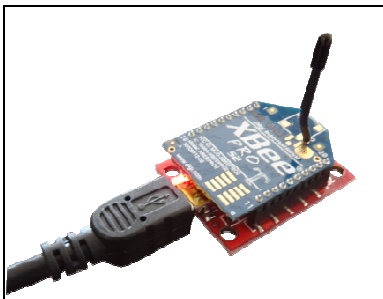
9. La instalación de Sseac se ha terminado con éxito.
10. Haga clic en “Finalizar” para salir de la instalación.

### 3.2 Instalación de los controladores para los módulos XBee®

El sistema de seguridad Sseac requiere para su funcionamiento un módulo XBee® Pro Serie 2 configurado en su computador como “Convertidor USB a Serial” el cual tendrá un puerto COM asignado y conocido. Este módulo estará incluido con el sistema Sseac.

Este módulo estará configurado como un Zigbee Coordinador (ZC)

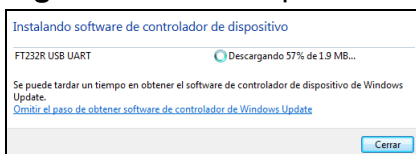
**Figura 6.** Módulo XBee® conectado vía USB



**Fuente:** Los autores

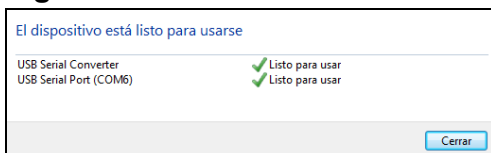
Para instalar el nodo coordinador en su sistema operativo Windows® debe conectar el módulo usando el cable USB entregado con el sistema a su computador. El sistema deberá reconocer un nuevo dispositivo encontrado e iniciar el asistente para la instalación de nuevo hardware como lo muestra la siguiente figura:

**Figura 7.** Nuevo dispositivo encontrado



Su sistema operativo Windows® reconoce automáticamente el dispositivo y descarga automáticamente los controladores desde Windows Update®.

**Figura 8.** Controladores instalados



Si no cuenta con una conexión a internet, podrá encontrar los controladores dentro del CD\_ROM de Sseac.

### 3.3 Configuración de los módulos XBee usando X-CTU

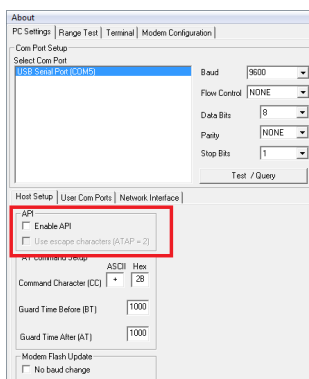
X-CTU es una herramienta desarrollada por Digi® que permite configurar los nodos XBee® de tal manera que puedan ser utilizados con el sistema Sseac. Para mayor información sobre X-CTU será entregado en el CD-Rom de Sseac una copia del manual de usuario de X-CTU.

#### 3.3.1 Configuración del Nodo en modo “End Device”

Esta configuración se utilizará para los nodos que se instalarán en los dispositivos que se van a monitorear. Estos nodos se alimentarán con baterías.

Al abrir el X-CTU iniciará en la ventana “PC Settings” donde debe dejar todo sin modificaciones como se muestra en la figura 9. Seleccione el puerto COM del nodo que desee configurar.

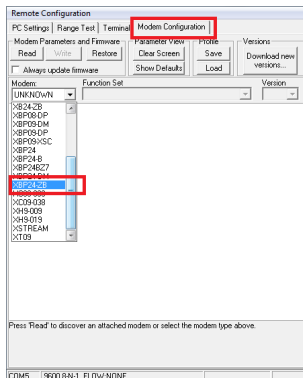
**Figura 9.** Pantalla inicial de X-CTU



**Fuente:** Los autores

Luego de seleccionar el nodo hacer clic en la pestaña de “Modem Configuration” y seleccionar el tipo de módem en el menú desplegable, donde se debe elegir “XBP24-ZB” y en el cuadro desplegable se debe elegir “Zigbee End Device API”. Una vez seleccionado el tipo de módem, hacer clic en el cuadro “Always update firmware” y por último hacer clic en el botón “Write”.

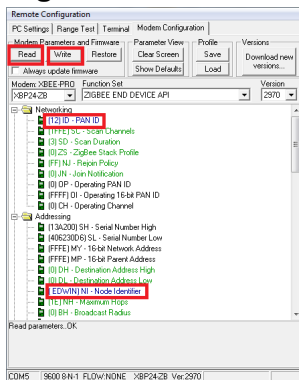
**Figura 10.** Parámetros para configurar nodo



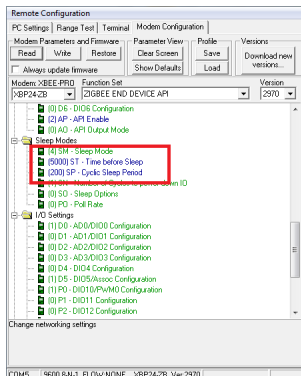
**Fuente:** Los autores

Una vez configurado el Nodo como End Device, debe configurar algunas propiedades del nodo, para esto regrese a la pantalla inicial y seleccione las casillas “Enable API” y “Use escape characters”. Después volver a la pantalla de “Modem Configuration” y hacer clic en el botón “Read” para cargar las propiedades del Nodo. Ahora configurar los parámetros “PAN ID”, “NODE IDENTIFIER” y los parámetros de “Sleep” como se muestra en las figuras 11 y 12.

**Figura 11.** Parámetros de identificación



**Figura 12.** Parámetros de ahorro de energía



**Fuente:** Los autores

Por último hacer clic en el botón “Write” para introducir los nuevos parámetros al Nodo. Asegúrese de que la casilla “Always update firmware” no esté habilitada en el último paso.

En este momento su Nodo está listo para ser utilizado en el sistema Sseac.

Los valores de ahorro de energía pueden ser modificados de acuerdo con los requerimientos propios del usuario.

### 3.3.1 Configuración del Nodo en modo “Router”

Esta configuración se utilizará para los nodos que se instalarán fijamente en cada uno de los recintos que se desean monitorear. Estos nodos deben estar alimentados con una fuente de energía continua.

Para configurar un nodo en modo Router siga los pasos anteriores, seleccionando como tipo de módem “Zigbee Router API” y omitiendo la configuración de los parámetros “Sleep” mostrados en la figura 12.

## 4. FUNCIONAMIENTO

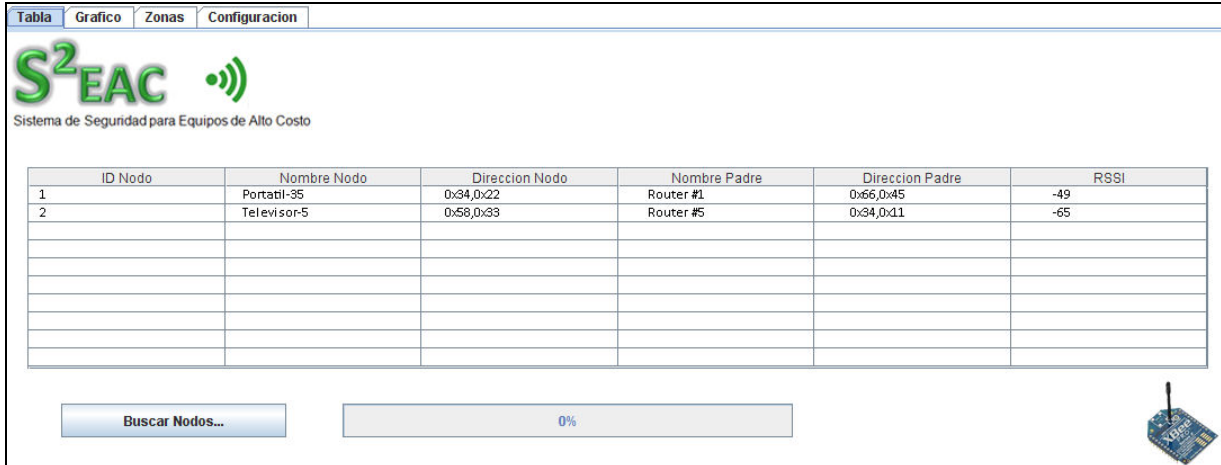
En esta sección del manual se explican todos los elementos de la interfaz gráfica de Sseac y la forma correcta de manejar el programa.

Sseac está dividido en 4 ventanas principales llamadas Tabla, Gráfico, Configuración y Zonas. Cada una de ellas le entrega información del sistema la cual será detallada a continuación.

### 4.1 La ventana “Tabla”

Esta es la ventana principal de Sseac, en ella se encuentra el botón de “Buscar Nodos” el cual se encarga de buscar todos los dispositivos de la red inalámbrica e iniciar el sistema. Adicionalmente se puede ver la tabla de valores en donde se muestran las mediciones de intensidad de señal de cada nodo encontrado junto con su dirección y cuál es su enrutador asociado con nombre y dirección.

**Figura 13.** Pantalla principal de Sseac



The screenshot shows the main window of the Sseac application. At the top, there are four tabs: 'Tabla', 'Grafico', 'Zonas', and 'Configuracion'. Below the tabs is the Sseac logo and the text 'Sistema de Seguridad para Equipos de Alto Costo'. The main area contains a table with the following data:

ID Nodo	Nombre Nodo	Direccion Nodo	Nombre Padre	Direccion Padre	RSSI
1	Portatil-35	0x34,0x22	Router #1	0x66,0x45	-49
2	Televisor-5	0x58,0x33	Router #5	0x34,0x11	-65

Below the table, there is a button labeled 'Buscar Nodos...' and a progress bar showing '0%'. In the bottom right corner, there is a small icon of a wireless network card.

**Fuente:** Los autores

#### 4.1.1 Botón “Buscar Nodos”

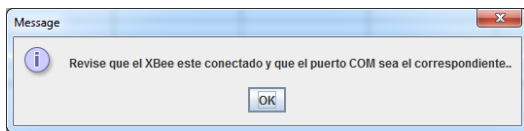
Este botón es el encargado de iniciar el funcionamiento del sistema. Una vez oprimido, el sistema realiza una búsqueda de los nodos que se encuentren dentro de la misma PAN ID (véase el glosario de términos) y los lista en la tabla con su respectivo número

de identificación, nombre, dirección de 16 bits, nombre de su padre, dirección de su padre y su respectiva medición de RSSI. Después de terminar la búsqueda de nodos el sistema inicia la medición de RSSI entre los Routers y los módulos encontrados en la red. Estas mediciones se realizan cada determinado tiempo, dependiendo del tiempo con que se configuren los Nodos para dormir.

Luego de encontrar los nodos, el sistema realiza una actualización de la base de datos e inserta los nodos que no existan previamente. También consulta el estado de los nodos para verificar si están activos o inactivos.

Si el botón “Buscar Nodos” es oprimido nuevamente, el sistema se reinicia y realiza de nuevo todo el proceso mencionado anteriormente.

**Figura 16.** Mensaje de error por puerto incorrecto



**Fuente:** Los autores

En caso de recibir un mensaje de error (véase figura 16) debe revisar su puerto e intentar nuevamente la búsqueda de Nodos.

#### 4.1.2 La tabla de valores

En esta tabla se puede ver la lista de nodos finales (véase el glosario de términos) y sus respectivas mediciones de potencia de señal con respecto a su Router asociado. La tabla está dividida en 6 columnas que serán explicadas a continuación.

**Figura 14.** Tabla de valores

ID Nodo	Nombre Nodo	Direccion Nodo	Nombre Padre	Direccion Padre	RSSI
1	TELEVISOR	0xc1,0x61	ROUTER2	0x9f,0xa1	-40.0
2	WILSON	0x53,0x6e	ROUTER2	0x9f,0xa1	-39.0

**Fuente:** Los autores

#### **4.1.2.1 Columna “ID Nodo”**

En esta columna se muestra el identificador del dispositivo dentro de la red, este número es único para cada dispositivo y no se repite. El identificador se asigna en el momento que el sistema hace la búsqueda de Nodos y a medida que va encontrando les asigna un ID.

#### **4.1.2.2 Columna “Nombre Nodo”**

En esta columna se muestra el nombre de cada Nodo. Los nombres de los Nodos son asignados manualmente a la hora de adicionar un dispositivo al sistema de seguridad. Se recomienda asignar nombres que caractericen al dispositivo asignado a ese Nodo como se muestra en la Figura 14. El nombre puede ser cualquiera y se aconseja que sea único.

#### **4.1.2.3 Columna “Dirección Nodo”**

En esta columna se muestra la dirección de 16 bits (véase glosario de términos) asociada a el correspondiente Nodo. Esta dirección es única dentro de la red y permite el enrutamiento de paquetes entre Nodos.

#### **4.1.2.4 Columna “Nombre Padre”**

En esta columna se muestra el nombre del Router asociado al Nodo, esto permite al usuario conocer la asociación de Nodos con Routers.

#### **4.1.2.5 Columna “Dirección Padre”**

En esta columna se muestra la dirección de 16 bits del Router asociado al Nodo.

#### **4.1.2.6 Columna “RSSI”**

En estas columna se muestra el RSSI (véase glosario de términos) o intensidad de la señal entre los nodos finales y el Router asociado. Esta medida está dada en dbm (véase glosario de términos) y es un valor negativo pues entre más alto sea el valor de la tabla menor será la intensidad de la señal.

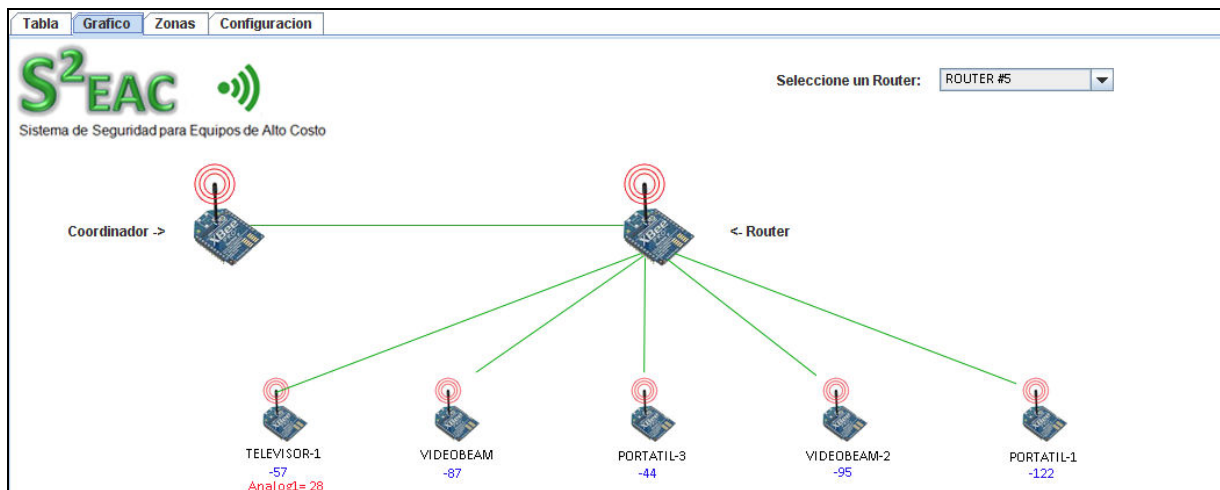


## 4.2 La ventana “Gráfico”

La ventana Gráfico le permite al usuario seleccionar un Router específico y monitorear la intensidad de la potencia con respecto a sus Nodos asociados. En esta ventana se puede ver de forma visual la configuración del sistema Sseac y permite entender fácilmente los valores de la tabla. También se puede ver información más específica del Router seleccionado como lo son sus Nodos asociados, sus nombres y valores de potencia.

En esta ventana también se podrá ver el valor recibido por alguno de los Nodos en una de sus entradas análogas. Este número se muestra en color rojo y su valor es calculado cada cierto tiempo de acuerdo a la configuración del sistema.

**Figura 17.** Ventana “Gráfico”



**Fuente:** Los autores

## 4.3 La ventana “Configuración”

En esta ventana se encuentran todos los parámetros configurables del sistema. Para realizar un cambio de límites o activar y desactivar Nodos, se debe seleccionar un Router y un Nodo en las listas desplegadas.

La ventana Configuración le permite al usuario configurar los límites permitidos para cada Zona o Router, haciendo uso de cualquier Nodo que esté asociado al Router seleccionado, para tomar una medición precisa de la señal máxima que se desea permitir en esa Zona.

En esta ventana también se configuran los parámetros de tiempos de muestreo y el puerto COM del coordinador de Sseac. A continuación se explica más detalladamente cada uno de los elementos de esta ventana.

**Figura 18.** Ventana de Configuración



#### 4.3.1 Listas desplegadas

En la ventana Configuración encontrará dos listas desplegadas, una con los nombres de los Routers del sistema y otra con los Nodos asociados al Router seleccionado. Al seleccionar uno de los Nodos, el valor del límite Nuevo cambiará por la última medición de RSSI del Nodo seleccionado. Esto le ayudará a tomar una medida precisa de los límites permitidos para el Router seleccionado.

#### 4.3.2 Límite Actual y Límite Nuevo

Estos campos de texto le permiten especificar los valores de RSSI que usted considera seguros para su sistema. En el campo Actual se muestra la medida RSSI actualmente permitida por el Router seleccionado. En el campo Nuevo se muestra la última medida recibida del Nodo seleccionado, esto le ayudará a seleccionar un límite adecuado y preciso.

#### 4.3.3 Botón Aplicar Cambios

Al hacer clic en este botón se actualizarán los límites del Router seleccionado, con el valor que se encuentre en el campo de texto "Límite Nuevo".

#### **4.3.4 Botón Desactivar/Activar dispositivo**

Al hacer clic en este botón, se cambiará el estado del Nodo seleccionado en las listas desplegadas. Si el Nodo se encuentra activo, se cambiará a inactivo y viceversa. Para cambiar el estado de un Nodo usted debe escribir su usuario y contraseña de administrador.

#### **4.3.5 Tiempo de muestreo Análogo**

En este campo de texto usted debe introducir la cantidad de tiempo en minutos que el sistema esperará para recibir el siguiente valor de la entrada análoga de los nodos que cuenten con algún tipo de sensor conectado a alguna de las entradas análogas del Nodo.

#### **4.3.6 Puerto COM Coordinador**

En este campo de texto usted debe introducir el puerto COM (ver glosario de términos) que su sistema operativo ha asociado al módulo XBee conectado por USB a su computador. Es indispensable introducir el puerto correcto para el correcto funcionamiento del sistema.

#### **4.3.7 Período de inactividad**

En este campo de texto usted debe introducir la cantidad de tiempo en segundos que usted desea que los Nodos estén inactivos o dormidos. El valor mínimo es de 1 segundo y el máximo es de 28 segundos. Recuerde que la cantidad de consumo de energía de los Nodos es reducida notablemente durante su inactividad, haciendo así que la batería tenga una mayor duración.

### **4.4 La ventana “Zonas”**


Esta ventana es de uso informativo y permite al administrador del sistema seleccionar un Router o Zona y ver los eventos que se hayan generado en esa zona a través del tiempo, con su respectiva fecha y Nodo asociado al evento o alarma.

En esta zona también se puede ver los Nodos asociados a un Router seleccionado y su estado en el sistema.

Toda esta información es almacenada en la base de datos del sistema, permitiendo así conservar los datos sin importar que el sistema sea reiniciado o se produzca algún fallo.

**Figura 19.** Ventana Zonas


Tabla Grafico **Zonas** Configuracion

**S<sup>2</sup>EAC**   
Sistema de Seguridad para Equipos de Alto Costo

Seleccione un Router: ROUTER #8

Nodo	Eventos
Televisor-2	2011-05-17 16:44:33

Nodo	Estado
Televisor-2	Activo
VideoBeam-9	Activo
Portatil-33	Inactivo



**Fuente:** Los autores

## 5. MANEJO DE LA BASE DE DATOS

Sseac cuenta con una base de datos que le permite almacenar información a través del tiempo para mantener un registro de todo lo que pasa en el sistema.

Esta base de datos está implementada en SQL y puede ser accedida vía Web haciendo uso de la herramienta phpMyadmin.

En esta sección se explicará cómo acceder a la base de datos y adicionar usuarios o registros.

### 5.1 Acceso a la Base de Datos

Para acceder a la base de datos de Sseac debe usar un navegador de internet, dirigiéndose a la dirección `http://localhost/phpmyadmin`. Una vez estando en la herramienta phpMyadmin, debemos seleccionar en la parte de la izquierda nuestra base de datos llamada sseacdb como se muestra en la siguiente figura.

Figura 20. Pantalla principal de phpMyadmin

Table	Action	Records	Type	Collation	Size	Overhead
estado		2	InnoDB	utf8_general_ci	32.0 KiB	-
eventos		8	InnoDB	utf8_general_ci	16.0 KiB	-
nodos		2	InnoDB	utf8_general_ci	16.0 KiB	-
router-nodos		2	InnoDB	utf8_general_ci	64.0 KiB	-
routers		2	InnoDB	utf8_general_ci	16.0 KiB	-
usuarios		0	InnoDB	latin1_swedish_ci	16.0 KiB	-
6 table(s) Sum		16	InnoDB	latin1_swedish_ci	160.0 KiB	0 B

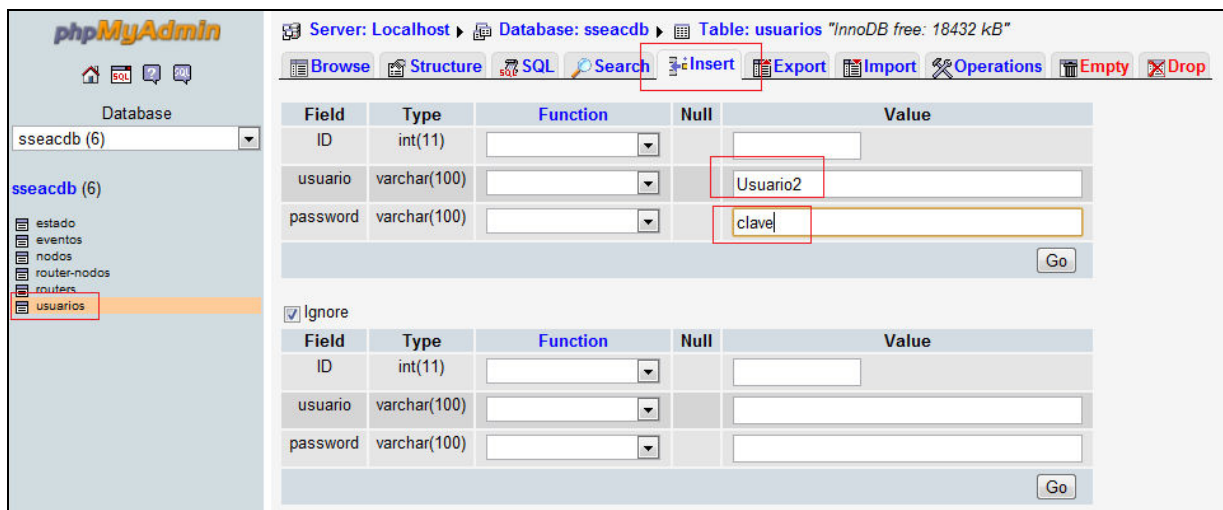
Una vez seleccionada la base de datos podemos ver todas las tablas que la componen y navegar a cada una para ver sus registros e insertar nuevos registros manualmente (no recomendado).

La única operación recomendada de inserción dentro de la base de datos es ingresar nuevos usuarios. Estos usuarios tendrán una contraseña que les permitirá hacer cambios dentro del sistema.

## 5.2 Ingreso de nuevos usuarios a la Base de Datos

Para ingresar un nuevo usuario a la base de datos se debe hacer clic en la tabla “usuarios” y seleccionar la pestaña “Insert”. Luego se deben llenar los campos de usuario y password como se muestra en la siguiente figura.

Figura 21. Tabla de usuarios



The screenshot shows the phpMyAdmin interface for the 'usuarios' table. The 'Insert' tab is selected, and the form contains the following data:

Field	Type	Function	Null	Value
ID	int(11)			
usuario	varchar(100)			Usuario2
password	varchar(100)			clave

Below the main form, there is an 'Ignore' checkbox and a second, empty form for comparison.

Al finalizar de ingresar los datos del nuevo usuario, se debe hacer clic en el botón “Go” para ingresar el registro a la base de datos.

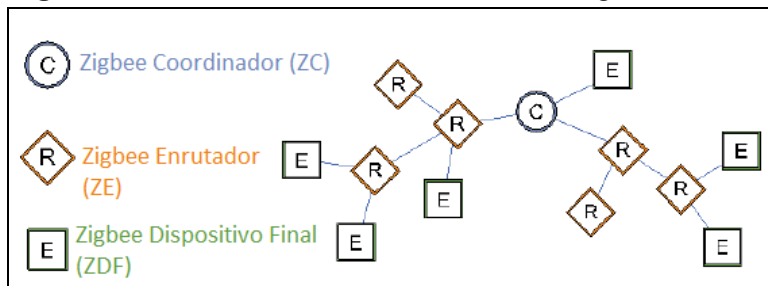
No se recomienda ingresar registros en ninguna otra tabla de la base de datos ya que todo esto lo realiza el sistema automáticamente.

## 6. GLOSARIO

### 6.1 WSN

De la abreviatura en inglés *Wireless Sensor Network*. Una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) se compone de sensores autónomos espacialmente distribuidos con el objetivo de monitorear condiciones físicas o ambientales, tales como temperatura, sonido, vibración, movimiento o humedad, y pasar cooperativamente sus datos a través de la red a una ubicación principal.

**Figura 19.** Modelo de una WSN usando Zigbee XBee



**Fuente:** [www.digi.com](http://www.digi.com) (Manual XBee Pro Serie 2)

### 6.2 PAN ID

Es el identificador de una red personal.

### 6.3 Coordinador Zigbee (ZC)

Es el dispositivo más capaz; el coordinador forma la raíz del árbol de red y puede tender un puente a otras redes. Por cada red solo puede haber exactamente un coordinador, ya que es el dispositivo que crea la red originalmente. Está en capacidad de almacenar información sobre la red, e incluso actúa como centro de confianza y repositorio para claves de seguridad.

### 6.4 Enrutador Zigbee (ZR)

Así como puede hacer la función de aplicación, un enrutador puede actuar como actuar como enrutador intermedio, pasando datos de otros dispositivos.

## **6.5 Dispositivo Final Zigbee (ZED)**

Contiene suficiente funcionalidad para hablar con su nodo padre (ya sea un coordinador o un enrutador); no puede transmitir datos de otros dispositivos.

## **6.6 RSSI**

RSSI es la abreviatura en inglés de *Received Signal Strength Indicator*, Indicador de fuerza de señal de recepción. Este término se usa como el nivel de potencia de las señales recibidas en las redes inalámbricas (por ejemplo en WIFI o WSN). El RSSI tiene como unidad de medida los dBm (decibelios) y se entregan en valores negativos. Cuanto más alto sea el número (negativo) mejor será la intensidad de la señal.

## **6.7 dBm**

El dBm es una unidad de medida utilizada principalmente en telecomunicaciones para expresar la potencia absoluta mediante una relación logarítmica. El dBm se define como el nivel de potencia en decibelios en relación a un nivel de referencia de 1 mW.



## 10. CONCLUSIONES

Según los hallazgos de la investigación se puede decir que:

- Se realizó una extensa investigación sobre las redes de sensores inalámbricos, llegando a conocer a fondo los conceptos más relevantes sobre esta tecnología, que permitirían tomar decisiones importantes a la hora de la solución del problema.
- Sseac utiliza redes de sensores inalámbricos para su funcionamiento. Se usaron módulos Digi XBee Pro serie 2 para el desarrollo del proyecto por su bajo costo, escalabilidad, flexibilidad y fácil implementación.
- La aplicación Seeac permite detectar variaciones del desplazamiento de un dispositivo en particular respecto a un punto de referencia, haciendo uso de la intensidad de señal de transmisión entre 2 Nodos, permitiendo detectar anomalías y reportarlas oportunamente.
- Seeac tiene integrada una alarma de seguridad, la cual envía un correo electrónico al área de seguridad de la universidad o de la organización en caso de desplazamiento no deseado de alguno de los equipos monitoreados.
- Las tecnologías inalámbricas como lo es WSN (Wireless Sensor Network), pueden ser utilizadas en muchos de los campos de la vida cotidiana, como una forma de innovación debido a que estas tecnologías son de vanguardia, además no requieren en muchos casos de gran inversión económica, lo que facilita la implementación en muchas organizaciones.
- Se logró diseñar de forma práctica una interfaz gráfica que permite la interacción de los usuarios finales con la aplicación de forma sencilla e intuitiva.
- En las pruebas de campo se hicieron cálculos respecto a la duración de la pila para los dispositivos finales, obteniendo que, para una pila de 2000 miliamperios, si el dispositivo final se duerme durante 18 segundos y transmite durante 2 segundos, la pila duraría aproximadamente 18300 horas, esto equivale a 762 días. Este cálculo se hizo usando corriente de transmisión de 45 miliamperios y corriente al dormir de 0.1 miliamperios.

- Para llevar a cabo la solución alternativa planteada con la triangulación, es necesario redefinir el protocolo de comunicaciones de ZigBee para permitir obtener el RSSI entre cualquier par de dispositivos pertenecientes a la misma red, esto debido a que el RSSI solo toma como valor el último salto (Hop) en la red, es decir, si se quiere tomar el RSSI entre dos dispositivos que no están conectados directamente, sino que la trama debe pasar por otros dispositivos, para comunicarse entre sí, el RSSI devuelve únicamente el valor del último salto en la red y no el valor de todo el recorrido hasta llegar al dispositivo destino.
- El sistema construido permite desactivar y activar nuevamente los dispositivos que por algún motivo se desee desplazar de su posición de referencia, esto controlado mediante un usuario y contraseña.
- Dadas las características de latencia de las redes ZigBee y las restricciones asociadas al periodo de dormido de un dispositivo final, el monitoreo de las entradas análogas en los dispositivos finales debe hacerse como mínimo cada minuto.

## BIBLIOGRAFIA

### Libros.

1. Dargie, W. and Poellabauer, C., "Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice", John Wiley and Sons, 2010 ISBN 978-0-470-99765-9, pp. 168–183, 191–192.
2. Sohraby, K., Minoli, D., Znati, T. "Wireless sensor networks: technology, protocols, and applications, John Wiley and Sons", 2007 ISBN 978-0-471-74300-2, pp. 203–209
3. Adam Osborne, An Introduction to Microcomputers Volume 1: Basic Concepts, Osborne-McGraw Hill Berkeley California USA, 1980 ISBN 0-931988-34-9 pp. 116-126
4. Schönung, A.; Stemmler, H. (August 1964). "Geregelter Drehstrom-Umkehrantrieb mit gesteuertem Umrichter nach dem Unterschwingungsverfahren". BBC Mitteilungen (Brown Boveri et Cie) 51 (8/9): 555–577

### Revistas y/o Documentos.

5. Johnson, Roger A., Advanced Euclidean Geometry, Dover, 2007 (orig. 1929): p. 173, corollary to #272.
6. Ian F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey," Computer Networks Elsevier Journal, Vol. 38, No. 4, pp. 393–422, March 2002.
7. Tiwari, Ankit et. al, Energy-efficient wireless sensor network design and implementation for condition-based maintenance, ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)
8. Commsdesign.com/showArticle.jhtml?articleID=192200323 ZigBee: Wireless Technology for Low-Power Sensor Networks
9. Adams, Jon; Bob Heile (2005-10). «Busy as a ZigBee». [IEEE].
10. Digi International Inc, XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules. [http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976\\_G.pdf](http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976_G.pdf)
11. "Definition of: API". PC Magazine. 1996.
12. the General Services Administration document "Federal Standard 1037C" (in support of MIL-STD-188)

13. Drew, Jim, Energy Harvester Produces Power from Local Environment, Eliminating Batteries in Wireless Sensors. <http://cds.linear.com/docs/Design%20Note/DN483.pdf>
14. [http://www.fcc.gov/oet/ea/presentations/files/oct09/ModularTransmittersReview\\_%20Oct09\\_JD\\_TH.pdf](http://www.fcc.gov/oet/ea/presentations/files/oct09/ModularTransmittersReview_%20Oct09_JD_TH.pdf)
15. M. Cover, Thomas; Joy A. Thomas (1991). Elements of Information Theory. Wiley-Interscience. ISBN 0471062596.
16. Schollmeier, Rüdiger, A Definition of Peer-to-Peer Networking for the Classification of Peer-to-Peer Architectures and Applications, Proceedings of the First International Conference on Peer-to-Peer Computing, IEEE (2002).
17. "Window manager Definition". PC Magazine. Ziff Davis Publishing Holdings Inc.. Retrieved 12 November 2008.
18. Chaffee, Alex, (2000-08-17). "What is a web application (or "webapp")?". Retrieved 2008-07-27.

### **Referencias Digitales.**

19. <http://code.google.com/p/xbee-arduino/>  
[citado en Febrero de 2011]
20. [www.zigbee.org/About/AboutAlliance/TheAlliance.aspx](http://www.zigbee.org/About/AboutAlliance/TheAlliance.aspx)  
[citado en Marzo de 2011]
21. [sensor-networks.org/index.php?page=1010510536](http://sensor-networks.org/index.php?page=1010510536)  
[citado en Marzo de 2011]
22. [www.xbee.cl/](http://www.xbee.cl/)  
[citado en Marzo de 2011]
23. [sensor-networks.org/index.php?page=0903503549](http://sensor-networks.org/index.php?page=0903503549)  
[citado en Marzo de 2011]
24. [www.ietf.org/rfc/rfc1662.txt](http://www.ietf.org/rfc/rfc1662.txt)  
[citado en Marzo de 2011]
25. <http://www.techterms.com/definition/payload>  
[citado en Marzo de 2011]
26. [http://es.wikipedia.org/wiki/Proceso\\_Unificado\\_de\\_Rational](http://es.wikipedia.org/wiki/Proceso_Unificado_de_Rational)  
[citado en Marzo de 2011]
27. [www.controleng.com/article/313460](http://www.controleng.com/article/313460)

[citado en Marzo de 2011]

28. [www.martus.org/downloads/2.9/martus\\_user\\_guide\\_es\(v29\).pdf](http://www.martus.org/downloads/2.9/martus_user_guide_es(v29).pdf)  
[citado en Marzo de 2011]
29. [mitecnologico.com/Main/ElaboracionManualDeUsuario](http://mitecnologico.com/Main/ElaboracionManualDeUsuario)  
[citado en Abril de 2011]
30. [www.hallikainen.org/FCC/FccRules/CiteFind/015219.htm](http://www.hallikainen.org/FCC/FccRules/CiteFind/015219.htm)  
[citado en Abril de 2011]
31. [www.synergix.wordpress.com/2008/07/07/requisito-funcional-y-no-funcional/](http://www.synergix.wordpress.com/2008/07/07/requisito-funcional-y-no-funcional/)  
[citado en Abril de 2011]
32. [wiki.laptop.org/go/Mesh\\_Network\\_Details](http://wiki.laptop.org/go/Mesh_Network_Details). Retrieved 2008-02-23.  
[citado en Abril de 2011]
33. [www.explicame.org/content/view/25/1/](http://www.explicame.org/content/view/25/1/)  
[citado en Abril de 2011]
34. <http://www.wsn-security.info/>  
[citado en Abril de 2011]
35. Original Equipment Manufacturer (OEM) and Aftermarket Parts [thepartsbin.com](http://thepartsbin.com)  
[citado en Abril de 2011]
36. [www.digi.com/support/kbase/kbaseresultdetl.jsp?id=2125&hit=X-CTU%20%28XCTU%29%20software#knowledgebase](http://www.digi.com/support/kbase/kbaseresultdetl.jsp?id=2125&hit=X-CTU%20%28XCTU%29%20software#knowledgebase)  
[citado en Abril de 2011]
37. [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=29088&abstractAccess=no&userType=inst](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=29088&abstractAccess=no&userType=inst)  
[citado en Mayo de 2011]
38. <http://www.palowireless.com/bluetooth/technology.asp>  
[citado en Mayo de 2011]
39. [http://www.spmet.pt/II\\_conferencia/Wireless\\_Sensor\\_PSGirao\\_et\\_al.pdf](http://www.spmet.pt/II_conferencia/Wireless_Sensor_PSGirao_et_al.pdf)  
[citado en Mayo de 2011]
40. <http://electric2.ee.psu.ac.th/~wiklom/PhDSeminar/zigbee.pdf>  
[citado en Mayo de 2011]
41. <http://code.google.com/p/xbee-api/>  
[citado en Febrero de 2011]