

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES PARA EL MONITOREO DE UNA EMPRESA EN LIMA-PERÚ

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Electrónico**, que presenta el bachiller:

Urpi Rodas Vásquez

ASESOR: Amanda Cáceres Mari

Lima, diciembre de 2013

RESUMEN

En la actualidad, el acelerado avance de las tecnologías de redes inalámbricas de sensores la han posicionado como una herramienta ideal para el monitoreo y control de sistemas de seguridad, debido a su óptimo aprovechamiento de la energía, escalabilidad, flexibilidad, bajo costo, además de permitir su gestión de manera remota. Estas tecnologías pueden sustituir los sistemas basados en sistemas de prevención anti-intrusión tradicionales, tales como, rejas de seguridad, puertas blindadas, cercas eléctricas, personal de seguridad, etc. Estos, si bien reducen la probabilidad de robos o asaltos, no permiten un control absoluto de la zona: pueden ser vulnerados con facilidad y no alertan una situación de peligro.

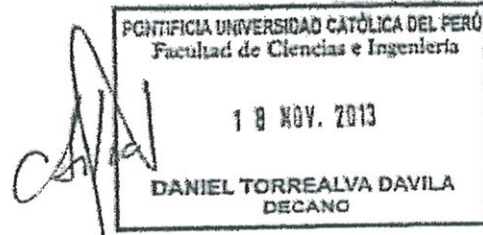
La presente tesis tiene como objetivo el diseño de una red inalámbrica de sensores para el monitoreo de un almacén de una empresa de Lima-Perú. Esta tecnología permitirá la prevención de eventos tales como robos o asaltos mediante un control de acceso; y evitará casos de incendios e inundaciones mediante la recolección de datos relevantes de los sensores ubicados en el almacén, los cuales serán enviados a una estación base o nodo principal. La totalidad de información podrá ser visualizada en una interfaz de usuario amigable.

Para el desarrollo del sistema mencionado, se realizó un estudio exhaustivo de las tecnologías existentes para redes de sensores inalámbricas, sus características y limitaciones, así como los protocolos y topologías existentes. A partir de esta investigación, se determinó que la tecnología Zigbee es la más adecuada, debido a su reducido consumo de energía, bajo costo y gran simplicidad en hardware y software.

En consecuencia, podemos concluir que la red inalámbrica de sensores contribuirá de forma favorable en la seguridad del almacén, y mejorará la calidad de trabajo en la empresa.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño de una red inalámbrica de sensores para el monitoreo de un almacén de una empresa de Lima-Perú.
Área : Comunicaciones # 1160
Asesor : Amanda Cáceres Mari
Alumno : Urpi Rodas Vásquez
Código : 20060503
Fecha : 02/10/2013



Descripción y Objetivos

En la actualidad, el acelerado avance de las tecnologías de redes inalámbricas de sensores les han posicionado como una herramienta ideal para el monitoreo y control de sistemas de seguridad, debido a su óptimo aprovechamiento de la energía, escalabilidad, flexibilidad, bajo costo, además de permitir su monitoreo y control a distancia sin necesidad de cableado.

La presente tesis tiene como objetivo el diseño de una red inalámbrica de sensores para el monitoreo de un almacén de una empresa de Lima-Perú. El uso de este sistema permitirá la detección de eventos, tales como robos, asaltos o siniestros, mediante la recolección de datos relevantes de los sensores ubicados en el almacén, los cuales serán enviados a una estación base o nodo principal. La totalidad de esta información podrá ser visualizada en una interfaz de usuario amigable.

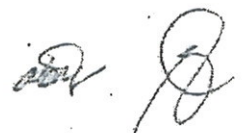
Para el desarrollo del sistema mencionado, se realizó un estudio exhaustivo de las tecnologías apropiadas para redes de sensores inalámbricas, sus características y limitaciones, así como los protocolos y topologías existentes. A partir de esta investigación, se determinó que la tecnología Zigbee es la más adecuada, debido a su reducido consumo de energía, bajo costo y gran simplicidad en hardware y software.

En consecuencia, podemos concluir que la red inalámbrica de sensores contribuirá de forma favorable en la seguridad del almacén, y mejorará la calidad de trabajo en la empresa.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

Dr. Ing. BENJAMÍN CASTAÑEDA APHAN
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

MÁXIMO 50 PÁGINAS





TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño de una red inalámbrica de sensores para el monitoreo de un almacén de una empresa de Lima-Perú.

Índice

Introducción

1. Marco problemático.
2. Fundamentos tecnológicos de una red inalámbrica de sensores.
3. Metodología para el diseño de una red inalámbrica de sensores.
4. Diseño de la red inalámbrica de sensores.

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

Dr. Ing. BENJAMÍN CASTAÑEDA APHAN
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: MARCO PROBLEMÁTICO	2
1.1 Contexto global.....	2
1.2 Contexto local.....	2
1.3 Declaración del Marco Problemático.....	4
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS DE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES	6
2.1 Síntesis sobre el Asunto de Estudio.....	6
2.2 Redes Inalámbricas de sensores	6
2.2.1 Topologías de redes	7
2.2.2 Estándares inalámbricos.....	9
2.2.3 Elementos de una red inalámbrica de sensores.....	14
2.2.4 Aplicaciones de redes de sensores.....	17
2.3 Modelo Teórico	18
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES	19
3.1 Universo y muestra	19
3.2 Objetivos de la investigación.....	19
3.2.1 Objetivo principal	19
3.2.2 Objetivos secundarios.....	19
3.3 Requerimientos del Sistema de Seguridad	20
3.4 Planeamiento técnico de la red	21
3.4.1 Protocolo de comunicación	21
3.4.2 Equipos Zigbee.....	21
3.4.3 Antenas	23
CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA DE SENSORES	24
4.1 Arquitectura de la red.....	24
4.1.1 Arquitectura de los nodos remotos.....	24

4.1.2 Arquitectura del nodo base	24
4.1.3 Equipamiento.....	25
4.1.4 Presentación de la red inalámbrica de sensores	28
4.2 Configuración de los módulos Xbee.....	30
4.2.1 Configuración del Xbee coordinador	31
4.2.2 Configuración de los Xbee remotos	31
4.2.3 Software de diseño	32
4.3 Cálculos y pruebas	34
4.3.1 Circuitos de prueba.....	34
4.3.2 Pruebas de conectividad.....	38
4.3.3 Pruebas de recepción de tramas API en nodo coordinador.....	39
4.3.4 Visualización de datos usando Microsoft Visual C++	43
4.3.5 Visualización de datos desde Internet.....	44
4.4 Costo de inversión	46
CONCLUSIONES	47
RECOMENDACIONES	48
BIBLIOGRAFÍA	49
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ubicación de la empresa Kyari Import [3].....	3
Figura 1.2: Plano de distribución de áreas de la empresa [Elaboración propia]	3
Figura 2.1: Topología bus [14]	3
Figura 2.2: Topología estrella [14].....	3
Figura 2.3: Topología árbol [14]	3
Figura 2.4: Topología malla [14]	3
Figura 2.5: Elementos de la red Zigbee (Red en malla) [32]	9
Figura 2.6: Componentes de la red Wi-Fi [8].....	11
Figura 2.7: Arquitectura Maestro/ Esclavo [9]	12
Figura 2.8: Ejemplo de sensores [18,15, 19, 20]	16
Figura 2.9: Ejemplo de actuadores [21]	16
Figura 2.10: Diagrama de bloques del sistema de seguridad [Elaboración propia]	18
Figura 3.1: Tipos de antena de las radios XBee [24].....	23
Figura 3.2: Interferencia por reflexión [32].....	23
Figura 3.3: Zona de Fresnel [32].....	23
Figura 4.1: Nodos remotos [Elaboración propia]	24
Figura 4.2: Nodo base [Elaboración propia]	25
Figura 4.3: Detector de Humo Heiman [25].....	25
Figura 4.4: Sonda de Inundación GRI2800 [26]	26
Figura 4.5: Contacto magnético Seco-Larm [27]	26
Figura 4.6: Microcontrolador Atmega8L [28]	27
Figura 4.7: Teclado matricial [29]	27
Figura 4.8: Pantalla LCD 16x2 [17]	28
Figura 4.9: Sirena con luz estroboscópica 12VDC [36]	28
Figura 4.10: Distribución de la red [Elaboración propia]	28
Figura 4.11: Escenario de pruebas de la red [Elaboración propia]	30
Figura 4.12: Configuración del módulo Coordinador en X-CTU	31
Figura 4.13: Configuración de módulos Remotos en X-CTU.....	31
Figura 4.14: Arquitectura de software [Elaboración propia].....	32
Figura 4.15: Diagrama esquemático de Sensor de Humo [Elaboración propia].....	35
Figura 4.16: Diagrama esquemático de Sensor de Inundación [Elaboración propia]....	35

Figura 4.17: Tarjeta del control de acceso [Elaboración propia] 37

Figura 4.18: Organización de las tramas [10]..... 40

Figura 4.19: Recepción de tramas API para ingreso de usuarios [Elaboración propia] 41

Figura 4.20: Recepción de tramas API para nuevas claves [Elaboración propia]..... 41

Figura 4.21: Recepción de tramas API de ingreso errado [Elaboración propia]..... 42

Figura 4.22: Recepción de tramas API para contacto magnético [Elaboración propia].42

Figura 4.23: Recepción de tramas API para el sensor de humo [Elaboración propia] .. 43

Figura 4.24: Recepción de tramas API para el sensor de inundación [Elaboración 43

Figura 4.25: Control de acceso, Sensor de Humo e Inundación [Elaboración propia] .. 44

Figura 4.26: Notificación de Incendio mediante el envío de un e-mail electrónico 44

Figura 4.27: Ingreso de Usuario y Contraseña [Elaboración propia] 45

Figura 4.28: Interfaz Web [Elaboración propia] 45



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Problemas existentes en la empresa [elaboración propia].....	5
Tabla 2.1: Características de transmisión Zigbee [7].....	10
Tabla 2.2: Características de transmisión de wi-fi [9]	11
Tabla 2.3: Banda de frecuencias de bluetooth. [9]	13
Tabla 2.4: Diferencias entre las tres principales tecnologías orientadas a la comunicación inalámbrica. estas son: WiFi, Bluetooth y Zigbee. [11]	13
Tabla 3.1: Cuadro comparativo de fabricantes de equipos Zigbee [24].....	22
Tabla 4.1: Tabla de direcciones de módulos Xbee [Elaboración propia]	30
Tabla 4.2: Eventos asignados para el control de acceso [Elaboración propia]	32
Tabla 4.3: Pruebas de RSSI con la aplicación X-CTU.....	38
Tabla 4.4: Identificadores de eventos [Elaboración propia]	40
Tabla 4.5: Tramas recibidas por coordinador-control de acceso [Elaboración propia]..	41
Tabla 4.6: Tramas enviadas desde detectores al coordinador.	42
Tabla 4.7: Costo de los equipos, materiales y servicio de ingeniería [Elaboración propia]	46

INTRODUCCIÓN

La inseguridad ciudadana es uno de los fenómenos sociales contemporáneos con mayor trascendencia en América Latina, debido al crecimiento de la delincuencia. Por esta razón, en el Perú, se han adoptado estrategias para enfrentar y erradicar el problema. Estas han ido evolucionando desde sistemas de seguridad convencionales hasta sistemas inteligentes basados en tecnologías de redes inalámbricas de sensores, las cuales ofrecen las herramientas ideales para el monitoreo y control de un sistema de seguridad, debido a su óptimo aprovechamiento de la energía, escalabilidad, flexibilidad, bajo costo, y su capacidad de monitoreo y control a distancia sin necesidad de cableado.

La presente tesis tiene como objetivo el diseño de una red inalámbrica de sensores para el monitoreo de un almacén de una empresa en Lima-Perú. El uso de este sistema permitirá prevenir, controlar y alertar todo tipo de amenaza que afecte a las personas y los bienes de la empresa, mediante la integración de dispositivos que se encargarán de recolectar información relevante del almacén, la cual será enviada a un centro de control inteligente. La información procesada podrá ser visualizada de manera remota a través de una interfaz de usuario amigable.

Para el desarrollo del sistema mencionado, se realizó un estudio exhaustivo de las tecnologías apropiadas para redes de sensores inalámbricas, sus características y limitaciones, así como los protocolos y topologías existentes.

Este trabajo de investigación se ha dividido en cuatro capítulos. En el primero, se realiza una descripción de los sistemas de seguridad utilizados en la actualidad y se menciona la problemática que trae consigo el uso de sistemas tradicionales. En el segundo, se describen las bases teóricas del diseño de la red inalámbrica de sensores, tales como la definición de sensores, redes y topologías más comunes. En el tercero, se presenta la metodología utilizada en el desarrollo de una red inalámbrica de sensores aplicada a un sistema de seguridad electrónico, la cual consiste en el planeamiento técnico de la red mediante la elección de las tecnologías, dispositivos y el software de monitoreo. Finalmente, en el cuarto capítulo, se describe la arquitectura de las partes principales de la red. Asimismo, se realizan pruebas que permiten validar el funcionamiento y buen desempeño de todo el sistema, de modo que cumplan con las especificaciones de diseño. Este capítulo concluye con la presentación de los costos de implementación del sistema.

CAPÍTULO 1

MARCO PROBLEMÁTICO

El incremento de la delincuencia en el Perú ha generado una sensación de inseguridad ciudadana [1], por lo que, en empresas y hogares, se ha convertido en una gran necesidad la implementación de sistemas de seguridad que puedan garantizar la protección tanto de bienes, como la integridad física de las personas. Estos sistemas han ido evolucionando, desde el uso de elementos de seguridad privada, tales como rejas, puertas blindadas, armas, personal de vigilancia, hasta sistemas de seguridad más sofisticados que además de ofrecer medios anti-intrusión, ofrecen una gama de servicios automatizados que brindan alertas preventivas ante riesgos de incendios, inundaciones, fugas de gas, entre otros.

1.1 Contexto global

La seguridad en sus distintas facetas ha jugado un rol transcendental, y se ha constituido en un tema de interés para todos los ciudadanos, debido a la presencia de diferentes tipos de riesgos que existen en la actualidad y que pueden afectar a las personas o a sus bienes.

A nivel mundial, debido al constante avance de la tecnología, se ha percibido un notable crecimiento de las comunicaciones inalámbricas y la convergencia de diversos tipos de redes. Una muestra de ello es la evolución de las redes inalámbricas que integran sensores inteligentes distribuidos lógicamente y espacialmente sobre un ambiente, conectados a través de una red de alta velocidad sin el uso de cables. Estos sistemas permiten el monitoreo de diversos parámetros físicos y pueden ser implementados para una gran variedad de aplicaciones.

En este contexto, el avance de la tecnología ha permitido que los sistemas de seguridad sean implementados con elementos de mayor precisión y eficiencia, que además de brindar protección frente a posibles amenazas de intrusión, ofrecen medios de detección para evitar incendios, inundaciones, u otros tipos de siniestros.

1.2 Contexto local

En el Perú, existen pequeñas y medianas empresas que han considerado utilizar estos sistemas de monitoreo. No obstante, la inversión inicial supone un costo significativo que desanima a muchos empresarios, sin tenerse en cuenta que dicho

gasto inicial contribuiría a mejorar las condiciones de trabajo y evitaría en gran medida pérdidas económicas, así como situaciones de alto riesgo que impliquen gastos mayores a largo plazo.

La empresa Kyari Import es una pequeña empresa dedicada a la venta de productos de ferretería, librería y bazar que cuenta con diferentes locales en el Perú. En la figura 1.1 se puede observar la ubicación de la empresa de la sede del Cercado de Lima. Esta empresa posee condiciones precarias y no cuenta con un sistema de seguridad eficiente, lo cual supone condiciones de alto riesgo para el personal y los bienes de la empresa.



Figura 1.1: Ubicación de la empresa Kyari Import [3]

En la figura 1.2 se muestra el plano de distribución de las áreas de la empresa, la cual cuenta con un almacén en el sótano, una tienda de productos en el primer nivel y oficinas administrativas en el segundo nivel.

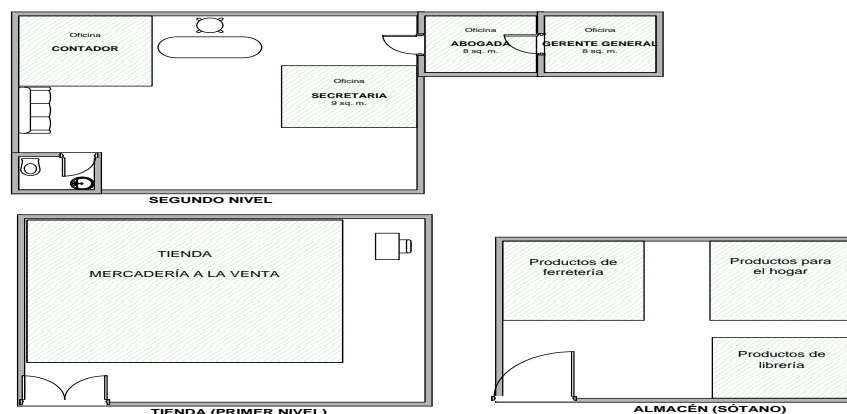


Figura 1.2: Plano de distribución de áreas de la empresa [Elaboración propia]

1.3 Declaración del Marco Problemático

Debido al incremento de la delincuencia en el Perú, que ha provocado la sensación de inseguridad ciudadana [2], es necesario implementar sistemas de seguridad altamente eficientes que puedan garantizar tanto la protección de los bienes, como la integridad física de las personas, brindando apoyo inmediato ante emergencias de robo, asalto, y de riesgos frecuentes como incendios e inundaciones, entre otros.

En la actualidad, los sistemas de seguridad en los almacenes carecen de robustez y fidelidad. Esto podría significar un gran perjuicio para la empresa a nivel económico y para la seguridad de los empleados, ya que se limitan al uso de mecanismos antirrobo tradicionales que pueden ser vulnerados con gran facilidad, por ejemplo, mediante el uso de armas de fuego, estrategias del intruso para ingresar a la vivienda de forma sigilosa o burlando la seguridad cuando la instalación se encuentra deshabitada, y en la mayoría de casos no cuentan con un sistema de protección contra posibles siniestros. Esta tendencia de contar con un sistema tradicional, se debe al desconocimiento de los bajos costos de instalación de los sistemas automatizados que contribuyen a garantizar la seguridad en todo momento, a reducir la acción de la delincuencia y a mejorar las condiciones de trabajo, reduciendo los riesgos que pueden atentar contra la integridad de las personas. En este aspecto, la electrónica juega un papel crucial en la efectividad y precisión de los resultados.

Por otro lado, la mayoría de empresas en el Perú no está preparada para instalaciones complejas y costosas, por lo que resulta necesario diseñar e implementar sistemas donde la distribución de los equipos y el transporte de la información desde los dispositivos de adquisición de datos hacia el centro de monitoreo en el diseño de los sistemas de seguridad sea fácil, práctica y económica. Por esta razón, el uso de redes inalámbricas permitirá añadir nuevos elementos a la red sin necesidad de realizar modificaciones considerables en la infraestructura.

Ante estas necesidades, se considera relevante la implementación de un sistema de sensores integrado y distribuido estratégicamente, que permita reducir los riesgos de posibles siniestros, como incendios e inundaciones, y un control de acceso que ayude a prevenir y alertar robos o asaltos, mediante el monitoreo de la red a través de una interfaz de usuario interactiva y de fácil uso, además de

contribuir con el mejoramiento e implementación de nuevas tecnologías en el rubro empresarial.

En la tabla 1.1 se muestran los problemas existentes en la empresa Kyari Import.

Tabla 1.1: Problemas existentes en la empresa [Elaboración propia]

Hechos	Problemas
<p>INFRAESTRUCTURA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Condiciones precarias. • Ausencia de un sistema de notificación de alarmas. • Existencia de cañerías de agua en el almacén. • Material inflamable. 	<p>Las condiciones precarias de la empresa y la ausencia de un sistema de seguridad incrementan la probabilidad de riesgos de incendios, inundaciones y robos.</p> <p>Los almacenes en donde se deposita material inflamable como madera, plástico, telas, papel, etc., sin una adecuada ventilación pueden mantener temperaturas elevadas, en época de verano por ejemplo, lo que podría provocar incendios de gran magnitud.</p>
<p>PERSONAL:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vigilancia limitada a las condiciones humanas de atención y reacción. • No existe personal capacitado para la seguridad. • Baja cultura de prevención de riesgos. • Gastos en personal de vigilancia. • Tránsito del personal no autorizado en el almacén. 	<p>El personal de seguridad privado se restringe a las cualidades humanas de atención y reacción, las cuales pueden estar sujetas al cansancio, somnolencia y desatención.</p> <p>La falta de control en el acceso de las personas no autorizadas para ingresar al almacén pone en riesgo los bienes de la empresa.</p>
<p>TECNOLOGÍA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No existen equipos de monitoreo. • Ingresos y salidas de personal son registrado mediante guías. • Ausencia de tecnologías. 	<p>La empresa no cuenta con tecnología sofisticada, el ingreso y salidas del personal se registra en guías, por lo que los trabajadores pueden vulnerar fácilmente el sistema de seguridad.</p>

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS DE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES

2.1 Síntesis sobre el Asunto de Estudio

El mundo de las conexiones inalámbricas sigue creciendo con el desarrollo de tecnologías altamente seguras y fiables, creando entornos más sencillos, eficaces y prácticos, presentando grandes ventajas frente a los sistemas basados en cables. Entre ellas, la escalabilidad, flexibilidad, interoperabilidad, bajos costos de mantenimiento, ubicuidad, entre otros.

El presente estudio propone el diseño de una red inalámbrica de sensores, utilizando conocimientos en redes, de los protocolos existentes y sus medios de transmisión, de forma amplia y conceptualizada considerando los elementos más importantes para obtener un eficiente diseño y elegir la tecnología más apropiada para el almacén. A continuación, se desarrollarán los aspectos básicos de las redes inalámbricas de sensores enfocados a sus aplicaciones en los sistemas de seguridad. Adicionalmente, se analizarán los componentes de una red, las topologías y protocolos existentes para la implementación de los mismos.

2.2 Redes Inalámbricas de sensores

Las Redes de Sensores Inalámbricas (WSN) han sido identificadas como una de las tecnologías más prometedoras por diversos analistas tecnológicos, debido a que permiten integrar funcionalidades que antes eran independientes unas de otras, con el fin de obtener la máxima eficiencia.

Estas se basan en la integración de dispositivos muy pequeños (nodos) y sensores para colaborar en una tarea común y deben estar distribuidos estratégicamente en un área determinada para lograr la eficiencia del sistema. Permiten obtener información del entorno, tales como humedad, presión, sonido, etc. y enviarla a un centro de coordinación. Asimismo, presentan grandes ventajas como bajo costo, bajo consumo de energía y autonomía organizacional. [4]

La diferencia entre los sensores comunes y la nueva generación de redes inalámbricas de sensores inteligentes es que estos tienen la capacidad de autoreparación, es decir, la red puede encontrar nuevas vías para encaminar los

paquetes en caso de avería, de tal forma que la red sobrevivirá en su conjunto. Además, se caracterizan por su capacidad de autoconfiguración, autodiagnóstico y autoreparación. [12]

2.2.1 Topologías de redes

La topología se refiere a la conexión tanto física como lógica de los dispositivos que conforman una red. Esta influye en su funcionamiento y rendimiento.

Para la selección de la topología se debe tomar en cuenta el número de nodos que formarán parte de la red, el retardo en la transmisión, la detección de fallos y la futura expansión de la red. Los siguientes tipos de topologías son los más usados.

A. Topología Bus

En esta topología todos los nodos están conectados a un canal de comunicaciones, llamado bus, que generalmente es un cable coaxial. [13] Ver figura 2.1.

- Ventaja: Correcto funcionamiento de la red sin requerir el funcionamiento de todos los nodos.
- Desventaja: Toda la información que circula por la red depende del enlace de comunicación, si este se rompe, todos los nodos quedan incomunicados.

B. Topología Estrella

En este tipo de red las estaciones están conectadas directamente a un nodo central (switch o HUB), el cual controla el tráfico de datos. Cada nodo envía datos a otro a través del nodo central. [14] Ver figura 2.2.

- Ventaja: Centraliza los recursos en el nodo central, si algún otro nodo falla la red sigue funcionando.
- Desventaja: Si el nodo central falla, los dispositivos involucrados perderán acceso a la red.

C. Topología Árbol

En esta topología cada nodo se conecta a otro nodo que posee mayor jerarquía en forma de árbol, así, hasta llegar al concentrador primario o central. Esta topología puede percibirse como un conjunto de redes en estrella a través de un enlace troncal (hub o switch) de donde se ramifican los demás nodos; por ello, presenta características de las topologías en estrella y bus. [13] Ver figura 2.3.

- Ventaja: Flexibilidad para la expansión de la red.

- Desventaja: El fallo de un nodo repercute en la rama del árbol que cuelga de este y puede implicar la interrupción de las comunicaciones.

D. Topología Malla

Este tipo de topología es descentralizada, es decir, cada nodo se conecta a todos los demás nodos, de manera que la información puede viajar de un nodo a otro por distintos caminos. Esta trayectoria redundante permite que la red sea más robusta. [13] Cada servidor tiene sus propias conexiones con todos los demás servidores. Ver figura 2.4.

- Ventaja: Mayor tolerancia a fallos y alta fiabilidad, si un nodo falla, no se perderá la información, puesto que la información puede seguir otra ruta.
- Desventaja: Complejidad en la instalación y reconfiguración de la red, ya que se requieren complejos algoritmos de distribución para determinar la organización, el vínculo de programación y el ruteo de la red.

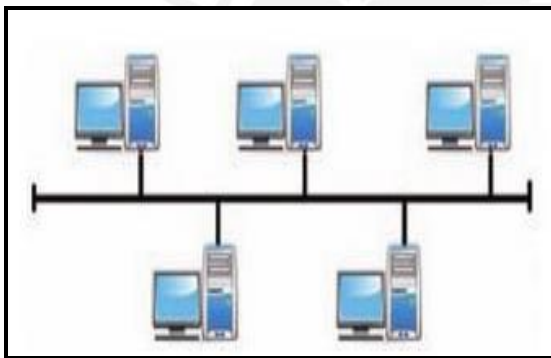


Figura 2.1: Topología bus [14]



Figura 2.2: Topología estrella [14]

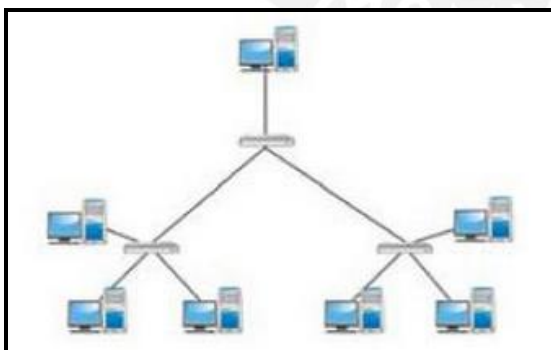


Figura 2.3: Topología árbol [14]

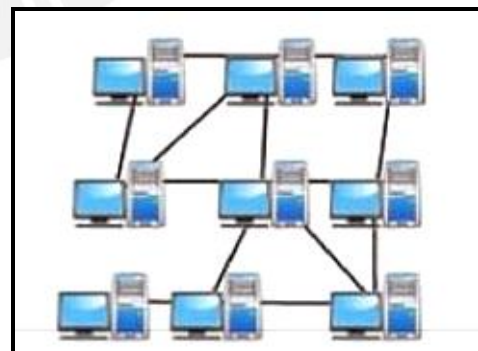


Figura 2.4: Topología malla [14]

2.2.2 Estándares inalámbricos

Los estándares inalámbricos ofrecen facilidades para la comunicación entre diferentes dispositivos a distancias importantes y a altas velocidades de transmisión, además de la capacidad de crear sistemas centralizados y distribuidos sin el uso de cableado.

A. ZIGBEE

Es una tecnología de uso libre desarrollada por la Alianza Zigbee. Está basada en el estándar IEEE 802.15.4, con velocidades comprendidas entre 20 kbps y 250 kbps y rangos de 10 m a 100 m. [5] Es un estándar usualmente aplicado en redes de sensores y puede interoperar con otras tecnologías de radiofrecuencia. Tiene como objetivo las aplicaciones que requieran comunicaciones en una red altamente segura, ya que usa el estándar AES-128 (Advanced Encryption Standard), un bloque de cifrado complejo que encripta los paquetes de tal manera que sea difícil vulnerar el sistema de protección de la información.

IEEE 802.15.4

- Componentes:

Hay tres tipos de dispositivos: en primer lugar, el Coordinador de red (C) que mantiene el conocimiento general de la red, requiere más memoria y potencia de cálculo; en segundo lugar, el Router (R), el cual es compatible con todas las funciones y características del estándar IEEE 802.15.4, se asocia con el coordinador de la red y puede actuar como coordinador, es el encargado del enrutamiento de saltos múltiples de los mensajes; finalmente, el dispositivo final (E), el cual es el elemento básico de la red. Este no realiza funciones de enrutamiento. [6] Ver figura 2.5.

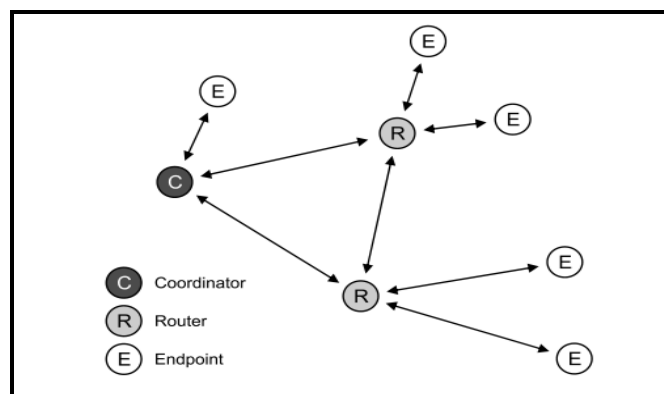


Figura 2.5: Elementos de la red Zigbee (Red en malla) [32]

- Topologías:

Zigbee permite tres topologías: en estrella, malla y árbol.

Las redes ZigBee pueden usar redes de malla, las cuales pueden extenderse sobre un área grande y contener miles de nodos. Puede estar formada por hasta 255 nodos. Utilizando el direccionamiento local, se puede configurar una red de 65536 nodos (216).

- Características de transmisión:

Están disponibles 27 canales a través de las diferentes bandas de frecuencias, como se indica en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Características de transmisión ZigBee [7]

	Banda de Frecuencias (MHz)	Tasa de Transmisión (kbps)	Número de Canales	Modulación
Europa	868	20	1	BPSK
Estados Unidos	915	40	10	BPSK
Mundial	2450	250	16	O-QPSK

B. WI-FI

Es una tecnología inalámbrica ampliamente aceptada que se conoce por ser un sello de interoperabilidad entre diferentes dispositivos inalámbricos que soportan el estándar IEEE 802.11. Existe una gran variedad de configuraciones que ayudan a que este tipo de redes inalámbricas se adapten a casi cualquier necesidad.

Asimismo, el estándar IEEE 802.11 define diferentes mecanismos de cifrado que permita transportar de manera segura la información, buscando la autenticación y la privacidad. Entre ellos, está el WEP (Wired Equivalent Privacy) que es un método de cifrado basado en un algoritmo de encriptación RC4, que utiliza clave de 64 bits para el cifrado de los datos. Por otro lado, el WPA (Wi-Fi Protected Access) es un que mejora el cifrado de los datos y propone el protocolo TKIP (Temporary Key Integrity Protocol), el cual cambia la clave compartida entre punto de acceso y cliente cada cierto tiempo, para evitar ataques que permitan revelar la clave.

IEEE 802.11

- Componentes:

La arquitectura IEEE 802,11 se compone de varios elementos que interactúan para proporcionar una WLAN. Entre ellos están: las estaciones, los dispositivos con interfaz inalámbrica; el Conjunto de Servicio Básico (BSS), grupo de estaciones que

se intercomunican entre ellas; y el Conjunto de Servicio Extendido (ESS), unión de varios BSS. En la figura 2.6 se puede observar la conexión entre estos. [8]

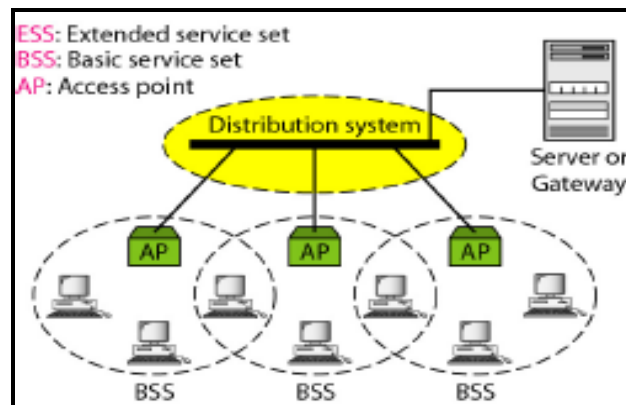


Figura 2.6: Componentes de la red Wi-Fi [8]

- Topologías:

Estas configuraciones se pueden dividir en dos grupos:

P2P: También conocidas como redes *ad hoc*, es la configuración más sencilla, ya que en ella los únicos elementos necesarios son terminales móviles equipados con los correspondientes adaptadores para comunicaciones inalámbricas. [9]

Punto de acceso: Puede cumplir la función de un puente o repetidor, por tanto son capaces de aumentar el alcance de una red inalámbrica. Esta es la topología más común de una red Wi-Fi. El usuario, una vez conectado a un punto de acceso, puede moverse libremente por las zonas en las que haya cobertura, y en su movimiento irá cambiando de punto de acceso, de manera que se mantenga a una conexión a red. [9]

- Características de transmisión:

Wi-Fi posee diferentes subestándares: 802.11b, 802.11a, 802.11g y 802.11n. En la tabla 2.2 se muestran las características de transmisión de estos.

Tabla 2.2: Características de transmisión de Wi-Fi [9]

IEEE	Banda (GHz)	Tasa de transmisión máxima (Mbps)	Modulación
802.11	2.4	2	PSK
802.11 ^a	5	54	PSK o QAM
802.11b	2.4	11	PSK
802.11g	2.4	54	Diferentes
802.11n	2.4 y 5	600 (teórico)	Diferentes

C. BLUETOOTH

Es un enlace radio de corto alcance asociado a las redes de área personal inalámbricas o WPAN. Se extiende a un espacio de radio de 10 hasta 100 metros, dependiendo de la clase del dispositivo Bluetooth. Funciona en la banda de frecuencia de 2.4 GHz que no precisa de ninguna licencia y su máxima velocidad de transmisión es de 3 Mbps. Los componentes de Bluetooth son más pequeños, baratos y consumen menos energía que sus homólogos de Wi-Fi. Desarrollado originalmente por Ericsson, Bluetooth es estandarizado bajo la referencia IEEE 802.15.1.

IEEE 802.15

- Componentes:

La comunicación también se basa en el principio maestro-esclavo, como se muestra en la figura 2.7. Una piconet, grupo de equipos, comprende de un maestro y ocho esclavos como máximo, donde la comunicación sólo se da entre maestro y esclavo, mas no entre los esclavos. No hay ningún límite teórico para el número de dispositivos habilitados con Bluetooth que comparten un canal, pero sí, un límite para el número de estos dispositivos que pueden participar activamente en el intercambio de datos con el maestro. Un esclavo puede ser parte de muchos piconets. [9]

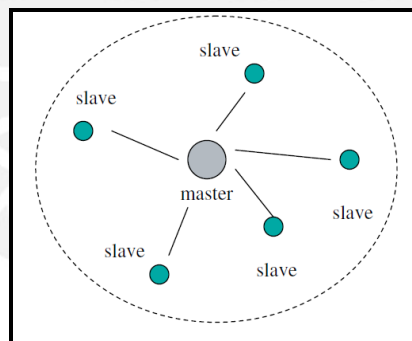


Figura 2.7: Arquitectura Maestro/ Esclavo [9]

- Características de transmisión:

El rango de frecuencias en el que se mueve Bluetooth es de 2.402 GHz a 2.480 GHz (ver tabla 2.3). Se puede transmitir voz, datos y video a 721 Kbps. La versión 1,0 ofrece un ancho de banda máximo de 1 Mbps para un intervalo de aproximadamente 10 m.

Existen tres clases:

Clase 1: Para dispositivos de alto rango (rango de hasta 100 m), las características de potencia son: 20 dBm (100 mW).

Clase 2: Para PCs normales y dispositivos portátiles conectados (rangos de hasta 10 m), las características de potencia son 4 dBm (2,5 mW).

Clase 3: Para dispositivos de baja potencia (rango de hasta de 1 m), las características eléctricas son: 0 dBm (1 mW).

Tabla 2.3: Banda de Frecuencias de Bluetooth. [9]

Países	Rango de Frecuencia (MHz)	Canales RF
Europa y Estados Unidos	2400 - 2483.5	$f = 2402 + k, k = 0, \dots, 78$
Francia	2446.5 - 2483.5	$f = 2454 + k, k = 0, \dots, 22$
España	2445 - 2475	$f = 2449 + k, k = 0, \dots, 22$

D. Comparación entre Zigbee, Wi-Fi y Bluetooth

Como se observa en la tabla 2.4, tanto Zigbee como Bluetooth tienen bajo consumo de potencia a diferencia de WiFi. Sin embargo, la desventaja de Bluetooth es la poca cantidad de nodos que soporta (8 nodos), a diferencia de Zigbee que soporta hasta 65536 nodos agrupados hasta en 255 subredes.

Por otro lado, la tasa de transmisión que ofrece la tecnología Zigbee es suficiente para las aplicaciones de un sistema domótico. Si bien no es alta, los dispositivos de radiofrecuencia están en la mayoría de tiempo en reposo, por lo que no se requieren altas velocidades.

Tabla 2.4: Diferencias entre las tres principales tecnologías orientadas a la comunicación inalámbrica. Estas son: WiFi, Bluetooth y Zigbee. [11]

	Wi-Fi	Bluetooth	Zigbee
Modulación	DSSS	FHSSS	DSSS
Ancho de Banda	54 Mbps	1 Mbps	250 Kbps
Consumo de potencia	Transmisión: 400mA Reposo: 20 mA	Transmisión: 40mA Reposo: 0.2 mA	Transmisión: 30mA Reposo: 3 uA
N° nodos por maestro	32	7	64000
Alcance	100 m	10 m	10-100 m
Duración de baterías	12 - 48 horas	1 semana	100-1000 días
Software y Hardware	Complejo	Muy complejo	Sencillo
Aplicaciones	Web, e-mail y datos, WLAN	Solución de cables, móviles, WPAN	Control y monitorización.
Ventajas	Velocidad y flexibilidad	Interoperabilidad, sustituto del cable.	Fiabilidad, bajo consumo, bajo coste.

2.2.3 Elementos de una red inalámbrica de sensores

A. Sensores

Son los elementos encargados de recoger la información de los diferentes parámetros que controlan, como humo, temperatura, luz, humedad, etc., y enviar al sistema de control centralizado para que actúe. [5] Algunos sensores utilizados en sistemas de seguridad son el detector de movimiento (PIR), detector de humo, detector de temperatura, detector de gas, contacto magnético, entre otros.

Detector de humo: Es un dispositivo que permite proporcionar seguridad contra incendios mediante la detección de humo en el ambiente. Existen dos tipos de tecnologías de detección:

a) Detector de tipo óptico (fotoeléctrico):

La detección óptica de humos puede darse a través de dos formas, mediante la absorción o difusión de la luz.

- De rayo infrarrojo: Están compuestos por un diodo semiconductor que emite luz y otro fototransistor que la recibe en todo momento. Cuando se oscurece el espacio entre ellos debido al humo, sólo una fracción de la luz emitida alcanza al receptor, provocando que la señal eléctrica producida por éste sea más débil y por tanto se activa la alarma. [30]
- De tipo puntual: Están compuestos por un emisor y receptor que se encuentran ubicados en la misma cámara separados por una pantalla, de manera que el rayo emitido no alcanza el receptor. [30]

El haz de luz emitido se refracta cuando el humo entra en la cámara y puede alcanzar al receptor, lo cual activa la alarma.

b) Detector de tipo iónico:

Este tipo de detector es más económico y es sensible a los humos no visibles.

Las partículas de combustión que ascienden al techo penetran en la cámara de aire del detector, variando la conductividad del aire ionizado, lo cual genera que la corriente eléctrica disminuya o se interrumpa.

Para su mantenimiento, es necesario considerar su alimentación, si trabajan a batería o conectados a la red eléctrica, en el caso de las baterías estas se consumen cada cierto tiempo, por ello se debe revisar el estado de las baterías cada 6 meses.

Detector de inundación: Es aquel dispositivo que está destinado a detectar posibles escapes de agua con el fin de evitar inundaciones en lugares como cocinas, baños, bodegas, sótanos y otros lugares donde existan canalizaciones y tomas de agua. El sensor puede estar compuesto por dos elementos: la sonda que detecta la presencia de agua y acciona el contacto, y el detector que analiza la señal procedente de la sonda y que permite activar la alarma.

Detector de movimiento: Es un equipo electrónico que detecta el movimiento físico en un área determinada y lo transforma en una señal eléctrica que puede activar equipos de seguridad, luces, alarmas sonoras entre otros. Existen tres tipos:

a) Sensor inductivo:

Este tipo de sensores detecta el cambio de inductancia que provoca un objeto metálico dentro de un campo magnético. Constan de una bobina y un imán. Cuando un objeto ferromagnético penetra o abandona el campo magnético del imán, el cambio que se produce en él induce una corriente en la bobina. Si se detecta una corriente en la bobina, significa que algún objeto ferromagnético ha entrado en el campo del imán. La desventaja de este tipo de sensores es la limitación a objetos ferromagnéticos; sin embargo, suelen ser utilizadas en aplicaciones industriales.[20]

b) Sensor infrarrojo:

- Activo: Esta tecnología detecta un cambio en el ambiente mediante la inyección de luz, microondas o sonido. Incluye una fuente de radiación y un sensor infrarrojo sensible a la variación de radiación sensada. Se activa si el intruso interrumpe el camino de luz infrarroja.
- Pasivo (PIR): Esta tecnología permite detectar un cambio de la energía calorífica (temperatura) emitida por un objeto o cuerpo que se mueve a través del campo de vista del sensor. Generalmente, utiliza sistemas ópticos y múltiples elementos de sensado de polaridad alternante para crear un patrón de detección en el ambiente de interés.

c) Sensor ultrasónico:

Es un sensor volumétrico que usa el principio Doppler para registrar dicho movimiento. Los sensores basados en esta tecnología trabajan con la emisión de ondas ultrasónicas, a partir de ello se espera a que se reflejen estas ondas en algún objeto, si las ondas retornan implica la intrusión de un objeto dentro del área. Permiten la detección de intrusos a distancias mayores. [20]

Contacto magnético: Es un dispositivo cuya función es detectar la apertura de una puerta o ventana. Consiste en un imán que permite abrir o cerrar el contacto eléctrico, de tal manera que se genera una reacción en señal de alerta. Consta de dos partes: una se coloca en la puerta o ventana (transmisor), ya sea con tornillos o con adhesivos, y la otra (receptor) en el marco de la puerta o ventana.

Detector de gas: Este dispositivo se utiliza para la detección de posibles fugas de gas, lo cual evita que los usuarios de algún hogar o edificio se intoxiquen y reduce la posibilidad de explosiones.

Frente a una determinada concentración, los del tipo B emiten una señal luminosa – acústica de aviso, y los del Tipo A, además, activan el corte automático de gas. Este último es un sistema que permite el corte del suministro de gas al recibir una determinada señal procedente de un detector de gas, de una central de alarmas o de cualquier otro dispositivo previsto como elemento de seguridad receptor; es posible la reapertura del suministro mediante un rearme manual. [5]



Figura 2.8: Ejemplo de sensores [18,15, 19, 20]

B. Actuadores

Son los elementos que tras recibir la información procedente del sistema de control central, modifican el estado de ciertos equipos. Los más usados son: los contactores, relés, las electroválvulas de corte de suministro (gas y aguas), motores y sirenas o elementos zumbadores para el aviso de alarmas. En la figura 2.9 se pueden observar algunos ejemplos de actuadores.



Figura 2.9: Ejemplo de actuadores [21]

C. Unidad de control

Son los que llevan el control del sistema, recibiendo las señales procedentes de los sensores para luego gestionarlas e interpretarlas y decidir, a través del software que lleva incorporado, a qué salida debe activar, transmitiendo los comandos a los actuadores para que actúen en consecuencia. [22]

D. Estación base y remota

La estación base se constituye por un servidor que almacena y procesa todos los datos provenientes de la red.

La estación remota, o mote, recibe los datos que el sensor le envía, recopila y procesa esta información, se comunican con los otros nodos de la red y con la estación base.

2.2.4 Aplicaciones de redes de sensores

Entre las aplicaciones más utilizadas se encuentran las:

Aplicaciones Militares: El apoyo militar fue el primer propósito de este tipo de redes por su auto-organización, sin atención humana, bajo coste y tolerancia a fallos. La destrucción de algunos nodos por acciones hostiles en el campo de batalla no comprometen las capacidades de la red, debido a su capacidad de redundancia. Estas redes pueden ser montadas en vehículos robóticos no tripulados, tanques, aviones de guerra y misiles para guiarlos a una posición exacta de ataque o defensa. [33]

Aplicaciones en la Agricultura: La agricultura es una de las áreas donde los sensores tienen mayor repercusión, ya que se utilizan para la medición de diferentes parámetros. Son aplicados en el control de la calidad de agua, fertilizante o pesticida que las plantas requieren, medición de la humedad del suelo, entre otros. [33]

Aplicaciones en Medio Ambiente: Los sensores inteligentes, en este caso, se utilizan para el monitoreo y control del medio ambiente, por ejemplo, mediante la detección de incendios forestales, detección de inundaciones, monitorización exhaustiva de zonas de riesgo, explotación de animales en su hábitat natural, entre otras. [33]

Aplicaciones en la Domótica: Los servicios que se ofrecen en domótica permiten proveer soluciones de ahorro energético, seguridad y protección de personas o bienes patrimoniales, así como proveer una mejora del confort en la vivienda. [33]

2.3 Modelo Teórico

El avance de la tecnología, representado por el aumento a gran escala de la integración de los circuitos electrónicos y de los sistemas de telecomunicaciones, permite diseñar sistemas automatizados que ofrecen resultados con mayor eficiencia, flexibilidad, escalabilidad, ahorro energético y seguridad de alto nivel.

Dado que nuestro punto de partida es el control de la seguridad de un almacén de productos comerciales para el hogar, se diseñará un sistema de seguridad electrónico mediante una red inalámbrica de sensores.

El sistema estará conformado por un conjunto de elementos (ver figura 2.10). Para comenzar, los **sensores** se encargarán de recoger información sobre las magnitudes físicas y químicas como humedad y humo, y las transformarán en señales eléctricas. Estas señales entregadas por el sensor deben ser acondicionadas o adaptadas al sistema mediante los **acondicionadores de señal** que en algunos casos vienen incorporado en el mismo dispositivo. Adicionalmente, para la adquisición de datos se contará con cuatro nodos (un coordinador o **maestro** y tres terminales o **esclavos**) que se comunicarán inalámbricamente. Cada nodo esclavo dispone de entradas/salidas (sensores de humedad, humo, etc.), lo cual permitirá observar los valores medidos por cada uno de los terminales. Por otro lado, el nodo maestro tiene la función de recibir los datos provenientes de los esclavos para transferirlos a la **pasarela**, la cual se comunicará serialmente con el coordinador. La pasarela es el que tendrá implementado el software que permitirá la gestión de los diferentes elementos de la red. Finalmente, la pasarela se comunicará con el exterior mediante una **interfaz de usuario** a través de un **ADSL** con la que se podrá interactuar para obtener información inmediata sobre las condiciones de seguridad del almacén.

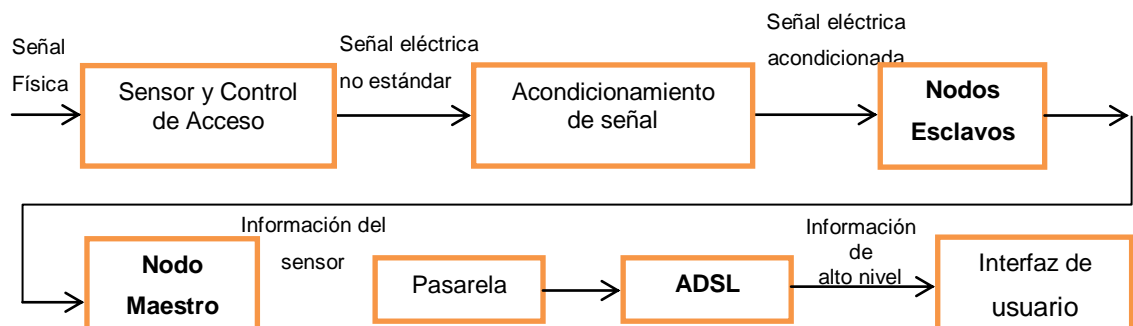


Figura 2.10: Diagrama de bloques del sistema de seguridad [Elaboración propia]

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES

3.1 Universo y muestra

El universo está conformado por todos los locales de la empresa Kyari Import dedicada a la venta de productos de librería y utensilios para el hogar.

La muestra está conformada por el almacén de la empresa, cuya sede se encuentra en el Cercado de Lima, donde se ubicarán los sensores que proporcionarán información a los nodos de transmisión sobre diversos parámetros físicos.

3.2 Objetivos de la investigación

3.2.1 Objetivo principal

Diseñar un sistema de seguridad mediante el uso de sensores inalámbricos que permitan el monitoreo y control del sistema, y la notificación de emergencias para un almacén.

3.2.2 Objetivos secundarios

- Verificar que la comunicación entre la estación central y los nodos de transmisión sea óptima mediante el uso de circuitos de prueba.
- Determinar la viabilidad tecnológica para diseñar la red inalámbrica y elegir el protocolo adecuado para una óptima comunicación entre los dispositivos.
- Desarrollar un sistema escalable que permita la ampliación de la red a otras áreas de la empresa.
- Determinar el alcance del sistema mediante pruebas de distancia entre los nodos.
- Desarrollar una interfaz de usuario amigable que permita la comunicación remota entre el sistema de seguridad con el usuario final.
- Establecer la viabilidad económica de la implementación de este proyecto utilizando los recursos de la empresa y equipamiento de bajo costo.

3.3 Requerimientos del Sistema de Seguridad

Algunos de los criterios a considerar para la implementación de un sistema de seguridad teniendo en cuenta la distribución de la instalación, son los siguientes:

- **Cobertura:** Para determinar la cobertura del sistema, se deben considerar los factores que pueden afectar la distancia de transmisión incluyendo la absorción, reflexión y dispersión de las ondas, estilo de la antena y la frecuencia. Se puede obtener mayor cobertura incrementando la sensibilidad o energía de transmisión. Ambas son expresadas en dBm.
- **Tasa de transferencia:** A tasas más altas de transferencia, se logran muestreos cercanos a la realidad. Deben elegirse nodos con una tasa de muestreo aceptable, considerando la velocidad con que cambian los parámetros sensados.
- **Energía de consumo:** La energía que consume cada nodo transmisor y receptor es un factor de importante a considerar. Los módulos de RF deben encontrarse en modo de ahorro de energía para alargar el tiempo de vida de la batería.
- **Tasa de transmisión y recepción de la comunicación:** Las redes inalámbricas de sensores no requieren altos niveles de transmisión, entre 10-100kbps para la mayoría de casos. Al incrementar los índices binarios, los tiempos de transmisión disminuyen.
- **Tamaño y costo:** Una reducción en el precio por nodo, ampliar la red e incrementar los dispositivos de sensado. En cuanto al tamaño, los nodos deberán ser pequeños para que puedan ser ubicados en lugares de espacio reducido.
- **Error del sistema de medición:** Los sensores pueden generar errores de medida, debido a las condiciones ambientales en las que se encuentran, por lo cual deben utilizar mecanismos que eviten falsas alarmas generadas por el polvo, desgaste de baterías, entre otros factores.

3.4 Planeamiento técnico de la red

3.4.1 Protocolo de comunicación

Zigbee: La tecnología inalámbrica Zigbee es un estándar global para la implementación de redes inalámbricas a bajo coste con larga duración de batería. Su uso es ideal para aplicaciones en las que el dispositivo comprometido se encuentre normalmente en modo de ahorro de energía (modo dormido).

Tanto los sensores como actuadores u otros dispositivos, no requieren un gran ancho de banda, pero si un mínimo consumo energético y una baja latencia. [31]

Por estas razones, el protocolo de comunicación elegido es Zigbee, ya que ofrece la posibilidad de manejar múltiples nodos en un amplio rango de alcance. Se descartaron otras opciones como Bluetooth, ya que su distancia de alcance es reducida o Wi-Fi, debido a que su consumo de energía es mayor y sus dispositivos son más costosos.

3.4.2 Equipos Zigbee

Para elegir el módulo Zigbee adecuado, es necesario comparar entre los diferentes proveedores existentes.

- **Crossbow**

Crossbow Technology es un proveedor de soluciones de redes de sensores inalámbricas. Puso en el mercado el primer modelo de nodo sensor o “mote”. La compañía ofrece módulos inalámbricos, placas de sensores, gateways y soluciones inalámbricas para monitoreo industrial, automatización de edificios, entre otros. Ofrece una gran variedad de plataformas hardware y software que se caracterizan por el ahorro de energía en la transmisión. [23]

- **Telegesis**

Telegesis es una empresa que ofrece soluciones inalámbricas mediante la fabricación módulos Zigbee de baja potencia. El control de los módulos se lleva a cabo mediante una API gestionada por un conjunto de comandos AT, a través de una comunicación serie asíncrona tipo UART, fácil de implementar en cualquier microcontrolador. Esta capacidad de control permite al diseñador la rápida integración de la tecnología Zigbee en su sistema sin la necesidad de desarrollar un software complejo.

- **Sentilla**

Es una empresa dedicada a las redes de sensores inalámbricas también llamada anteriormente MotelV. [34] Es la encargada del desarrollo de los motes Tmote Sky, primer dispositivo inalámbrico en utilizar el estándar IEEE 802.15.4, diseñados también por la Universidad de Berkeley y preparados para ser usados por TinyOS.

- **Digi International**

Digi International comercializa módulos RF de la familia XBee basados en el estándar IEEE 802.15.4/Zigbee. Los XBee se caracterizan por su bajo consumo de energía y bajo costo. Entre los dispositivos XBee destacan los XBee ZB y ZB-Pro. Estos módulos reciben y transmiten información por medio del puerto serial. Además, cuentan con entradas y salidas digitales y puertos analógicos (ADC), que se pueden conectar directamente a los sensores. [35]

En la tabla 3.1 se realiza una comparativa de los equipos Zigbee.

Tabla 3.1: Cuadro comparativo de fabricantes de equipos Zigbee [24]

				
Marca	CROSSBOW	TELEGESIS	SENTILLA	DIGI ZB
Modelo	Micaz	ETRX2	Tmote Sky	Xbee
Banda de frecuencia (Mhz)	2400-2483.5	2400-2483.5	2400 – 2483.5	2400
Modulación	DSSS	DSSS	DSSS O-QPSK	DSSS
Potencia de transmisión (mW)	2	21.15	[0.003, 1]	1.25
Sensibilidad en la recepción (dBm)	-94	-98	-95	-96
Número de canales RF	16	16	16	16
Tasa de transferencia (kbps)	250	250	250	250
Voltaje de operación (Vdc)	2.7 – 3.3	2.1 – 3.6	1.8 – 3.6	2.1 – 3.6
Corriente consumida modo activo	19.7mA @ 3Vdc	35.5mA @ 3.3Vdc	23mA @ 3Vdc	45mA @ 3.3Vdc
Temperatura de operación (°C)	-40 – 85	-40 – 85	-40 – 85	-40 – 85
Rango al aire libre (m)	75 – 100	75 – 100	125	120
Rango en interiores (m)	20 – 30	40	50	40

3.4.3 Antenas

Los módulos XBee cuentan con distintos tipos de antenas para diferentes rangos de alcance. Cada uno de ellos presenta ventajas y desventajas. Su elección dependerá de los requerimientos del sistema. Se puede observar en la figura 3.1 los tipos de antena: chip, wire o whip, u.FL (conector pequeño) y RPSMA (conector grande).

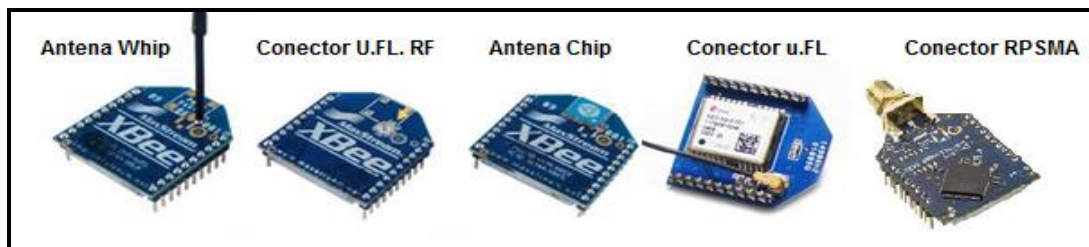


Figura 3.1: Tipos de antena de las radios XBee [24]

En el caso de las antenas omnidireccionales, las frecuencias de radio se irradian en todas las direcciones. Algunos van directamente al receptor y otros van en diversas direcciones. Las reflexiones de algunas de las otras ondas llegarán más lento y fuera de fase en el receptor, lo que interfiere con la calidad de la señal como se muestra en la Figura 3.2.

Para obtener la mejor transmisión, el espacio entre el transmisor y el receptor se puede representar como una región en forma de balón de fútbol americano llamada la Zona de Fresnel, como se muestra en la Figura 3.3. Esta zona indica el lóbulo mínimo que debe estar despejado (sin obstáculos) para obtener una buena propagación.

Mientras mayor sea la distancia entre los nodos, mayor será el radio de esta zona. [32]

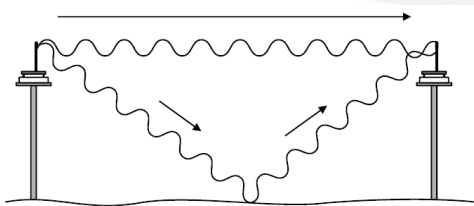


Figura 3.2: Interferencia por reflexión [32]

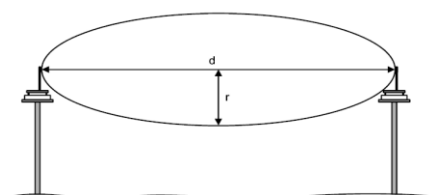


Figura: 3.3 Zona de Fresnel [32]

Para calcular el valor “r” de la zona de Fresnel se debe aplicar la siguiente ecuación que está en función de la distancia entre los nodos. [32]

$$r_m = 17.32 \sqrt{\frac{d_{Km}}{4f_{Ghz}}}$$

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA DE SENSORES

A continuación, se describirá la arquitectura de las partes principales del diseño de la red inalámbrica, así como los elementos que la conforman, considerando la metodología mencionada en el capítulo anterior. Asimismo, se realizan pruebas que permitirán validar el funcionamiento y buen desempeño de todo el sistema, de modo que cumplan con las especificaciones de diseño. Este capítulo concluye con la presentación de los costos de implementación del sistema.

4.1 Arquitectura de la red

4.1.1 Arquitectura de los nodos remotos

Los nodos remotos son aquellos que adquieren los datos provenientes del control de acceso y los sensores, estos datos se procesan y se transmiten vía radiofrecuencia, mediante tramas de datos, al nodo coordinador. Estarán configurados en modo AT.

Los sensores pasan por una etapa de acondicionamiento, cuya salida de voltaje se conecta al pin D0 del XBee, que estará configurado como entrada digital. Mientras que en el caso del control de acceso, el teclado matricial y el LCD se conectan al microcontrolador quien se comunica de manera serial con el módulo Xbee Router.

A continuación, en la figura 4.1 se muestran las arquitecturas de los nodos remotos.

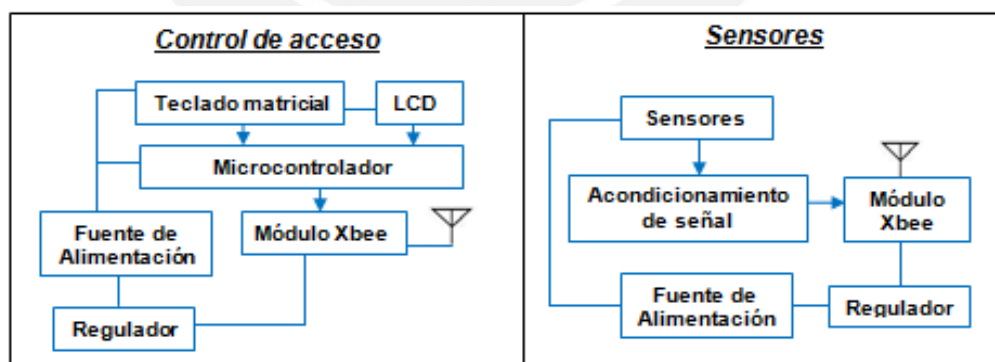


Figura 4.1: Nodos remotos [Elaboración propia]

4.1.2 Arquitectura del nodo base

En la estación base se encontrará el módulo XBee configurado como coordinador que recibirá los datos provenientes de los módulos remotos. Estará configurado en modo API, de modo que procesará la información en tramas que tendrán la

estructura de muestreo de señales de 23 bytes. La información que ingresa a la computadora a través del puerto USB será procesada mediante un programa elaborado en el entorno Microsoft Visual C++. El software mostrará los cambios de estados de cada sensor de forma dinámica, así como la información el control de acceso. A continuación, en la figura 4.2 se muestra la arquitectura del nodo coordinador.

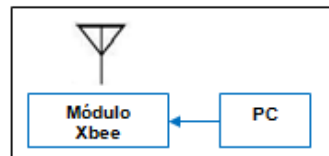


Figura 4.2: Nodo base [Elaboración propia]

4.1.3 Equipamiento

A. Sensores

Sensor de Humo: Se eligió el detector de humo fotoeléctrico de la marca Heiman, modelo HM-612DC-4, ver figura 4.3. Debido a que cuenta con una alarma de temperatura al llegar a los 57 °C y un sensor óptico con una sensibilidad de 3%. Se consideró su bajo costo en el mercado. Posee las siguientes características:

- Voltaje DC: 9-35 VDC
- Corriente de Alarma: 15 mA (N.O) , 4 mA (N.C.)
- Precio: \$13.00

Funcionamiento: El sensor cuenta con los terminales NC y NO, que son los contactos del relé de salida de la alarma del detector. Cuando no se encuentra activado el detector, está en estado normalmente cerrado o abierto dependiendo de la conexión del jumper. Cuando se activa, el circuito se abre o se cierra durante un tiempo definido.



Figura 4.3: Detector de Humo Heiman [25]

Sonda de inundación: Se eligió la sonda de inundación de la marca GRI modelo 2800, ver figura 4.4, debido a que permite detectar una capa de agua de hasta 0.15cm de profundidad y es de instalación sencilla. Sus características son las siguientes:

- Voltaje DC: 5-24 VDC
- Tipo de Contacto: N.O
- Corriente de Alarma (máx.): 400 mA
- Precio: \$16.00

Funcionamiento: Detecta el agua mediante el puente de humedad que se genera a través de los contactos que posee, y requiere sólo dos cables, para la señal y la potencia.

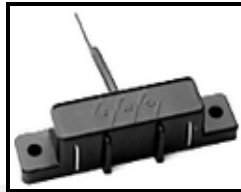


Figura 4.4: Sonda de Inundación GRI2800 [26]

Contacto magnético: Se eligió el contacto magnético SM-217Q de la marca Seco-Larm, debido a que permite detectar la apertura de una puerta o ventana en un rango de hasta 5cm., y es de montaje sencillo. No requiere de alimentación. En la figura 4.5 se puede apreciar las características de este contacto.

- Condiciones eléctricas (máx): 1 A /10 VDC
- Temperatura: -25C° a 70°C
- Precio: \$3.00

Funcionamiento: Son sensores magnéticos que mantienen un switch cerrado mientras están en contacto. Cuando se separan, el circuito eléctrico se abre.



Figura 4.5: Contacto magnético Seco-Larm [27]

B. Control de acceso

En base a las necesidades que requiere el sistema de seguridad en el almacén, se implementará un control de acceso, en el que se utilizarán los componentes que se detallan a continuación:

Microcontrolador: Se eligió un microcontrolador Atmega8, ver figura 4.6, debido a su bajo costo, por su disponibilidad en el mercado local y su conocimiento previo. Sus características son las siguientes:

- Fabricante: Atmel
- Velocidad: 0-8 MHz
- Voltaje DC: 2.7-5.5 VDC
- Bits de Registros: 8 bits
- Puerto Serial: USART, SPI
- Precio: \$4.00

Funcionamiento: El microcontrolador leerá los dígitos del teclado matricial a través de ocho de sus pines. A su vez permitirá enviar los caracteres al LCD para mostrar el menú de opciones y mensajes de acceso al usuario. Usa el puerto UART para la comunicación serial, por el cual enviará tramas al módulo Xbee router conectado, estos serán enviados al nodo central o Xbee Coordinador.



Figura 4.6: Microcontrolador Atmega8L [28]

Teclado Matricial:

Se eligió un teclado matricial 4x4, ver figura 4.7, debido a que es de fácil configuración y de montaje sencillo. Sus características son las siguientes:

- Condiciones de operación (máx.): 35 VDC, 100 mA
- Resistencia de aislamiento: 100 MOhm, 100 V
- Esperanza de vida: 1 millón de cierres
- Temperatura de funcionamiento: 0 - 70 °C
- Precio: \$2.00

Funcionamiento: El teclado matricial cuenta con ocho pines de conexión, cuatro corresponden a las columnas y las otras cuatro a las filas. La combinación de una columna con una fila proporcionará la ubicación exacta del botón presionado.



Figura 4.7: Teclado matricial [29]

Pantalla LCD:

Se eligió una pantalla LCD de 16x2 (matriz de 16 caracteres en dos líneas), porque permite mostrar la cantidad necesaria de palabras para indicar al usuario el menú de opciones. Posee un microcontrolador interno, Hitachi 44780, el cual permite su fácil programación. En la figura 4.8 se muestran las características de la pantalla LCD.

- Alimentación: 3.3-5 VDC
- DDRAM: 80 Bytes máx.
- Display duty cycle: 1/8, 1/11, 1/16
- Frecuencia: 2 MHz
- Precio: \$4.00

Funcionamiento: La interface HD44780 permite dos modos de operación, 8 bits y 4 bits. El modo más sencillo es el de 8 bits, sin embargo con el de 4 bits se reduce el número de pines a usar. En el modo de 4 bits, los datos de caracteres y el control se transfieren como pares de 4 bits en los pines de datos superiores, D4-D7.

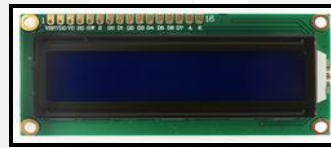


Figura 4.8: Pantalla LCD 16x2 [17]

C. Actuador

El sistema de seguridad contará con una alarma sonora en el almacén que consistirá en una sirena con luz estroboscópica de pared System Sensor P2R-SP para notificar casos de emergencia, ver figura 4.9, la cual emitirá una señal de luz y audio.



Figura 4.9: Sirena con luz estroboscópica 12VDC [36]

D. Sistema de alimentación ininterrumpida (UPS)

Se utilizará un dispositivo que, gracias a sus almacenadores de energía, podrá proporcionar energía eléctrica al servidor central que recibe la información de los nodos remotos por un tiempo limitado, durante las interrupciones en la alimentación eléctrica y fluctuaciones de tensión inseguras. Esto evitará que todos los dispositivos conectados a la red del sistema de seguridad dejen de funcionar.

La empresa ya cuenta con un sistema UPS, por lo cual su costo no estará considerado en el presupuesto.

4.1.4 Presentación de la red inalámbrica de sensores

A continuación, en la figura 4.10 se muestra el diseño de la red propuesta para la presente tesis, indicando el equipamiento y las áreas de la empresa en el cual estarán distribuidos los dispositivos de detección y la central de monitoreo.

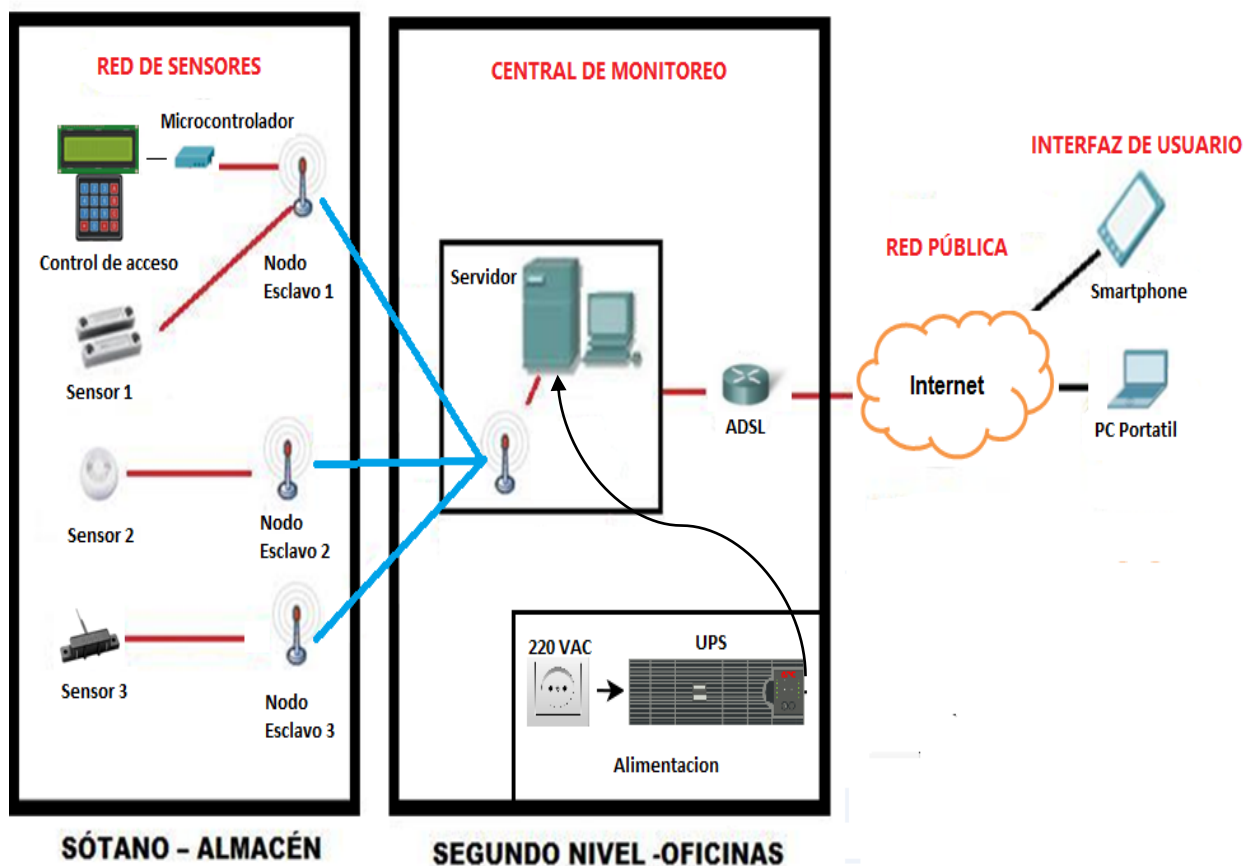


Figura 4.10: Distribución de la red [Elaboración propia]

4.2 Configuración de los módulos Xbee

En la figura 4.11 se observa el escenario de pruebas de la red inalámbrica de sensores, las direcciones que poseerá cada nodo, así como las IPs configuradas. El servidor será implementado en la sede ubicada en el Cercado de Lima.

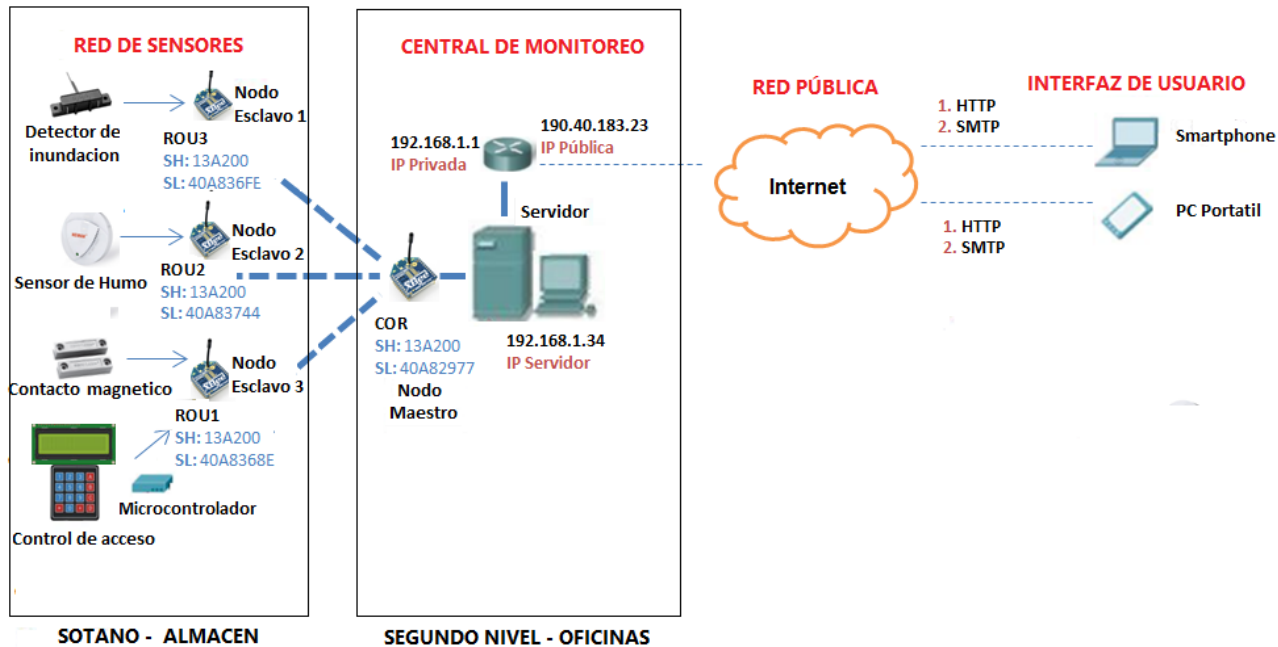


Figura 4.11: Escenario de pruebas de la red [Elaboración propia]

Se establecerá la comunicación entre el coordinador y los receptores, mediante la configuración de las direcciones que ubicarán a los dispositivos dentro de la red. Para observar las direcciones asignadas ver tabla 4.1.

Tabla 4.1: Tabla de direcciones de módulos Xbee [Elaboración propia]

Módulo	Coordinador	Router 1	Router 2	Router 3
Dispositivo conectado	PC	Control acceso Contacto magnético	Sensor de humo	Sensor de inundación
Nombre	COR	ROU1	ROU2	ROU3
CH (Canal de operación)	E	E	E	E
PAN ID	2520	2520	2520	2520
MY (Dirección de la red)	0	1CEF	5E0B	58C5
SH (Número de serie)	13A200	13A200	13A200	13A200
SL	40A82977	40A8368E	40A83744	40A836FE
DH (Dirección destino)	0	13A200	13A200	13A200
DL	FFFF	40A82977	40A82977	40A82977

4.2.1 Configuración del Xbee coordinador

En la figura 4.12 se muestra la configuración del módulo Coordinador mediante la aplicación X-CTU.

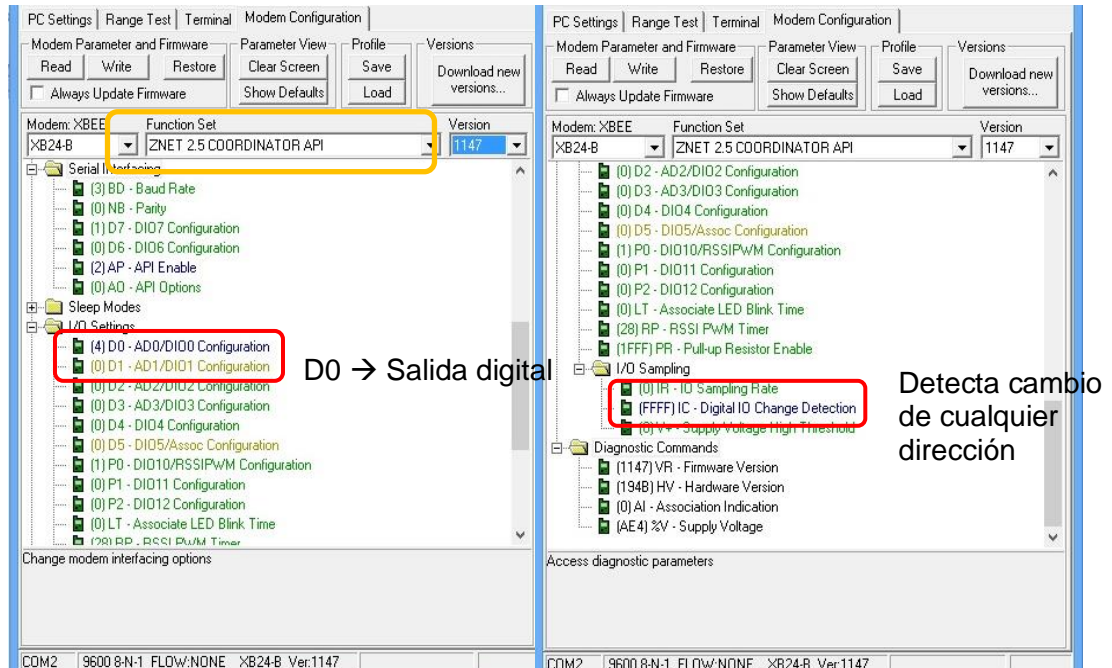


Figura 4.12: Configuración del módulo Coordinador en X-CTU

4.2.2 Configuración de los Xbee remotos

En la figura 4.13 se muestra la configuración de un módulo remoto mediante la aplicación X-CTU. La configuración de los pines de entradas digital para los tres nodos remotos será D0.

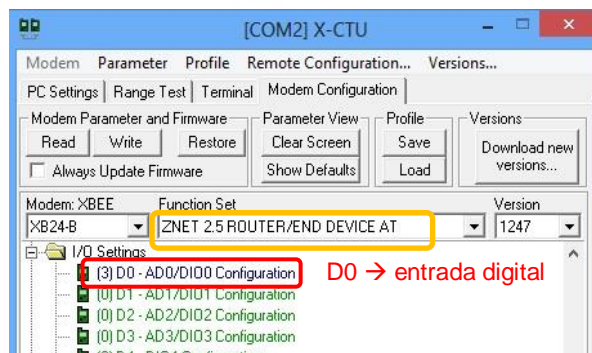


Figura 4.13: Configuración de módulos Remotos en X-CTU

4.2.3 Software de diseño

A. Software para el diseño de la red inalámbrica

En la figura 4.14 se puede observar la lógica de programación del presente diseño. A continuación, se hará una breve explicación del funcionamiento de cada etapa.

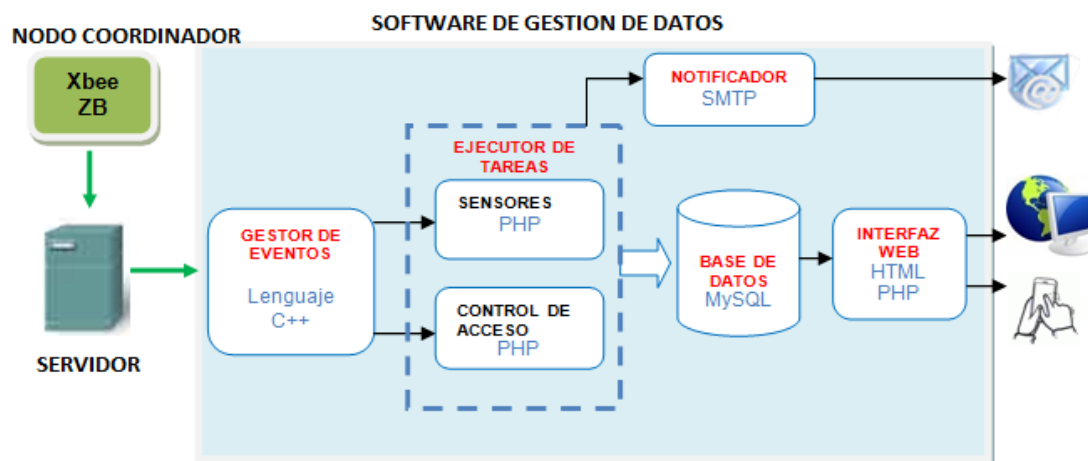


Figura 4.14: Arquitectura de software [Elaboración propia]

Gestor de eventos: El software para la gestión de los eventos fue elaborado con el programa Microsoft Visual C++, debido a que es una aplicación gratuita y a su conocimiento previo. Se utilizó el lenguaje C++ para su programación.

Para los sensores, este programa permitirá interpretar las tramas recibidas por el módulo Xbee y determinar a qué dispositivo le corresponde para luego conectarse con el ejecutor de tareas correspondiente y modificar el estado. Para el control de acceso, interpretará las tramas enviadas por el microcontrolador para identificar los eventos, ver Tabla 4.2, y se conectará con el ejecutor de tareas que corresponde.

Tabla 4.2: Eventos asignados para el Control de acceso [Elaboración propia]

Ingreso Usuario 1
Ingreso Usuario 2
Ingreso Usuario 3
Ingreso Usuario 4
Clave errada
Bloqueo del Sistema
Desbloqueo del Sistema
Cambio de clave Usuario 1
Cambio de clave Usuario 2
Cambio de clave Usuario 3
Cambio de clave Usuario 4

Ejecutor de tareas: Se desarrollaron dos programas, uno para sensores y otro para el control de acceso, ambos en lenguaje PHP. Permitirá leer el estado que le envía el gestor de eventos, hará una comparativa y se conectará con la base de datos con la finalidad de actualizar la base de datos en MySQL. Asimismo, se comunicará con el notificador cuando detecte el cambio de estado a '1' (activo) en los sensores o cuando detecte el control de acceso bloqueado.

Base de datos: La base de datos en MySQL administrará dos tablas, la de sensores y la de control de acceso, las cuales serán actualizadas constantemente.

Notificador: Se desarrolló mediante Simple Mail Transfer Protocol (SMTP), ya que es el método más fácil para poder interactuar con un servidor de correo electrónico. Para poder utilizar SMTP en el código PHP se usará PHPMailer. Esta biblioteca proporciona las configuraciones y funciones que se necesitan para enviar correo electrónico usando SMTP. En este caso se usarán los servidores de envío de Gmail.

Para el caso de los sensores, se emitirá un correo electrónico, dirigido al gerente o supervisor de la empresa para anunciar un estado de Emergencia, incendio o inundación. Para el control de acceso, se emitirá un correo electrónico para anunciar que el sistema ha sido bloqueado por ingresar la cantidad máxima de claves erradas.

Interfaz Web: La interfaz web se realizó mediante la programación en lenguaje PHP y HTML (CCS). Este bloque se comunica con la base de datos en MySQL para la lectura de la información. Permitirá visualizar las tablas actualizadas de los estados de los sensores y el control de acceso. Cabe resaltar que esta interfaz solo muestra los datos provenientes de los estados de los sensores, mas no realiza un control de ellos. Para ingresar se requiere el nombre de usuario y la contraseña de acceso.

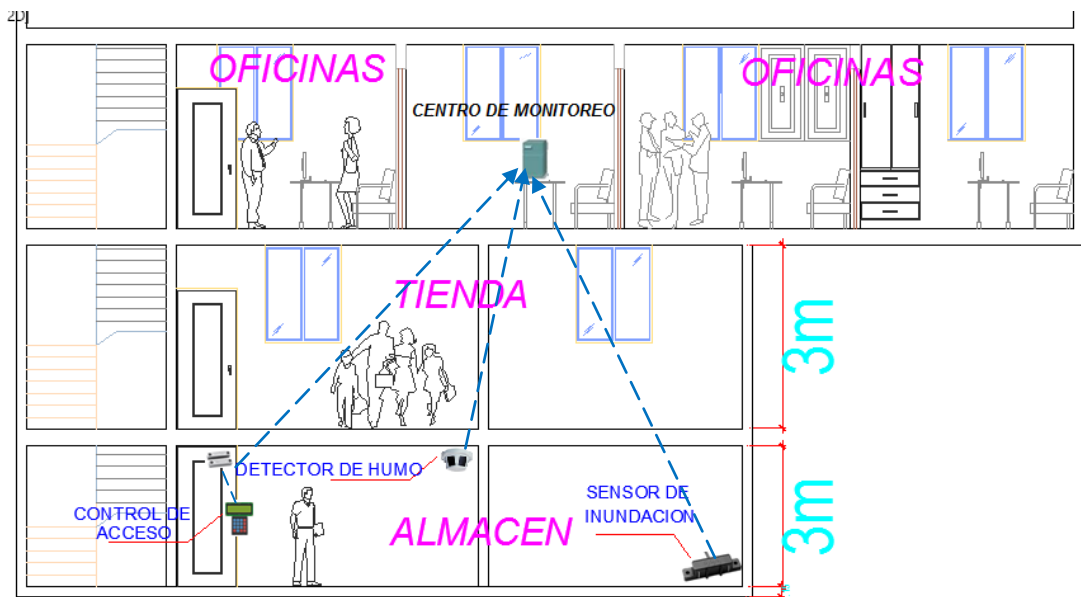
B. Software de configuración de módulos Xbee

X-CTU es una aplicación gratuita desarrollada por la compañía Digi para interactuar con los archivos firmware encontrados en los productos Digi's de RF y proveer una interfaz de usuario gráfica de configuración. Puede correr en computadoras basadas en Microsoft Windows 98 en adelante. En los anexos, se detalla el procedimiento para la configuración de los módulos Xbee ZB mediante la aplicación X-CTU.

4.3 Cálculos y pruebas

Para el desarrollo de la presente tesis es necesario realizar una evaluación métrica de las dimensiones del almacén en el cual se instalarán los dispositivos que conformarán la red de seguridad electrónica de manera que los dispositivos sean instalados estratégicamente.

Para los cálculos y pruebas, se tomará en cuenta la altura de cada piso que es de 3 m y del sótano es 3 m. La distancia aproximada de cada nodo transmisor hacia el nodo receptor es de 4.5 m y 6 m.



4.3.1 Circuitos de prueba

Se realizaron circuitos de prueba tanto para los sensores como para el control de acceso, para realizar las simulaciones del funcionamiento del sistema

Sensor de Humo:

El sensor de humo utilizado cuenta con cuatro conexiones; dos de ellas se conectan a la fuente de alimentación cuya tensión puede estar dentro del rango de 5-24 VDC. En este caso se utilizará una batería de 9VDC.

Posee una salida relé que puede ser N.O. (normalmente abierta) o N.C. (normalmente cerrada), dependiendo de la conexión del jumper que viene incluido en la tarjeta del sensor, la cual estará conectada al pin de entrada digital del módulo Xbee (D0). Esta salida se activa o desactiva según el estado del sensor. Finalmente, posee una conexión COM que es conectada a tierra.

La tarjeta del sensor de humo estará conformada por un regulador de voltaje de 3.3 VDC LM1117T, con la finalidad de alimentar al módulo Xbee Router con 3.3 VDC, su tensión de alimentación máxima. En la figura 4.15, se muestra el diagrama esquemático y la tarjeta de acondicionamiento de señal del sensor de humo.

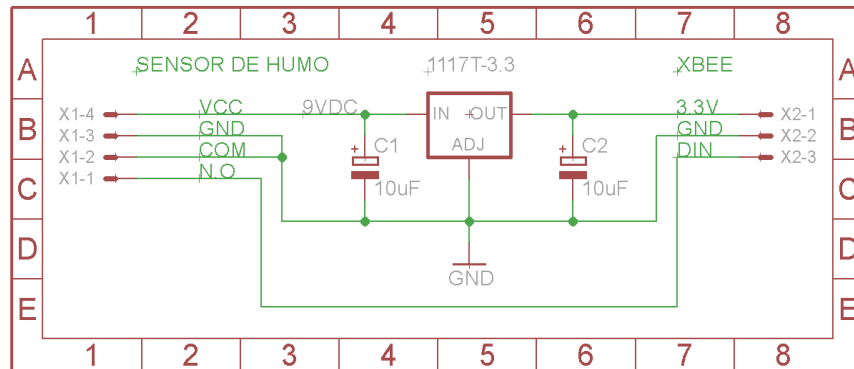


Figura 4.15: Diagrama esquemático de Sensor de Humo [Elaboración propia]

Sensor de Inundación:

El sensor de inundación utilizado cuenta con dos conexiones, una se conecta al relé de 12 VDC, por recomendación del fabricante, y la otra se conectará al pin de entrada digital del módulo Xbee (D0). Debido a que el relé requiere 12VDC, se alimentará la tarjeta con una batería de 12VDC.

La tarjeta del sensor de inundación estará conformada por un regulador de voltaje de 3.3 VDC LM1117T, con la finalidad de alimentar al módulo Xbee Router con 3.3 VDC. En la figura 4.16, se muestra el diagrama esquemático y la tarjeta de acondicionamiento de señal del sensor de inundación.

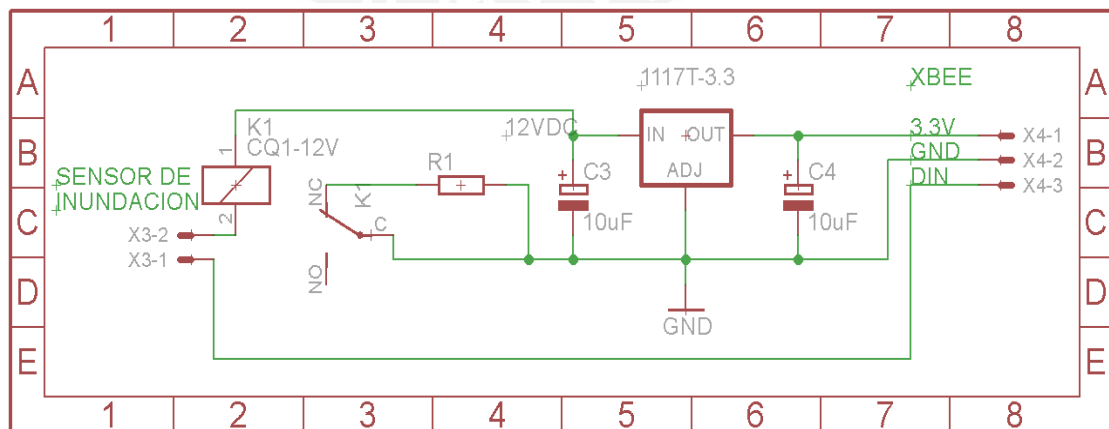


Figura 4.16: Diagrama esquemático de Sensor de Inundación [Elaboración propia]

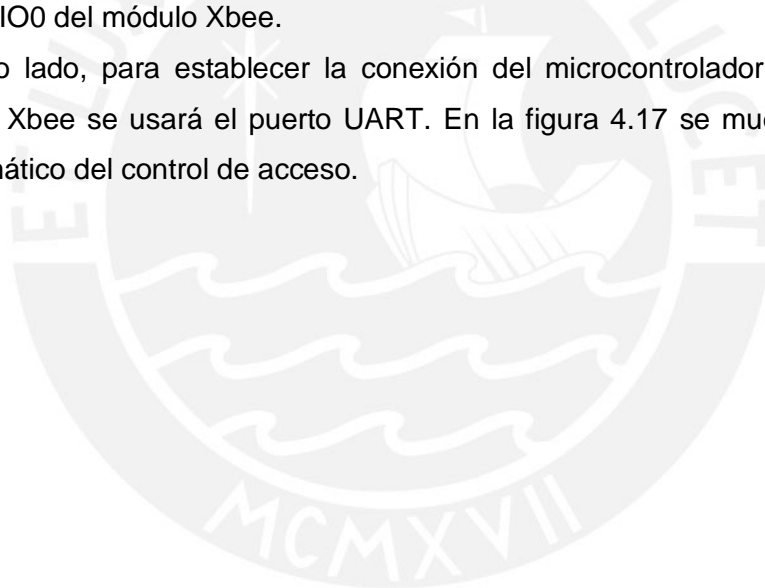
Control de Acceso:

El control de acceso está conformado por el teclado matricial, mediante el cual se digitalizará la clave de acceso; la pantalla LCD, la cual mostrará mensajes para interactuar con el usuario; el contacto magnético que permitirá indicar si la puerta se ha quedado abierta; por último, microcontrolador ATmega8L, que permitirá monitorear los eventos y controlar las salidas.

La tarjeta estará energizada con un adaptador de 9 VDC. Para el resto de componentes se utilizará una alimentación de 3.3 VDC con la finalidad de que exista compatibilidad con la tensión aplicada al módulo Xbee, para ello será necesario utilizar un regulador de voltaje de 3.3 V LM1117.

Los ocho pines correspondientes al teclado matricial se conectarán al puerto B, mientras que los pines correspondientes a la pantalla LCD serán conectados al puerto D, y su pin de habilitación estará conectado al puerto C (PC0). Asimismo, se utilizó un molex para el contacto magnético, el cual estará conectado directamente al pin DIO0 del módulo Xbee.

Por otro lado, para establecer la conexión del microcontrolador ATmega8L con el módulo Xbee se usará el puerto UART. En la figura 4.17 se muestra el diagrama esquemático del control de acceso.



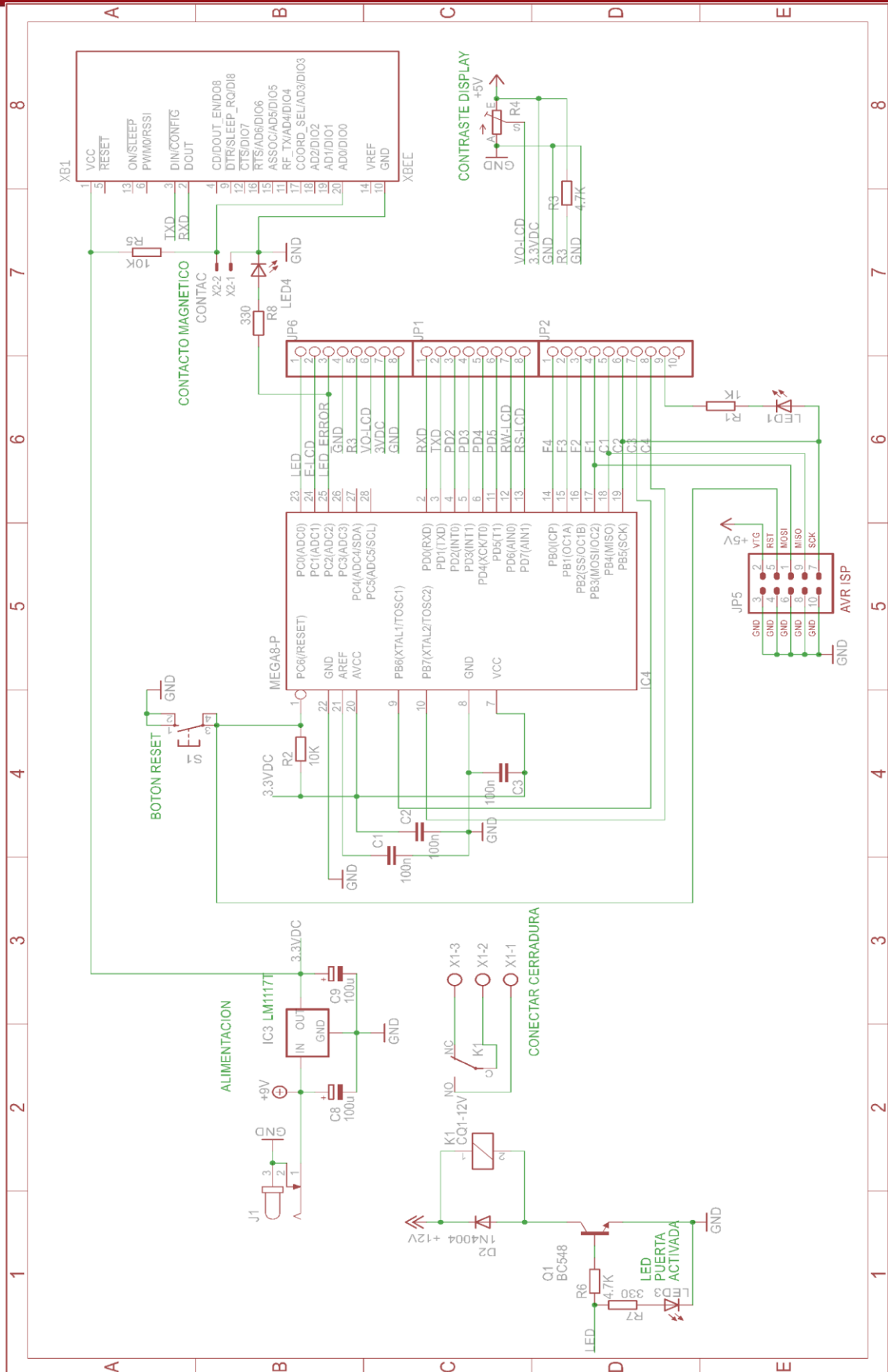


Figura 4.17: Tarjeta del control de acceso [Elaboración propia]

4.3.2 Pruebas de conectividad

Pruebas de RSSI: Estas pruebas se realizaron para verificar el rango de alcance de los módulos XBee y la calidad de la señal al enviar datos de un nodo router a un nodo coordinador ubicados a diferentes distancias.

Se tomaron cuatro distancias diferentes, similares a las distancias de separación que tendrán los nodos de acuerdo al diseño realizado.

Para esta prueba se usaron cuatro módulos XBee, uno configurado como nodo coordinador en modo AT y los otros tres como nodos routers en modo API. Se usó la prueba de “loopback” del software X-CTU para determinar el número de tramas perdidas y el nivel RSSI de la señal. Las tramas enviadas fueron paquetes de datos de 32 bytes. En la tabla 4.3 se puede observar los valores RSSI para diversas distancias.

Además, consideraremos que el XBee es capaz de informar el nivel RSSI (Fuerza de señal del receptor Indicador) de varias maneras para poder controlar la fuerza de la señal.

La salida PWM0/RSSI produce un ancho de pulso que indica el nivel RSSI.

Cuando se recibe en el modo API, un byte en el paquete contiene el nivel RSSI.

Tabla 4.3: Pruebas de RSSI con la aplicación X-CTU

Fuente	Receptor	Ambiente	Paquetes Enviados	Paquetes Recibidos	Porcentaje(%)	Distancia(m)	RSSI(dB)
Primer Piso	Primer Piso	Campo Libre	50	50	100	4.5	-54
Primer Piso	Primer Piso	Campo Libre	50	50	100	6	-60
Sotano(almacen)	2 Piso	Interiores	50	50	100	4.5	-67
Sotano(almacen)	2 Piso	Interiores	50	50	100	6	-70
Sotano(almacen)	3 Piso	Interiores	50	47	94	7	-88
Sotano(almacen)	3 Piso	Interiores	50	46	92	7	-89

De las pruebas descritas en la tabla 4.3 se observa que en campo libre (sin paredes y obstáculos) se obtienen niveles de RSSI menores a -70 dB. Por otro lado, de las pruebas realizadas en interiores (desde el sótano hacia el segundo piso), simulando el escenario real, los valores llegan hasta -70 dB sin pérdida de paquetes. Cabe resaltar, que además, se realizaron pruebas desde el sótano hacia el tercer nivel, en la que se observa que el nivel de RSSI llega hasta valores de -89 dB y se producen pérdidas de paquetes. Por lo que se recomienda, en caso se necesite cobertura en el tercer piso, agregar repetidores o utilizar una antena de mayor rango.

Rango de alcance de antena:

Para que exista cobertura, se debe cumplir que la potencia en la recepción debe ser mayor que la sensibilidad del receptor (-96 dBm), más el margen de seguridad que para un enlace es de 10 dB según UIT. ($P_{\text{RECEPCION}} > -96 + 10 = -86$)

$$P_{\text{RECEPCION}} = W_{\text{TX}} - P_{\text{CABLES TX}} + G_{\text{ANTENA TX}} - P_{\text{PROPAGACION}} + G_{\text{ANTENA RX}} - P_{\text{CABLES RX}}$$

$$P_{\text{PROPAGACION}} = 40 + 20 \log(d) = 79.08 \text{ dB}$$

Se consideró una pérdida en los cables de 3 dB ($P_{\text{CABLES}} = 1$ dB por metro). La potencia de transmisión del XBee es de 1 dBm (1.25 mW). Se calculó la distancia de $d = 90$ m (en caso de ampliaciones hacia las otras áreas de la empresa). Reemplazando valores se obtiene:

$$P_{\text{RECEPCION}} = 1 \text{ dBm} - 3 \text{ dbi} + 2G - 79.08 - 3 \text{ dbi} > -86 \text{ db, entonces } G > 0.96$$

Debido a que $G_{\text{ANTENA}} > 0.96$, se concluye que con una antena de más de 1 dBi de ganancia es viable la comunicación a una distancia máxima de 90 m.

Para el desarrollo de la investigación se utilizan los XBee ZB serie2 con antenas whip, las cuales poseen una ganancia de 1.5 dBi y cubren la distancia necesaria para el almacén. La antena será ubicada en el exterior de una estructura de plástico, lejos de objetos de metal para evitar reflexiones que pueden reducir su eficiencia.

4.3.3 Pruebas de recepción de tramas API en nodo coordinador

La prueba de recepción de tramas tiene como finalidad analizar la tramas API generadas en el nodo coordinador cuando uno o más nodos remotos le envían la información obtenida a través de uno de sus pines configurado como entradas digitales, D0.

Para esta prueba se usaron cuatro radios XBee, uno configurado como Coordinador y los otros tres configurados como Router, ambos en modo API. Las tramas API obtenidas pueden ser visualizadas en el Terminal de X-CTU o en el "hyperterminal" de Windows.

En la figura 4.18 se puede observar la composición de las tramas. Se inicia por el delimitador de inicio 7E, luego se indica la longitud del mensaje. Dentro de la trama de datos se indica el Identificador de la trama o ID; la dirección destino, el cual incluye los caracteres de escape 7D 33, en lugar de 13, para no interferir con la

secuencia de la trama de datos; la dirección de la red en la que se encuentran todos los nodos; si la dirección es broadcast o de dirección desconocida; el byte de paquete de datos; y finalmente, el byte Checksum o suma de verificación.

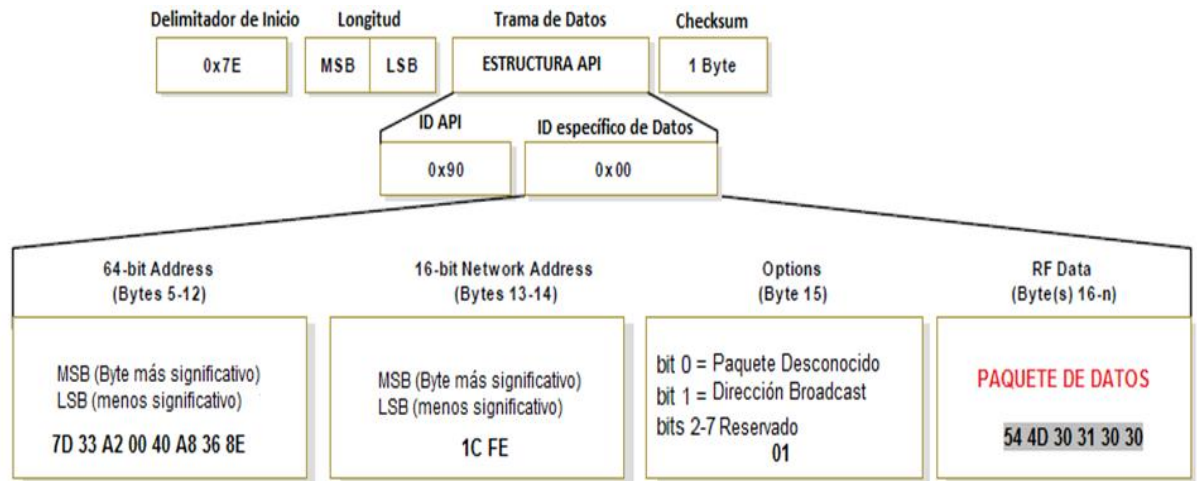


Figura 4.18: Organización de las tramas [10]

a) Datos provenientes del nodo **remoto 1**, Control de acceso y contacto magnético:

Control de acceso: En la tabla 4.4 se muestran los identificadores que se consideraron para los diferentes eventos. Asimismo, en la tabla 4.5 se observan las tramas que fueron enviadas al nodo coordinador desde el control de acceso.

Tabla 4.4: Identificadores de eventos [Elaboración propia]

Evento	Identificador	Hexadecimal
Ingreso Usuario 1	TM0100	54 4D 30 31 30 30
Ingreso Usuario 2	TM0200	54 4D 30 32 30 30
Ingreso Usuario 3	TM0300	54 4D 30 33 30 30
Ingreso Usuario 4	TM0400	54 4D 30 34 30 30
Clave errada	TM0X00	54 4D 30 58 30 30
Bloqueo del Sistema	TMXX00	54 4D 58 58 30 30
Desbloqueo del Sistema	TMYY00	54 4D 59 59 30 30
Cambio de clave Usuario 1	TM0101	54 4D 30 31 30 31
Cambio de clave Usuario 2	TM0102	54 4D 30 32 30 32
Cambio de clave Usuario 3	TM0103	54 4D 30 33 30 33
Cambio de clave Usuario 4	TM0104	54 4D 30 34 30 34

Tabla 4.5: Tramas recibidas por coordinador-Control de acceso [Elaboración propia]

Tramas recibidas por coordinador	Estado
7E 00 12 90 00 7D 33 A2 00 40 A8 36 8E 1C EF 01 54 4D 30 31 30 30 A0	Usuario 1
7E 00 12 90 00 7D 33 A2 00 40 A8 36 8E 1C EF 01 54 4D 30 32 30 30 9F	Usuario 2
7E 00 12 90 00 7D 33 A2 00 40 A8 36 8E 1C EF 01 54 4D 30 33 30 30 9E	Usuario 3
7E 00 12 90 00 7D 33 A2 00 40 A8 36 8E 1C EF 01 54 4D 30 34 30 30 9D	Usuario 4
7E 00 12 90 00 7D 33 A2 00 40 A8 36 8E 1C EF 01 54 4D 30 58 30 30 79	Clave Errada
7E 00 12 90 00 7D 33 A2 00 40 A8 36 8E 1C EF 01 54 4D 58 58 30 30 51	Bloqueado
7E 00 12 90 00 7D 33 A2 00 40 A8 36 8E 1C EF 01 54 4D 59 59 30 30 4F	Desbloqueado
7E 00 12 90 00 7D 33 A2 00 40 A8 36 8E 1C EF 01 54 4D 30 31 30 31 9F	Cambio clave 1
7E 00 12 90 00 7D 33 A2 00 40 A8 36 8E 1C EF 01 54 4D 30 32 30 32 9D	Cambio clave 2
7E 00 12 90 00 7D 33 A2 00 40 A8 36 8E 1C EF 01 54 4D 30 33 30 33 9B	Cambio clave 3
7E 00 12 90 00 7D 33 A2 00 40 A8 36 8E 1C EF 01 54 4D 30 34 30 34 99	Cambio clave 4

En la figura 4.19 se muestra las tramas recibidas para el ingreso de usuarios.

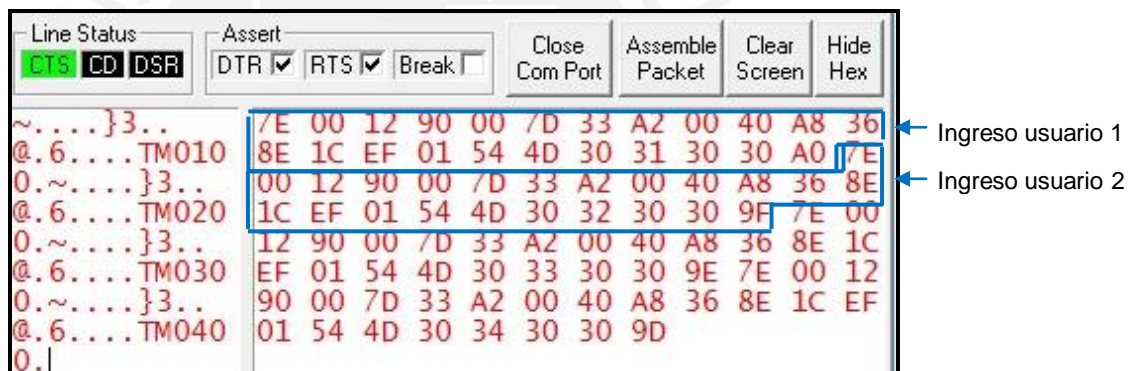


Figura 4.19: Recepción de tramas API para ingreso de usuarios [Elaboración propia]

En la figura 4.20 se muestran las tramas recibidas si el usuario cambió de clave. En la primera trama se muestra que el usuario 1 cambió de clave, en las siguientes líneas las tramas correspondientes a los otros usuarios.

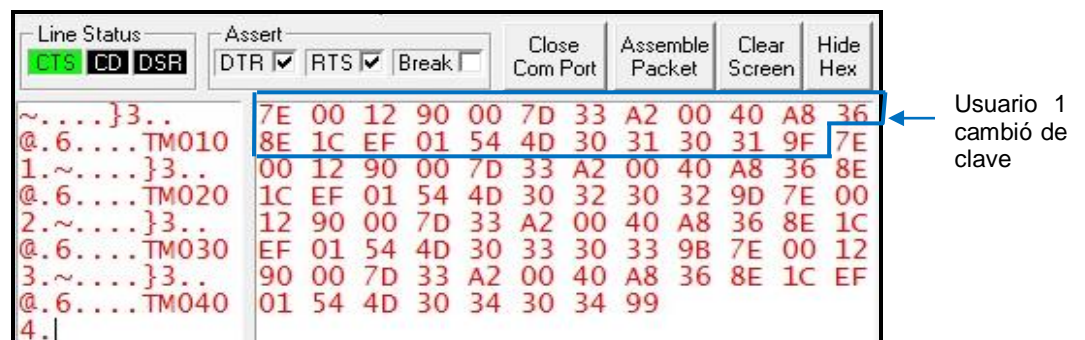


Figura 4.20: Recepción de tramas API para nuevas claves [Elaboración propia]

En la figura 4.21 se muestran las tramas recibidas si los usuarios ingresaron la clave incorrecta tres veces. Si se ingresa más de tres veces la clave incorrecta el sistema se bloqueará. Finalmente, se muestra la trama recibida en caso de que se ingrese la clave maestra para desbloquear el sistema.

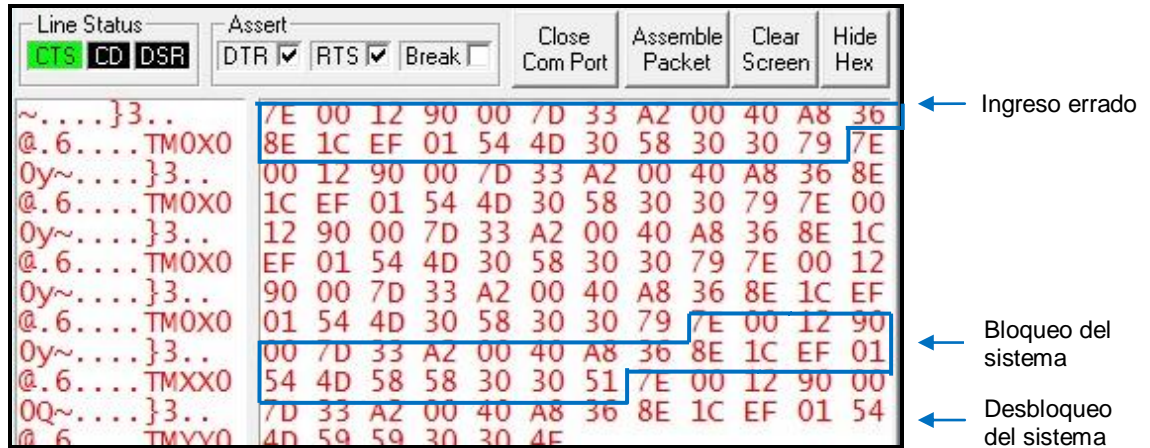


Figura 4.21: Recepción de tramas API de ingreso errado [Elaboración propia]

Para el caso de los sensores, la tabla 4.6 indica las tramas que serán recibidas por el nodo coordinador en caso de la activación o apagado de los sensores.

Tabla 4.6: Tramas enviadas desde detectores al coordinador.

Tramas recibidas por coordinador	Estado
7E 00 12 92 00 7D 33 A2 00 40 A8 36 8E 1C EF 01 01 FF FF 00 00 01 00	Contacto abierto
7E 00 12 92 00 7D 33 A2 00 40 A8 36 8E 1C EF 01 01 FF FF 00 00 00 01	Contacto cerrado
7E 00 12 92 00 7D 33 A2 00 40 A8 37 44 1C EF 01 01 FF FF 31 30 30 A0	Sensor de humo activo
7E 00 12 92 00 7D 33 A2 00 40 A8 37 44 1C EF 01 01 FF FF 31 30 30 A0	Sensor de humo desactivo
7E 00 12 92 00 7D 33 A2 00 40 A8 36 FE 58 C5 01 01 FF FF 00 00 00 7F	Sensor inundación activo
7E 00 12 92 00 7D 33 A2 00 40 A8 36 FE 58 C5 01 01 FF FF 00 00 01 7D	Sensor inundación desactivo

Contacto magnético:

En el caso del contacto magnético, la figura 4.22 muestra las tramas recibidas por el nodo coordinador en caso que la apertura o cierra del contacto.

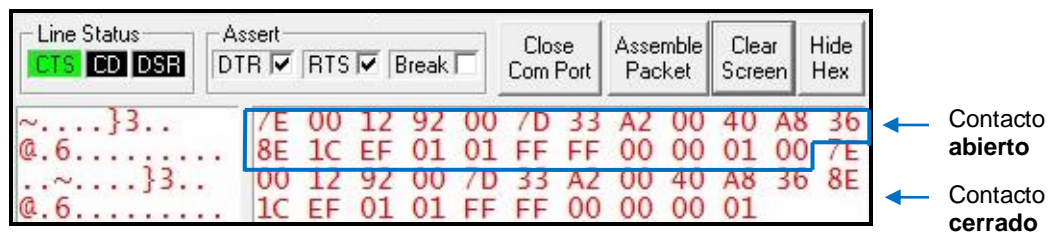


Figura 4.22: Recepción de tramas API para contacto magnético [Elaboración propia]

b) Datos provenientes del nodo **remoto 2**, Sensor de humo:

En la figura 4.23 se muestra la trama recibida por el coordinador en caso de que el sensor de humo pase a estado activo, en la siguiente línea se muestra la trama correspondiente al caso de que el sensor de humo esté desactivado.

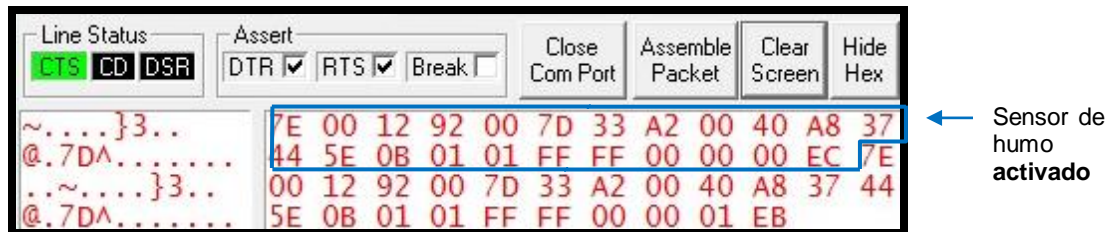


Figura 4.23: Recepción de tramas API para el sensor de humo [Elaboración propia]

c) Datos provenientes del nodo **remoto 3**, Sensor de inundación:

En la figura 4.24 se muestra la trama recibida por el coordinador en caso de que el sensor de inundación pase a estado activo.

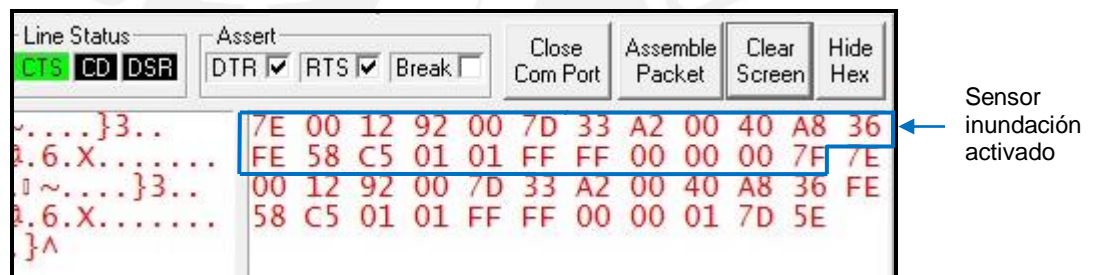


Figura 4.24: Recepción de tramas API para el sensor de inundación [Elaboración propia]

4.3.4 Visualización de datos usando Microsoft Visual C++

Para la confirmación de la recepción adecuada de las tramas, tanto para el control de acceso como de los sensores, se usó la interfaz de la aplicación de Microsoft Visual C++. En la figura 4.25 se muestran las pruebas realizadas en esta aplicación. En el control de acceso, se comprobó el adecuado registro de ingreso de los cuatro usuarios cuando se verifica que la clave de ingreso es la correcta; y para el caso de los sensores, se hicieron pruebas de activación y apagado de los sensores de humo e inundación.

```

C:\Users\URPI\documents\visual studio 2010\Projects\lect
Usuario 1 ha ingresado
Enhorabuena, se ha conectado con la base de datos.
Usuario 2 ha ingresado
Enhorabuena, se ha conectado con la base de datos.
Usuario 3 ha ingresado
Enhorabuena, se ha conectado con la base de datos.
Usuario 4 ha ingresado
Enhorabuena, se ha conectado con la base de datos.

Sensor de Humo activado
Enhorabuena, se ha conectado con la base de datos.
Sensor de humo desactivado
Enhorabuena, se ha conectado con la base de datos.

Sensor de inundacion activado
Enhorabuena, se ha conectado con la base de datos.
Sensor de inundacion desactivado
Enhorabuena, se ha conectado con la base de datos.
  
```

Figura 4.25: Control de acceso, Sensor de Humo e Inundación [Elaboración propia]

4.3.5 Visualización de datos desde Internet

Notificación mediante un e-mail:

La notificación mediante el envío de un email se dará en el caso de:

- Alarma de incendio.
- Alarma de inundación.
- Alarma de control de acceso bloqueado.

En la figura 4.26 se muestra el envío del email al gerente o supervisor, en caso de que la alarma de incendio haya sido activada.

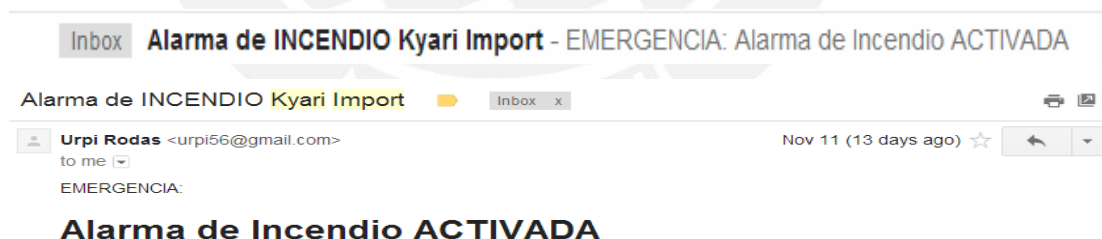


Figura 4.26: Notificación de Incendio mediante el envío de un e-mail electrónico

Servidor WEB en HTML y PHP:

Para ingresar a la interfaz web, el usuario debe acceder a la web colocando en la URL: <http://kyariimport.dyndns-web.com/KyarilImport.php>. En la Figura 4.27 se observa la primera página que aparecerá cuando el usuario acceda al sistema, donde se debe ingresar el USER (usuario) y PASSWORD (contraseña). En la Figura 4.27 se observan la tabla de eventos tanto del control de acceso como de los

estados de los sensores (Apagado o Activo), una vez que se haya verificado la clave de acceso.



Kyari Import

Indique su nombre de usuario y clave

User:

Password:

LOGIN

Figura 4.27: Ingreso de Usuario y Contraseña [Elaboración propia]



kyariimport.dyndns-web.com

kyariimport.dyndns-web.com/actualizacion.php

Sistema de Seguridad Kyari Import S.A.C.

Monitoreo: ESTADO DE SENSORES

ID	Sensor	Estado
1	ContactoMagnetico	Apagado
2	SensorHumo	Apagado
3	SensorInundacion	Apagado

Monitoreo: CONTROL DE ACCESO

ID	Usuarios	Evento	FechaHoraIngreso
3	1	Ingreso	2014-01-19 00:59:41
4	2	Ingreso	2014-01-19 01:00:14
5	3	Ingreso	2014-01-19 01:00:30
6	4	Ingreso	2014-01-19 01:00:45
12	0	Clave errada	2014-01-19 01:03:01
13	0	Clave errada	2014-01-19 01:03:11
14	0	Clave errada	2014-01-19 01:03:22
15	0	Clave errada	2014-01-19 01:03:36
16	0	Sistema Bloqueado	2014-01-19 01:03:44
17	0	Sistema Desbloqueado	2014-01-19 01:10:44
19	1	Cambio de clave	2014-01-19 01:12:27
20	2	Cambio de clave	2014-01-19 01:12:54
21	3	Cambio de clave	2014-01-19 01:14:05
22	4	Cambio de clave	2014-01-19 01:14:58

Figura 4.28: Interfaz Web [Elaboración propia]

4.4 Costo de inversión

En esta sección se presentará el costo de inversión para el desarrollo de la presente tesis (ver tabla 4.7). El presupuesto incluye los costos correspondientes a los equipos, materiales utilizados, y al servicio de ingeniería para esta solución.

Tabla 4.7: Costo de los equipos, materiales y servicio de ingeniería [Elaboración propia]

Costo de Servicio de Ingeniería			
Descripcion	Costo diario(\$)	Cantidad de Días(8hx día)	Total(\$)
Recolección de información (metraje, condiciones, etc)	150	1	150
Diseño de la Red	300	15	4500
Implementación de la Red	150	5	750
Secuencia de Pruebas y Validación	150	2	300
Total Costo Ingeniería			5700
Costo de equipos y materiales			
Descripcion	Costo x Unidad (\$)	Cantidad	Total(\$)
Nodo Base			
Módulo RF / Xbee ZB Series 2	35.75	2	71.5
Adaptador USB / Xbee Explorer	9.3	1	9.3
PC(Propiedad de la empresa)	0	1	0
Nodos Remotos			
Módulo RF / Xbee ZB Series 2	35.75	6	214.5
Microcontrolador Atmega8L	3	2	6
Contacto magnético / Seco-larm	3	2	6
Sensor de Humo / Heiman HM-612 4-wire	13	2	26
Sensor de Inundación / GRI 2800	16	2	32
Sirena con luz estroboscópica P2R-SP 12 VDC	35	1	35
Tarjeta Control de acceso	10	1	10
Tarjeta Sensor de Humo	5	1	5
Tarjeta Sensor de Inundación	5	1	5
Total Costo de Hardware			420.3
Costo de Software			
Descripcion	Costo (\$)	Cantidad	Total(\$)
Dominio de la Página web	30	1	30
Desarrollo del Software de la Pasarela	200		200
Total Costo de Software			230
Costo de implementación (\$)			6350.3

Como se puede observar en la tabla 4.7 el costo total de la solución es de \$6655.3. Adicionalmente, se requiere considerar un costo de personal de monitoreo de turno noche, el cual implicaría un gasto mensual de S/. 800.

CONCLUSIONES

- El diseño de la solución logró establecer los requerimientos del sistema de seguridad, distribuyendo de manera eficiente los elementos en el interior del almacén. Asimismo, se determinaron las funcionalidades de la seguridad contra robos, seguridad contra incendios, y control de accesos, ejecutando el flujo de acciones integrado en un solo sistema, lo cual contribuirá a mejorar la calidad de vida de los trabajadores de la empresa.
- La simulación del funcionamiento del sistema mediante el diseño e implementación de circuitos de prueba, garantiza el correcto funcionamiento de la red y la comunicación adecuada entre sus elementos sin pérdida de paquetes.
- De acuerdo al presupuesto realizado, se puede concluir que la tecnología Zigbee es una opción de bajo costo. Esto sumado a su bajo consumo de energía, a su amplio rango de alcance y el desarrollo de interfaces entre estos y otros estándares como el Wi-Fi, protocolo TCP/IP, entre otros, hacen que sea una opción competitiva en el mercado de redes inalámbricas de sensores.
- El presente diseño de la red inalámbrica de sensores permite integrar nuevos dispositivos, haciendo que el sistema pueda ser expandido hacia otras áreas de la empresa.
- Se realizaron pruebas de comunicación entre la estación base y los tres nodos remotos a diferentes distancias, mediante el envío de tramas de datos que fueron analizadas y procesadas, lo cual definió el alcance máximo del sistema.
- La red de sensores es monitoreada a través de una página Web, esto permite observar el correcto funcionamiento de los elementos del sistema. Asimismo, se realizaron pruebas de las que se obtuvieron resultados satisfactorios que mostraban los datos actualizados tanto del estado de los sensores, como del control de acceso, usuarios, eventos, fecha y hora del evento.
- Se logró hacer el diseño lo más económico posible, utilizando equipamiento de bajo costo y aprovechando recursos de la empresa, tales como el servicio de internet y computadora de monitoreo.

RECOMENDACIONES

- El presente diseño de la red inalámbrica de sensores permite integrar nuevos dispositivos, debido a que este protocolo puede manejar hasta 65536 nodos, es decir, es escalable. De esta manera, se recomienda adaptar y ampliar este sistema de seguridad a otras áreas de la empresa.
- De acuerdo con las pruebas realizadas, para zonas más alejadas al segundo nivel, se recomienda usar antenas de mayor alcance, ya que se presentaron pérdidas de paquetes a distancias mayores al radio de alcance del módulo elegido.
- Este sistema de seguridad puede ser implementado en casas o edificios, debido a que el sistema opera de manera inalámbrica, lo cual evita la necesidad de hacer modificaciones engorrosas en la infraestructura. Adicionalmente, esta flexibilidad permite realizar las tareas de monitoreo desde un centro de vigilancia ubicado en cualquier área de la empresa.
- Esta solución permite integrar dispositivos de diversas tareas específicas; por lo tanto, con el desarrollo de un programa de gestión más completo para una vivienda o empresa con nuevos dispositivos, podrían añadirse múltiples funciones, de tal manera que se pueda monitorear y controlar el nivel de ahorro energético, temperatura, humedad, iluminación, etc., con el fin de automatizar todo un hogar o empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ipsos APOYO
2012 “VII Encuesta Nacional sobre percepciones de la corrupción en el Perú 2012”. Proética. Lima, 27 abril, pp. 4-5.
- [2] Datum
2013 “Encuesta de Opinión Pública a nivel Nacional”. Datum Internacional S.A. Lima, 02 julio, pp. 23-24.
- [3] Gooble MAP
<<http://maps.google.com>>
- [4] FERNANDEZ BARCELL, Manuel
2008 “Wireless Sensor Network”. Artículo publicado en Colegio Oficial Asociación Española, Ingenieros de Telecomunicación. Consulta: 13 de julio 2013.
<<http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf>>
- [5] HUIDOBRO, José Manuel
2007 Edificios Inteligentes. México: Limusa
- [6] MARTIN, Javier; RUIZ, Daniel
2007 “Protocolo Zigbee (IEEE 802.15.4)”. Repositorio institucional de la Universidad de Alicante. España. Consulta: 13 de abril de 2012.
<<http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1109/7/InformeZigBee.pdf>>
- [7] BARRIGA, Walter Edwin; ZÚÑIGA Calle, Fabián Paúl.
2006 “Tecnologías inalámbricas de corto alcance: zigbee y bluetooth”. Tesis de pregrado con mención en Ingeniería Electrónica. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana. Facultad de Ingeniería Ecuador. Consulta: 15 de setiembre de 2013.
- [8] FOROUZAN, Behrouz A.
2008 Transmisión De Datos Y Redes De Comunicaciones. España: McGraw-Hill.

- [9] PONCE, Enrique de Miguel.
2008 Redes inalámbricas: IEEE 802.11. Material de enseñanza. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- [10] DIGI
2013 Product Manual: XBee / XBee-PRO ZB RF Modules. Consulta: 20 de abril de 2013.
<http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976_P.pdf>
- [11] DOMODESK S.L.
2009 A fondo: Zigbee. Consulta: 17 de agosto de 2012.
<<http://www.domodesk.com/content.aspx?co=97&t=146&c=43>>
- [12] E-INNOVATE
2008 “Redes de sensores sin cable, tecnología que cambiará el mundo”. Innovación y Tecnología. Consulta: 20 de mayo de 2012.
- [13] INSTITUTO EVANGELICO AMERICANO
2010 “Tipos de redes”. Consulta: 25 de mayo de 2012.
<http://www.iea.edu.ar/archivos/Tipos_de_Redес_apunte_para_clases.pdf>
- [14] ROMERO, María del Carmen
2010 Redes Locales. 1a ed. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- [15] INTERAMSA, Inversiones Interamericanas
2013 Sensor Foto eléctrico de humo 4098-9601. Manual de producto. Consulta: 25 de mayo 2013.
<http://www.interamsa.com.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=1109&Itemid=1057>
- [16] MAGNE TJENSVOLD, Jan
2007 “Comparison of the IEEE 802.11, 802.15.1, 802.15.4 and 802.15.6 wireless Standards” Consulta: 25 de junio 2012.
<<http://janmagnet.files.wordpress.com/2008/07/comparison-ieee-802-%20standards.pdf>>

[17] PROJETASARLA

2013 2x16 Numeric LCD (blue). Consulta: 25 de abril de 2012.
<<http://projetasarla.com/portfolio/2x16-numeric-lcd-blue/>>

[18] INTERAMSA, Inversiones Interamericanas

2013 Detector pasivo infrarrojo inalámbrico WS4904P. Manual de producto. Consulta: 25 de abril de 2013.
<http://www.interamsa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=591&Itemid=679>

[19] SECO-LARM

2013 Contactos Magnético SM-300Q. Manual de producto. Consulta: 23 de mayo de 2013.
<<http://www.seco-larm.com/Magnt1bSp.html>>

[20] DOMOPRAC

2011 Sensores, tipos y funcionalidades. Consulta: 16 de abril de 2013.
<<http://www.domoprac.com/hardware-y-productos-domoticos/sensores-tipos-y-funcionalidades.html>>

[21] HUIDOBRO, José Manuel / MILLÁN, Ramón

2010 Manual de domótica. España: Creaciones Copyright S.L

[22] CALLONI, Juan Carlos

2011 Curso Básico de Domótica. Argentina: Editorial Alsina

[23] MOOG CROSSBOW

2013 Environmental Sensing Technology.
<<http://www.xbow.com/about-us/technology>>

[24] MCI Electronics

2013 Tutorial Xbee. Consulta: 9 de abril 2013.
<http://www.olimex.cl/tutorials.php?page=tut_xbee>

[25] HEIMAN

2013 Security Product. Consulta: 13 de abril de 2013.
<<http://www.heimantech.com/>>

- [26] Surface Mount Water Sensor. Consulta: 25 de abril de 2013.
2013 Water Sensor. Consulta: 13 de abril de 2013.
<<http://www.grisk.com/specialty/pdf/2800%20water%20sensor.pdf>>
- [27] SECO-LARM
2013 Contacto Magnético. Consulta: 23 de abril de 2013.
<<http://www.seco-larm.com/pdfs/PI-SM-217Q.pdf>>
- [28] Atmel
2013 Atmega8L Datasheet Download. Consulta: 08 de abril de 2013.
<http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf>
- [29] Electronica60Norte
Productos: Teclado Matricial. Consulta: 08 de abril de 2013.
<<http://www.electronica60norte.com/detalle.php?sku=492>>
- [30] RIVERA, Fabian / RAMIREZ, Yonny
2009 Diseño, implementación y puesta en marcha de un Sistema domótico. Tesis de licenciatura en Ingeniería Electrónica. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Electrónica. Consulta: 15 de setiembre de 2013.
- [31] SUÁREZ, Juan
2013 “Aplicación de tecnología Zigbee para el monitoreo de variables ambientales en invernaderos”. Duitama: Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería. Consulta: 15 de junio de 2013.
- [32] HEBEL, Martin / BRICKER, George
2010 “Getting Started with XBee RF Modules”. Tutorial. Parallax Inc. Consulta: 08 de abril de 2013.
<<http://www.parallax.com/portals/0/downloads/docs/prod/book/122-32450-xbeetutorial-v1.0.pdf>>
- [33] QUISPE, Luis
2012 “WSN (Wireless Sensor Network) Redes de sensores Inalámbricos”. [Diapositivas].

[34] SENTILLA

2013 Sentilla Corporation. Consulta: 15 de abril de 2013.
<<http://www.sentilla.com/product/>>

[35] DIGI

2013 "XBEE Wireless RF Modules". Consulta: 15 de abril de 2013.
<<http://www.digi.com/lp/xbee/>>

[36] Radioshack

2013 Timbres, bocinas y micrófonos. Consulta: 10 de diciembre de 2013.
<<http://es.radioshack.com/product/index.jsp?productId=23262856#stuff-you-want>>

