



**Diseño e implementación de un sistema alarma de seguridad por dispositivo  
inalámbrico de envío y recepción de señal por módulos Xbee a la estación de Policía  
Nacional en Acevedo/Huila**

**William Toledo Motta**  
Código 20441628369

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Electrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

Año 2023

**Diseño e implementación de un sistema alarma de seguridad por dispositivo inalámbrico de envío y recepción de señal por módulos Xbee a la estación de Policía Nacional en Acevedo/Huila.**

**William Toledo Motta**  
Código 20441628369

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título  
de:

**Ingeniero Electrónico**

Director (a): Ingeniero, Ing. Mario Pinto

Línea de Investigación: Radiofrecuencias y sistemas de alarma.

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Electrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Ciudad, Colombia

Año 2023

## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado: Diseño de un sistema alarma de seguridad por dispositivo inalámbrico de envío y recepción de señal por módulos Xbee en

Acevedo/Huila, Cumple con los requisitos para optar

El título de Ingeniero Electrónico.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Neiva, 2023

## Contenido

Pág.

<b>Resumen</b> .....	<b>12</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>13</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>14</b>
<b>Antecedentes</b> .....	<b>22</b>
<b>Capítulo I. Marco teórico</b> .....	<b>28</b>
1.1 Marco conceptual.....	28
1.1.1 Elementos que componen el dispositivo electrónico .....	28
1.2 Marco referencial .....	30
1.2.1 Módulos Xbee.....	30
1.2.2 Intensidad de señal RSSI .....	31
1.2.3 Intensidad de señal en módulos Xbee .....	32
1.3 Marco legal .....	38
1.3.1 RESOLUCIÓN 000105, 27 De marzo de 2020.....	38
<b>Capítulo II. Metodología de diseño</b> .....	<b>39</b>
<b>Capítulo III. Cálculos electrónicos y diseño</b> .....	<b>46</b>
3.1 Estimación del alcance de radiotransmisión para el uso de un Xbee .....	46
3.2 Desarrollo del cálculo para determinar el alcance de transmisión y recepción en espacio libre .....	48

<b>Capítulo IV. Programación y construcción .....</b>	<b>54</b>
4.1 Código aplicado para el Xbee Receptor.....	54
4.2 Código aplicado para el Arduino emisor .....	55
4.3 Programación de los Xbee por X-Ctu .....	56
4.4 Simulación del proyecto en Proteus. ....	59
4.4.1 Circuito Receptor .....	59
4.5 Construcción .....	64
<b>Capitulo V. Resultados y análisis .....</b>	<b>69</b>
5.1 Interpretación del PPE .....	69
5.2 Interpretación del LLT .....	71
5.3 Interpretación del PIRE.....	72
5.4 Interpretación del NRS .....	73
5.5 Interpretación del margen de desvanecimiento.....	74
5.6 Interpretación del RSSI.....	76
5.7 Pruebas en la estación policía .....	77
<b>Conclusiones .....</b>	<b>80</b>
<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>82</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>88</b>
Anexo. Código Receptor.....	88
Anexo. Código Arduino emisor.....	91

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1- 1 Ubicación de la estación de policía.....	19
Figura 1- 2 Ubicación de la estación de estación de policía en Acevedo con primer punto antiguo de alarma.....	20
Figura 1- 3 Ubicación de la estación de estación de policía en Acevedo con segundo punto antiguo de alarma.....	21
Figura 1- 4 Modelo con sensores envió de mensajes de texto.....	22
Figura 1- 5 Esquema general del sistema de alarma.....	23
Figura 1- 6 Esquema general del sistema de alarma, Fuente: Xbee.cl.....	30
Figura 1- 7 Modelo de distancia vr RSSI.....	34
Figura 1- 8 Modelo de señal RSSI.....	35
Figura 1- 9 Modelo con antena Omni, rango de señal y atenuación.....	35
Figura 1- 10 Relación distancias vs. Nivel de recepción.....	37
Figura 2- 1 Diagrama de bloques para el sistema de alarma 1 parte .....	40
Figura 2- 2 Diagrama de bloques para el sistema de alarma 2 parte.....	41
Figura 2- 3 Modelo de estimación de alcance.....	44
Figura 3- 1 Modelo para cinco Xbee y un receptor.....	48
Figura 4- 1 Código Xbee receptor .....	54
Figura 4- 2 Código Xbee emisor.....	55
Figura 4- 3 Xbee conectados con su placa de enlace.....	56
Figura 4- 4 Uso del software X-Ctu.....	56
Figura 4- 5 Identificación del serial para cada Xbee .....	57
Figura 4- 6 Serial del Xbee receptor.....	57
Figura 4- 7 Ubicación de señal para el envió por Xbee.....	58
Figura 4- 8 Montaje de circuito receptor.....	59
Figura 4- 9 Montaje de circuito emisor.....	60
Figura 4- 10 Circuito para emisor.....	61
Figura 4- 11 Conexión por puerto virtual.....	61
Figura 4- 12 Envío de señal desde modulo A para receptor.....	62

Figura 4- 13 Envió de señal desde modulo B para receptor.....	62
Figura 4- 14 Envió de señal desde modulo C para receptor.....	63
Figura 4- 15 Envió de señal desde modulo D para receptor.....	63
Figura 4- 16 Envió de señal desde modulo E para receptor.....	64
Figura 4- 17 Eliminación de protector para los cinco Xbee .....	65
Figura 4- 18 Montaje de placas para emisores.....	65
Figura 4- 19 Montaje con Xbee y las cinco placas con Arduino programado.....	65
Figura 4- 20 Montaje de receptor y su pantalla LCD.....	66
Figura 4- 21 Caras protectoras de circuitos.....	66
Figura 4- 22 Pruebas de conexiones de cables, LCD, y Arduino.....	67
Figura 4- 23 Verificación de Relé para activar la bocina.....	67
Figura 4- 24 Receptor y prueba.....	68
Figura 4- 25 Receptor terminado.....	68
Figura 5- 1 Grafica del PPE.....	70
Figura 5- 2 LLT.....	72
Figura 5- 3 PIRE.....	73
Figura 5- 4 NRS , LLR y GRx.....	74
Figura 5- 5 Margen de desvanecimiento de señal.....	75
Figura 5- 6 RSSI.....	76
Figura 5- 7 Montaje de punto receptor.....	77
Figura 5- 8 Montaje en la estación de Acevedo Huila.....	78
Figura 5- 9 Pruebas alternas de puntos en la estación de policía.....	79

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1- 1 Comparendos a septiembre de 2022.....	4
Tabla 1- 2 Asignación rol dispositivo Xbee- PRO S2B.....	33
Tabla 1- 3 valores recomendados para RSSI.....	36
Tabla 2- 1 Puntos de medición y de análisis. ....	44
Tabla 3- 1 Expansión de uso en la banda 6 GHz.....	47
Tabla 3- 2 Rango de RSSI según la Calidad de señal.....	47
Tabla 3- 3 Distancia según el establecimiento.....	48
Tabla 3- 4 Valores de PPE según la distancia.....	51
Tabla 3- 5 Valores de LLT según la distancia.....	52
Tabla 3- 6 Valores de PIRE según la distancia.....	52
Tabla 3- 7 Valores de NRS según la distancia y el Grx.....	52
Tabla 3- 8 Valores del desvanecimiento de señal según la distancia.....	53
Tabla 5- 1 PPE.....	70
Tabla 5- 2 LLT.....	71
Tabla 5- 3 PIRE.....	72
Tabla 5- 4 NRS.....	73
Tabla 5- 5 Margen de desvanecimiento.....	74
Tabla 5- 6 RSSI.....	76

## Lista de Símbolos y Abreviaturas

Significado de las siglas usadas en el anteproyecto:

GPS: Son siglas del servicio de EE. UU, definido para un sistema de posicionamiento global (Posey, 2023).

IP: Dirección que permite identificar un dispositivo en la red local bajo un protocolo de internet (Latam, 2022).

Lora: tecnología de transmisión inalámbrica usada para el control de señales a larga distancia (Alahmadi et al., 2022).

Microcontrolador PIC: Circuito integrado programable (Farfán et al., 2015).

Módulo GSM SEM: Sistema global de comunicaciones móviles (Díaz, 2021).

Módulo Xbee: Dispositivo inalámbrico para recepción y envío de señal (McGee & McGregor, 2017).

Tarjeta SIM: Módulo de identificación de suscripción (Y. Fernández, 2019).

Xbee: Módulos de comunicación por radio (Jecres, 2016).

*(Dedicatoria)*

*Quiero dedicar este trabajo a mi Dios que me ha permitido llegar hasta aquí y que me ha acompañado en toda mi carrera profesional, a mis padres por hacerme un hombre digno de principios, a mi hermana que a pesar de la adversidad siempre ha estado presente y a mi hija que es el pilar de mi vida.*

## **Agradecimientos**

Agradezco primeramente a Dios por permitirme culminar este logro tan anhelado, también a mis padres Gentil Toledo y Rubiela Motta, a mi esposa Yulieth Almario y a mi mayor motivación que es mi hija Victoria Toledo Almario, que de una u otra manera estuvieron ahí apoyándome durante este proceso que con gran esfuerzo logré cumplir. También agradecer al ingeniero Mario Pinto, a la vicedecana Andrea Marín y a la ingeniera Yeimi Muñoz, por sus enseñanzas y compartir grandes conocimientos que hoy llenan mi vida de felicidad y mucha satisfacción.

## Resumen

La propuesta del proyecto se enfoca en una problemática del municipio de Acevedo/ Huila, debido a la presencia de alteraciones de orden público como resultado de la creciente invasión de lotes cercanos a las zonas comerciales. Los comerciantes han manifestado que no pueden abrir sus establecimientos, por amenazas de saqueo y robo. De acuerdo a lo anterior, existe la necesidad de implementar un sistema de alarma de seguridad por dispositivo inalámbrico de envío y recepción de señal, por módulos Xbee para mejorar la respuesta oportuna de la policía nacional ante la presencia de conflictos públicos.

Se empleó una metodología de tipo investigación práctica, la cual permitió conocer el entorno donde se llevó a cabo el sistema de alarma con una previa simulación en Proteus, para su posterior aplicación con 5 establecimientos y un punto de recepción. Las pruebas se realizaron en los puntos seleccionados sobre un rango máximo de 300 metros de la estación de policía, empleando cinco módulos Xbee S1 del tipo Whip Antena y del mismo modelo para el receptor, llegando a -86,4 dBm para una distancia de 190 m, ya desde los 220 m hasta los 300 m se presenta intermitencia en la intensidad de señal.

***PALABRAS CLAVE:*** Arduino, botón de pánico, Módulo Xbee, programación.

### **Abstract**

The project proposal focuses on a problem in the municipality of Acevedo/Huila, due to the presence of public disturbances as a result of the growing invasion of lots near commercial areas. Merchants have stated that they cannot open their establishments due to threats of looting and robbery. According to the above, there is a need to implement a security alarm system by wireless device sending and receiving signal by Xbee modules to improve the timely response of the national police in the presence of public conflicts.

Using a methodology of practical research type, which will allow to know the environment where the alarm system will be implemented, for its later application with 5 establishments and a reception point. The tests were performed at selected points over a maximum range of 300 meters from the police station, using five Xbee S1 modules of the Whip Antenna type and the same model for the receiver, reaching -86.4 dBm for a distance of 190 m, and from 220 m to 300 m there is intermittency in the signal strength.

**KEY WORDS:** Arduino, panic button, programming, Xbee module.

## Introducción

Algunos de los municipios del Huila, carecen de vigilancia tecnológica lo que dificulta realizar un seguimiento a disturbios, riñas y saqueo de los pocos locales comerciales existentes. Entre los municipios que poseen mayor incidencia al robo y desorden público se encuentra el municipio de Acevedo, ubicado al sur del Huila, el cual está en segundo lugar, entre los siguientes municipios de la tabla 1:

Tabla 1- 1 Comparendos a septiembre de 2022.

<b>Incidencia el robo Vs Comparendos a septiembre de 2022</b>	
<b>Pitalito</b>	20 comparendos
<b>Acevedo</b>	12 comparendos
<b>Guadalupe</b>	8 comparendos
<b>Garzón</b>	8 comparendos
<b>Gigante</b>	8 comparendos

Fuente: Municipios con mayor incidencia de desorden público a septiembre de 2022 (Ruiz, 2022).

Daniela Gutiérrez del diario del Huila, identificó que los municipios con mayor afectación de riñas y microtráfico son Pitalito, Campoalegre y Algeciras (Gutiérrez, 2022).

Según el funcionario del ministerio del interior, Daniel Palacios Martínez y en compañía de Luis Enrique Dussan, se van a establecer estrategias de seguridad para los municipios de Pitalito, Algeciras debido a la creciente inseguridad (Huila, 2022).

Se propuso cubrir el resto de municipios, entre los cuales Acevedo estaría en esta lista de espera.

Acevedo, al ser un municipio que se encuentra por debajo del listado de sitios inseguros de Colombia, estaría en la lista junto con Pasto, municipios del Valle del Cauca, Bogotá y municipios de Santander (Garzón, 2020). Por otra parte, el alcalde de Acevedo, Gentil Tapiero, argumentó que para el año 2021, se estuvo presentando una zozobra e inseguridad entre los pobladores y los establecimientos públicos por la alta tasa de robos y heridos que se presentaron (Caracol, 2021).

Para mejorar las condiciones de seguridad, se ha planteado una solución que utilice un sistema de comunicación de vigilancia o de respuesta rápida para que se atienda por parte de la policía nacional el llamado urgente de los comerciantes; y establecer nuevamente el orden, de esta manera.

Con base en el párrafo anterior, se ha realizado una búsqueda de información referente a sistemas de alarmas, los cuales usen módulos de comunicación, como lo son: Módulo GSM SEM, Microcontrolador PIC, Lora y Módulo Xbee.

Dentro del primer capítulo, se encuentra el marco teórico el cual sustenta la investigación que se halló sobre los módulos Xbee, como medio para diferentes aplicaciones inalámbricas, para ello se deben conocer algunos conceptos que permitan al lector comprender un poco sobre radiofrecuencias, aplicaciones de Xbee, transmisión y recepción.

Para ello se describen las posibles pérdidas por las antenas de los módulos, pérdidas por distancia y pérdidas por recepción, según el módulo usado y la frecuencia usada de transmisión.

En el segundo capítulo se muestra la metodología usada para obtener el resultado principal.

El tercer capítulo contiene los cálculos de diseño para definir si los módulos Xbee son viables para el proyecto, así como una parte de simulación del proyecto en la que se utilizaron los programas: Proteus, Arduino, C-Ctu y puertos virtuales, con el fin de verificar las estrategias de diseño con los Xbee.

El cuarto capítulo incluye la programación realizada, y la construcción mediante las cuales es posible enlazar los Arduino y Xbee entre sí, de tal forma que se verificó la cantidad de módulos.

El quinto capítulo aborda los resultados de la simulación y la puesta en marcha del sistema de alarma inalámbrica.

### **Problemática**

Desde el año 2020, Acevedo ha presentado alteraciones de orden público debido a la creciente invasión de lotes cercanos a las zonas comerciales. Por tal razón, en el municipio se lanzó el decreto N. 035 de 2020 (Municipio de Acevedo, 2020), donde los comerciantes manifiestan no abrir los establecimientos, por motivo de amenazas de saqueo y robo de los habitantes invasores que han llegado a ejercer dominio de los terrenos aledaños. Adicionalmente, se ha presentado una serie de eventos de orden público como robos, peleas por personas en estado de embriaguez, ocasionando que algunos establecimientos se vean afectados por vidrios rotos, robo de mercancía que se expone al público y disturbios en el interior de los establecimientos. Se ha esperado respuesta por parte de la policía en un tiempo de 3 minutos, en el cual se toma información para ir al sitio del evento, provocando que varios usuarios empleen un promedio de 30 segundos para llamar al 123, luego 30 segundos para redirigir la llamada y luego un periodo adicional de 2 a 3 minutos.

Las personas quedan bloqueadas, y sienten inseguridad, miedo y después surge la reacción, en un tiempo de 2 a 3 minutos, luego de este tiempo se realizó la llamada telefónica, en la que en algunas ocasiones dan la información errada, provocando que la policía motorizada o patrullas lleguen a sitios equivocados y no al requerido.

Además, hay que resaltar que en la zona existen falencias sobre las líneas de comunicación de telefonía celular como claro, movistar y Tigo, ya que en ocasiones por el clima se pierde la señal y existe interferencia, con lo que el uso de mensajes instantáneos de texto no es viable.

Al existir falencias en la comunicación entre los comerciantes y los patrulleros policiales de la zona, no hay otro medio diferente al uso del celular o llegar a la estación de servicio para dar aviso, porque se cuenta con una línea de comunicación lenta, lo cual provoca que las riñas o robos no se puedan evitar.

El sistema de alarmas para dar aviso a los cuadrantes del municipio, se hace cada vez más necesario, debido al aumento desmesurado de la inseguridad en el municipio, con lo que se concluye que las alarmas brindarán beneficios a las comunidades. Existe una política de asociación público-privada donde primero hay una respuesta verificada donde dicha respuesta inicial generalmente se proporcionó a un ente privado y la policía responde siempre y cuando esté verificado como delito.

A. Blackstone afirma, “La introducción de esta política se asoció con una reducción anual del 87 por ciento en las llamadas de respuesta de alarma de la policía, una reducción del 26 por ciento en los robos y una respuesta más rápida a todas las llamadas de la policía” (Blackstone et al., 2020).

El documento concluye que la policía debe tener un tiempo óptimo de respuesta ante la comunidad, en donde el aumento de llamadas se incrementa en el momento que no se asiste al sitio solicitado, provocando que otras personas llamen de la misma zona o área.

En ocasiones las empresas son demandadas por individuos que alegan negligencia porque fueron víctimas de un crimen violento en la propiedad de la empresa y afirmó que la falta de seguridad hizo que ocurriera el delito, de acuerdo a esto la mayoría de estas reclamaciones se deben a la ausencia de tecnologías que brinden seguridad, entre ellos, falta de dispositivos de alarma sonoros o emisores de aviso al usuario (Bates, 2007). El análisis de un programa de seguridad en una demanda se llevó a cabo utilizando el conjunto específico de hechos sobre el delito y un nivel de riesgo identificado, en comparación con las medidas de seguridad reales empleadas por el dueño de la propiedad.

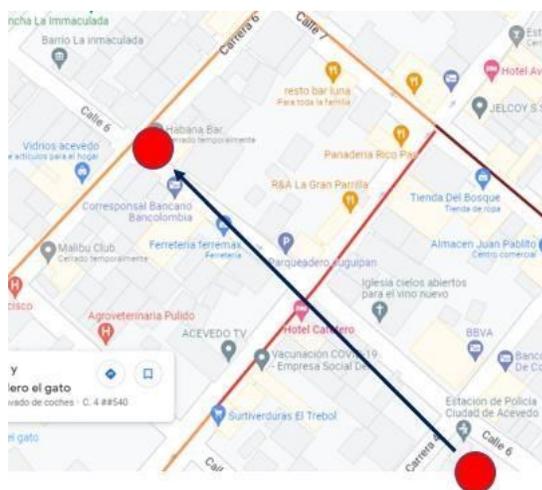
De los argumentos anteriores, no hay empresas o servicios que brinden atención al comercio en caso de emergencias públicas, existiendo modalidades de seguridad como el de porte de armas para el cuidado de los establecimientos y así los comerciantes puedan sentirse algo seguros, situación que puede pasar a otros niveles de intolerancia, que pueden conllevar a la muerte.



Los eventos presentados ocurren en un rango de 5 cuadras alrededor de la estación de policía y se describen a continuación.

En esta zona de eventos se ha instalado alrededor de hace unos 4 años, un sistema de alarma por sonido, en el cual la zona centro contaba con una sirena ubicada en el segundo piso de una casa esquinera, la cual se ubica en la calle 6 con carrera 6 esquina:

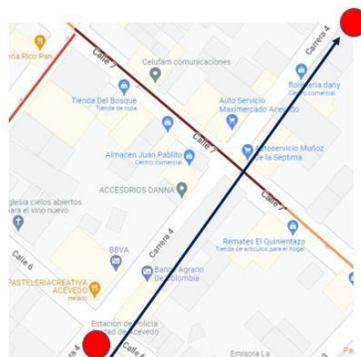
Figura 1- 2 Ubicación de la estación de estación de policía en Acevedo con primer punto antiguo de alarma.



Fuente: Elaboración del autor.

El segundo punto, localizado en la zona donde se encontró el banco agrario, que contó con otra sirena, y está ubicado sobre la carrera 4 con calle 8, en esta localización se encontró una bodega de autoservicio Maximercado:

Figura 1- 3 Ubicación de la estación de estación de policía en Acevedo con segundo punto antiguo de alarma.



Fuente: Elaboración del autor.

La anterior solución, no ayudó, ya que por las condiciones geográficas y por la zona de altos y bajos de las calles, no se percibía de donde se origina el sonido, por otro lado, el sonido permitía que, en los casos de robos, daños a establecimientos o riñas el personal que causaba estas conductas se diera a la huida.

Por lo tanto, estos puntos en mención cuentan con la distancia acorde para dar uso a otro sistema de alarma, el cual no genera alerta sonora, si no que de avisó directo en la estación sobre el requerimiento de su presencia y los patrulleros lleguen al punto indicado, sin requerir de llamar a la línea de 123 nacional, para que luego sea emitido a la estación de Acevedo, pasos engorrosos para una urgencia.

Conocido el problema, se planteó la siguiente pregunta de investigación ¿Al diseñar e implementar un sistema de alarma de seguridad por dispositivo inalámbrico de envío y recepción de señal por Xbee, se permite mejorar el tiempo de respuesta de la Policía Nacional ante el llamado de alerta a los establecimientos propuestos en el proyecto?

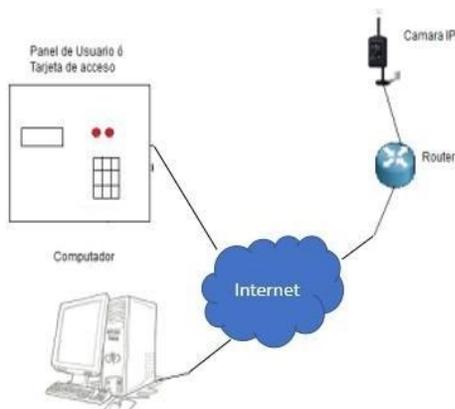
## Antecedentes

Como antecedentes se encontraron:

A. Sistemas de alarma para conjuntos y negocios.

La tesis elaborada por Mónica Marroquín Parra en el año 2019, fue planteada para ser usada en los hogares, con el fin de evitar ingreso de personas no autorizadas, Siendo esta la necesidad, se plantearon dos tipos de sistemas (el receptor y el emisor) (Marroquín, 2019). La autora después de analizar los beneficios de la tecnología, argumenta que este tipo de tecnología es vital para controlarse por medio de redes móviles, brindando mayor seguridad. Como resultado de la investigación, se desarrolló una aplicación de control de alarmas por aplicativo móvil.

Figura 1- 4 Modelo con sensores envío de mensajes de texto



Fuente: Tomado de modelo de comunicación desde la RED (Marroquín, 2019).

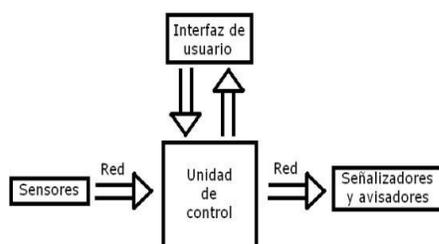
Este control a distancia tiene muchos beneficios para el usuario, tales como no tener que desplazarse hasta el sitio específicamente, el sistema permite también cambiar la clave de acceso cuantas veces se requiera. En el momento en que el sistema detecta ingreso forzado

a la vivienda se verifica que los sensores de tipo magnéticos y sensores de movimiento se activan con la sirena de ruido y envía mensajes de texto a los números conectados automáticamente (figura 1.4).

El autor Galarza, al ver la necesidad en los recintos domiciliarios, construyó un sistema de alarmas con sensores inalámbricos, permitiendo enviar una alerta por mensaje de texto al usuario, la estrategia de implementación está basada en dispositivos de alertas que utilicen sensores de movimiento y sensores de apertura de puerta, junto al sistema de control por un microcontrolador PIC18F4550 (Galarza, 2020).

El autor Castro Robles indica que debido a que el mundo avanza en tecnología de manera acelerada este debe cuidar de sus bienes, por lo tanto, debe hacer uso de elementos electrónicos que día tras día se actualizan en tamaño y forma, siendo parte y uso, la herramienta de seguridad que tiene un considerable tiempo en el mercado. Partiendo de los anterior Castro desarrolló un sistema de alarma mediante la aplicación de la tecnología Arduino conectada a través de los sistemas de comunicación (Robles, s. f.).

Figura 1- 5 Esquema para el usuario.



Fuente: Unidad de control (Pérez, 2018).

Similar a lo anterior, la investigación del autor Pérez, quien indica que el objeto de su proyecto es el de desarrollar un medio técnico activo electrónico que ayude a mejorar la seguridad de un hogar, según la figura 1.2, se emplea una unidad de control, que recibe

información de sensores que se enlazan con el usuario y permiten dar un aviso por señales de ruido o de luz de alerta. El autor en mención consideró la información técnica de la programación que emplea microcontroladores y recursos que estos mismos requieran para su funcionamiento (Pérez, 2018).

La tesis del autor Montoya Rivera dio uso a través de la red IP de un circuito inalámbrico el cual permitía controlar de manera segura la vigilancia de un grupo de casas, debido a un grupo de sensores en cual emitían una señal de alerta a los usuarios (Rivera, 2019).

En el diseño, se consideraron microcontroladores que de manera continua monitorean los puntos en mención. Para lograr el objetivo de seguridad por medio de circuitos electrónicos, dio uso a una buena elección de materiales, la cual contaba con un sistema de energía con suplemento, en el caso que ésta fuera cortada. Lo anterior, es un valor agregado que permitía el control total en este proyecto.

Con la investigación de González y su proyecto, “Sistema de seguridad para locales comerciales mediante Raspberry Pi, cámara y sensor PIR\*” se usó, un grupo de circuitos electrónicos, los cuales se enlazaban por un ordenador de placa Raspberry Pi 2 modelo B, apoyándose de sensores de infrarrojos y una cámara, permitiendo censar cualesquiera movimientos en intervalo de 10 segundos.

El sistema de (Godoy, 2017) envía una alerta por correo, celular y unas fotografías instantáneas de lo sucedido, agregando un grupo de luces para emitir que se ha violado alguna alarma (Godoy, 2017). Este sistema empleado por los autores, fue un proyecto de costos elevados ya que poseía sistemas de cámara nocturna y debía garantizar una programación compleja de circuitos.

Se destaca de los antecedentes, que los sistemas de vigilancia de residencia son útiles para el control de lugares, el cual requiere un dispositivo inteligente rápido con soporte de internet. El dispositivo acá utilizado consta de un módulo GSM y un módulo GPS (Taloba, 2021).

Además, diferentes sectores utilizan sistemas de detección de intrusos que sólo activan una alarma cuando el lugar ya ha sido robado, por ello se propone un sistema de detección de “intrusiones de alcantarilla único y de bajo costo con etapas de notificación dedicadas a salvaguardar la infraestructura crítica”. (Maxinga, 2021). Las diferentes simulaciones del sistema se realizaron antes de la implementación del hardware, este sistema consta de un Arduino, un microcontrolador y múltiples sensores para la activación de etapas de intrusión temprana, así el tiempo de respuesta mejora ya que la primera alerta se envía temprano antes de que haya corte real del cable. El sistema de mensajería GSM se utiliza como mecanismo de alerta, pero además las notificaciones se muestran en una pantalla LCD local.

El GSM es un dispositivo que se ubica en un área designada con el fin de monitorear el intercambio de información entre estaciones base y móviles. En este caso el objetivo principal del proceso de diseño es evaluar si es viable; “un dispositivo selectivo y de alcance limitado para evitar el funcionamiento de terminales GSM móviles dentro de un área designada” (M. J. Fernández, 2020). Para ello se evalúa la posibilidad de interactuar con el protocolo GSM global para así interceptar la información de señalización, dado el caso y este permite la interacción, identificación de cuándo y cómo se debe hacer.

### **Justificación**

La realización del siguiente proyecto se justifica debido a tres aspectos que son requeridos en el municipio de Acevedo:

Se requiere con urgencia iniciar un prototipado de un sistema de alarma inalámbrica que pueda brindar asistencia inmediata de la policía a los establecimientos comerciales.

Ya que el miedo o terror que se provoca cuando se presenta alteración del orden público, los comerciantes no pueden avisar con tiempo debido a que deben llamar a la línea 112 de emergencia y después de este aviso a la estación de servicio tiene un tiempo de respuesta tardío.

El uso de un prototipo de sistema de alarma permite comunicar de manera eficiente el envío de una señal de alerta a la central principal permitiendo llegar al punto exacto y brindar seguimiento policial. Por consiguiente, se aporta en el uso a la tecnología 3G y 4G de la zona, con la oportunidad de agregar otros establecimientos a la central de recepción de señal. De lo anterior permite al municipio de Acevedo mejorar el ambiente social y cuidado del bien privado o público.

Con el uso de un prototipado electrónico de un botón de pánico, configurado a cinco módulos de radio frecuencia para comunicación 3G- 4G, se ejerce una programación por microcontroladores del tipo Arduino, enlazando la comunicación directa nodo receptor ubicado en el comando de policía, permitiendo ubicar el punto de atención requerido, así se contribuye a tener seguridad de que la atención requerida llegará a tiempo.

### **Objetivo general**

Diseñar e implementar un sistema de alarma de seguridad por dispositivo inalámbrico de envío y recepción de señal por módulos Xbee, para obtener la reacción inmediata de la Policía Nacional frente algún conflicto de convivencia ciudadana en un tiempo menor o igual a tres minutos.

**Objetivos específicos**

- Determinar el nivel de alcance de comunicación para un nivel de señal recibida RSSI entre los 0 a 100 (-dBm) de acuerdo a las especificaciones de radiotransmisión del Xbee S1.
- Desarrollar un algoritmo de comunicación para el módulo Xbee S1 mediante los softwares Digi xctu y Arduino.
- Construir los módulos de comunicación Xbee S1 de manera que interactúen con el Arduino Nano.
- Validar el software y hardware, correspondiente a los dispositivos transmisores y receptores, con una distancia máxima de 300 m de acuerdo a las limitaciones del Xbee S1.

## **Capítulo I. Marco teórico**

### **1.1 Marco conceptual**

En el siguiente marco conceptual, se describen los componentes que hacen parte de la investigación.

#### **1.1.1 Elementos que componen el dispositivo electrónico**

Dentro de la propuesta los elementos que componen el dispositivo, vienen dado por las siguientes partes principales:

##### ***1.1.1.2 Dispositivo emisor de alerta.***

Es un dispositivo que dispara una señal de alarma que es tomada como emergencia prioritaria en la central de monitoreo o en algún número de emergencia configurado, ya sea celular o fijo, una vez es verificada la señal de alarma de si se trata o no de una amenaza real proceden a dar aviso a las entidades de seguridad competentes de acuerdo a el tipo de emergencia (Proytel, 2022). Este dispositivo es sencillo de usar consta de 4 canales (activación, desactivar, enviar señales de pánico y activar parcialmente), también existe con un solo canal que es de un toque para encender y otro para apagar y el de dos canales encendido y apagado respectivamente.

##### ***1.1.1.2 Arduino***

En cuanto al proyecto Arduino, este se trata de un tipo de placa que se destaca entre las más populares del mundo, cuenta con varios modelos con libertad para crear placas (Xataka, 2022).

El Arduino es un tipo de plataforma de programación de hardware/software de código abierto, el cual se encuentra en plataforma web, en donde pueden ubicar códigos libres para diferentes aplicaciones en proyectos de electrónica y los cuales se enlazan con una variedad de microcontroladores permitiendo modificar cualquier función; dependiendo de su aplicación.

### ***1.1.1.3 Módulos Xbee***

Los XBee's son elementos simplificados de radio frecuencia, brindando la opción de ser programables y son usados como una herramienta de aplicación para prototipos, que requieren de programación, empleada para rendir o agilizar una creación de una idea que requiera de los servicios de GPS (Sistema de posicionamiento Global) (Posey, 2023).

Lo más importante del uso de los Xbee ver figura 1.6, se debe a que reemplazan otros sistemas de comunicación, que emplean cables para una determinada distancia, permitiéndoles reducir costos por instalación e infraestructura, además se pueden agregar sensores y controlar los datos desde una distancia corta o de manera inalámbrica (McGee & McGregor, 2017).

Los Xbee, tienen en su circuito unas condiciones de alcance, si se requiere una mayor distancia se debe emplear una mayor potencia del circuito, a su vez, se puede modificar la antena, presentando las siguientes características:

Es pequeña, sencilla y barata.

Se puede conectar la propia antena (Fuera de la caja del circuito). Las condiciones de alcance serían las siguientes:

Frecuencia larga: 900 MHz máximo de 24 Km, con velocidad de datos de 156 Kbps.

Frecuencia regular: 2,4 GHz 100 a 300 m con 256 kbps (Petavratzis et al., 2023).

Figura 1- 6 Digi Xbee.



Fuente: Xbee.cl

## 1.2 Marco referencial

### 1.2.1 Módulos Xbee

Los módulos Xbee son la base para la aplicación de la técnica Zigbee, la cual se basa en protocolos de comunicación inalámbrica que permiten por medio del uso de redes enviar datos a un bajo consumo de datos y de energía, empleando el ancho de banda desde los 2400 a 2483 Mhz a nivel mundial (García, 2018). Con ello el módulo Xbee según su aplicativo puede caracterizarse en una intensidad de señal que depende de las condiciones exteriores y arrojar un RSSI adecuado para su aplicación inteligente, para ello se requieren rangos de transmisión según los niveles de ubicación del módulo o sus distancias de aplicación, ya que de ellos depende su potencia de transmisión (Le, 2019). Además, permiten evidenciar datos valiosos sobre la información que emiten, ya que esta se puede almacenar para sus respectivos análisis.

Los Xbee, al poseer varias aplicaciones con el uso de datos, son equipos que requieren una

baja alimentación, esta puede variar desde los 3,1 V a 3,5 V, por lo que se puede emplear una batería básica de litio o un sistema de alimentación de bajo precio, lo único que requiere como medio de funcionamiento son los protectores para las sobrecargas de voltajes, ya que los Xbee pueden funcionar con corrientes bajas desde los 306 mA (Andrew, 2019). Por otra parte, poseen una capacidad única para entrar en consumo mínimo entrando en reposo y se vuelven a activar con amperajes del orden de los 100 mA, por lo que un circuito que contenga un Xbee debe poseer un circuito regulador de voltaje.

Se reconoce que los Xbee son aplicables en diferentes situaciones, se debe tener en cuenta que su programación se debe elaborar y desarrollar por el Software X Ctu, en donde se proporciona las configuraciones sobre el módulo, se puede guardar y leer los datos que se ha suministrado a estos módulos, para ello se debe emplear adaptadores USB a Xbee, cable de USB del tipo A mini B, el módulo Xbee y por último el Software de Digi Ctu aplicado al sistema operativo en especial Windows (Titus, 2012). Para dar uso al módulo se debe identificar los parámetros según su serie que aparecen en el hardware.

### **1.2.2 Intensidad de señal RSSI**

Para el autor Kio Oguchi 2016, las redes de sensores inalámbricos continúan evolucionando con los increíbles avances en los dispositivos de sensores. El desarrollo del uso de la intensidad de la señal recibida (RSSI) conducirá a nuevos métodos de medición de ubicación personal, un factor importante en servicios seguros y confiables, especialmente en personas mayores, y energía en áreas pequeñas u hogares. Este artículo por el investigador presenta una forma sencilla de estimar la posición humana y de una forma sus pruebas alcanzaron el 100% de precisión, así como una nueva forma de procesar señales con RSSI (Oguchi et al., 2014).

Este método es simple y tiene la excelente ventaja de la compatibilidad con los dispositivos existentes y las redes inalámbricas, el componente RSSI actual es ampliamente utilizado.

Al utilizar el indicador de señal por intensidad RSSI, se debe emplear la distancia a la cual se define la modulación por Xbee, para ello se deben disminuir las interferencias en su trayecto, tratando de lograr una señal lo más pura posible. Agregando que las nuevas generaciones tecnológicas emplean una intensidad de señal provenientes de diferentes equipos electrónicos tales como: el Bluetooth, el wifi, rayos infrarrojos y la banda los cuales crean interferencia a este tipo de equipos o módulos (Tseng, 2017).

Por ello la interferencia es un factor clave, para mejorar la intensidad de señal en los equipos, una pequeña onda electromagnética que se presente ante alguna antena en modo receptor puede afectar en su señal por la refracción, la reflexión y por qué su emisor de señal no fue directo. Por lo que los valores que requiere un equipo o módulo son datos desordenados en cualquier sistema de coordenadas debido a su distribución, ya que no se puede estimar un patrón que lo puede definir por adelantado, dando como único medio para mejorar la señal es un sistema de filtración o purificación de intensidad de señal.

### **1.2.3 Intensidad de señal en módulos Xbee**

Para emplear los Xbee y analizar su intensidad de señal, se puede emplear el modelo siguiente de la tabla 1-2, en el cual un módulo se asigna como coordinador para emitir una señal a los demás módulos, similar a una distribución en estilo estrella; según el ejemplo siguiente, en el cual hay 5 módulos y uno de ellos es el coordinador:

Tabla 1- 2 Asignación rol dispositivo Xbee- PRO S2B

<b>Dispositivo</b>	<b>Función</b>
Módulo 0	Coordinador
Módulo 1	End Device 1
Módulo 2	End Device 2
Módulo 3	End Device 3
Módulo 4	End Device 4

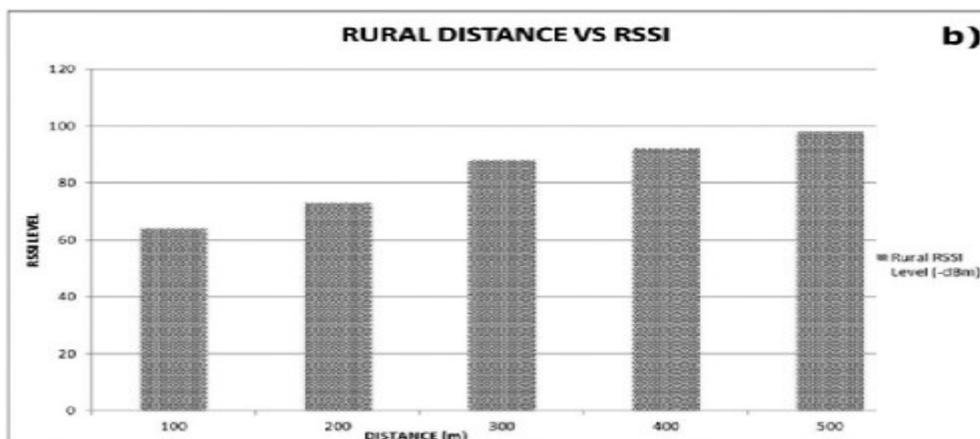
Fuente: Modelo de asignación por Xbee (Romero et al., 2015).

Xbee es una tecnología inalámbrica basada en estándares que se puede usar en casi cualquier lugar, es simple de implementar y usa poca energía para satisfacer las necesidades de redes de bajo costo, utiliza sensores inalámbricos de baja potencia y control (Romero et al., 2015). Los módulos XBee son dispositivos que transmiten y reciben datos de forma inalámbrica a través de IEEE 802.15. 4, incluidos el coordinador, el enrutador y el dispositivo final, que pueden operar en una topología de red de varias maneras.

Ahora, los Xbee según su versión, tienden a ser efectivos a cortas distancias, en el siguiente modelo de una prueba para un Xbee Pro ZB -S2, a una distancia entre los 100 m puede llegar a una intensidad de -60 dBm, a comparación de una distancia cuatro veces mayor como la de 400 m puede llegar su intensidad a ser mayor y producir intermitencia entre el rango de -90 dBm (Samora, 2016).

Este modelo, se ha presentado para el control de inundaciones en Medellín ya que al ser un módulo rápido para el envío de datos se adaptó a un grupo de sensores para enviar señal temprana ante alguna presencia de inundación, el cual fue configurado de forma cercana, y en varios sectores se podía enviar señal a un módulo principal que mostraba los sensores de humedad que se conectaban a los Xbee.

Figura 1- 7 Modelo de distancia vr RSSI



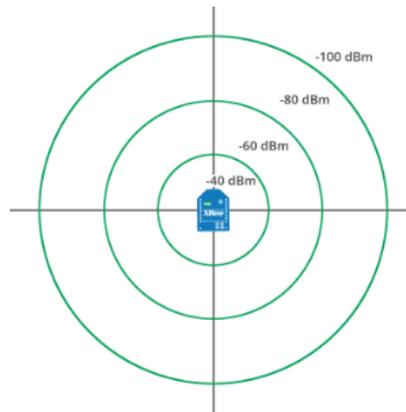
Fuente: Niveles de RSSI para el módulo XBee- PRO ZB (S2).

Ahora, en el modelo anterior se debían configurar varios Xbee para comunicarse entre ellos y un módulo principal le enviaba a otro módulo mayor, con la finalidad de mejorar la señal y respuesta, ya que la intensidad de señal varía según su distancia.

Siendo así, la intensidad de una señal de radio se mide mediante el indicador de intensidad de la señal recibida (RSSI). Es una estimación aproximada de la intensidad de la señal que puede captar una antena. Un método para evaluar la efectividad de un enlace de comunicación es medir la intensidad de la señal en la antena receptora (Digi, 2021). La fuerza de la señal transmitida en la antena receptora aumenta a medida que un transmisor distante se acerca a un receptor. Similar a esto, la intensidad de la señal en la antena receptora se debilita a medida que el transmisor se aleja.

Dando una mejor representación del párrafo anterior, el RSSI se mide en dBm. Un valor negativo mayor (en dBm) indica una señal más débil. Por lo tanto, -50 dBm es mejor que -60 dBm como se muestra en la figura 1-8:

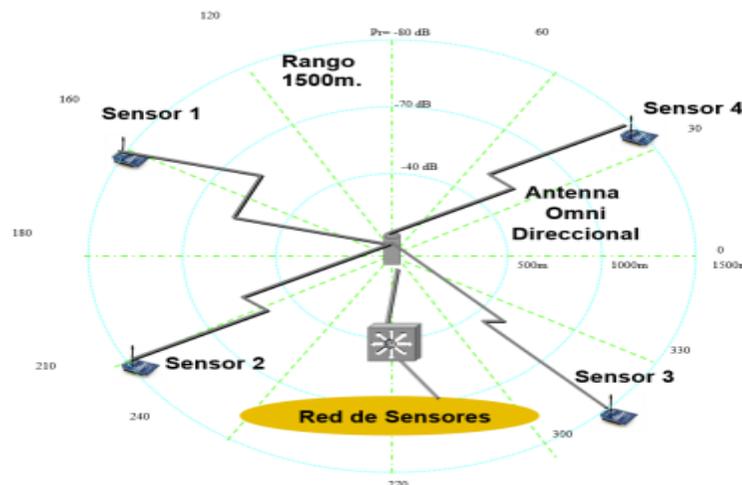
Figura 1- 8 Modelo de señal RSSI



Fuente: Tomado de Digi.com

Como representación, para varios Xbee con un solo módulo principal o coordinador, la figura siguiente muestra un ejemplo de cómo deberían ser ubicados para un rango máximo de 1500 m, con el único requerimiento de que se debe emplear una antena receptora del tipo Omnidireccional. Para ello se deben conocer las distancias de todos los Xbee Figura 1-9, la radiación, la potencia que se recibe (mW) y con ello aplicar cálculos para estimar las pérdidas por la señal, por conexiones y por interferencia (Nuñez et al., 2017).

Figura 1- 9 Modelo con antena Omni, rango de señal y atenuación.



Fuente: Tomado de Radiotransmisores Xbee CIDETI.

Según el autor José Núñez 2017, la calidad de un Xbee se puede representar según su distancia correspondiente en la siguiente tabla, donde entre los rango positivos y mayores a -40 dBm en una señal se considera como excepcional, y entre los valores menores a -80 dBm es una señal del tipo intermitente y no operacional.

Tabla 1- 3 valores recomendados para RSSI.

<b>Rango de RSSI</b>	<b>Calidad de la Señal</b>
Mejor a -40 dB	Excepcional
-40 dB a -55 dB	Muy Bueno
-55 dB a -70 dB	Bueno
-70 dB a -80 dB	Marginal
menores a -80 dB	Intermitente o no operacional

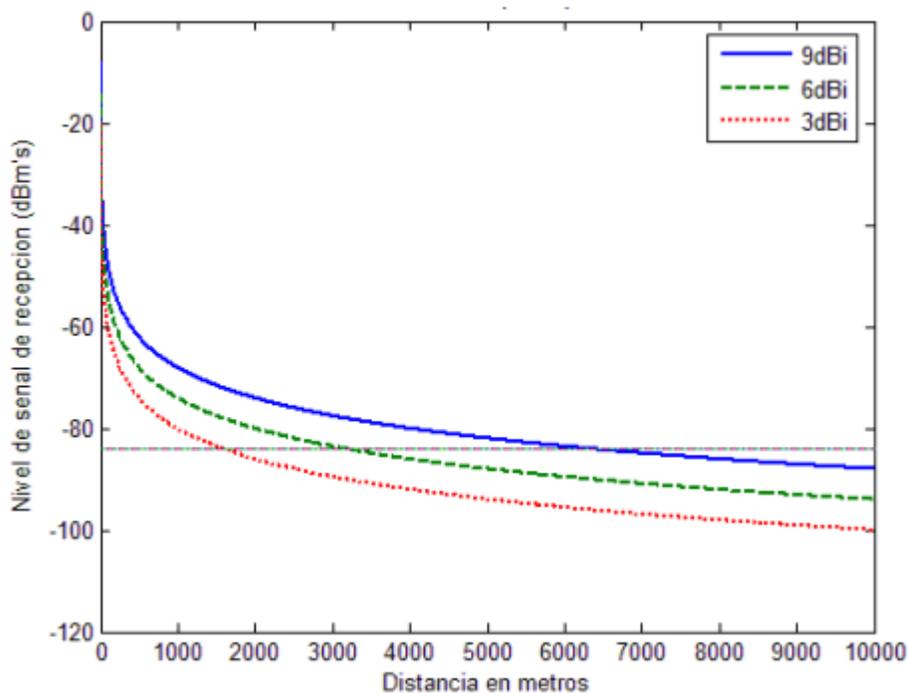
Fuente: Tomado de Configuraciones de alcance Xbee (Núñez et al., 2017).

Para ello, el autor Núñez, realizó varias pruebas según el modelo de Friis (ver ecuación 1.0), con intensidad de recepción entre los 3 a 9 dBm, dando como conclusión la siguiente gráfica que varía según la distancia desde los 1000 m hasta los 10000 metros, ya que en la ecuación de Friis (Núñez et al., 2017), se emplea las medidas con una frecuencia de base (GHZ) y la distancia en (Km), como se puede apreciar en la ecuación de pérdidas por propagación:

$$PPE = 10 \log \left[ \frac{4\pi \times 10^{12}}{3 \times 10^8} \right] + 20 \log (dkm) + 20 \log f_{6HZ}$$

Ecuación 1.0

Figura 1- 10 Relación distancias vs. Nivel de recepción



Fuente: Modelo de prueba RSSI (Núñez, 2017).

Los resultados obtenidos del rango que puede alcanzar el módulo Xbee a una frecuencia libre de 2,4 GHz con la potencia radiada presente en la antena se fijan en una PIRE = 20 dBm. Desde PIRE, el rango máximo se logra por un factor de dos. El primer elemento está definido por una matriz de antenas transmitidas y recibidas. Luego, se analizan las simulaciones que se muestran en la curva de rango máximo. Por lo tanto, el factor más importante es el umbral de aceptación.

Para mantener la comunicación del nodo a un nivel sin pérdidas, la señal recibida debe alcanzar un valor no atenuado superior a -70dBm.

Uno de los parámetros del protocolo Zigbee, que se usa en el módulo Xbee es el índice de intensidad de la señal recibida o RSSI, que es una escala de referencia utilizada para medir la potencia en la antena del módulo receptor asociado al paquete de datos recibido al final. Xbee es un módulo de comunicación para conectar microcontroladores a través del protocolo Zigbee, pero la comunicación entre el módulo y el microcontrolador o entre el módulo y la computadora es a través de comunicación por puerto serie (Vara et al., 2015). Existen aplicaciones informáticas que pueden configurar, programar y probar las características de los dispositivos Xbee.

### **1.3 Marco legal**

#### **1.3.1 RESOLUCIÓN 000105, 27 De marzo de 2020**

Con la presente resolución se hace público el uso del espectro electromagnético como un bien público, es imprescriptible sujeto a la gestión y el control del Estado (ANE, 2020).

Este tipo de resolución permite a cualquier ciudadano de Colombia usar el espectro con precaución y moderación de forma sana, ya que de estas líneas o frecuencias se unen las aerolíneas, el ejército nacional, la policía y las telecomunicaciones, dependiendo de cada entidad tienen una banda de uso el cual algunas se restringen y otras son libre para su uso.

## Capítulo II. Metodología de diseño

La metodología aplicada para el desarrollo del proyecto es por medio de la investigación práctica (Karl,2021). Dicha metodología permitió entender el entorno donde se elaboró y desarrolló la propuesta, finalizando con la puesta en marcha y verificación de su funcionamiento, llevándose a cabo por las siguientes actividades:

### **1. Actividad: Puntos estratégicos de instalación.**

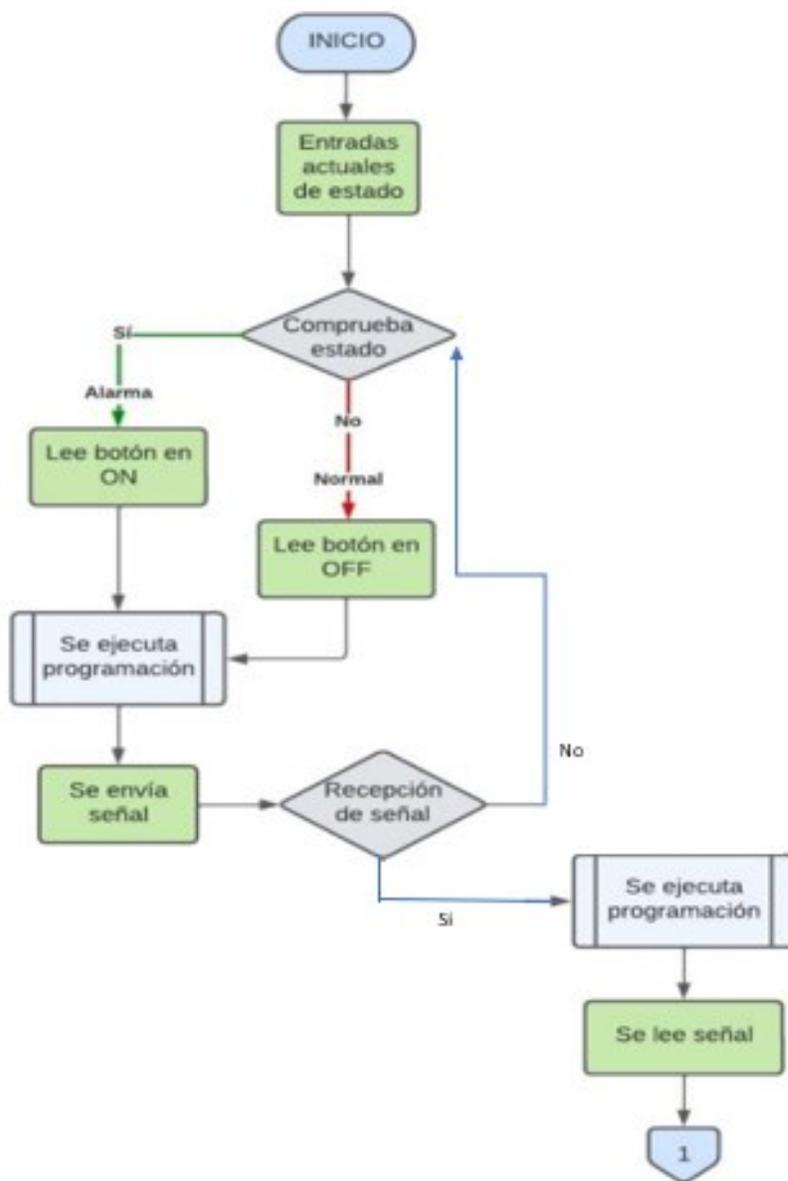
Determinar las zonas con mayor incidencia de robos y conflictos de calle. Para conocer esta información, se realiza visita a diferentes sitios comerciales de Acevedo, en donde se aplica por medio de un diagrama territorial las zonas con mayor necesidad o urgencia de control de orden público. Para ello, se seleccionaron dos zonas según los puntos cardinales en el mapa de Acevedo, las calles que requieren el dispositivo de alarma por botón de pánico.

### **2. Actividad: Desarrolló del algoritmo para el módulo Xbee, mediante los softwares Digi X-Ctu y Arduino**

Se procede con el siguiente diagrama de bloques, el cual parte de unas decisiones según el estado de la alarma:

La secuencia (ver figura 2-1), de la información sería la siguiente:

Figura 2- 1 Diagrama de bloques para el sistema de alarma 1 parte



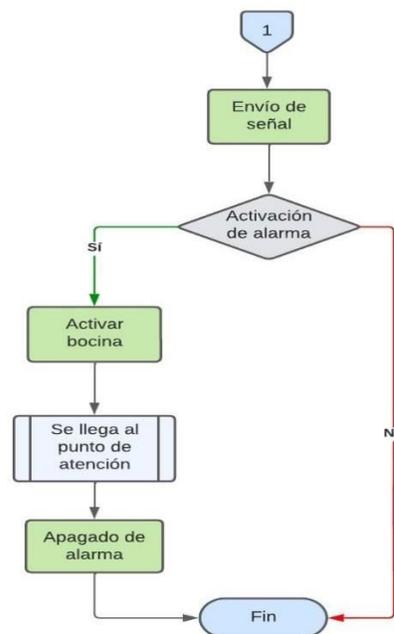
Fuente: Elaboración del autor.

La secuencia según la figura 2-2, termina cuando la policía llega al sitio de destino, confirmando con la estación el reseteo de la alarma y hace la respectiva vigilancia de seguridad de la comunidad.

Se realizó el cálculo de estimación de distancia entre el punto emisor y el punto receptor con el fin de conocer la intensidad de la señal recibida y que la respuesta sea inmediata, con esta etapa se conocerá según una escala en decibeles la calidad de señal.

Se llevó a cabo la codificación de los microcontroladores, usando la tecnología de Arduino, revisando la literatura y la forma de codificar el Arduino nano, se hacen las pruebas pertinentes para la programación y llevar a cabo los diagramas electrónicos de funcionamiento.

Figura 2- 2 Diagrama de bloques para el sistema de alarma 2 parte



Fuente: Elaboración del autor.

Actividad: Construcción y programación de software y hardware entre dispositivos, contemplando una distancia máxima de 300 m y tiempo de activación.

Se llevó a cabo la construcción de cinco sistemas de alarma como emisores de señal inalámbrica, y con ellos se hará la prueba en cinco puntos para identificar el tipo de señal emitida. Como elemento receptor se construyó una sola fuente receptora con pantalla LCD.

Se efectuó la construcción de sistemas electrónicos, adaptación y prueba de elementos que suministran la señal emisora de la alerta y de los componentes de recepción.

Para lograr esta etapa de la actividad se debió verificar que los componentes electrónicos estaban funcionando cada uno de manera independiente, para luego ensamblarse y efectuar las pruebas antes de aplicarse en zona de destino.

Actividad: Validación

Se procedió a revisar el diseño, junto con los elementos del circuito y verificar su funcionamiento, además se consideró qué elementos se deben cuidar o proteger del entorno para evitar su deterioro, ya que el traslado a los puntos de instalación puede provocar algún defecto en las pruebas. Las actividades a realizar son las siguientes:

- Verificar que cada Arduino a usar esté en buenas condiciones y que se pueda programar.
- Realizar la aplicación de soldadura a placas base para Arduino y placas base para Xbee.
- Realizar la instalación del driver para sistemas de comunicación de Arduino, Xbee con los puertos USB de portátil, para su respectiva programación con la plataforma Arduino y por X-Ctu.
- Verificar que los Arduinos de cada punto transmitan datos por puerto serial al módulo Xbee.
- Desarrollar el código correspondiente para cada Arduino.
- Verificar que cada módulo Xbee esté enlazado con el programa X- Ctu.
- Realizar la programación para cada módulo Xbee según sea de tipo emisor o receptor. Verificar que cada Módulo Xbee tenga los parámetros para que un módulo

programado como receptor los perciba según el nombre asignado en los canales de señal de los módulos emisores.

- Construir un sistema de activación por presión, para que el Arduino envíe datos al módulo Xbee y emita la señal por radiofrecuencia al módulo receptor.
- Construir un sistema de alarma por sonido que se active cuando un módulo Xbee se active, emitiendo una señal sobre el módulo receptor y este active el relé que da paso a la alarma sonora o bocina.
- Verificar que los voltajes asignados estén en sus valores máximos para 5V en Arduino y 3.3 V para los Xbee, ya que un aumento de voltaje en alguno de los módulos de tipo emisor o receptor puede alterar la señal o no ser emitida, además se debe considerar que un aumento de voltaje en el receptor puede alterar los datos emitido a la pantalla LCD.

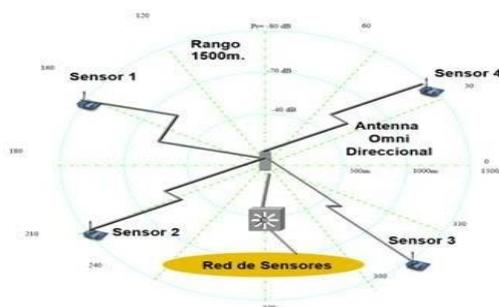
### **3. Actividad: Pruebas en sitios comerciales**

Se realizaron pruebas en los sitios propuestos como zonas de desorden público, los cuales presentan riñas y peleas, en donde se procede a instalar el sistema de alarma por radio frecuencia, permitiendo enviar la señal a una pantalla y bocina en la estación de policía, dando a conocer el sitio de alerta.

Para ello se debe haber verificado que el sistema de alarma, pueda recibir la señal sin interferencia, con el fin de ser ágil la respuesta tomada por parte de la inspección de policía

(ANEXO I. PNVCC.pdf, s. f.). Por parte de la policía se debe cumplir, con mantener una atención y pronta respuesta ante la comunidad.

Figura 2- 3 Modelo de estimación de alcance



Fuente: Estimación de Xbee (Núñez Pérez et al., 2017, p. 3).

Debe asegurarse una respuesta oportuna ante la comunidad y el establecimiento de redes de apoyo. Una parte esencial en la etapa es verificar que el RSSI es el indicado para emitir la señal y de esta manera se mejore el tiempo de respuesta, en el municipio de Acevedo, Huila. Esta verificación se hace, con los cinco (5) emisores con la finalidad de observar el tiempo de respuesta, y de manera aleatoria se hacen pruebas para cinco locales de prueba. La prueba, será similar al esquema anterior de la figura 2-3, donde se usan cuatro sensores. Para el desarrollo se hace la prueba en cinco locales comerciales entre ellos se emplea el banco agrario, bodega de alimentos y licores, local comercial 1, local comercial 2 y local comercial 3.

De los establecimientos anteriores se denotarán o se usarán las siguientes denominaciones que aparecerán en la pantalla LCD del módulo Xbee receptor:

Tabla 2- 1 Puntos de medición y de análisis.

Simbología en pantalla LCD de Xbee receptor.	Establecimiento	Distancia

Punto A	Banco Agrario	80 mts.
Punto B	Bodega de alimentos y bebida	220 mts.
Punto C	Estanco la cervecería	150 mts.
Punto D	Galería Municipal	190 mts
Punto E	Zona Rosa	300 mts

Fuente: Elaboración del autor.

Los anteriores puntos, en donde se instalaron los módulos Xbee, deben ser ubicados sin ninguna interferencia, ya que el módulo disminuye su tiempo de respuesta debido a obstáculos en el camino o posicionando mal la antena.

### **Capítulo III. Cálculos electrónicos y diseño**

En este capítulo se hacen cálculos pertinentes para definir el valor RSSI que llega hasta la distancia máxima de 300 m, además se hace una aplicación de cálculos hasta los 1000 m con la finalidad de observar el comportamiento de las gráficas que se obtuvieron con una base programa en Excel. Por otra parte, se hizo simulación del proyecto por medio de los programas de Proteus, Arduino, C-Ctu y puertos virtuales, con el propósito de probar la alternativa de diseño basada en los Xbee.

#### **3.1 Estimación del alcance de radiotransmisión para el uso de un Xbee**

Para estimar el máximo alcance para operar dentro del tecnología de los módulos Xbee, se debe conocer la frecuencia de trabajo en la cual se llevó a cabo su operación, para ello se tomó como base la siguiente información de la ANE Colombia, de acuerdo con la cual se pueden usar las bandas medias de 2,4 GHz hasta 1 a5 GHz como frecuencias libres (ANE, 2020, p. 18).

Con este valor y lo manejado en el Huila, se encuentran las frecuencias desde los 5925 MHz a 7125 MHz, de donde el uso de estas bandas está habilitado para desarrollar nuevas tecnologías y promover la innovación de los servicios en Colombia, según la siguiente tabla 3-1:

Tabla 3- 1 Expansión de uso en la banda 6 Ghz

Tipo de Dispositivo	Bandas de Operación	PIRE Máximo (dBm)	PIRE (Densidad Espectral) (dBm/MHz)
Potencia estándar (Controlado por AFC)	U-NII-5 (5925-6425 MHz)	36 dBm	23 (dBm/MHz)
Equipo de cliente conectado al punto de acceso de potencia estándar	U-NII-7 (6525-6875 MHz)	30 dBm	17 (dBm/MHz)
Puntos de acceso de baja potencia (solo interiores)	U-NII-5 (5925-6425 MHz)	30dBm	5 (dBm/MHz)
Equipo de cliente conectado al punto de acceso de baja potencia	U-NII-6 (6425-6525 MHz)		
	U-NII-7 (6525-6875 MHz)	24dBm	-1 (dBm/MHz)
	U-NII-8 (6875-7125 MHz)		

Fuente: Reporte de la ANE (ANE, 2020, p. 12)

De la tabla 3-1, se obtiene el PIRE máximo permitido para una potencia estándar para clientes conectados al punto de acceso, con valor de 30 dBm.

Para el uso de los Xbee es recomendable que estos no posean intermitencia, con este fin según la tabla de calidad de señal y rango RSSI deseado se determina que es un valor que esté cerca al PIRE máximo de 30 dBm, para ello de acuerdo con la tabla correspondiente, un valor menor a los -40 dB sería excepcional del cual los -30 dBm sería lo mejor para el diseño y uso de los módulos Xbee.

Tabla 3-2 Rango de RSSI.

Rango de RSSI	Calidad de la Señal
Mejor a -40 dB	Excepcional
-40 dB a -55 dB	Muy Bueno
-55 dB a -70 dB	Bueno
-70 dB a -80 dB	Marginal
menores a -80 dB	Intermitente o no operacional

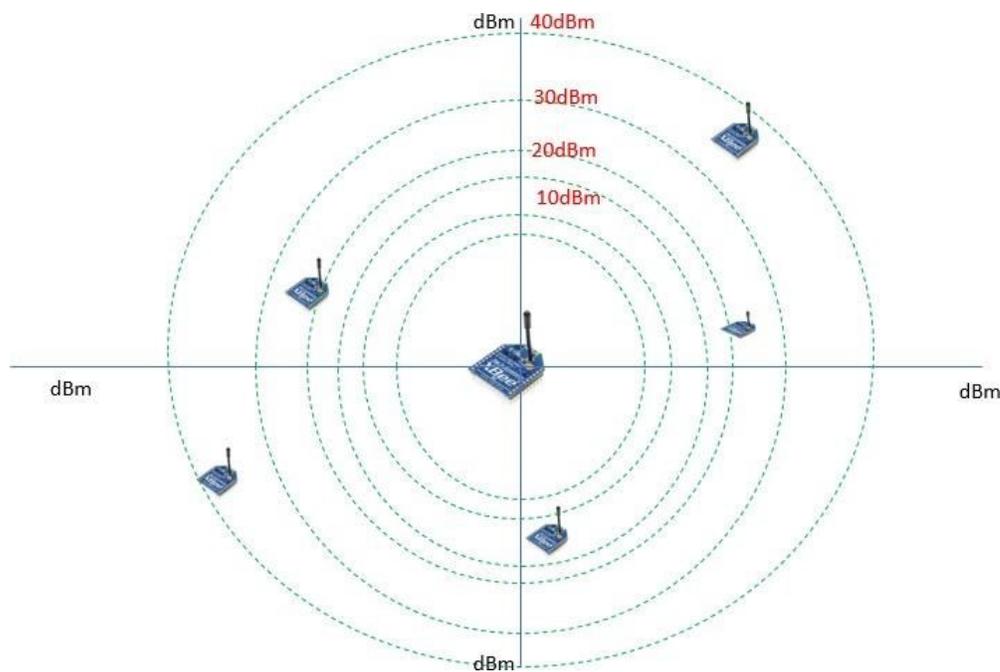
Fuente: Tomado de Alcance de radio transmisores (Nuñez et al., 2017).

Ya definidos los valores que debe emplear un Xbee, se propone determinar la distancia de comunicación entre Xbee y que los valores obtenidos de RSSI estén entre los rangos establecidos de la tabla 3-2.

### 3.2 Desarrollo del cálculo para determinar el alcance de transmisión y recepción en espacio libre

De la figura 3-1, se planteó un modelo de espacio libre el cual está basado en el modelo Friis, este modelo se usa para el diseño de enlaces satelitales. Para ello se definen las pérdidas por la propagación de la señal desde un punto transmisor hasta un punto receptor.

Figura 3- 1 Modelo para cinco Xbee y un receptor.



Fuente: Elaboración del autor.

El análisis comprende los cinco puntos cubiertos en el proyecto, según la tabla 3-3:

Tabla 3- 3 Distancia según el establecimiento

Establecimiento	Distancia
-----------------	-----------

Banco Agrario	80 mts.
Bodega de alimentos y bebida	220 mts.
Estando de la cervecería	150 mts.
Galería Municipal	190 mts
Zona rosa	300 mts

Fuente: Elaboración del autor.

Para revisar qué distancia existe o su alcance se usa el modelo Friis (Núñez et al., 2017):

De donde se relaciona:

$$Potencia Prx = [dB mW] - (transmisor)$$

$$Potencia receptor Prx = [dB mW]$$

$$Distancia recorrida = d = (m)$$

$$Pérdidas de propagación espacio libre PPE (dB)$$

$$Ganancias de la antena transmisora GTx (dB)$$

$$Ganancias de la antena receptora GRx (dB)$$

Para estimar la distancia entre los nudos se usa la ecuación de potencia de la antena módulo receptor de la ecuación 1.1 (Núñez et al., 2017):

$$PPE = 10 \log \left[ \frac{4\pi \times 10^{12}}{3 \times 10^8} \right] + 20 \log (dkm) + 20 \log (f_{6HZ})$$

Ecuación 1.1

$$PPE_{dB} = Pérdidas por propagación en el espacio en dB$$

$$dkm = Distancia del enlace en km$$

$$f_{6HZ} = frecuencia de operación en 6HZ$$

Primero calculamos para los siguientes sitios, con la ecuación 1.1 (Núñez et al., 2017):

$$300m PPE = 10 \log (41887.9) + 20 \log (0.300km) + 20 \log (2,4)$$

$$PPE = 44.07 dB$$

Se determina el PIRE (dB)

Es la potencia isotrópica radiada equivalente en dB, del cual se usa la ecuación 1. 2 (Núñez et al., 2017):

$$\begin{aligned}
 PTx &= \text{Potencia de transmisión en dB} \\
 GRx &= \text{Ganancia de la antena de recepción} \\
 LLT &= \text{Pérdida por conector y por línea de transmisión} \\
 PIRE &= PTx - LLT + GTX
 \end{aligned}$$

Ecuación 1.2

$$\begin{aligned}
 PTx &= 24dB \\
 GRx &= 1.9dB = \text{tabla de Xbee}
 \end{aligned}$$

Se usa la ecuación 1.3 (Manning., 2009):

$$LLT = 32.44 + 20 \log \log (dkm) + 20 \log \log (MHZ) dB$$

Ecuación 1.3

$$\begin{aligned}
 LLT &= 32.44 + 20x \log \log (0.300km) + 20x \log \log (2,4) \\
 LLT &= 30,92 dB
 \end{aligned}$$

Se determina la potencia isotrópica radiada con la ecuación 1.3 (Núñez et al., 2017):

$$\begin{aligned}
 PIRE &= 24db - 30.92db + 1.9dB \\
 PIRE &= -5.025 dB
 \end{aligned}$$

Ahora como el diseño usa las mismas antenas, se determina el NRS con la ecuación 1.4 (Núñez et al., 2017):

$$\begin{aligned}
 NRS &= \text{Nivel de recepción de la señal en dB} \\
 GRx &= \text{Ganancia de la antena receptora} \\
 LLR &= \text{Pérdida por conector por línea de receptor} \\
 NRS &= PIRE - PPE + GRx - LIR
 \end{aligned}$$

Ecuación 1.4

$$\begin{aligned}
 NRS &= -5.025 db - 44.07db + 1.9 - 30.92db \\
 NRS &= -84.75 dB
 \end{aligned}$$

Ahora se determina el margen de desvanecimiento de la señal ( $M$ ) con la ecuación 1.5 (Núñez et al., 2017):

$$M = S - NRS$$

Ecuación 1.5

$$S = \text{Ganancia de la antena}$$

$$M = 1.9 \text{ dB} - (-84.75 \text{ dB})$$

$$M = 86.65 \text{ dB}$$

Ahora se encuentra el RSSI con la ecuación 1.6 (Núñez et al., 2017):

$$RSSI = NRS - 10 \log \log (Pref)$$

Ecuación 1.6

Se usará la potencia de referencia de 24:

$$RSSI = -84.75 \text{ dB} - 10 \log \log (24 \text{ dB})$$

$$RSSI = -84.75 \text{ dB} - 10 \log \log (24 \text{ dB})$$

$$RSSI = -98.55 \text{ dB}$$

Ya como se determinó el RSSI para la mayor distancia de análisis, se hizo el mismo proceso de cálculo para los valores en los otros establecimientos según su valor del cual se obtuvo las siguientes tablas para una potencia de 24 dBm:

PPE: Los valores de la potencia de pérdidas se determinaron con la ecuación 1.1:

Tabla 3- 3 Valores de PPE según la distancia

POTENCIA DE 24					
DATOS					
CONSTANTE	41887,9	41887,9	41887,9	41887,9	41887,9
DISTANCIA	0,08	0,15	0,19	0,22	0,300
FRECUENCIA	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
PPE (dB)	31,88691045	39,400182	40,673564	43,367535	44,706471

Fuente: Elaboración del autor.

LLT

Valores por pérdidas por distancia desde el emisor hasta el receptor, usando la ecuación 1.3:

Tabla 3- 4 Valores de LLT según la distancia

Distancia(m)	0,08	0,15	0,19	0,22	0,300
LLT (dB)	18,10602457	25,619296	26,892678	29,586649	30,925585

Fuente: Elaboración del autor.

#### PIRE

Valores para determinar la PIRE, usando los valores de la ecuación 1.2:

Tabla 3- 5 Valores de PIRE según la distancia

Distancia (m)	0,08	0,15	0,19	0,22	0,300
PIRE (dB)	1,793975426	-5,71929	- 6,99267	- 9,68664	- 11,0255

Fuente: Elaboración del autor.

#### NRS

Valores para determinar el NRS según las constantes Distancia, Grx y la variación por pérdidas en distancia, usando la ecuación 1.4:

Tabla 3- 6 Valores de NRS según la distancia y el Grx

Distancia (m)	0,08	0,15	0,19	0,22	0,300
LLR (dB)	18,10602	25,619296	26,892678	29,586649	30,925585
Grx (dB)	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
NRS (dB)	-46,2989	- 68,8387	- 72,65892	- 80,7408	-84,75764

Fuente: Elaboración del autor.

#### Desvanecimiento (M)

Valores para el desvanecimiento de señal, según la ganancia y variación de distancia, usando la ecuación 1.5:

Tabla 3- 7 Valores del desvanecimiento de señal según la distancia

Distancia (m)	0,08	0,15	0,19	0,22	0,300
Grx (dB)	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
M (dB)	48,1989	70,738776	74,558921	82,640835	86,65764

Fuente: Elaboración del autor.

#### RSSI:

Para los cinco establecimientos se tiene un RSSI, que se determinó con la ecuación 1.6:

Tabla 3- 8 valores de RSSI según la distancia

Establecimiento	Comercial 3	Comercial 2	Comercial 1	Bodega de alimentos y bebida	Banco agrario
Distancia (m)	0,08m	0,15 m	0,19m	0,22m	0,300m
RSSI DE 24 (dB)	- 60,10107202	- 82,6408889	- 86,4610336	- 94,5429481	- 98,5597555

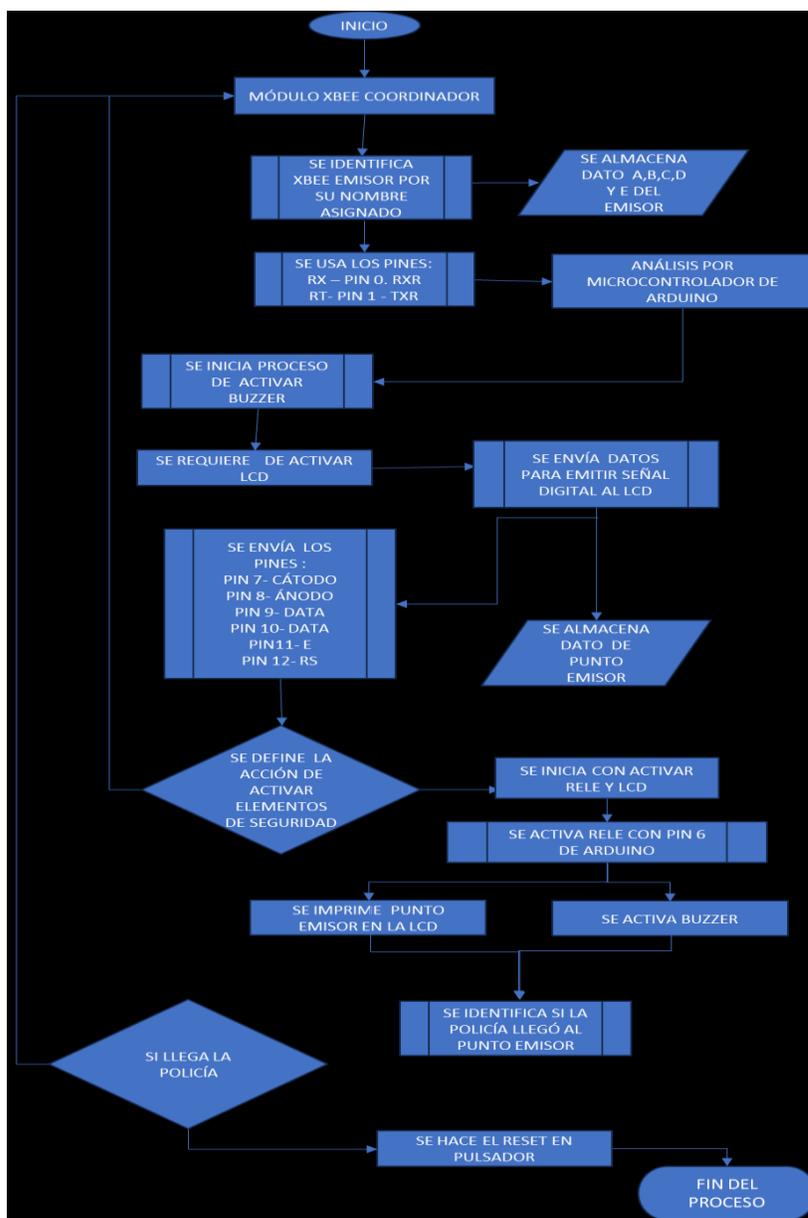
Fuente: Elaboración del autor.

## Capítulo IV. Programación y construcción

En el cuarto capítulo se presentan la programación realizada, la construcción del módulo el cual permite enlazar los Arduino y los Xbee entre sí, de tal forma que se verifica la cantidad de módulos.

### 4.1 Código aplicado para el Xbee Receptor

Figura 4- 1 Código Xbee receptor

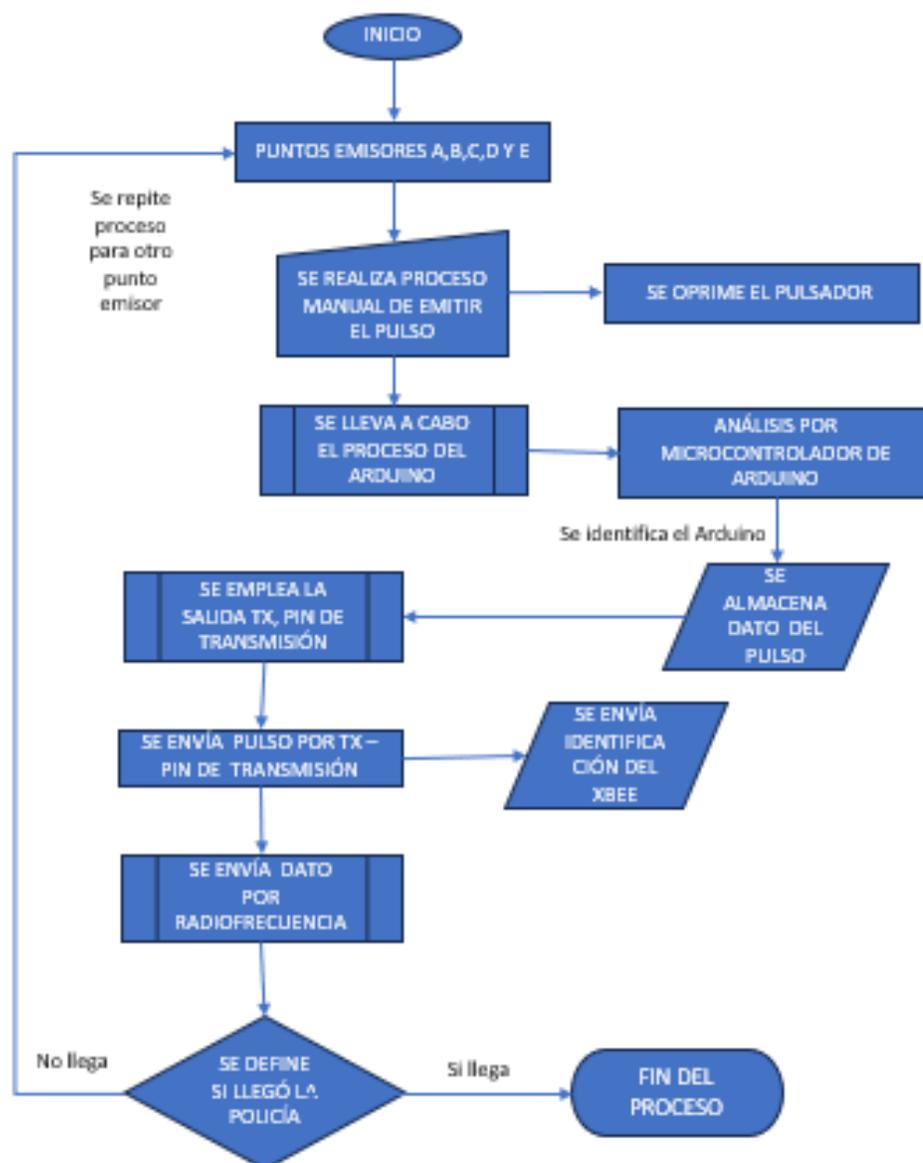


Fuente: Elaboración del autor.

La siguiente programación se utilizó para mostrar ciertos contenidos en la pantalla LCD, y así visualizar los cinco puntos de prueba (ver figura 4-1). El código anterior se guardó en una carpeta libre donde no exista conflicto, y se guarda en formato apropiado para almacenarse en el Arduino físico y en el Arduino virtual, que se probó en Proteus.

## 4.2 Código aplicado para el Arduino emisor

Figura 4- 2 Código Xbee emisor



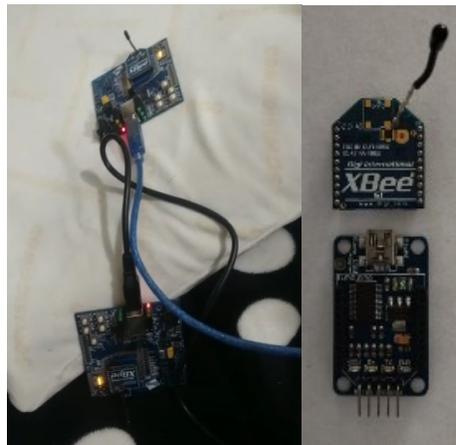
Fuente: Elaboración del autor.

Este código se aplica de forma individual para cada Arduino, por lo que se denota de forma independiente para los cinco puntos que se usarán para cada Xbee (ver figura 4-2).

### 4.3 Programación de los Xbee por X-Ctu

La siguiente figura 4-3 ilustra la Conexión del Xbee al programa X-Ctu por puerto USB, mediante la cual se configura cada uno:

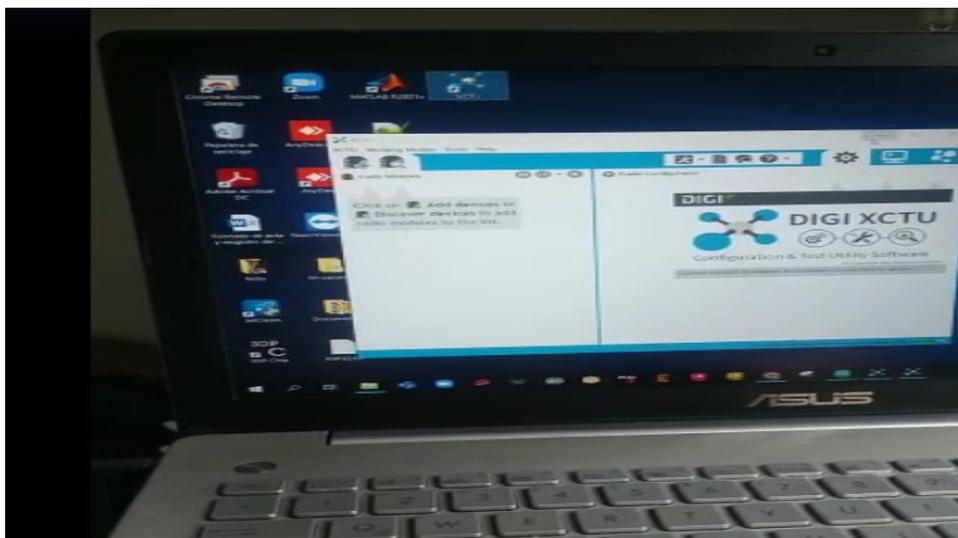
Figura 4- 3 Xbee conectados con su placa de enlace



Fuente: Elaboración del autor.

Se usa el programa X-Ctu para verificar que está funcionando cada Xbee:

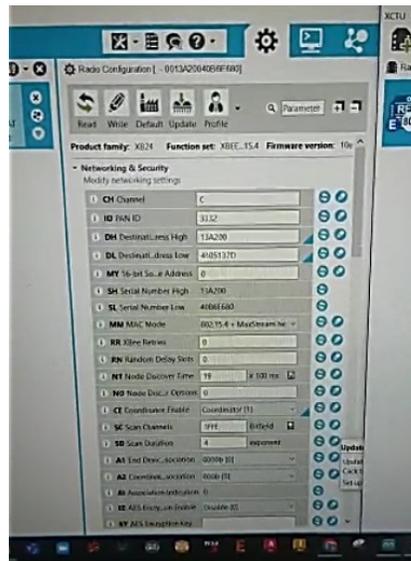
Figura 4- 4 Uso del software X-Ctu



Fuente: Elaboración del autor.

Se conecta el Xbee para identificar su código y programarlo en el receptor, se hace de forma manual, ya que los Xbee tienen un serial de fábrica:

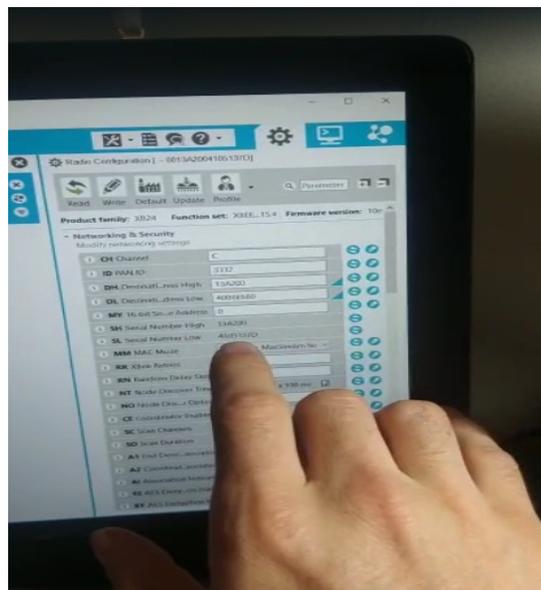
Figura 4- 5 Identificación del serial para cada Xbee



Fuente: Elaboración del autor.

Cada Xbee, debe ser identificado para que el receptor pueda definir quién emite la señal:

Figura 4- 6 Serial del Xbee receptor

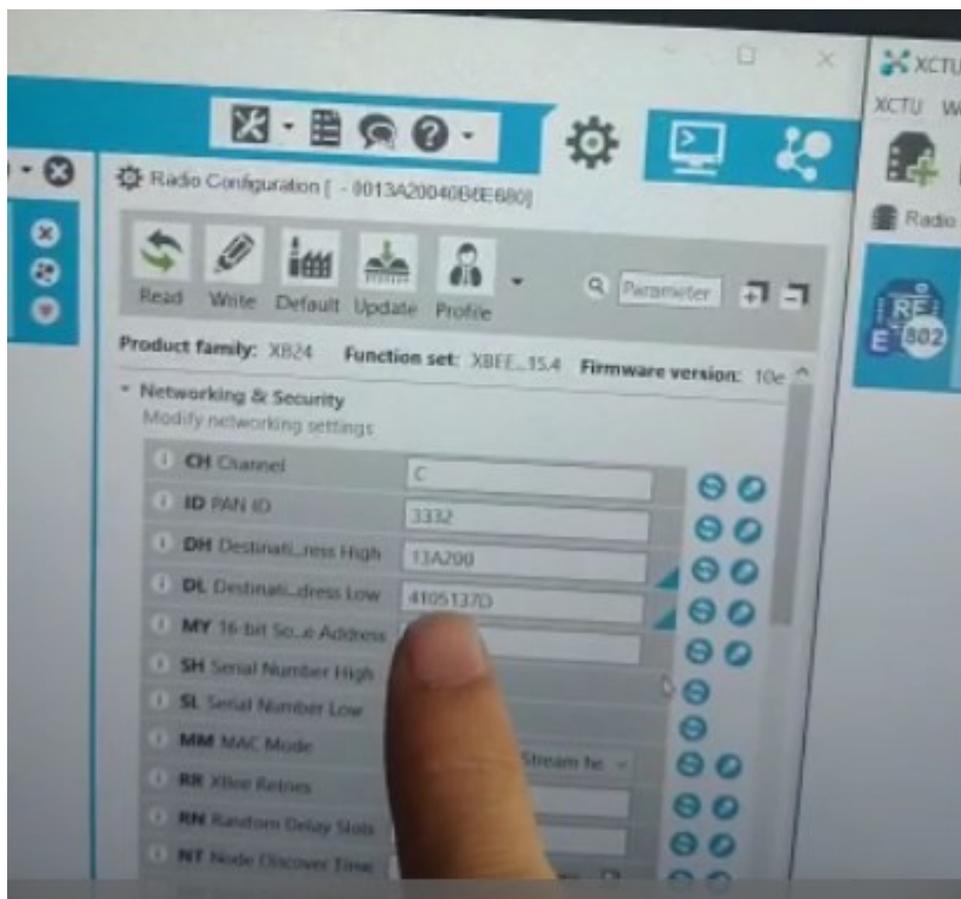


Fuente: Elaboración del autor.

Este proceso se hace para los 5 módulos Xbee.

Luego cada Xbee, define a qué módulo debe emitir la señal, para ello se configura con el serial del módulo receptor para cada módulo emisor, del cual se agrega la dirección del Xbee receptor:

Figura 4- 7 Ubicación de señal para el envío por Xbee



Fuente: Elaboración del autor.

Ya configurados los Xbee receptor y emisores, se procede a soldar las placas bases de los cinco puntos.

## 4.4 Simulación del proyecto en Proteus.

### 4.4.1 Circuito Receptor

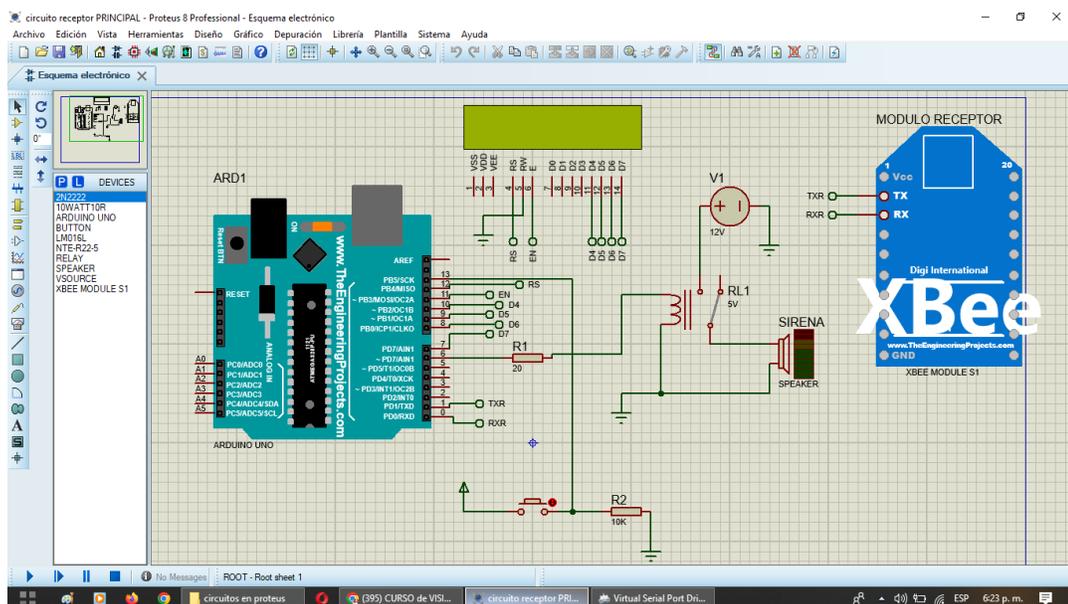
Se hace el circuito en el programa Proteus y se comunican virtualmente por Virtual serie.

Elementos:

- 2n2222, Resistor de 10 Kilo ohmios, Arduino Uno, Button, LM016L, NTE-r22-5, Relay, Speaker, VSource, Xbee Module S1.

El circuito receptor lleva una parte que se controla por la programación del Arduino, y este emite una señal a una bocina que se activa por un relé y es reseteada por un botón, todos son alimentados con una fuente de 5V. Además, se envía la señal a una pantalla LCD.

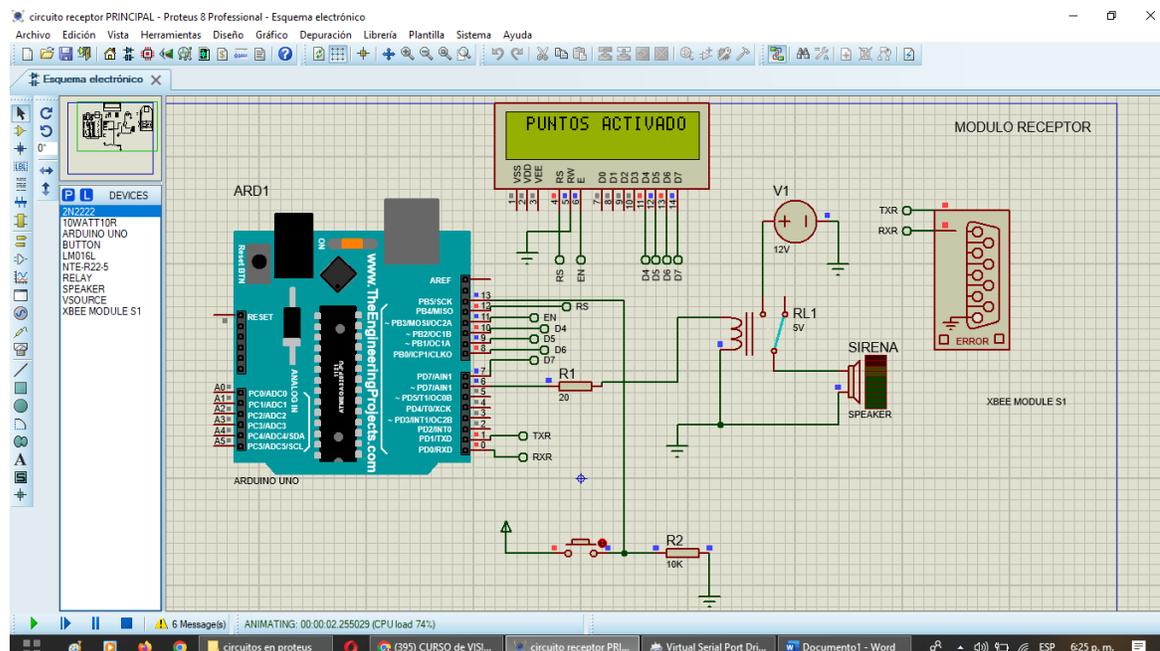
Figura 4- 8 Montaje de circuito receptor



Fuente: Elaboración del autor.

Simulación del circuito, se activa en la opción PLAY para confirmar qué punto está activo, sino hay activación, la pantalla se mantendrá como “ PUNTOS ACTIVADO” corriendo el programa de Arduino:

Figura 4- 9 Montaje de circuito emisor



Fuente: Elaboración del autor.

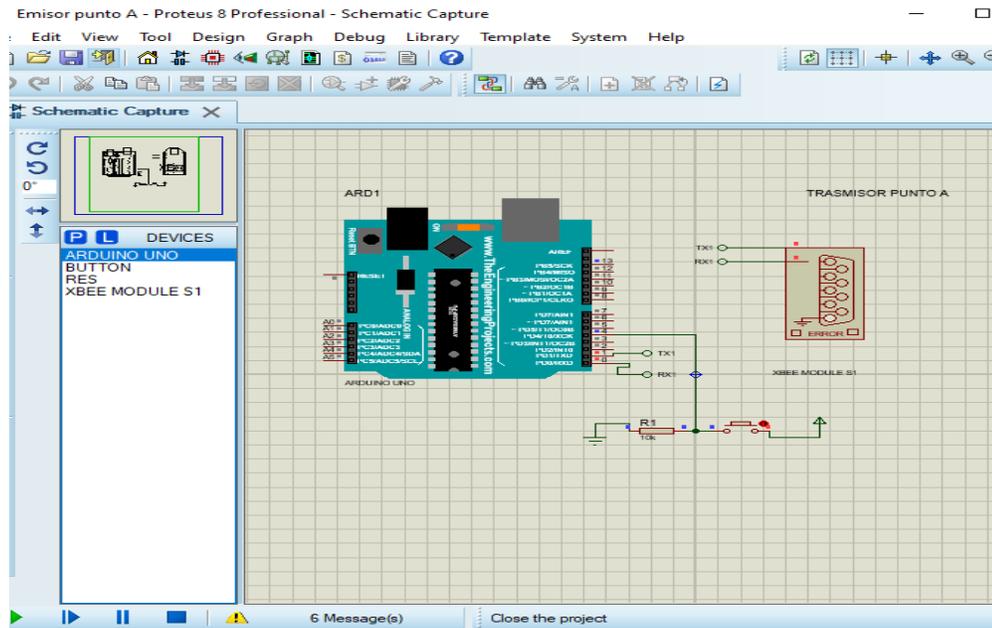
Para los circuitos emisores:

Materiales:

- Arduino Uno
- Button
- Res 1 K
- Módulo Xbee S1.

El circuito, se conforma por el botón, el Arduino programado y el Xbee, cabe recordar que desde la plataforma de Arduino se configura el código en formato.HEX, para que pueda ser leído en binario por el Arduino en proteus.

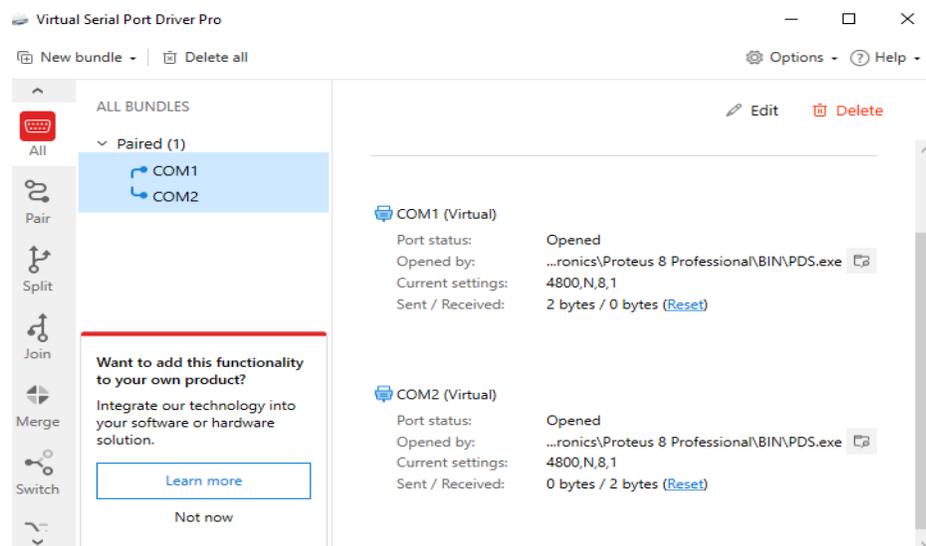
Figura 4- 10 Circuito para emisor.



Fuente: Elaboración del autor.

Se hace la conexión por puertos virtuales, verificando que los circuitos están conectados:

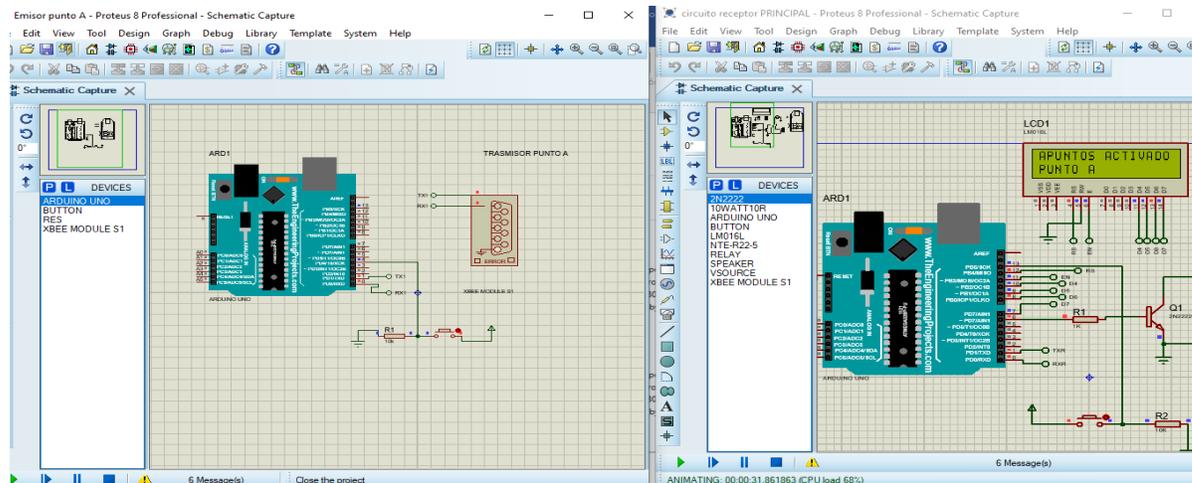
Figura 4- 11 Conexión por puerto virtual



Fuente: Elaboración del autor.

Prueba punto A:

Figura 4- 12 Envío de señal desde módulo A para receptor

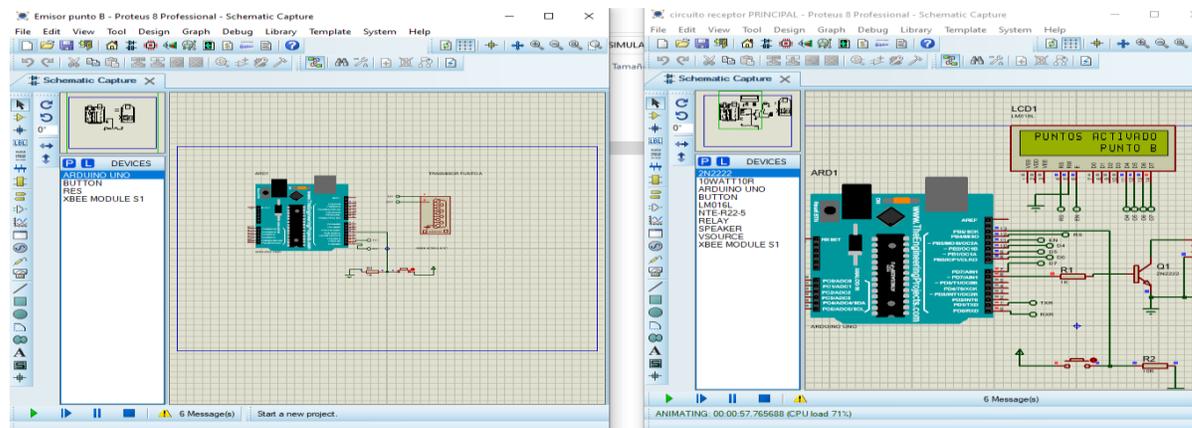


Fuente: Elaboración del autor.

En el circuito se aprecia que, con el botón activado en color rojo, se activa el punto A en el Xbee receptor.

Prueba punto B:

Figura 4- 13 Envío de señal desde módulo B para receptor

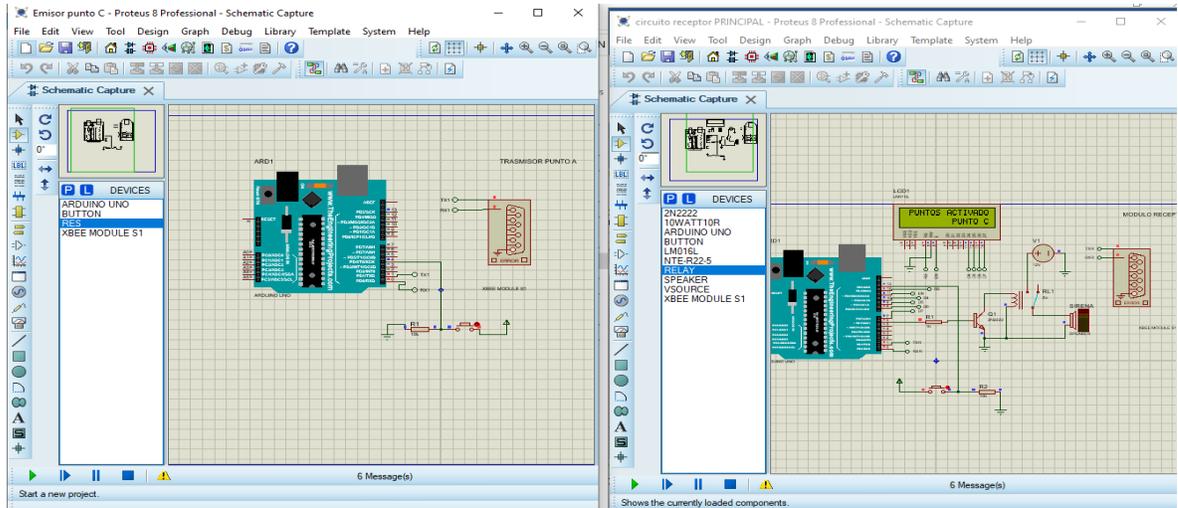


Fuente: Elaboración del autor.

En el circuito se aprecia que, con el botón activado en color rojo, se activa el punto B en el Xbee receptor.

Prueba punto C:

Figura 4- 14 Envío de señal desde módulo C para receptor

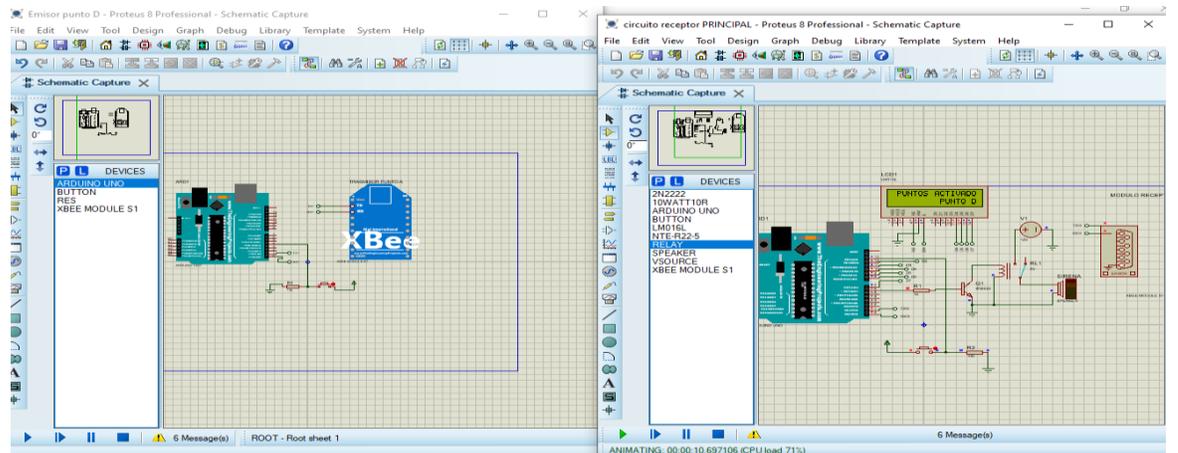


Fuente: Elaboración del autor.

En el circuito se aprecia que, con el botón activado en color rojo, se activa el punto C en el Xbee receptor.

Prueba punto D:

Figura 4- 15 Envío de señal desde módulo D para receptor

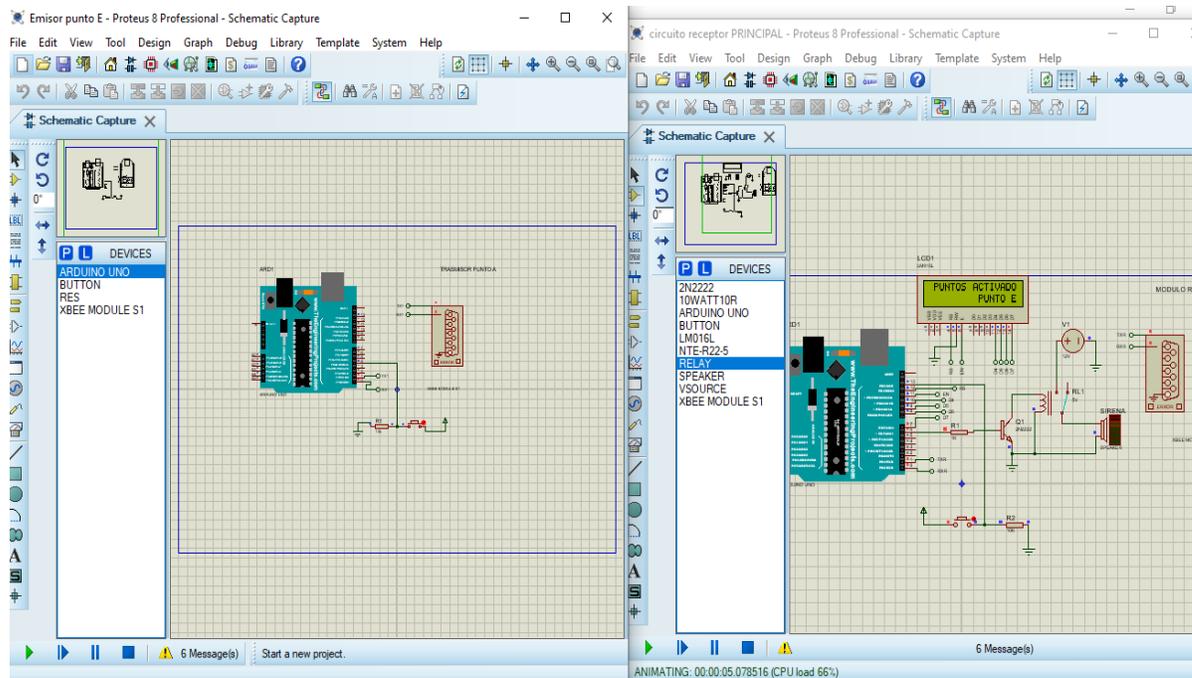


Fuente: Elaboración del autor.

En el circuito se aprecia que, con el botón activado en color rojo, se activa el punto D en el Xbee receptor.

Prueba punto E:

Figura 4- 16 Envío de señal desde módulo E para receptor



Fuente: Elaboración del autor.

En el circuito se aprecia que, con el botón activado en color rojo, se activa el punto E en el Xbee receptor.

#### 4.5 Construcción

El proyecto es un sistema de alarma, donde el usuario solo debe oprimir un botón y automáticamente se envía una señal por radiofrecuencia a una central indicando la dirección de donde se activó la alarma.

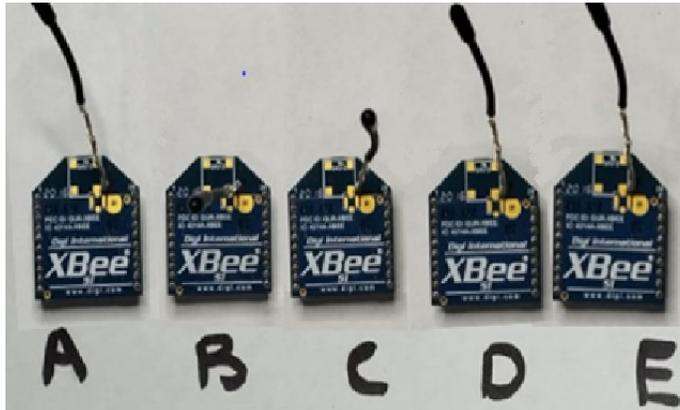
Componentes: Arduino nano, Xbee s1

Lcd 16x2

Placas base.

Cables, soldadura de estaño, multímetro, Xbee, resistencias, botón de presión, cables, bocinas de 12V, cajas de proyectos, tornillos. Arduino nano, cables de datos, Jumper.

Figura 4- 17 Eliminación de protector para los cinco Xbee



Fuente: Elaboración del autor.

Se procede a eliminar la protección de los Xbee, ya que las pruebas mostraron que el aislante que posee causa interferencia, por ubicarse dentro de la caja de proyectos.

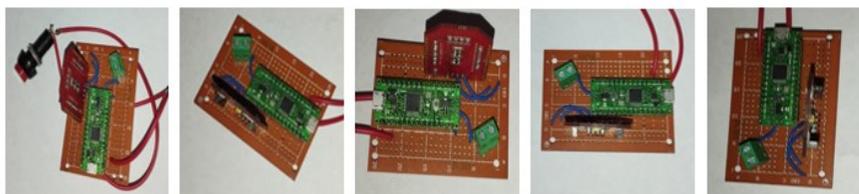
Figura 4- 18 Montaje de placas para emisores



Fuente: Elaboración del autor.

Se arman los cinco circuitos emisores:

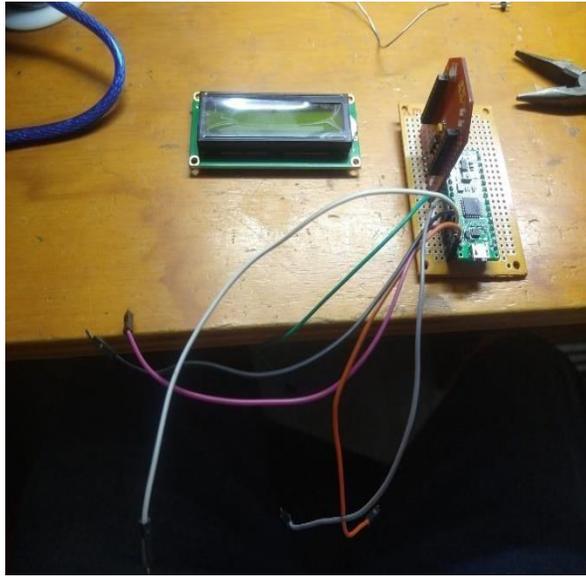
Figura 4- 19 Montaje con Xbee y las cinco placas con Arduino programado



Fuente: Elaboración del autor.

Se armó la placa del receptor:

Figura 4- 20 Montaje de receptor y su pantalla LCD



Fuente: Elaboración del autor.

Teniendo todo soldado se procedió a realizar el ensamble en la caja de proyectos:

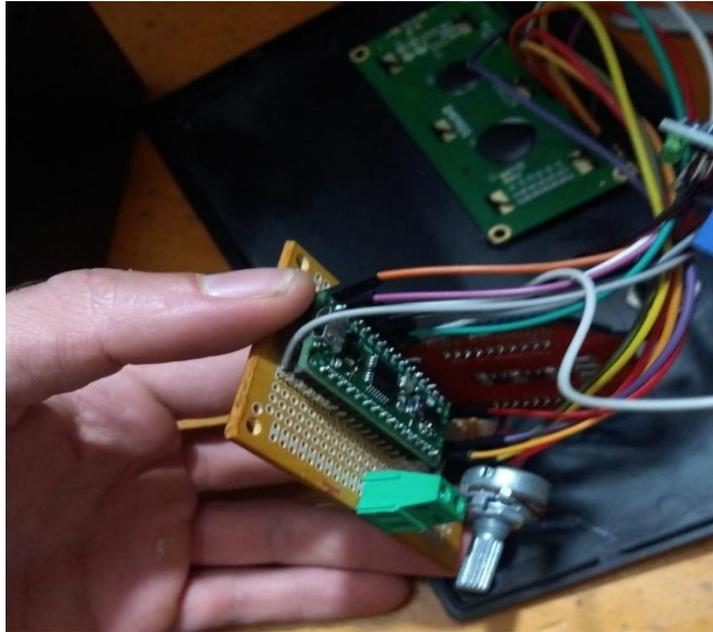
Figura 4- 21 Caras protectoras de circuitos



Fuente: Elaboración del autor.

Se verifican las conexiones en el receptor:

Figura 4- 22 Pruebas de conexiones de cables, LCD, y Arduino



Fuente: Elaboración del autor.

Se programo el receptor con el relé, que activa la bocina:

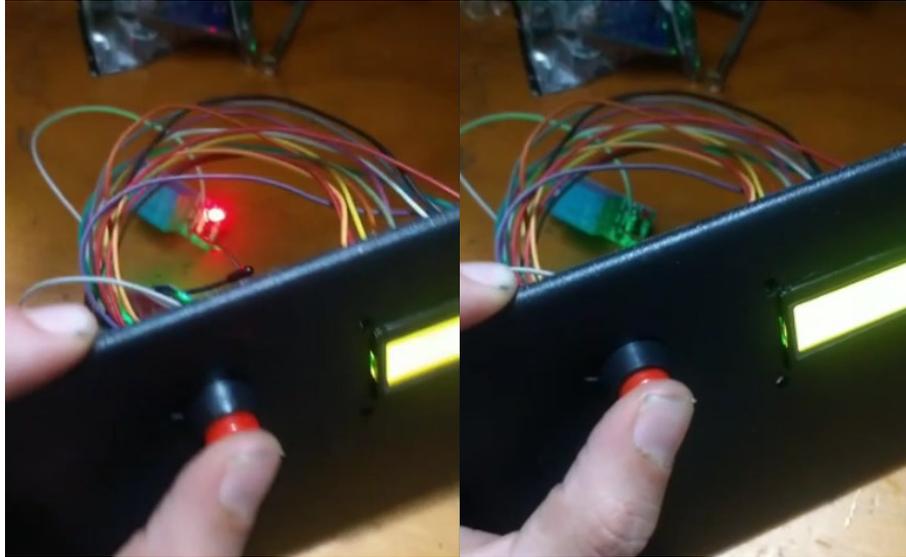
Figura 4- 23 Verificación de Relé para activar la bocina



Fuente: Elaboración del autor.

Se verificó el botón de reset, utilizado para eliminar la alarma generada, encendiendo el led Rojo, al oprimirse se desactiva el relé y se borra la alarma generada:

Figura 4- 24 Receptor y prueba



Fuente: Elaboración del autor.

A continuación, se muestra el terminado del circuito receptor en la placa y dentro de la caja de proyectos:

Figura 4- 25 Receptor terminado



Fuente: Elaboración del autor.

## **Capítulo V. Resultados y análisis**

En el quinto capítulo se abordan los resultados de la simulación y la puesta en marcha del sistema de alarma inalámbrica.

Con el siguiente capítulo, se analizaron los resultados de los cálculos con la finalidad de obtener un RSSI hasta los 300 m y ver su comportamiento en cuando a señal de recepción, con ello se define hasta donde la señal es intermitente, hasta un rango de 1000 m. Ya luego de identificado su intermitencia según la distancia, en la validación se corrobora si hasta la distancia de 300 m se presenta la intermitencia que indicara si los módulos poseen su respectiva comunicación. Ya si no es logrado la comunicación se interpretará que el Xbee S1 no sería el indicado y por lo tanto se debe usar una versión profesional el cual se recomendará para futuras investigaciones, ya que este tipo de módulo requiere de instalación de antenas con mayor ganancia.

Para analizar las variables que se calcularon se hizo una proyección según la distancia desde los 80 m hasta los 1000 m, con la finalidad de observar su comportamiento para el PPE y la ecuación 1.1, LLT con ecuación 1.3, PIRE con ecuación 1.2, NRS con ecuación 1.4, M con ecuación 1.5, RSSI con ecuación 1.6. Ya con los resultados hasta los 1000 m se definió su alcance RSSI, y se concluirá si la señal es estable o intermitente.

### **5.1 Interpretación del PPE**

Se realizó el cálculo para una variación de distancias como se expresa en la tabla de los establecimientos, se pasó la longitud a Km para reemplazar datos y que este permita obtener el valor de PPE ampliando la cobertura hasta los 1000 metros con la finalidad de analizar qué comportamiento puede tener los valores de PPE empleando la ecuación 1.1, dando como resultado:

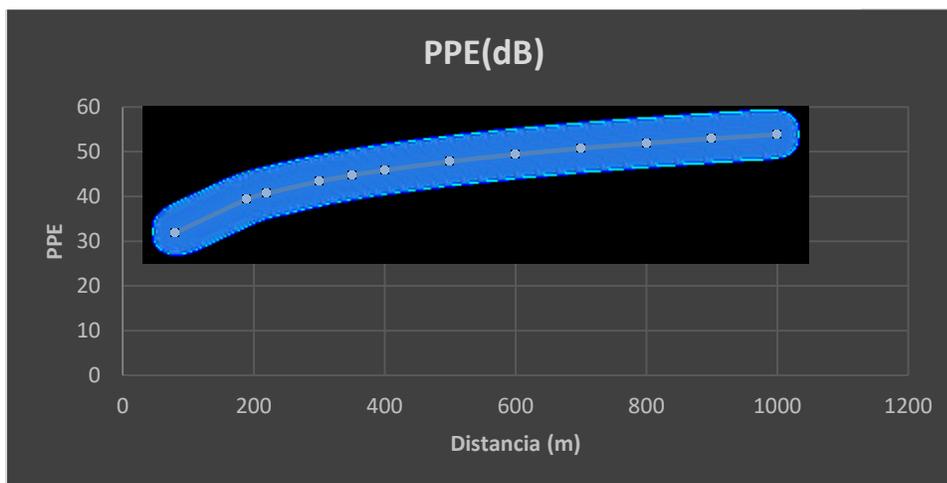
Tabla 5- 1 PPE

DISTANCIA (m)	PPE(dB)
80	31,88691045
150	39,40018273
190	40,67356433
220	43,36753581
300	44,7064716
400	45,86631054
500	47,8045108
600	49,38813572
700	50,72707152
800	51,88691045
900	52,9099609
1000	53,82511071

Fuente: Elaboración del autor.

Al graficar los datos anteriores se obtiene que las pérdidas por propagación están desde los 200 m para un rango de 40 a 55 dBm, y las pérdidas totales se obtuvieron hasta los 1000 metros.

Figura 5- 1 Grafica del PPE



Fuente: Elaboración del autor.

De la figura 5-1 anterior, se puede afirmar teóricamente que hay un comportamiento de pérdidas de señal a partir de los 31.88 a 43.36 dBm desde una distancia entre los 80 m a 220 m, desde los 40 dBm hasta los 50 dBm disminuyen hasta los 400 m, lo cual las pérdidas en

intervalos de 200 metros su valor en dBm empieza a disminuir hasta los 1000 m. Por lo que se puede decir que las pérdidas en dBm son más altos en los primeros 80 m hasta los 150 m.

## 5.2 Interpretación del LLT

Tabla 5- 2 LLT

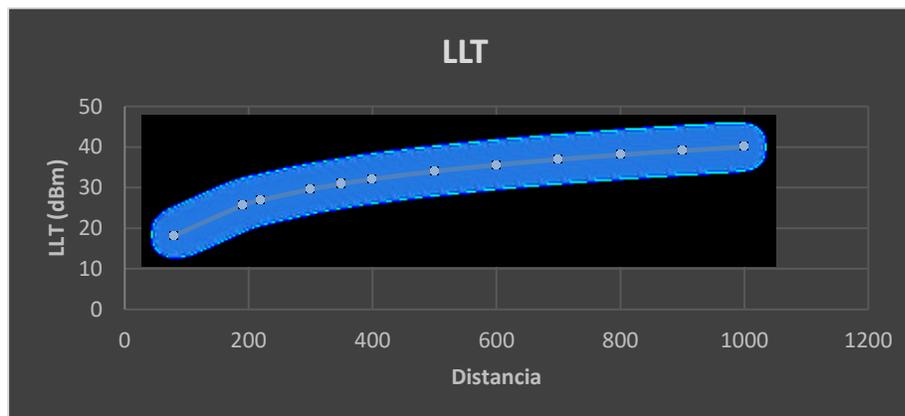
Distancia (m)	LLT
80	18,10602457
150	25,61929685
190	26,89267845
220	29,58664993
300	30,92558572
400	32,08542466
500	34,02362492
600	35,60724984
700	36,94618563
800	38,10602457
900	39,12907502
1000	40,04422483

Fuente: Elaboración del autor.

De la tabla anterior, el crecimiento de las pérdidas se presenta en las distancias desde los 80 m hasta los 150 m, del cual pasa de un valor de 18,10 dBm hasta los 25,6 dBm. Ya desde los 220 m con pérdidas de 29,58 dBm hasta los 400 m tiene un incremento de 2,5 dBm.

Al graficar las perdidas por conexión del LLT, su tendencia según las perdidas, son mayores al iniciar, ya cuando se aumenta la distancia las perdidas se estabilizan cuando alcanzan la distancia de 800 m hasta los 1000 m y se disminuye el crecimiento en el rango (ver figura 5-2).

Figura 5- 2 LLT



Fuente: Elaboración del autor.

Los resultados anteriores tienen el mismo comportamiento para las pérdidas por conector y por línea del receptor en el valor de (LLR) ya que se usa el mismo módulo, dado que no poseen cable, solo se hace transmisión inalámbrica.

### 5.3 Interpretación del PIRE

Como el PIRE contempla la ganancia de la antena, y esta es la misma para el Xbee emisor y receptor, se contempla la potencia de los mismos que se valora en 24 dBm, para ello se tiene la siguiente tabla usando la ecuación 1.3:

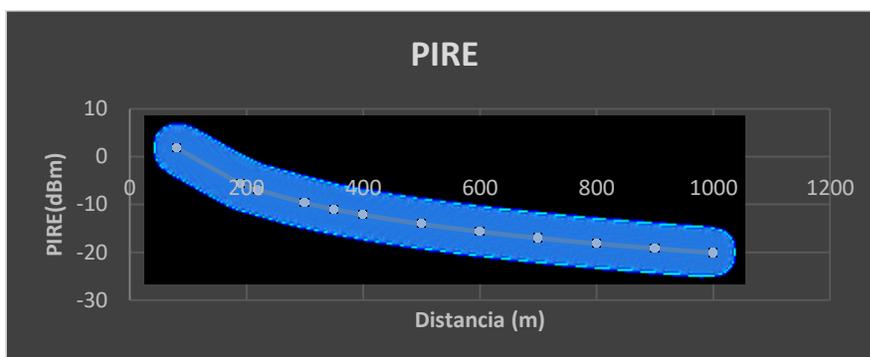
Tabla 5- 3 PIRE

Distancia (m)	PIRE
80	1,793975426
150	-5,719296853
190	-6,992678451
220	-9,686649929
300	-11,02558572
400	-12,18542466
500	-14,12362492

600	-15,70724984
700	-17,04618563
800	-18,20602457
900	-19,22907502
1000	-20,14422483

Representación gráfica:

Figura 5- 3 PIRE



Fuente: Elaboración del autor.

Del PIRE, se puede decir como potencia isotrópica radiada equivalente de sus valores se reducen desde los 200 m, con un valor desde los -5 dBm hasta los -7 dBm, luego surge una reducción desde los 200 m a 400m de -5 dBm, y luego disminuye este valor en casi -2,5 por cada 200 m hasta llegar a los 1000m.

#### 5.4 Interpretación del NRS

Para el NRS, el nivel de recepción de las antenas de los Xbee, tiene los siguientes registros usando la ecuación 1.4:

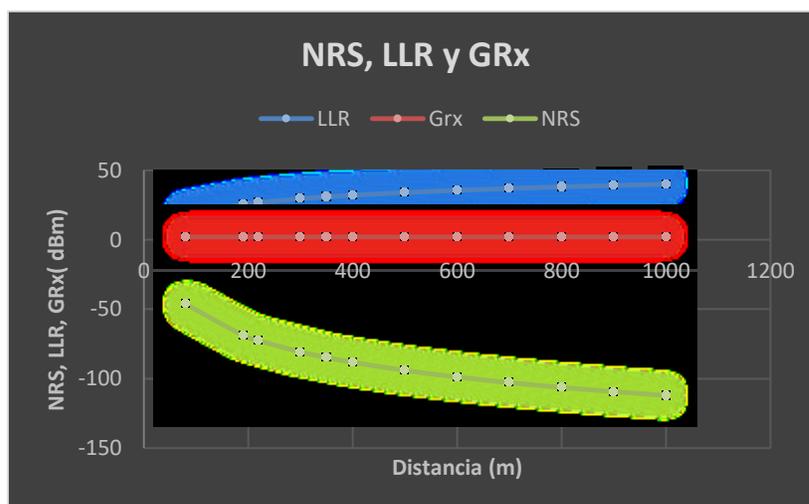
Tabla 5- 4 NRS

Distancia(m)	LLR(dBm)	NRS(dBm)
80	18,10602457	-46,2989596
150	25,61929685	-68,8387764
190	26,89267845	-72,6589212
220	29,58664993	-80,7408357
300	30,92558572	-84,757643
400	32,08542466	-88,2371599
500	34,02362492	-94,0517606
600	35,60724984	-98,8026354
700	36,94618563	-102,819443

800	38,10602457	-106,29896
900	39,12907502	-109,368111
1000	40,04422483	-112,11356

Fuente: Elaboración del autor.

Figura 5- 4 NRS , LLR y GRx



Fuente: Elaboración del autor

Como su cálculo parte de las pérdidas por conexiones que van desde el rango de 20 dBm hasta los 40 dBm en los 1000 m, porque el NRS tiene un nivel de recepción óptimo para este sistema desde los 80 m hasta los 200 m, con valores de -75 dBm, los cuales son aceptables, ya después de los 200 metros no es aceptable ya que su recepción no es viable para el proyecto a estas distancias.

### 5.5 Interpretación del margen de desvanecimiento

Como el desvanecimiento está en función de la ganancia de la antena y del NRS, entre mayor sea este no es aconsejable para el proyecto, contando con los siguientes registros obtenidos a partir de la ecuación 1.5:

Tabla 5- 5 Margen de desvanecimiento.

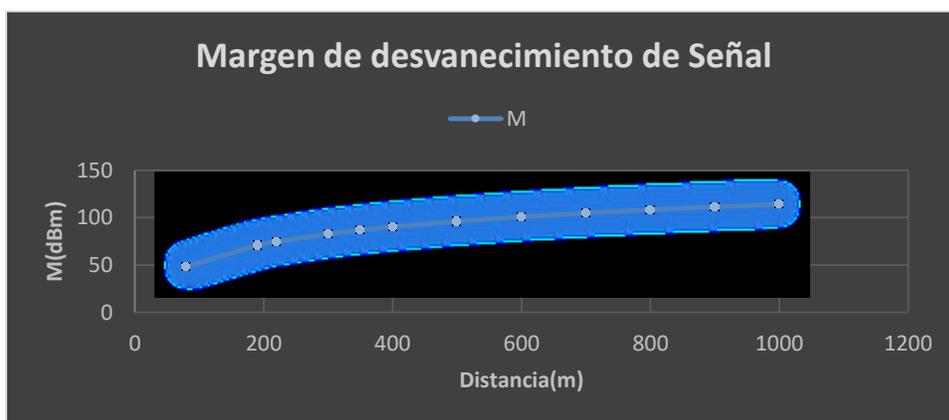
Distancia(m)	M (dBm)
80	48,1989596
150	70,73877644

190	74,55892123
220	82,64083567
300	86,65764304
400	90,13715986
500	95,95176064
600	100,7026354
700	104,7194428
800	108,1989596
900	111,2681109
1000	114,0135604

Fuente: Elaboración del autor.

La interpretación de su gráfica evidencia que antes de los 200 m hay un desvanecimiento de 40 dBm, por lo que la señal se empieza a perder o no se alcanza a emitir a su objetivo.

Figura 5-5 Margen de desvanecimiento de Señal



Fuente: Elaboración del autor.

## 5.6 Interpretación del RSSI

Ya contando con la potencia del sistema de 24 dBm según los Xbee a un rango moderado, los Xbee alcanzan a realizar su trabajo sin presencia de intermitencia, según los siguientes registros generados con la ecuación 1.6:

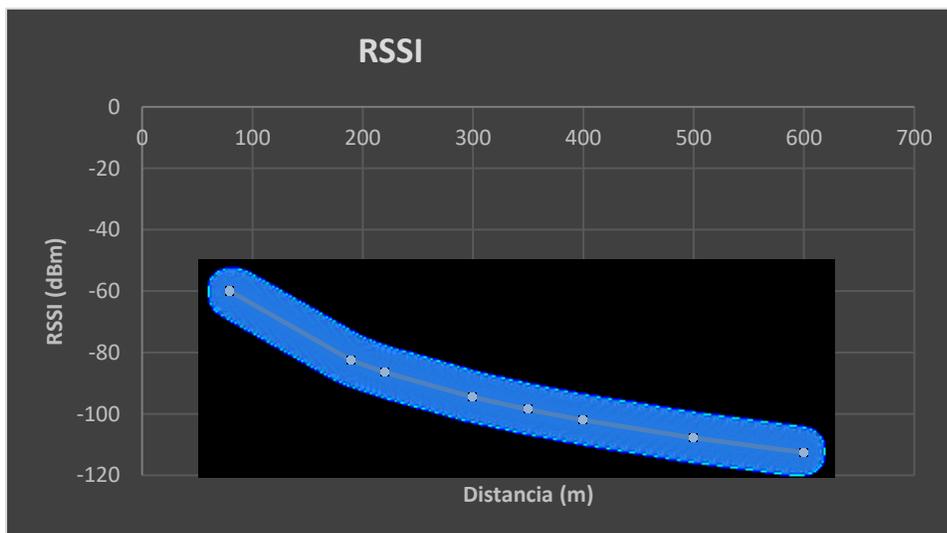
Tabla 5- 6 RSSI

Distancia(m)	RSSI (dBm)
80	-60,10107202
150	-82,64088886
190	-86,46103365
220	-94,54294808
300	-98,55975546
400	-102,0392723
500	-107,8538731
600	-112,6047478
700	-116,6215552
800	-120,101072
900	-123,1702234
1000	-125,9156728

Fuente: Elaboración del autor.

El RSSI, muestra que, desde los 100 m hasta los 200 metros, la recepción se da en un tiempo de 0,5 s, según lo programado en los Arduino, para dar respuesta se tiene un nivel de recepción de -60 dBm hasta los -83 dBm, ya desde los 200 m hay intermitencia y con la presencia de vehículos u obstáculos en su trayectoria por las ondas de radiofrecuencias, pueden o no llegar desde un emisor hasta su receptor.

Figura 5- 6 RSSI



Fuente: Elaboración del autor.

Los valores muestran que, para los puntos ubicados después de los 200 m, deben poseer una mejor antena para su recepción, o mejorar el Xbee con otro modelo profesional, el cual puede abordar distancia de 1000 m, lo único con lo que se debe contar son las antenas de recepción.

### 5.7 Pruebas en la estación policía

Para esta prueba se pidió permiso en la estación de policía de Acevedo el día 10 de mayo de 2023 desde las 9 am hasta las 3 de la tarde, en el cual se permitió realizar dicha actividad con la condición de desactivar el sonido de la alarma, ya que no era de agrado por parte del comandante, tener en sus instalaciones una alarma sonando a cada momento:

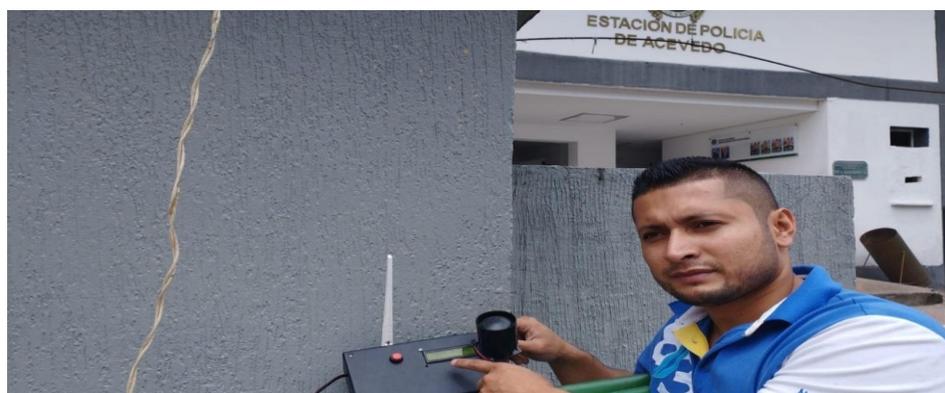
Figura 5- 7 Montaje de punto receptor



Fuente: Elaboración del autor.

El punto receptor se montó en la garita esquina de la estación:

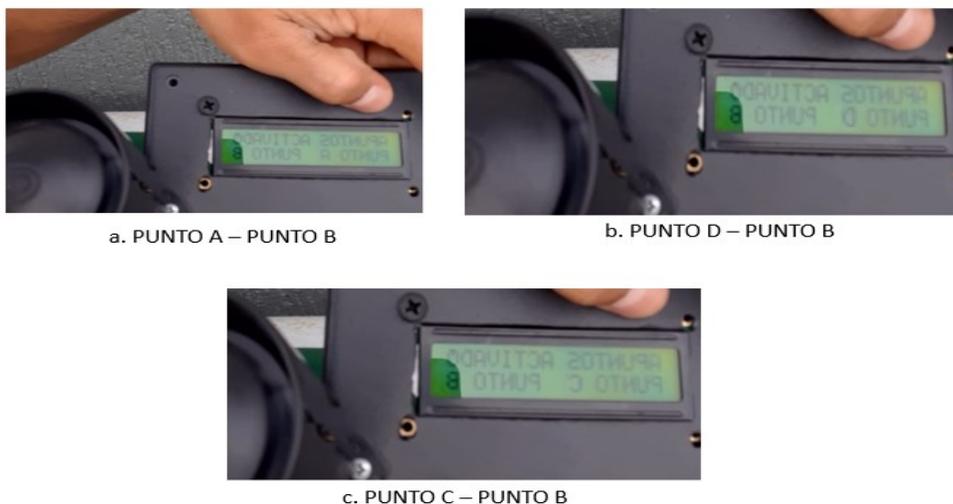
Figura 5- 8 Montaje en la estación de Acevedo Huila



Fuente: Elaboración del autor.

Los resultados de las activaciones fueron óptimos, pero para la distancia de 300 m, la señal fue intermitente ya que se probó con activaciones simultáneas de dos puntos, con el punto de B, ya que su emisor se encontraba en un punto alto de los cinco propuestos y de los cuales para ese día no se ubicaban vehículos o elementos que lo bloquearan.

Figura 5- 9 Pruebas alternas de puntos en la estación de policía.



Fuente: Elaboración del autor.

En la figura 5-8, se observó que los puntos se comunican y se debe resetear el receptor para que limpie la pantalla LCD y permite enviar la señal de los otros puntos de prueba.

### Conclusiones

El alcance al que se llegó desde la parte teórica, para una distancia desde los 80 m hasta los 300 m, da un rango de fuerza recibida de RSSI de 80 m (-60 dBm), 190 m (-82,6 dBm), 220 m (-86,46 dBm), 300 m (-94 dBm), el cual a los 400 m los dBm superan el margen del objetivo que está para -100 (dBm), porque desde de este valor y los rangos máximos que se dieron para evaluar su comportamiento hasta los 1000 m arrojaron un valor de -125,9 dBm. En conclusión, para estos rangos según lo recomendado se puede tener señal con interferencia desde los 220 m hasta los 300m.

Se desarrolló un algoritmo que permite emitir y recibir una señal de manera instantánea para las distancias propuestas en la investigación, lo que permitió generar los mensajes que muestra la pantalla LCD, aunque el tablero no es lo suficientemente amplio para mostrar textos de más de 3 dígitos, para los cinco módulos emisores.

Se construyeron cinco módulos emisores con las mismas características en antenas y módulo Xbee S1, los cuales eran coordinados por un módulo receptor que poseía una pantalla LCD que transmitía el mensaje de forma visual y por otra parte se usó una bocina que se activó cuando algunos de los puntos enviaban la señal y esta era reiniciada. Los módulos trabajan con unos voltajes de 3,5 voltios.

No se hicieron cambios en los módulos para las distancias de 300 m ya que se debía agregar antenas con mayor ganancia y evitar la intermitencia, por lo que se define, que los módulos Xbee son efectivos para un rango máximo de 220 m según la validación, ya desde de esta distancia se debe aplicar módulos a un mayor costo y se sale del presupuesto destinado para el proyecto.

El tiempo de activación es inmediato, cada equipo funcionó con eficiencia hasta los 200 m, luego de esta distancia se debía orientar la antena para apuntar directamente al módulo

receptor, ya que la antena del Xbee tiene un a dirección específica, por otra parte, se determinó que la carcasa usada provocaba intermitencia para él envió de señal desde los 200 m.

Los análisis realizados en función de los dBm están basados en los cálculos teóricos, con ellos se procedió a realizar la construcción y con la verificación y pruebas se determinó lo que arrojó el RSSI desde de una distancia como los 220 m los dBm se vuelven intermitentes.

### **Recomendaciones**

Para distancias mayores desde los 220 m, no se recomienda usar el Xbee S1 ya que cualquier obstáculo impide la recepción de señal, por lo que se recomienda usar un Xbee S2 Pro, del cual a un mayor costo y una antena receptora puede mejorar su alcance, lo único que varía es su costo de adquisición debido a que se agrega una antena tanto para el emisor como el receptor.

Se sugiere emplear Xbee con antenas potentes o Xbee del tipo profesional, con un rango de alcance hasta los 1000 m.

## Referencias Bibliográficas

- Alahmadi, H., Bouabdallah, F., & Al-Dubai, A. (2022). A novel time-slotted LoRa MAC protocol for scalable IoT networks. *Future Generation Computer Systems*, 134, 287-302. <https://doi.org/10.1016/j.future.2022.04.003>
- Andrew, K. (2019). Internal Positioning System for Cardiotocograph (CTG) Transducers at Mackay Base Hospital. *Procedia Manufacturing*, 30, 365-372. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.051>
- Bates, N. (2007). Chapter 14—Premises security liability. En K. H. Vellani (Ed.), *Strategic Security Management* (pp. 265-283). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-012370897-7/50017-7>
- Blackstone, E. A., Hakim, S., & Meehan, B. (2020). Burglary reduction and improved police performance through private alarm response. *International Review of Law and Economics*, 63, 105930. <https://doi.org/10.1016/j.irl.2020.105930>
- Caracol. (2021). *Noticias Neiva Alarma por muertes violentas en Acevedo, Huila: Alarma por muertes violentas en Acevedo, Huila*. [https://caracol.com.co/emisora/2021/11/07/neiva/1636296438\\_409480.html](https://caracol.com.co/emisora/2021/11/07/neiva/1636296438_409480.html)
- Díaz, J. (2021). *UPS - TTS357.pdf*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20238/1/UPS%20-%20TTS357.pdf>
- Digi. (2021). *Signal strength and the RSSI pin*. [https://www.digi.com/resources/documentation/Digidocs/90001456-13/concepts/c\\_rssi\\_pin\\_and\\_signal\\_strength.htm](https://www.digi.com/resources/documentation/Digidocs/90001456-13/concepts/c_rssi_pin_and_signal_strength.htm)
- Farfán, R. F., Cadena, C. A., & Villa, L. T. (2015). Experiencia en el uso de la Lógica Difusa para el Control del Seguimiento del Punto de Máxima Potencia en

Convertidores para Módulos Fotovoltaicos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 12(2), 208-217.

<https://doi.org/10.1016/j.riai.2015.03.004>

Fernández, M. J. (2020). On the application of formal description techniques to the design of interception systems for GSM mobile terminals. *Journal of Systems and Software*, 60(1), 51-58. [https://doi.org/10.1016/S0164-1212\(01\)00079-6](https://doi.org/10.1016/S0164-1212(01)00079-6)

Fernández, Y. (2019, diciembre 5). *Tarjeta SIM: Cómo funciona y cómo saber de qué tipo es la tuya*. Xataka. <https://www.xataka.com/basics/tarjeta-sim-como-funciona-como-saber-que-tipo-tuya>

Galarza, J. (2020). (PDF) *Sistema inalámbrico de alarma domiciliaria con alerta vía celular*.

[https://www.researchgate.net/publication/277995767\\_Sistema\\_inalambrico\\_de\\_alarma\\_domiciliaria\\_con\\_alerta\\_via\\_celular](https://www.researchgate.net/publication/277995767_Sistema_inalambrico_de_alarma_domiciliaria_con_alerta_via_celular)

García. (2018). ⇒ *Descubre qué es Zigbee y para qué se utiliza*. efectoLED blog.

<https://www.efectoled.com/blog/es/que-es-zigbee/>

Garzón, C. (2020). *Las capitales más inseguras de Colombia, según los ciudadanos*.

Portafolio.co. <https://www.portafolio.co/tendencias/las-ciudades-mas-inseguras-de-colombia-561821>

Godoy, C. A. G. (2017). *Sistema de seguridad para locales comerciales mediante Raspberry Pi, cámara y sensor PIR*. 20.

Gutiérrez, D. (2022, marzo 26). Siguen creciendo los índices de violencia en el Huila.

*Diario del Huila*. <https://diariodelhuila.com/siguen-creciendo-los-indices-de-violencia-en-el-huila/>

- Huila, G. del. (2022, mayo 16). *El Huila implementará estrategias para fortalecer la convivencia ciudadana en sus 37 municipios*. Gobernación del Huila.  
<https://www.huila.gov.co/publicaciones/12269/el-huila-implementara-estrategias-para-fortalecer-la-convivencia-ciudadana-en-sus-37-municipios/>
- Jecres. (2016, noviembre 16). ZigBee/XBee. *Aprendiendo Arduino*.  
<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/16/zigbeexbee/>
- Latam. (2022). *Qué es una dirección IP: Definición y explicación*. latam.kaspersky.com.  
<https://latam.kaspersky.com/resource-center/definitions/what-is-an-ip-address>
- Le, N. T. (2019). Received signal strength data of ZigBee technology for on-street environment at 2.4 GHz band and the interruption of vehicle to link quality. *Data in Brief*, 22, 1036-1043. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.01.027>
- Marroquín, M. A. P. (2019). *DISEÑO DE UN SISTEMA PARA CONTROL DE LAS ALARMAS DE SEGURIDAD EN EL HOGAR UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA M2M*. 143.
- Maxinga, F. (2021). *Sistema de detección de intrusos en la alcantarilla con etapas de notificación—ScienceDirect*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S246822762100123X>
- McGee, E. T., & McGregor, J. D. (2017). Chapter 8—Data Analytics in Systems Engineering for Intelligent Transportation Systems. En M. Chowdhury, A. Apon, & K. Dey (Eds.), *Data Analytics for Intelligent Transportation Systems* (pp. 191-213). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809715-1.00008-0>
- MinTic. (2022). *Articles-149572\_recurso\_pdf.pdf*.  
<https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacionemisorascomunitarias/738/article>

s-149572\_recurso\_pdf.pdf

Núñez, J. C., Bonilla Rodríguez, A., & Calvillo Téllez, A. (2017). Estimación del alcance de radiotransmisores Xbee. *Research in Computing Science*, *142*(1), 39-46.

<https://doi.org/10.13053/rcs-142-1-4>

Núñez, J. C., Rodríguez, A., & Téllez, A. (2017). Estimación del alcance de radiotransmisores Xbee. *Research in Computing Science*, *142*, 39-46.

<https://doi.org/10.13053/rcs-142-1-4>

Oguchi, K., Maruta, S., & Hanawa, D. (2014). Human Positioning Estimation Method Using Received Signal Strength Indicator (RSSI) in a Wireless Sensor Network. *Procedia Computer Science*, *34*, 126-132.

<https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.07.066>

Pérez, J. (2018). *Pfc3446.pdf*.

<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/1883/pfc3446.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Petavratzis, E., Volos, C., & Stouboulos, I. (2023). Experimental study of terrain coverage of an autonomous chaotic mobile robot. *Integration*, *90*, 104-114.

<https://doi.org/10.1016/j.vlsi.2023.01.010>

PONAL. (2022). *Boletín mes Junio 2022*.

Posey, B. M. (2023). The final destination: Incorporating ‘Death by GPS’ into forensic and legal sciences. *Science & Justice*, *63*(3), 421-426.

<https://doi.org/10.1016/j.scijus.2023.04.005>

Proytel. (2022). *BOTON DE PANICO*. <https://www.proytel.cl/boton-de-panico-1>

Rivera, D. A. M. (2019). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALARMA INALÁMBRICA PARA*

- PEQUEÑAS EMPRESAS Y HOGARES EN PEREIRA Y DOSQUEBRADAS*. 88.
- Robles, L. A. A. (s. f.). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALARMA MEDIANTE LA PLATAFORMA ARDUINO A TRAVÉS DE TELEFONÍA MÓVIL EN EL DECANATO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS*. 135.
- Romero, C. A. V., Jaimes, J. E. B., & González, D. C. P. (2015). Parámetros de configuración en módulos XBEE-PRO® S2B ZB para medición de variables ambientales. *Tecnura*, 19(45), Article 45.  
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.3.a011>
- Ruiz, F. V. (2022, septiembre 25). *Resultados en el orden público en el Huila durante el fin de semana*. Caracol Radio. <https://caracol.com.co/2022/09/26/resultados-en-el-orden-publico-en-el-huila-durante-el-fin-de-semana/>
- Samora, R. (2016). *Niveles de RSSI para el módulo XBee- PRO ZB (S2). 15a comparación de... | Descargar Diagrama Científico*. [https://www.researchgate.net/figure/Figura-18-Niveles-de-RSSI-para-el-modulo-XBee-PRO-ZB-S2-15a-comparacion-de-pruebas\\_fig12\\_311928337](https://www.researchgate.net/figure/Figura-18-Niveles-de-RSSI-para-el-modulo-XBee-PRO-ZB-S2-15a-comparacion-de-pruebas_fig12_311928337)
- Taloba, A. (2021). *Sistema de vigilancia residencial modulado habilitado para IoT utilizando lógica difusa—ScienceDirect*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321002662>
- Titus, J. A. (2012). Experiment 10—How to Use API Packets to Control a Local XBee Module. En J. A. Titus (Ed.), *The Hands-on XBEE Lab Manual* (pp. 77-84). Newnes. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391404-0.00010-7>
- Tseng, C. H. (2017). Enhanced Gaussian mixture model of RSSI purification for indoor positioning. *Journal of Systems Architecture*, 81, 1-6.

<https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2017.10.003>

Vara, N., Poletto, G. A., Cáceres, M., & Busso, A. J. (2015). Cálculo de distancia entre los nodos de una Red Inalámbrica Zigbee en función del parámetro RSSI.

*Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 2(0), Article 0.

<https://doi.org/10.30972/eitt.20275>

Xataka. (2022). *Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno*.

<https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>

## Anexos

### Anexo. Código Receptor.

Se da inicio a incluir la pantalla LCD con el Arduino:

```
#include <LiquidCrystal.h>//Se agrega librería para funcionamiento de la lcd
int button = 13; // Asignamos el nombre button al pin 13 int relé = 6;
// Asignamos el nombre relé al pin 6
int bt; // Inicializamos variable de tipo int con el nombre bt
char dato; // Inicializamos variable de tipo char con el nombre dato
const int rs = 12, en = 11, d4 = 10, d5 = 9, d6 = 8, d7 = 7; // se asignan
// pines de la lcd al arduino
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);//Función de la librería lcd
void setup() { // El void setup se realizan configuraciones como que va
// conectado a cada pin
```

Se configura los Baudios:

```
Serial.begin(9600);// Se configura velocidad de baudios para la transmisión
// de datos
pinMode(button,INPUT);// Se configura pin button(13) como entrada
pinMode(relé,OUTPUT); // Se configura pin relé(6) como salida lcd.begin(16, 2);//Le
decimos al Arduino que trabajamos con lcd de 16*2
lcd.setCursor(1, 0);// El cursor se posiciona en la fila 1 posición 0 de la
// lcd para imprimir PUNTOS ACTIVADOS
lcd.print("PUNTOS ACTIVADOS");//Se imprime PUNTOS ACTIVADOS
delay(2000);// Se espera dos segundos
}
```

Se asignan pines del Arduino:

```
void loop() { // void loop le indicamos al Arduino que hacer bt=digitalRead(button);//El
valor digital de button pin 13 se le asigna a la
// variable bt
lcd.setCursor(1, 0); // El cursor se posiciona en la fila 1 posición 0 de
// la lcd para imprimir PUNTOS ACTIVADOS
```

Se imprime los puntos que lee el Arduino con la LCD:

```

lcd.print("PUNTOS ACTIVADOS");//Se imprime PUNTOS ACTIVADOS if(Serial.available())//Esta
instrucción dice que, Si recibimos datos del
// del puerto serial haga lo siguiente
{
dato=Serial.read();//El dato que llegue por el puerto serial se le
// asigne a la variable dato
if(dato=='A')// Si dato es igual a (A) haga lo siguiente
{
digitalWrite(rele,HIGH);// El pin relé se pone en 1
lcd.setCursor(0, 1);// El cursor se posiciona en la fila 0 posición 1 de la
// lcd

lcd.print("PUNTO A");//Se imprime PUNTO A
lcd.setCursor(0, 0); // El cursor se posiciona en la fila 0 posición 0 de la
// lcd
lcd.print("ACTIVADO");//Se imprime ACTIVADO
}
if(dato=='B')// Si dato es igual a (B) haga lo siguiente
{
digitalWrite(rele,HIGH); // El pin relé se pone en 1
lcd.setCursor(9, 1); // El cursor se posiciona en la fila 1 posición 9 de la
// lcd
lcd.print("PUNTO B");//Se imprime PUNTO B
lcd.setCursor(9, 0); // El cursor se posiciona en la fila 0 posición 9 de la
// lcd

lcd.print("ACTIVADO");//Se imprime ACTIVADO
}
if(dato=='C')// Si dato es igual a (C) haga lo siguiente
{
digitalWrite(rele,HIGH); // El pin relé se pone en 1

lcd.setCursor(9, 1); // El cursor se posiciona en la fila 1 posición 9 de la

```

```

// lcd
lcd.print("PUNTO C");//Se imprime PUNTO C
lcd.setCursor(9, 0); // El cursor se posiciona en la fila 0 posición 9 de la
// lcd
lcd.print("ACTIVADO");//Se imprime ACTIVADO
}

if(dato=="D")// Si dato es igual a (D) haga lo siguiente
{
digitalWrite(rele,HIGH); // El pin relé se pone en 1
lcd.setCursor(9, 1); // El cursor se posiciona en la fila 1 posición 9 de la
// lcd
lcd.print("PUNTO D");//Se imprime PUNTO D
lcd.setCursor(9, 0); // El cursor se posiciona en la fila 0 posición 9 de la
// lcd
lcd.print("ACTIVADO");//Se imprime ACTIVADO

}

if(dato=="D")// Si dato es igual a D haga lo siguiente
{

digitalWrite(rele,HIGH); // El pin relé se pone en 1
lcd.setCursor(9, 1); // El cursor se posiciona en la fila 1 posición 9 de la
// lcd
lcd.print("PUNTO D");//Se imprime PUNTO D
lcd.setCursor(9, 0); // El cursor se posiciona en la fila 0 posición 9 de la
// lcd
lcd.print("ACTIVADO");//Se imprime ACTIVADO

}

if(dato=="E")// Si dato es igual a (E) haga lo siguiente
{
digitalWrite(rele,HIGH); // El pin rele se pone en 1
lcd.setCursor(9, 1); // El cursor se posiciona en la fila 1 posición 9 de la

```

```

    // lcd
    lcd.print("PUNTO E");//Se imprime PUNTO E
    lcd.setCursor(9, 0); // El cursor se posiciona en la fila 0 posición 9 de la
    // lcd
    lcd.print("ACTIVADO");//Se imprime ACTIVADO
  }
}

```

Se hace el Reset de la pantalla:

```

if(bt == 1)//Si el button se oprime haga esto
{
  lcd.clear();//Se limpia la lcd digitalWrite(rele,LOW);//El
  pin rele se pone a cero delay(500);// se espera 0.5s
}
}

```

### **Anexo. Código Arduino emisor.**

```

int led = 13; // Pin 13 le asignamos nombre led

int boton de panico=4; // Pin 4 le asignamos nombre boton de pánico int bt; //
Inicializamos variable de tipo int con el nombre bt
char dato; // Inicializamos variable de tipo char con el nombre dato

void setup()
{
  pinMode(led,OUTPUT);// El pin led lo configuramos como salida

  pinMode(boton_de_panico,INPUT); //El pin botón de pánico lo configuramos
  // como entrada
  Serial.begin(9600);// Se configura velocidad de baudios para la trasmisión
  // de datos
}

void loop()
{
  bt=digitalRead(boton_de_panico); //El valor digital de boton_de panico pin
  4 se le asigna a la variable bt

```

```

//if(Serial.available())//Esta instrucción dice que, Si recibimos datos del
// del puerto serial haga lo siguiente
{
dato=Serial.read();//El dato que llegue por el puerto serial se le
// asigne a la variable dato

if(bt==1)// Si el Boton se oprime haga esto
{
digitalWrite(13,HIGH);// El pine 13 se pone el 1 Serial.print("A");//por el serial de
Arduino se envía la letra A delay(500); // se espera 0.5s
}
else // si no se cumple la condición del if se hace esto
{
delay(10); // se espera 0.1s digitalWrite(13,LOW); //
El pine 13 se pone el 0
}
}
}

```

Para que este código sea diferente en los cinco módulos Xbee cada Arduino nano se codificaron con la siguiente variación en una parte del código. Cuando el botón se oprime según sea el punto A, punto B, punto C, punto D y punto E. se cambia esta parte:

punto A:

```

if(bt==1)// Si el Botón se oprime haga esto
{
digitalWrite(13,HIGH);// El pine 13 se pone el 1
Serial.print(" Punto A");//por el serial de Arduino se envía la letra A delay(500); // se
espera 0.5s
}

```

Punto B:

```

if(bt==1)// Si el Botón se oprime haga esto
{
digitalWrite(13,HIGH);// El pine 13 se pone el 1
Serial.print("Punto B");//por el serial de Arduino se envía la letra A delay(500); // se

```

```
espera 0.5s
}
```

#### Punto C:

```
if(bt==1)// Si el Botón se oprime haga esto
{
digitalWrite(13,HIGH);// El pine 13 se pone el 1
Serial.print("Punto C");//por el serial de Arduino se envía la letra A delay(500); // se
espera 0.5s
}
```

#### Punto D:

```
if(bt==1)// Si el Botón se oprime haga esto
{
digitalWrite(13,HIGH);// El pine 13 se pone el 1
Serial.print("Punto D");//por el serial de Arduino se envía la letra A delay(500); // se
espera 0.5s
}
```

#### Punto E:

```
if(bt==1)// Si el Botón se oprime haga esto
{
digitalWrite(13,HIGH);// El pine 13 se pone el 1
Serial.print("Punto E");//por el serial de Arduino se envía la letra A delay(500); // se
espera 0.5s
}
```

Todos los códigos se corren en cada la plataforma Arduino, se guardan con el nombre específico para no crear conflictos y se crea un formato HEX, para cada código de Arduino para probarlo en la simulación.