

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Área Electromecánica



Desarrollo de un sistema de adquisición de
señales provenientes de sensores para confort y
calidad energética en CATAS.

Opción de titulación
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el título de
Ingeniero Electromecánico
con
Línea Terminal en Mecatrónica

Presenta:
Israel Zamudio Ramírez

Dirigido por:
Dr. Roque Alfredo Osornio Ríos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 CAMPUS SAN JUAN DEL RÍO

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES
 PROVENIENTES DE SENSORES PARA CONFORT Y CALIDAD
 ENERGÉTICA EN CATAS**

TESIS

Como parte de los requisitos para obtener el título de

INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

Línea Terminal

MECATRÓNICA

Presenta

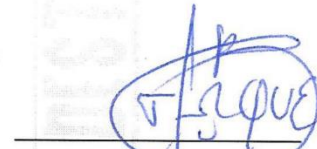
ISRAEL ZAMUDIO RAMÍREZ

Dirigido por:

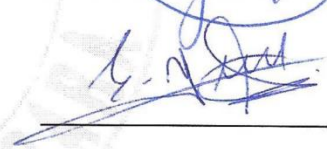
DR. ROQUE ALFREDO OSORNIO RÍOS

SINODALES:

DR. ROQUE ALFREDO OSORNIO RÍOS (5620)
 Presidente



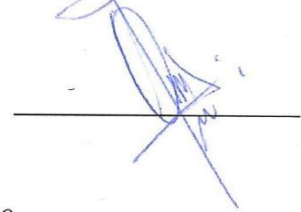
DR. ARTURO YOSIMAR JAEN CUELLAR (11825)
 Secretario



DR. LUIS MORALES VELÁZQUEZ (6829)
 Vocal



DR. MIGUEL TREJO HERNÁNDEZ (6443)
 Suplente



San Juan del Río, Qro., Agosto 2016.

Resumen

La adquisición de señales provenientes de sensores de manera inalámbrica presenta una gran variedad de ventajas con respecto a los sistemas de comunicación alámbrica. La principal contribución de la presente tesis es el desarrollo de tarjetas de adquisición de señales inalámbricas fáciles de instalar con la capacidad de almacenar y graficar gran cantidad de información proveniente de distintos sensores. La información es transmitida utilizando el protocolo ZigBee. Como sistema de almacenamiento de información se utiliza una memoria microSD la cual registra toda la información relevante de la red de sensores inalámbrica creada. El sistema principal que muestra en tiempo real la información de los sensores es una pantalla táctil que tiene la capacidad de crear gráficos de información histórica de las lecturas de los sensores. Se indican detalladamente los pasos que fueron seguidos para que el diseño cumpliera con los requisitos necesarios en cuanto a facilidad de instalación. Debido a que el sistema se desarrolla por medio de tarjetas, se deja dicho sistema para una gran cantidad de aplicaciones que requieran adquisición de señales de manera inalámbrica.

(Palabras clave: monitor, inalámbrico, ZigBee, redes de sensores, pantalla táctil)

Dedicatoria

Para mis padres y hermanos

Con su confianza, apoyo y comprensión se logró alcanzar una meta más.

Agradecimientos

Agradezco por el apoyo, al proyecto QRO-2014-C03-250269 financiado por FOMIX estado de Querétaro.

A todos los que me ayudaran a desarrollar este trabajo como para la revisión y corrección del documento final.

Al Dr. Roque Alfredo Osornio Ríos por confiar en mí y su gran apoyo para la realización de este trabajo.

A mi familia por estar conmigo durante todo este tiempo impulsándome a seguir adelante depositando toda su confianza en cada reto que se me presenta.

Índice

Resumen	III
Dedicatoria.....	IV
Agradecimientos	V
Tabla de contenidos.....	VI
Índice de tablas	VIII
Índice de figuras.....	IX

Tabla de contenidos

Capítulo 1. Introducción.	1
1.1 Antecedentes.	1
1.2 Objetivos.	3
1.2.1 General.	3
1.2.2 Particulares.	3
1.3 Descripción del problema.....	4
1.4 Justificación.	5
Capítulo 2. Fundamentación teórica.	6
2.1 ¿Qué es la domótica?	6
2.2 Características de la domótica.....	7
2.2.1 Integración.	7
2.2.2 Facilidad de uso.....	8
2.2.3 Fiabilidad.....	9
2.3 Gestión de la domótica.	9
2.3.1 Energía eléctrica.	9

2.3.2	Confort.....	10
2.3.3	Seguridad.....	10
2.4	Tipos de arquitectura de un sistema domótico.....	11
2.4.1	Arquitectura centralizada (topología en estrella).....	11
2.4.2	Arquitectura distribuida (topología en bus).....	11
2.5	Comunicación Inalámbrica.....	12
2.5.1	Protocolo ZigBee.....	13
2.6	Arduino Due.....	18
2.7	Módulo de pantalla táctil 2.8”.....	19
2.8	Módulo de acondicionamiento de señal.....	20
2.8.1	Amplificador no inversor.....	21
2.8.2	Divisor de voltaje.....	22
2.9	Sistemas de detección individuales.....	23
2.9.1	Sensor de temperatura.....	23
2.9.2	Módulo sensor de luminosidad.....	26
2.9.3	Módulo de sensor piroeléctrico (PIR).....	28
2.9.4	Módulo sensor de gas.....	31
Capítulo 3.	Metodología.....	32
3.1	Sensores utilizados en domótica.....	33
3.2	Adecuación de la señal.....	33
3.3	Recepción y transmisión de información por medio de módulo ZigBee..	36
3.4	Recepción de información a la tarjeta arduino por medio de módulo ZigBee.....	36
3.4.1	Estructura de la trama API.....	37
3.5	Procesamiento de la información recopilada.....	38

3.6	Mostrar información de sensores en pantalla táctil por medio de un módulo central.....	38
3.7	Diseño de tarjeta para acondicionamiento de señal.	41
3.8	Diseño de tarjeta para monitoreo.....	44
3.9	Pruebas de funcionalidad del sistema.....	45
3.9.1	Integración del sistema y funcionalidad en edificio.	45
3.9.2	Transmisión de datos.....	47
3.9.3	Interfaz de usuario para agregar una nueva antena al módulo central.	47
Capítulo 4. Resultados y discusión		48
4.1	Integración del sistema y funcionalidad en edificio.	48
4.2	Transmisión de datos.....	49
4.3	Interfaz de usuario para agregar una nueva antena al sistema.	51
4.4	Conclusiones	52
4.5	Trabajo a futuro.....	53
Referencias		54
Anexo A Manual de instalación antena XBee		56
A.1	¿Cómo configurar una antena XBee?.....	56
A.2	¿Cómo agregar una antena XBee al módulo central por medio del programa Serial Port?	61

Índice de tablas

Tabla 1 Comparativa entre WiFi, Bluetooth y ZigBee	13
Tabla 2 Topologías ZigBee y sus principales características.	16
Tabla 3 Características generales antena XBee (Hoja de datos Digi International).....	17
Tabla 5 Comparación de sensores de temperatura comunes.	23

Índice de figuras

Figura 1 Variables que integra el sistema domótico.	6
Figura 2 Integración de equipos autónomos con la unidad central (Mesa, 2012).	8
Figura 3 Facilidad de uso del sistema domótico empleando una pantalla.	8
Figura 4 Aspectos que gestiona la domótica.	9
Figura 5 Control4 ccsme 100, gestión de la energía (Kathleen, 2010).	10
Figura 6 Arquitectura domótica centralizada (Casadomo, 2002).	11
Figura 7 Arquitectura domótica distribuida (Casadomo, 2002).	12
Figura 8 Red de dispositivos ZigBee (Maxim, 2008).	15
Figura 9 Topologías ZigBee (a) estrella, (b) árbol (Lee, 2006).	15
Figura 10 Convivencia ZigBee con otras tecnologías(Libellium).	18
Figura 11 Placa Arduino Due.	18
Figura 12 Módulo pantalla táctil.	19
Figura 13 Amplificador operacional típico (a)configuración de pines, (b)símbolo eléctrico.	20
Figura 14 Amplificador no inversor.	21
Figura 15 Seguidor de voltaje.	22
Figura 16 Seguidor de voltaje usado para aislar dos etapas de un circuito en cascada.	22
Figura 17 Circuito divisor de tensión.	22
Figura 18 Sensor de temperatura LM35	24
Figura 19 Diagrama de conexión del lm35	25
Figura 20 Sensor de temperatura básico (izquierda), sensor de temperatura de rango completo (derecha).	25
Figura 21 Módulo sensor de luminosidad.	27
Figura 22 Diagrama de conexión módulo LDR.	27
Figura 23 Sensor piroeléctrico.	28
Figura 24 Módulo sensor piroeléctrico.	29
Figura 25 Detección de movimiento de un sensor PIR.	30
Figura 26 Módulo sensor de gas MQ2.	31

Figura 27 Diagrama a bloques para la realización del trabajo.....	32
Figura 28 Acondicionamiento señal sensor de gas y sensor de luminosidad..	34
Figura 29 Conexión sensores digitales.....	36
Figura 30 Estructura de datos enviado por cada antena XBee muestreando..	37
Figura 31 Trama de datos estructura API.....	37
Figura 32 Resistencia en función de la iluminación en sensor LDR.	41
Figura 33 Diagrama eléctrico de la tarjeta de acondicionamiento de señal....	42
Figura 34 PCB tarjeta de acondicionamiento de señal.	43
Figura 35 Diagrama eléctrico tarjeta para monitoreo.....	44
Figura 36 PCB tarjeta para monitoreo.	45
Figura 37 Esquema de instalación del sistema en un recinto, a) sensor de luminosidad, b) sensor de gas humo, c) sensor presencia, d) sensor de rotura de vidrios, e) sensor de temperatura, f) tarjeta de acondicionamiento.	46
Figura 38 Sistema instalado en aula.....	49
Figura 39 Vista superior tarjeta para monitoreo, tomando muestras de temperatura.	50
Figura 40 Vista superior de la tarjeta para monitoreo, tomando muestras de luminosidad.....	50
Figura 41 Vista del sistema graficando lecturas almacenadas.	51
Figura 42 Interfaz de usuario para agregar configurar antena.....	52
Figura 43 XBee explorer.....	56
Figura 44 Ventana de inicio programa XCTU	56
Figura 45 Pantalla agregar XBee.....	57
Figura 46 Herramienta tools programa XCTU.	58
Figura 47 Configurar antena para función coordinador o router.	58
Figura 48 Modo configuración de trabajo XCTU.....	59
Figura 49 Guardar cambios en antena.	60
Figura 50 Programa Serial Port para configurar datos de antena.....	62

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

1.1 Antecedentes.

A finales de los años setenta y principios de los ochenta, con el auge de las telecomunicaciones, aparece en Estados Unidos de América el concepto de “casa inteligente” (Smart house). Hacia la mitad de los años 80 aparecen en Europa los primeros productos capaces de gestionar viviendas mediante el uso de tecnologías de la información y comunicación. Se empieza a hablar de “domótica” (el término tiene su origen en Francia con la expresión domotique), debido a la necesidad de referirse al conjunto de materiales y a las nuevas técnicas que se podían utilizar en el edificio dedicado a vivienda. Etimológicamente proviene del latín “domus” = casa y “tica” = automática, es decir, la “casa automatizada” [Molina \(2007\)](#).

[Huidobro & Millán \(2004\)](#) recogen que el origen de la domótica se remonta cuando en Estados Unidos aparecieron los primeros dispositivos de automatización de edificios basados en la tecnología X-10 la cual consiste en módulos de dispositivos (módulos de potencia para activar cargas), dispositivos controladores (capaces de controlar por lo general cuatro módulos de dispositivos X-10) y puentes (para traducir de tecnología X-10 a otros estándares de domótica). Estas incursiones primerizas se alternaron con la llegada de nuevos sistemas de calefacción y climatización orientados al ahorro de energía. Los primeros equipos comerciales se limitaban a la colocación de sensores y termostatos que regulaban la temperatura ambiente. La disponibilidad y proliferación de la electrónica de bajo coste favoreció la expansión de este tipo de sistemas. Los ensayos con electrodomésticos avanzados y otros dispositivos automáticos condujeron a comienzos de los años noventa, junto con el desarrollo de los PC (Computadora Personal) y los sistemas de cableado estructurado, al nacimiento de aplicaciones de control, seguridad y comunicación que son el germen de la domótica actual según [Domínguez & Vacas \(2006\)](#).

Con el tiempo se ha observado un incremento acelerado de la presencia de las comunicaciones inalámbricas en la sociedad. Precisamente, existen múltiples tecnologías que se utilizan cada día. Así, por ejemplo, si se requiere disponer de comunicaciones en un contorno local sin necesidad de cables, existen diferentes

tecnologías, entre ellas WiFi, ZigBee, Bluetooth. Según [Ramírez et al \(2011\)](#) una vez implantado este tipo de tecnologías en la sociedad, empezaron a surgir sistemas y servicios basados en tecnologías inalámbricas, optimizándose los procedimientos generando ventajas como la formación dinámica de una red, fácil implementación y bajo costo en algunos casos ([Lee, 2006](#)). Específicamente, desde hace algunos años, han comenzado a surgir las Redes de Sensores. Según ([FEDIT, 2010](#)) el principal uso de las redes de sensores es la monitorización ambiental del entorno, siendo uno de los posibles usos el despliegue de los mismos para la supervisión de edificios, oficinas, aeropuertos, etc. ya que los sensores son fuentes de información tan diversos como lo son las medidas que realizan. Los hay de temperatura, luminosidad, presión, humedad, velocidad, aceleración, presencia, volumen entre muchos otros. Si a estos sensores que suministran información, se les agrega la capacidad de comunicación inalámbrica y la posibilidad de formación de redes, se obtienen las Redes de Sensores Inalámbricas o bien en su extendida traducción al inglés Wireless Sensor Networks(WSN), que están teniendo un auge cada vez mayor debido especialmente a la variedad de aplicaciones que se están desarrollando, como aplicaciones de seguimiento, seguridad, salud, gestión, entre otras como la domótica.

Actualmente los sistemas domóticos se encuentran fuertemente relacionados con la adquisición de señales puesto que para conocer lo que está sucediendo en un edificio que este automatizado se requiere obtener información presentada en forma digital o analógica proveniente de sensores. Muchos trabajos se han realizado implementando tecnologías inalámbricas como los presentados por [Verdezoto \(2014\)](#) y [Reinoso \(2008\)](#) en los que se requiere de una PC para lograr el procesamiento de la información, pero hoy en día con el desarrollo de microprocesadores de grandes capacidades de procesamiento de información y a gran velocidad se ha adquirido un gran campo de utilización, siendo uno de estos el control y la automatización estableciendo sistemas independientes de la PC.

Comercialmente en México se pueden encontrar muchas empresas ya establecidas para el control y automatización de edificios, tales como [GaoliHome](#), [Hometek](#), [ROHautomation](#), entre otras, las cuales venden productos de alta tecnología pero que tienen la desventaja de cumplir solo con ciertas tareas. Además, la mayoría

de los equipos que se encuentran comercialmente son independientes y se controlan uno por uno, lo cual en muchas ocasiones no es conveniente ya que es necesario supervisar los equipos individualmente, en cambio, con un equipo centralizado se puede canalizar la información a una unidad capaz de procesar toda la información de la red creada.

Por otro lado, se pueden encontrar plataformas electrónicas de código abierto basadas en hardware y software fácil de usar las cuales van dirigidas a cualquier persona para poder hacer proyectos interactivos, además de complementarlas con sensores y módulos de sensores de todo tipo y a un bajo costo, tal es el caso de Arduino en el que se le puede decir a la placa Arduino qué hacer escribiendo código en el lenguaje de programación de Arduino y con el entorno de desarrollo Arduino.

1.2 Objetivos.

1.2.1 General.

Diseñar y desarrollar un sistema de adquisición de señales procedentes de sensores de temperatura, luminosidad, presencia y gases inalámbricamente para su monitoreo integrando módulos de acondicionamiento de señales, antenas inalámbricas XBee y la plataforma Arduino.

1.2.2 Particulares.

- Desarrollar tarjeta de acondicionamiento de señales para los diferentes sensores basada en elementos activos pasivos que generen una señal manejable por algún sistema de control digital.
- Diseñar y codificar un programa en la plataforma arduino mediante el lenguaje C para el manejo de las señales de los distintos sensores.
- Integrar sensores, tarjetas de acondicionamiento, antenas inalámbricas XBee y la plataforma arduino para el monitoreo de las señales de sensores.
- Realizar las pruebas de funcionalidad del sistema desarrollado usando un espacio de pruebas físico en el que se pueda poner en operación el sistema.
- Redactar manual de usuario para instalación del sistema final.

1.3 Descripción del problema.

Como compromiso de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), en cuanto a que la calidad educativa e investigación debe ser cuidada y garantizada para todos los estudiantes en todos los campus, se ofrece la apertura de un nuevo campus universitario en la ciudad de Tequisquiapan, por lo anterior, se encuentra en construcción el edificio denominado Centro Académico de Tecnologías Avanzadas y Sustentables (CATAS) en el nuevo campus Tequisquiapan. Como el CATAS se encuentra en edificación, aún no está automatizado, debido a esto, el presente proyecto sirve como aportación en el proceso de automatización de dicho edificio, la cual es una necesidad puesto que la evolución de los edificios convencionales a unos más eficientes proporciona mayor seguridad, confort y eficiencia energética al mismo y a los usuarios ya que la vida diaria de los entornos de trabajo se ven crecientemente facilitados por dispositivos que ayudan a la gestión del entorno material, tales como los relacionados con la energía, la iluminación, la ventilación, las persianas y las puertas.

Uno de los principales problemas que se puede observar en los edificios es el desperdicio de energía, esto debido a que generalmente y por costumbre se dejan las luminarias encendidas aun si no es requerido, generando gastos extras. Surgiendo así la necesidad de detectar la presencia de alguna persona en el lugar, así como la cantidad de luminosidad presente en el mismo para que en base a esa información, se realice alguna acción como encender las luminarias solo cuando sea requerido.

La seguridad personal y patrimonial es un inconveniente que incomoda a cualquier persona que se encuentra en un edificio, debido a que su integridad y/o patrimonio se encuentran en peligro constante estando o no dentro de él, puesto que en muchas de las ocasiones no se tiene un control de accesos como puertas o pasillos y control de presencia, detección de incendios y detección de gases, creando la necesidad de adquirir información proveniente de sensores tales como gases, humo y presencia para así procesar dicha información y realizar alguna acción como encender una alarma. Para potenciar y enriquecer la propia red de comunicaciones se requiere concentrar la comunicación en un elemento único capaz de procesar dicha información, puesto que para una manipulación de variables y datos se requiere canalizar la información.

1.4 Justificación.

Los sistemas cerrados, tal es el caso de los sistemas comercialmente disponibles, y de aplicación específica no permiten que sus algoritmos de control sean modificados o adaptados para su uso en otras aplicaciones. Así mismo, estos algoritmos no son transparentes, es decir, son desconocidos para los usuarios finales, caso contrario al de los sistemas que implementan algoritmos en un diseño de arquitectura abierta. A diferencia de los algoritmos de arquitectura abierta, en los sistemas comerciales no es posible integrar nuevas funciones o tareas a la estructura interna del controlador, por lo tanto, necesidades particulares de algún usuario no se pueden cubrir con este tipo de sistemas. La consecuencia directa de utilizar sistemas cerrados es que no todos los problemas, o necesidades, que se presentan pueden ser cubiertos.

Como todo lo que se desarrolle en este proyecto se dedicará para contribuir en el proceso de automatización del CATAS, es conveniente elaborar un sistema que cumpla requerimientos de facilidad de instalación y modificación para futuras aportaciones. Así mismo, este trabajo servirá para suprimir la dependencia tecnológica comercial, y así evitar comprar tecnología costosa, disminuyendo a su vez los gastos de mantenimiento, capacitación, instalación, etc., además todo lo derivado de este trabajo será completamente accesible y de código abierto, de esta manera se podrá modificar dicho código para realizar las adecuaciones pertinentes e incluso dar uso a las señales que utiliza el sistema para módulos posteriores.

La mayoría de la tecnología que se puede encontrar en el mercado no permite realizar modificaciones a sus productos, por lo cual se elaborará una tarjeta de tal manera que se puedan cambiar componentes básicos fácilmente.

El sistema será fácil de instalar, sin necesidad de una gran cantidad de cableado (que se torna confuso al momento de realizar la instalación o detección de alguna falla en su defecto) puesto que se van a utilizar antenas para mandar la información de forma inalámbrica, sirviendo a su vez para mover la posición del elemento donde se encontrarán los sensores si fuese necesario en caso de algún reacomodo de los muebles del edificio o cualquier otra necesidad que así lo requiera.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.1 ¿Qué es la domótica?

De acuerdo a la Real Academia Española la domótica es el conjunto de sistemas que automatizan las diferentes instalaciones de una vivienda. Según (Sánchez, 2004) la domótica se refiere a una casa automática o llamada comúnmente casa inteligente donde una casa inteligente es aquella cuyos elementos o dispositivos están integrados y automatizados a través de una red (principalmente Internet) y que a través de otro dispositivo remoto o inclusive interno se pueden modificar sus estados o los mismos dispositivos están diseñados para realizar ciertas acciones cuando han detectado cambios en su propio ambiente (Casadomo, 2002).

En la Figura 1 se pueden observar las diferentes variables que pueden intervenir en el control de un sistema domótico con un acceso remoto.



Figura 1 Variables que integra el sistema domótico.

De manera general, un sistema domótico dispondrá de una red de comunicación y diálogo que permite la interconexión de una serie de equipos a fin de obtener información sobre el entorno doméstico y, basándose en ésta, realizar unas determinadas acciones sobre dicho entorno. El funcionamiento de una casa inteligente consistiría a grandes rasgos de lo siguiente: los elementos de campo (detectores, sensores, captadores, etc.), transmitirán las señales a una

unidad central inteligente que tratará y elaborará la información recibida. En función de dicha información y de una determinada programación, la unidad central actuará sobre determinados circuitos de potencia relacionados con las señales recogidas por los elementos de campo correspondientes (O'Driscoll, 2000). Por otra parte, se viene hablando de Inmótica para referirse a la automatización de edificios terciarios o de servicios (hoteles, oficinas, hospitales, plantas industriales, universidades) (Domínguez & Vacas, 2006), pero el origen del término inmótica es francés y todavía no ha sido recogido por el diccionario de la RAE. En realidad, los sistemas y aplicaciones de la inmótica son muy similares a los de la domótica y por ello, a menudo se emplea el concepto de sistemas domóticos referidos también a este sector (Huidobro, 2007).

2.2 Características de la domótica.

Las principales características de una casa inteligente son integración, facilidad de uso y fiabilidad (Verdezoto, 2014).

2.2.1 Integración.

Todo el sistema funciona bajo el control de una computadora. De esta manera, los usuarios no tienen que estar pendientes de los diversos equipos autónomos, con su propia programación, indicadores situados en diferentes lugares, dificultades de interconexión entre equipos de distintos fabricantes, etc. (Sánchez, 2004).

La Figura 2 muestra un esquema general haciendo uso de una computadora central para el control del sistema domótico.

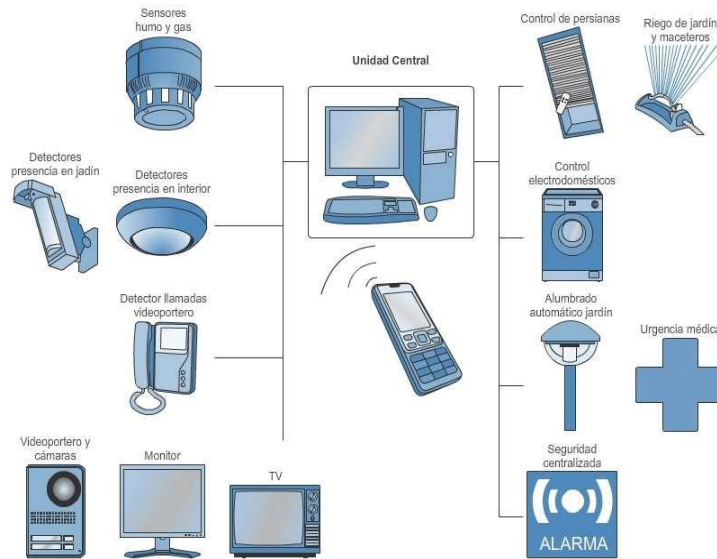


Figura 2 Integración de equipos autónomos con la unidad central (Mesa, 2012).

2.2.2 Facilidad de uso.

El usuario deberá estar completamente informado del estado de su casa con una pantalla que lo muestre. Y si desea modificar algo, solo necesitará pulsar un número reducido de teclas. Así, por ejemplo, la simple observación de la pantalla dirá la temperatura dentro y fuera de la vivienda, si hay alguien en las proximidades de la vivienda, etc. (Sánchez, 2004). La Figura 3 ilustra como en una pantalla se debe tener el conocimiento de lo que sucede en los diferentes pasillos del edificio domótico.



Figura 3 Facilidad de uso del sistema domótico empleando una pantalla.

2.2.3 Fiabilidad.

Los microcontroladores actuales son dispositivos muy potentes, rápidos y fiables. Si se añade la utilización de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida, batería de gran capacidad que alimente periféricos, apagado automático de pantalla, etc. Se dispondrá de una plataforma ideal para aplicaciones domóticas capaces de funcionar muchos años sin problemas.

2.3 Gestión de la domótica.

La domótica se encarga de gestionar principalmente los siguientes aspectos: energía eléctrica, confort y seguridad (Molina, 2007). La Figura 4 muestra un esquema muy sugestivo en el que se pueden observar los aspectos principales con los que trata la domótica.

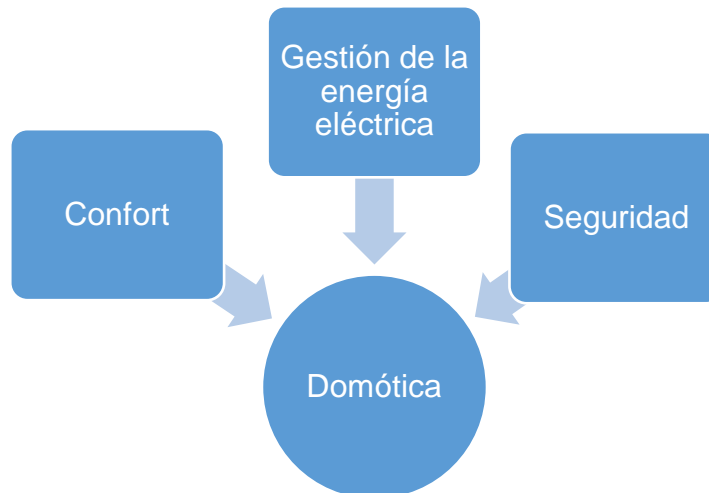


Figura 4 Aspectos que gestiona la domótica.

2.3.1 Energía eléctrica.

El sistema domótico se encarga de gestionar el consumo de energía, mediante temporizadores, programadores, etc. En la Figura 5 se puede observar un ejemplo de gestión de la energía en el que se distingue una pantalla mostrando el consumo energético. La imagen fue tomada de una nota de una exposición en la que Southern California Edison (SCE) abre un centro de experiencia de energía inteligente en el que destaca el sistema denominado Control4 ccsme 100 el cual incluye la capacidad de controlar las fluctuaciones en tiempo real en el consumo de electricidad y presentar esa información en las pantallas planas en toda la casa.



Figura 5 Control4 ccsme 100, gestión de la energía (Kathleen, 2010).

2.3.2 Confort.

La domótica proporciona una serie de comodidades, como pueden ser el control automático de la iluminación, medición de temperatura, sistema de ventilación, calefacción, apertura y cierre de puertas y ventanas, etc.

2.3.3 Seguridad.

La gestión de la seguridad tiene por objeto la protección de las personas, así como de los bienes. Se pueden distinguir varios grupos de alarmas para gestionar la seguridad en un edificio:

Alarmas de intrusión:

- Detectores de presencia, intrusión o sabotaje conectados a centrales de alarmas.

Alarmas contra-incendio:

- Detectores de humos y fuego que actúan activando la alarma y sobre sistemas de extinción y cortes de suministro eléctrico.

Alarmas técnicas:

- Detectores de gas.
- Simulación de presencia: mediante el encendido y apagado de luces aleatoriamente y movimiento de persianas y cortinas (Jiménez, 2009).

2.4 Tipos de arquitectura de un sistema domótico.

La arquitectura de una instalación domótica puede ser de dos tipos: centralizada y distribuida. Esta clasificación puede ser considerada tanto desde un punto de vista físico (distribución del cableado o medio físico entre los dispositivos), como lógico (distribución de las comunicaciones que tienen lugar entre dispositivos) (Huidobro & Millán, 2010).

2.4.1 Arquitectura centralizada (topología en estrella).

El sistema de control central es el centro del cual están colgando los distintos sensores y actuadores como se muestra en la Figura 6. Esta topología está asociada a arquitecturas lógicas también centralizadas, es decir, aquellas donde los sensores y actuadores no pueden comunicarse directamente entre sí, sin pasar por el sistema de control centralizado (Huidobro & Millán, 2010).

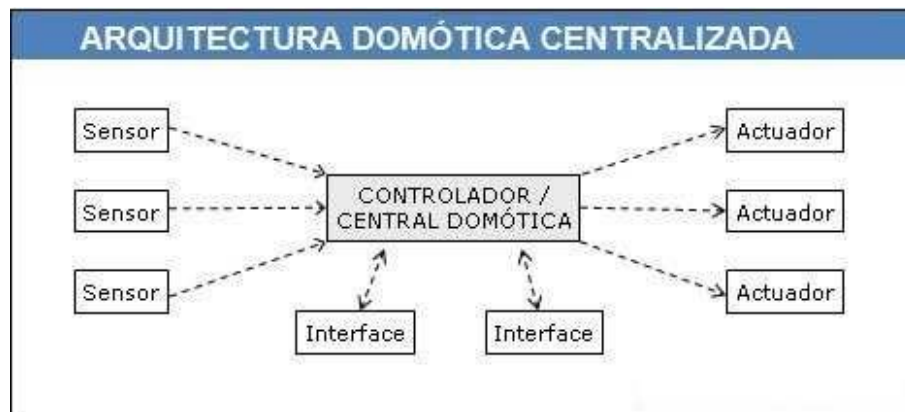


Figura 6 Arquitectura domótica centralizada (Casadomo, 2002).

2.4.2 Arquitectura distribuida (topología en bus).

Todos los dispositivos, independientemente de su naturaleza, son conectados al bus (Huidobro & Millán, 2010).

En este caso, no existe la figura del controlador centralizado, sino que toda la inteligencia del sistema está distribuida por todos los módulos, sean sensores o actuadores. De esta forma cada elemento del sistema es programado independientemente tal y como lo muestra la Figura 7.

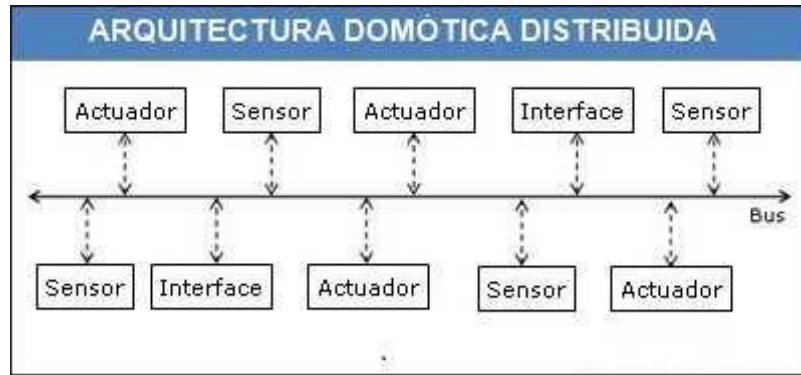


Figura 7 Arquitectura domótica distribuida (Casadomo, 2002).

2.5 Comunicación Inalámbrica.

La transmisión inalámbrica es aquella en la que se emplea la modulación de las ondas electromagnéticas para la propagación de las señales de información.

Las ondas electromagnéticas son generadas en el transmisor mediante circuitos oscilantes. Es de notar que la frecuencia de estas ondas debe estar dentro de una banda específica, ya sea de uso libre o privado. Para el proyecto es necesario utilizar un estándar de comunicación que comparta la banda de 2.4GHz la misma que no requiere licencia, asimismo los protocolos propietarios no son compatibles entre sí, lo que compromete seriamente la interoperabilidad de los sistemas (González et al,2007).

Alternativas para la comunicación inalámbrica:

Las principales alternativas para comunicación inalámbrica que se encuentran en el mercado son los módulos:

- Wi-Fi.
- Bluetooth.
- ZigBee.

Para destacar las principales características de las diferentes tecnologías inalámbricas de acceso libre se elaboró la Tabla 1 mostrada a continuación.

Tabla 1 Comparativa entre WiFi, Bluetooth y ZigBee

	Bluetooth	WiFi	ZigBee
Banda de frecuencia.	2.4GHz	2.4GHz; 5GHz	2.4GHz
Velocidad máxima de transmisión.	1Mbps	Hasta 54Mbps	250kbps
Consumo de corriente transmitiendo.	40mA	>400mA	35mA
Consumo de corriente en "standby".	200µA	20mA	3µA
Alcance.	10m	100m	50-100m
Precio aproximado.	\$200 - \$400	\$300 - \$500	\$500 - \$800

Para este proyecto, los módulos Xbee del fabricante Digi¹ han sido los elegidos para establecer la comunicación inalámbrica entre el sistema de detección y la estación de control ya que su consumo de corriente es bastante bajo en comparación con sus homólogos. Estos módulos trabajan en la banda de 2.4GHz (banda de uso libre en México) y usan el protocolo de comunicación IEEE 802.15.4.

2.5.1 Protocolo ZigBee.

ZigBee es un estándar que define un conjunto de protocolos basado en el estándar IEEE 802.15.4 (Ponce, 2006) para el armado de redes inalámbricas de corta distancia y baja velocidad de datos. Opera en las bandas de 868 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz y puede transferir datos hasta 250Kbps (Dignani, 2012).

El alcance de la comunicación varía según la potencia de emisión del dispositivo y el tipo de antenas utilizadas. En una comunicación con antena en visión directa normalmente el alcance está en torno a 100 metros, y en interiores sobre los 30 metros (según el fabricante).

El estándar ZigBee fue diseñado con las siguientes especificaciones:

- Ultra bajo consumo que permita usar equipos a batería.
- Bajo costo de dispositivos y de instalación y mantenimiento de ellos.
- Alcance corto (típico menor a 50 metros).

¹ <http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/modules>

- Velocidad de transmisión menor que 250 kbps. Típica: menor que 20 kbps.

Existen muchos estándares que se pueden usar en redes de corto alcance tales como el 802.11 y Bluetooth. Cada uno de estos está desarrollado para una clase de aplicación determinada. ZigBee es el estándar más aceptado hoy para usar en redes de sensores y actuadores que deban operar a batería (Dignani, 2012).

➤ Arquitectura de una red ZigBee.

Una red ZigBee está formada, en esencia por un dispositivo Coordinador, dispositivos Routers y dispositivos finales (end points) (Salgado, 2012).

La Figura 8 muestra ilustrativamente esta clasificación que a continuación se describe brevemente cada uno de esos dispositivos.

- Coordinador ZigBee (ZC):

Se trata del dispositivo más completo e importante. Su función es almacenar información sobre la red y actuar como su centro de confianza en la distribución de claves de cifrado. Puede actuar como director de una red en árbol, así como servir de enlace a otras redes. Debe existir uno por cada red.

- Router ZigBee (ZR):

Como su nombre indica actúa como router interconectando dispositivos separados en la red y limitados debido a su rango.

- Dispositivo final (ZED):

Este dispositivo puede comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

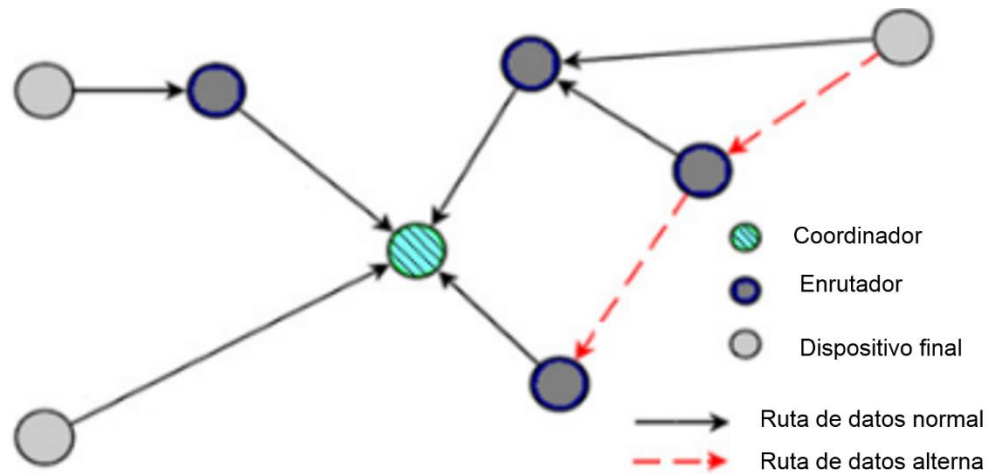


Figura 8 Red de dispositivos ZigBee (Maxim, 2008).

ZigBee usa las topologías de IEEE 802.15.4 para transferencia de datos y agrega las topologías de árbol y de malla. Debido al poco alcance de cada nodo, frecuentemente un paquete debe ser retransmitido varias veces por intermedio de ruteadores. Lo destacable es que el ruteo en cualquier topología usada se hace en la capa de red y entonces no es necesaria ninguna programación adicional en la capa de aplicación (Dignani, 2012). En la Figura 9 aparecen las topologías estrella y árbol.

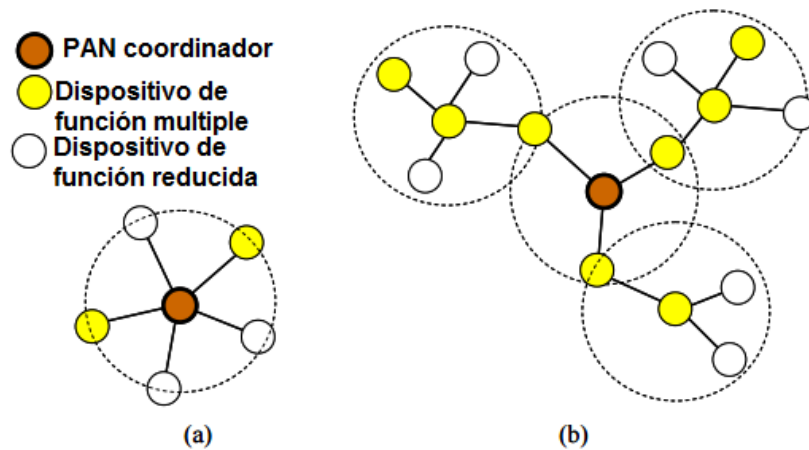


Figura 9 Topologías ZigBee (a) estrella, (b) árbol (Lee, 2006).

Para distinguir las diferentes topologías ZigBee y sus características se elaboró la Tabla 2 mostrada a continuación.

Tabla 2 Topologías ZigBee y sus principales características.

Topología ZigBee	Características
Estrella	<ul style="list-style-type: none"> • Un coordinador con uno o varios nodos hijos. • El rango de la red está limitado al rango de transmisión del coordinador. • El coordinador es el único nodo que rutea paquetes.
Árbol	<ul style="list-style-type: none"> • Los nodos ruteadores pueden tener nodos hijos. • Hay comunicación directa solo a través de la relación padre-hijo². • Ruteo jerárquico con un único camino posible entre 2 nodos.
Malla	<ul style="list-style-type: none"> • Los nodos ruteadores pueden tener nodos hijos. • Hay comunicación directa entre dos nodos siempre que estén separados a una distancia menor al rango de transmisión entre ellos. • Los nodos terminales solo pueden intercambiar datos con sus respectivos nodos padres. • Es posible el ruteo dinámico. El mejor paso es una optimización de gasto energético, tiempo, seguridad y confiabilidad.

→Para este Proyecto, la topología que mejor se adapta a las necesidades es la de árbol considerando que la red a crear puede contener elementos ruteadores o antenas XBee pro para mejorar el alcance entre dos nodos ya que se van a tener diferentes sensores alrededor del edificio y solamente un sistema inalámbrico muestreando las condiciones del entorno y enviando los datos a una única estación de control donde se analizan dichos valores

De acuerdo con la hoja de datos del fabricante, algunas de las características principales que distinguen una antena XBee normal de una antena XBee pro corresponden a las mostradas en la Tabla 3.

² Los ruteadores y dispositivos finales se asocian con nodos presentes en la red. El nodo hijo es el que recientemente ha entrado en la red. El nodo padre es el nodo que le ha dado al hijo acceso a la red.

Tabla 3 Características generales antena XBee (Hoja de datos Digi International).

	XBee	XBee-Pro
Interior/Urbano	30mts	100mts
Exterior (línea de visión libre)	100mts	1500mts
Potencia de transmisión	4mW	100mW
Voltaje de alimentación	2.8-3.4V	2.8-3.4V
Corriente (de transmisión)	45mA (@3.3V)	215mA (@3.3V)
Corriente de recepción	50ma	55mA
Velocidad de datos RF	250000bps	250000bps
Velocidad de datos serial	1200-115200bps	1200-115200bps
Frecuencia de operación	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz

*Convivencia de ZigBee con otras tecnologías:

El protocolo ZigBee crea 16 canales con un ancho de banda de 5MHz por canal, por lo que pueden estar perfectamente distribuidos sin necesidad de interferirse entre ellos. Por otro lado, Bluetooth usa 79 canales de 1MHz cada uno, de forma que tampoco hay solapamiento entre sus canales y la señal que modulan en cada uno de ellos. Wifi crea 12 canales de un ancho de banda de 22MHz cada uno, por lo que necesariamente se solapan entre ellos, es decir, que los dispositivos que transmitan en bandas cercanas se van a producir interferencias uno a otro. Solo hay tres canales en los cuales no se producen, puesto que no existe solapamiento, son los canales 1, 6 y 11 (Gascón, 2010) como puede observarse en la Figura 10.

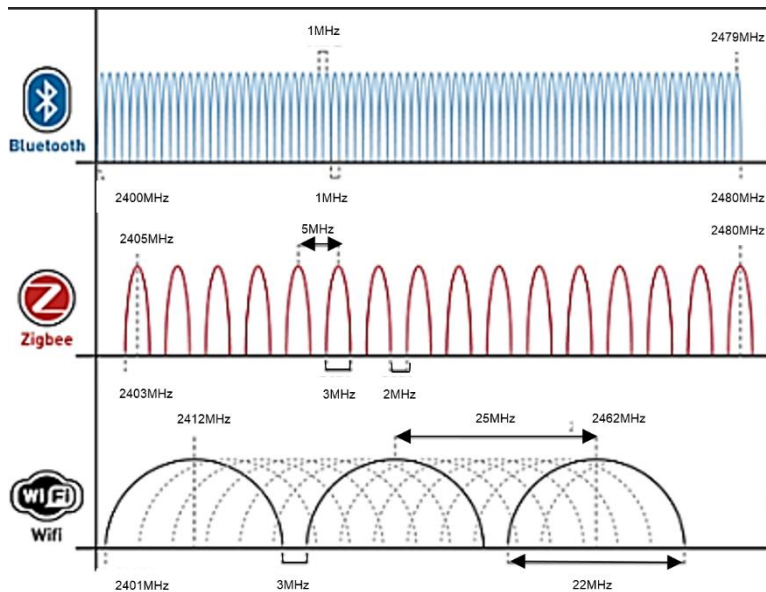


Figura 10 Convivencia ZigBee con otras tecnologías(Libellium).

2.6 Arduino Due.

El Arduino Due es una placa electrónica basada en la CPU Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3. Es la primera placa Arduino basada en un microcontrolador núcleo ARM de 32 bits. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 12 se pueden utilizar como salidas del tipo Pulse Width Modulation, PWM), 12 entradas analógicas, 4 UARTs (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), un reloj de 84 MHz, una conexión USB OTG (Universal Serial Bus On-The-Go), 2 DAC (Digital to Analog Converter), un conector de alimentación, una cabecera de SPI (Serial Peripheral Interface Bus), un encabezado JTAG (Joint Test Action Group), un botón de reinicio y un botón de borrado.

En la Figura 11 se observa la placa arduino Due.

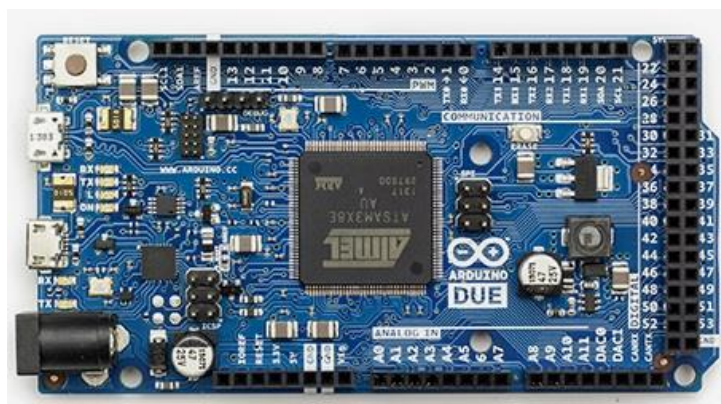


Figura 11 Placa Arduino Due.

2.7 Módulo de pantalla táctil 2.8”.

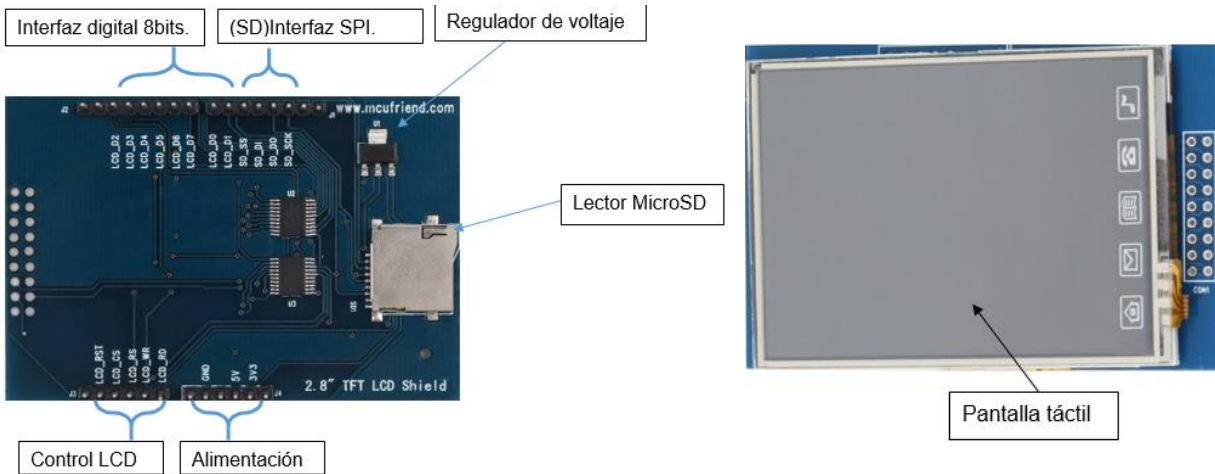


Figura 12 Módulo pantalla táctil.

La pantalla tft 2.8” es una pantalla táctil del tipo resistiva con una resolución de 240x320 pixeles en la cual varía el valor de la resistencia dependiendo la ubicación del pulso táctil. Este módulo, como se puede observar en la Figura 12 cuenta con un microcontrolador para la pantalla, una pantalla táctil, un regulador de voltaje y un lector de tarjetas MicroSD lo cual le proporciona esa versatilidad de ajustarse a cualquier sistema con gran facilidad. Este módulo utiliza 8 bits para la interface digital para escribir en la pantalla, y cuatro salidas análogas respectivas a las resistencias internas que tiene, las cuales proporcionan el valor correspondiente al lugar donde se ubica el pulso táctil proporcionado, cuando se pulsa el panel táctil se estará ejerciendo una presión sobre el mismo que a su vez ocasionará un desbalance en las resistencias, indicando entonces un cambio en la ubicación del pulso táctil.

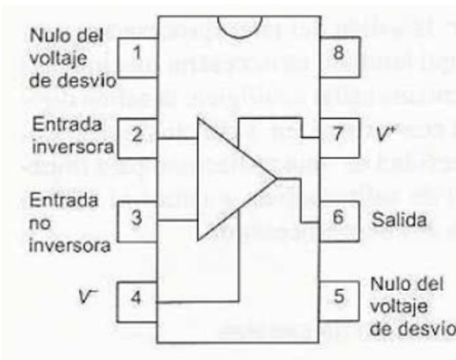
2.8 Módulo de acondicionamiento de señal.

Un amplificador operacional puede reducir señales, amplificar una señal, integrarla o diferenciarla. La capacidad del amplificador operacional para llevar a cabo estas operaciones matemáticas es la razón por la que se llama un amplificador operacional. Es también la razón para el uso generalizado de los amplificadores operacionales en el diseño analógico. Amplificadores operacionales son populares en diseños de circuitos prácticos porque son versátiles, de bajo costo, fácil de usar.

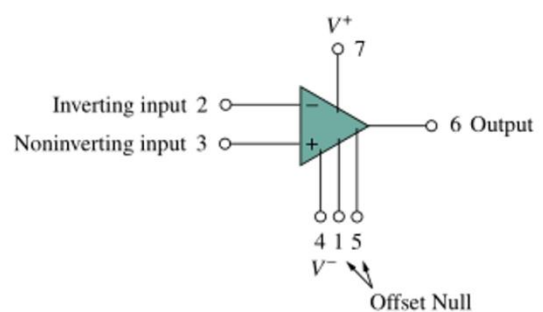
Un amplificador operacional está diseñado de modo que realiza algunas operaciones matemáticas interactuando con los componentes externos, tales como resistencias y condensadores, los cuales están conectados a sus terminales. Así, un amplificador operacional es un elemento de circuito activo diseñado para realizar operaciones matemáticas de suma, resta, multiplicación, división, diferenciación e integración (K. Alexander & N.O. Sadiku, 2012).

Un tipo de circuito integrado para un amplificador operacional y sus principales terminales puede observarse en la Figura 13(a) mientras que en la Figura 13(b) se muestra su símbolo esquemático. El amplificador operacional tiene dos entradas y una salida. Las entradas están marcadas con el signo menos (-) y más (+) para especificar entradas inversora y no inversora, respectivamente.

Una entrada aplicada al terminal no inversor aparecerá con la misma polaridad en la salida, mientras que una entrada aplicada al terminal inversor aparecerá en la salida invertida.



(a)



(b)

Figura 13 Amplificador operacional típico (a) configuración de pines, (b) símbolo eléctrico.

2.8.1 Amplificador no inversor.

La Figura 14 muestra el amplificador operacional conectado como amplificador no inversor.

Un amplificador no inversor es un circuito amplificador operacional diseñado para proporcionar una ganancia de voltaje positivo.

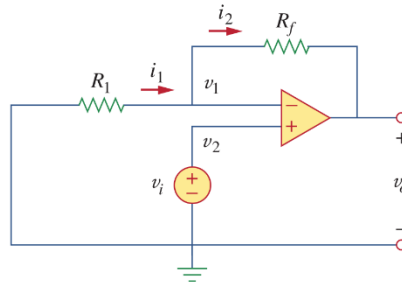


Figura 14 Amplificador no inversor.

En este caso, la tensión de entrada v_i se aplica directamente en el terminal de entrada no inversora, y la resistencia R_1 está conectado entre tierra y el terminal inversor. Lo que interesa es la tensión de salida y la ganancia de tensión. Por lo cual la ecuación matemática que proporciona la salida de tensión respecto a una entrada de tensión dada es la siguiente:

$$v_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) v_i \quad (\text{Ec. 1})$$

Observaciones:

1. La ganancia de tensión es un $A_v = \frac{v_o}{v_i} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)$, la cual no tiene un signo negativo.
2. La ganancia depende únicamente de los elementos externos conectados al amplificador operacional.

→ Si la resistencia de realimentación $R_f = 0$ (cortocircuito) o $R_1 = \infty$ (circuito abierto) o ambos, la ganancia se convierte en 1. En estas condiciones ($R_f = 0$ o $R_1 = \infty$) el circuito de la Figura 14 se convierte en el que se muestra en la Figura 15, a lo que se llama un seguidor de tensión (amplificador de ganancia unitaria) porque la salida sigue a la entrada. Así, para un seguidor de voltaje $v_o = v_i$.

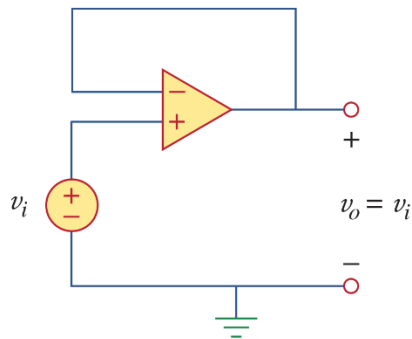


Figura 15 Seguidor de voltaje.

Un circuito de este tipo tiene una impedancia de entrada muy alta y por lo tanto es útil como un amplificador de etapa intermedia (o buffer) para aislar un circuito de otro, como se representa en la Figura 16. El seguidor de tensión minimiza la interacción entre las dos etapas y elimina entre etapas de carga.

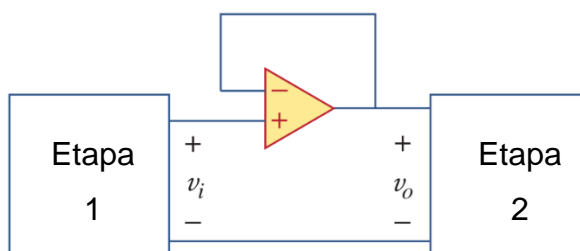


Figura 16 Seguidor de voltaje usado para aislar dos etapas de un circuito en cascada.

2.8.2 Divisor de voltaje.

Un divisor de voltaje es una configuración de circuito eléctrico que reparte la tensión de una fuente entre una o más impedancias conectadas en serie, tal y como se puede observar en la Figura 17.

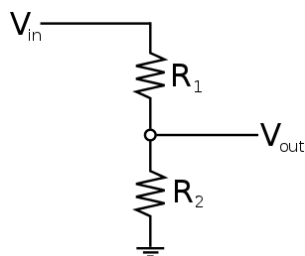


Figura 17 Circuito divisor de tensión.

La fórmula que relaciona V_{in} y V_{out} se muestra a continuación:

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (Ec. 2)$$

2.9 Sistemas de detección individuales.

2.9.1 Sensor de temperatura

Los sensores más comunes para medir temperatura son termopares, termistores y RTDs (detectores de temperatura por resistencia). Los sensores de fibra óptica, aunque más especializados, están creciendo en popularidad para las medidas de temperatura. En la Tabla 4 se encuentra una comparación entre los sensores de temperatura utilizados comúnmente.

Tabla 4 Comparación de sensores de temperatura comunes.

Temp. Sensor	Acondicionamiento de señales requerido	Exactitud	Sensibilidad	Comparación	Costo
Termopares	<ul style="list-style-type: none"> • Amplificación • Filtrado Compensación 	Bueno	Bueno	<ul style="list-style-type: none"> • Auto energizado • Económico • Robusto • Rango de Alta Temperatura 	\$1 a \$50 USD
RTD	<ul style="list-style-type: none"> • Amplificación • Filtrado • Excitación de Corriente 	Excelente	Mejor	<ul style="list-style-type: none"> • Muy Exacto • Muy Estable 	\$25 a \$1,000 USD
Termistor	<ul style="list-style-type: none"> • Amplificación • Filtrado • Excitación de Voltaje 	Mejor	Excelente	<ul style="list-style-type: none"> • Alta Resistencia • Baja Masa Térmica 	\$2 y \$10 USD.
Circuito integrado	<ul style="list-style-type: none"> • Sin Amplificación. 	Bueno	Excelente	<ul style="list-style-type: none"> • Pequeño, Ligero 	\$1 a \$5 USD

De acuerdo a la tabla anterior y a las necesidades, generalmente se opta por utilizar un sensor de temperatura del tipo circuito integrado ya que son económicos, tienen una buena precisión y no requieren ninguna etapa de acondicionamiento puesto que proporcionan una salida en voltaje proporcional a la temperatura presente además de cumplir con los rangos de temperatura requeridos.

Descripción.

El sensor LM35, mostrado en la Figura 18 en la forma como se puede encontrar físicamente, es un sensor de temperatura integrado de precisión, con un voltaje de salida linealmente proporcional a la temperatura en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$). Este sensor no requiere ninguna calibración externa o ajuste para tener una precisión típica de $\pm 1/4$ $^{\circ}\text{C}$ a temperatura ambiente y $\pm 3/4$ $^{\circ}\text{C}$ en su rango de temperatura (de -55 $^{\circ}\text{C}$ a $+150$ $^{\circ}\text{C}$), ya que se calibra y ajusta durante su producción.

La baja impedancia de salida, la salida lineal y la precisa calibración de fábrica del LM35, permite la creación de circuitos de control o lectura muy sencillos. Por otro lado, el dispositivo puede trabajar con fuentes de alimentación simples o dobles (+ y -) (Texas Instrument).

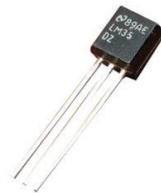


Figura 18 Sensor de temperatura LM35

Características:

- Bajo Costo.
- Calibrado directamente en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$).
- Factor de escala lineal de $+10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$.
- 0.5°C de precisión a $+25^{\circ}\text{C}$.
- Rango de Temperatura de Operación: -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$.
- Funciona con alimentaciones entre 4V y 30V .
- Menos de $60 \mu\text{A}$ de consumo.
- Bajo auto calentamiento, menor a 0.1°C en aire estático.
- Baja impedancia de salida, 0.1W para cargas de 1mA .

Diagrama de conexión.

En la Figura 19 se muestran los pines de conexión del integrado LM35, de los cuales V_{cc} es la alimentación de dicho circuito de -0.2 a 35 V (según el fabricante), GND es la conexión a tierra y Output es la salida de voltaje en los rangos de -1 a 6 V (según el fabricante).

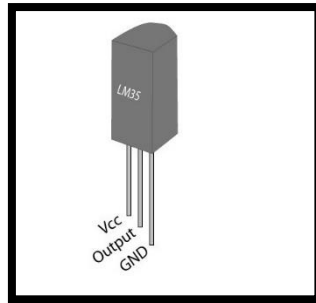


Figura 19 Diagrama de conexión del lm35

Conexiones Típicas.

En la Figura 20 se pueden observar dos configuraciones para conectar el LM35, a la izquierda se puede percibir un sensor de temperatura básico el cual tiene rango de medición de 2°C a 150°C, mientras que de lado derecho se encuentra la configuración de rango completo el cual va de -55°C a 150°C.

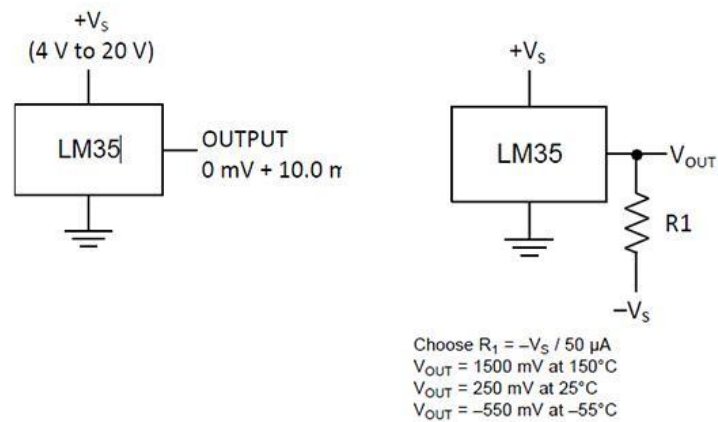


Figura 20 Sensor de temperatura básico (izquierda), sensor de temperatura de rango completo (derecha).

2.9.2 Módulo sensor de luminosidad.

Existen diferentes formas para medir la luminosidad presente en un sistema, dentro de los cuales se pueden mencionar el fototransistor, el fotorresistor y el fotodiodo. Pero cada uno de ellos son elaborados específicamente para diferentes usos, así por ejemplo el fototransistor o LDR no puede ser utilizado en algunas aplicaciones, en especial en aquellas en que la señal luminosa varía con rapidez (Carletti, 2015). El tiempo de respuesta típico de un LDR está en el orden de una décima de segundo. Sin embargo un fotodiodo será el ideal para situaciones en las que se requiera detectar cambios rápidos de luminosidad como en circuitos con tiempo de respuesta pequeños tales como los lectores de CD. Por otro lado, el fototransistor es utilizado en lectores de cinta y tarjetas perforadas, lápices ópticos, así como también se pueden utilizar en la detección de objetos cercanos cuando forman parte de un sensor de proximidad.

Por lo anterior, el tipo de sensor de luminosidad requerido para los objetivos de este trabajo (los cuales no requieren detectar cambios rápidos de luminosidad) es el LDR o fotorresistencia. Un LDR³, es un resistor cuya resistencia disminuye al aumentar la intensidad de la luz que incide sobre ella, el cual está hecho de Sulfuro de Cadmio, responsable de la variación de la resistencia con el nivel de luz.

Este tipo de sensores se pueden encontrar en el mercado a muy bajos precios, además se hallan módulos como el presentado en la Figura 21. El módulo sensor de luz basa su funcionamiento en una fotorresistencia, con ella mide los datos de la intensidad de luz ambiente. La salida DO, estará en nivel alto hasta que la intensidad de luz supere el umbral que se haya fijado con ayuda del preset, por lo que el módulo podría diferenciar un entorno iluminado de uno oscuro.

Además, cuenta con dos leds indicadores de estado, uno indica que el módulo está alimentado y otro es el indicador de la señal de la fotorresistencia.

³ Por sus siglas en inglés Light-Dependent Resistor, (resistencia dependiente de la luz).

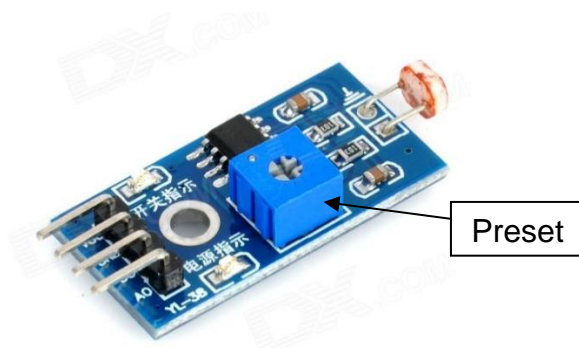


Figura 21 Módulo sensor de luminosidad.

Dentro de las aplicaciones más populares para este sensor se tiene: sistemas de alumbrado, sistemas de jardinería (para regar jardín cuando haya anochecido), medidor de luz para flash, sistema de señalización en carretera, etc.

La Figura 22 presenta la conexión del módulo mostrado en la Figura 21, observándose que la salida A0, proviene de un divisor de tensión formado por la resistencia de 10K Ω y el sensor, que recordando es un resistor variable dependiendo de la luminosidad que incide sobre él, variando así la salida de voltaje con la luminosidad incidente.

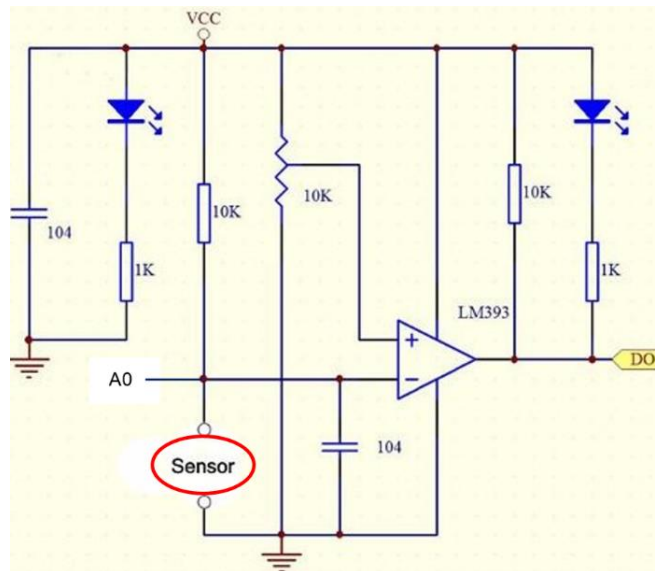


Figura 22 Diagrama de conexión módulo LDR.

2.9.3 Módulo de sensor piroeléctrico (PIR).

Los sensores PIR⁴ permiten detectar el movimiento, casi siempre se utilizan para detectar si un ser humano se ha movido dentro o fuera de la zona de detección del sensor. Son comúnmente nombrados como PIR, infrarrojo pasivo, piroeléctrico, o sensores IR de movimiento.

Los detectores PIR, reaccionan sólo ante determinadas fuentes de energía tales como el calor del cuerpo humano o animales. Básicamente reciben la variación de las radiaciones infrarrojas del medio ambiente que cubre. Es llamado pasivo debido a que no emite radiaciones, sino que las recibe. Estos captan la presencia detectando la diferencia entre el calor emitido por el cuerpo humano y el espacio alrededor.

Los PIR son básicamente elaborados de un sensor piroeléctrico (que se observa en la Figura 23 como una pequeña pieza de metal redondo con un cristal rectangular en el centro), que puede detectar los niveles de radiación infrarroja. Todo emite algo de radiación de bajo nivel, y entre más caliente esté, más radiación es emitida (Adafruit Industries, 2016).

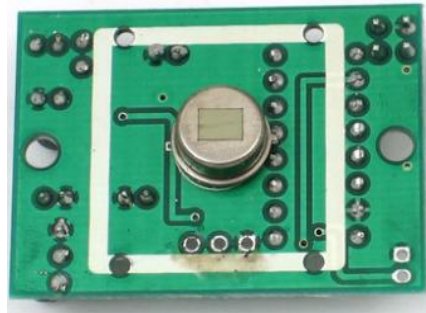


Figura 23 Sensor piroeléctrico.

En la Figura 24 se puede observar el módulo utilizado para la detección de movimiento, además de contar con dos potenciómetros que tienen la finalidad de ajustar la sensibilidad del mismo o en otras palabras ajustar la distancia deseada para que el sensor sea capaz de detectar movimiento de un cuerpo teniendo como límite la distancia especificada en la hoja de datos del sensor (ajuste de distancia de detección) y el otro para ajustar el tiempo en el que se desea mande una señal el sensor una vez que se detectó el movimiento de dicho cuerpo (ajuste de tiempo de retardo).

⁴ Passive Infrared Sensor (Sensor infrarrojo pasivo).

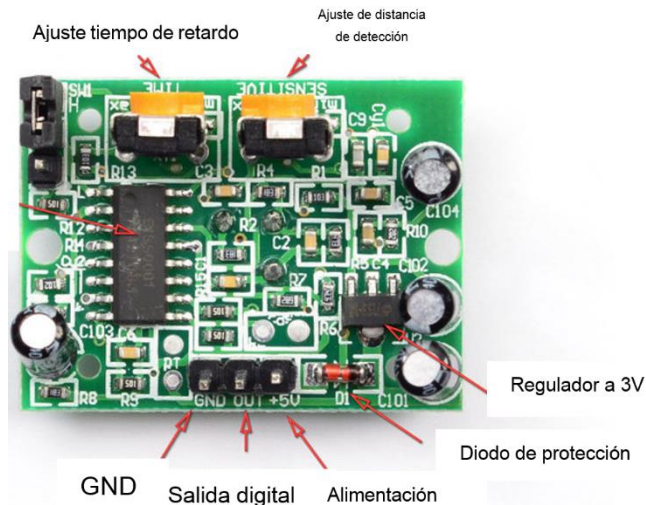


Figura 24 Módulo sensor piroeléctrico.

Ventajas:

- Son pequeños.
- Bajo costo.
- Bajo consumo de energía.
- Fácil de incorporar en cualquier sistema.
- Tiene dos potenciómetros ajustables en el módulo los cuales son usados para cambiar la sensibilidad de disparo y la duración de la señal de disparo.
- Rango de sensibilidad de hasta 7 metros.
- 110° de rango de detección.

Funcionamiento:

Los pirómetros de radiación⁵ se fundamentan en la ley de Stefan-Boltzman, que dice que la intensidad de energía radiante (W) emitida por la superficie de un cuerpo, aumenta proporcionalmente $\left(E = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 k^4}\right)$ a la cuarta potencia de la temperatura absoluta o Kelvin del cuerpo (T), es decir, $W = ET^4$.

Los pirómetros de radiación miden, pues, la temperatura de un cuerpo a distancia en función de su radiación. Los instrumentos que miden la temperatura

⁵ Emisión y propagación de energía en forma de ondas a través del espacio o a través de algún material.

de un cuerpo en función de la radiación luminosa que este emite, se denominan pirómetros ópticos de radiación parcial o pirómetros ópticos y los que miden la temperatura captando toda o una gran parte de la radiación emitida por el cuerpo, se llaman pirómetros de radiación total.

El sensor PIR tiene dos ranuras, cada ranura está hecha de un material especial que es sensible a la radiación IR⁶. El propósito aquí es que las dos ranuras pueden "ver" hacia fuera en cierta distancia (básicamente la sensibilidad del sensor). Cuando el sensor está inactivo, ambas ranuras detectan la misma cantidad de IR, la cantidad ambiente radiada desde la sala o las paredes o al aire libre.

Cuando un cuerpo caliente como un humano o animal pasa, primero intercepta la mitad del sensor PIR, lo que provoca un cambio diferencial positivo entre las dos mitades. Cuando el cuerpo caliente sale de la zona de detección, lo contrario sucede, por lo que el sensor genera un cambio diferencial negativo. Estos pulsos de cambio es lo que se está detectando (en la Figura 25 se puede observar una ilustración de esta explicación).

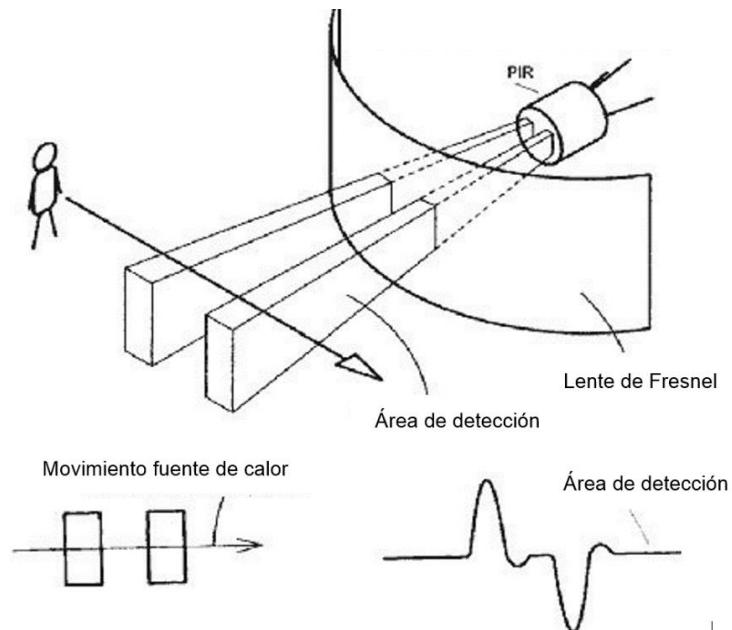


Figura 25 Detección de movimiento de un sensor PIR.

⁶ La radiación IR es un tipo de radiación electromagnética y térmica emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0 Kelvin, es decir, $-273,15$ grados Celsius (cero absoluto).

2.9.4 Módulo sensor de gas.

El módulo sensor de gas a utilizar es el que se muestra en la Figura 26, se trata del sensor MQ2 el cual es usado en la detección de fugas de gas de equipos en los mercados de consumo y la industria, este sensor es adecuado para la detección de gas LP, i-butano, propano, metano, alcohol, hidrógeno, tiene una alta sensibilidad, un tiempo de respuesta rápido y dicha sensibilidad puede ser ajustada por el potenciómetro. Este pequeño sensor de gas detecta la presencia de gas combustible y humo en concentraciones de 300 a 10.000 ppm. Incorpora una sencilla interfaz de tensión analógica. Con la conexión de cinco voltios en los pines el sensor se mantiene lo suficientemente caliente para que funcione correctamente. La sensibilidad del detector se ajusta con una carga resistiva entre los pines de salida y tierra.

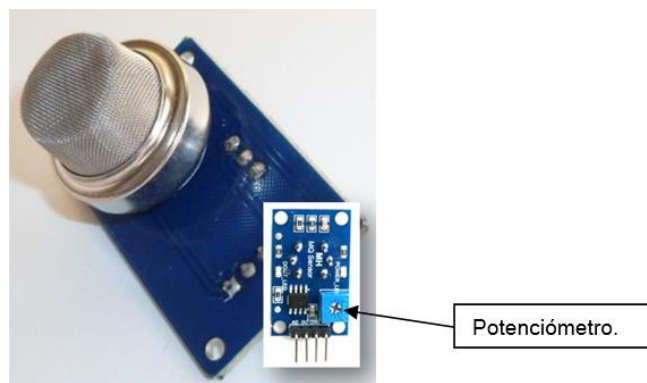


Figura 26 Módulo sensor de gas MQ2.

Principales características:

- Voltaje de circuito: 5V
- Voltaje de calentamiento: 5v
- Resistencia de carga: puede ser ajustable
- Resistencia del calentador: $33\Omega \pm 5\%$
- Consumo: menos de 800mW

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.

En la Figura 27 se muestra un diagrama de flujo y los bloques que integran la metodología propuesta en este trabajo. En la primera etapa se colocan los sensores utilizados comúnmente en domótica en lugares estratégicos para lograr obtener información precisa de las variables que se van a estar midiendo tales como luminosidad, presencia, gases tóxicos, temperatura. En la segunda etapa se adecuan las señales de dichos sensores para obtener una señal correcta de los mismos y que no dañe a elementos siguientes como lo es la antena inalámbrica. En la tercera etapa se manda la información de los sensores de manera inalámbrica por medio de la antena XBee con dirección al módulo encargado de procesar la información. En la cuarta etapa se va a recopilar la información de toda la red creada por los sensores y las antenas inalámbricas en un único módulo a través de la antena XBee coordinadora de dicha red y se va a enviar la información por medio de un puerto serie al microcontrolador. En la quinta etapa se procesa la información de los sensores y se clasifica en el microcontrolador según el sensor y la antena que trasmite la información. En la sexta etapa se muestra la información clasificada de los sensores y las antenas por medio de una pantalla táctil.

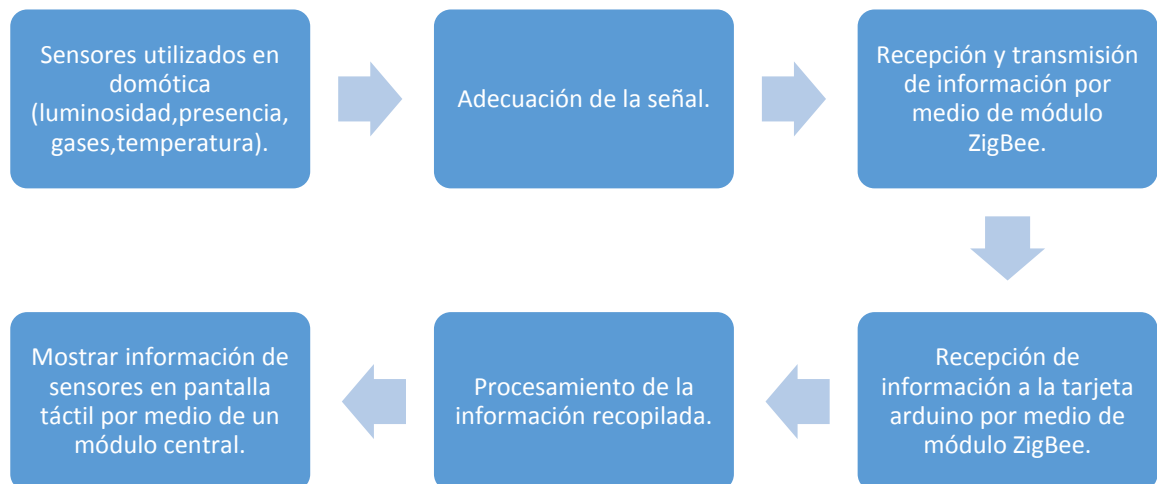


Figura 27 Diagrama a bloques para la realización del trabajo.

3.1 Sensores utilizados en domótica.

Los sensores a utilizar fueron descritos en el Capítulo 2 en el apartado Sistemas de detección individuales., los sensores seleccionados son:

I. **Sensor de temperatura: LM35.**

Para medir la temperatura se propuso un sensor LM35 de la marca Texas Instrument que opera en un rango de -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$ con una precisión de 0.5°C con una salida de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ con un comportamiento lineal.

II. **Sensor de luminosidad: Módulo LDR.**

El sensor de luminosidad seleccionado fue del tipo LDR con un rango de medición de 0.1 Lux a 10000 Lux con un consumo de corriente de 5mA.

III. **Sensor de presencia: Módulo sensor piroeléctrico.**

El sensor piroeléctrico fue seleccionado debido a su facilidad de empleo, además de ser de bajo costo y consumo de energía. Gracias a su facilidad de empleo se puede incorporar a cualquier sistema con un rango de sensibilidad de hasta 7 metros y 110° de detección, el módulo de sensor piroeléctrico seleccionado cuenta con dos potenciómetros, uno para regular el tiempo de encendido al detectar movimiento y el segundo para ajustar el rango de sensibilidad.

IV. **Sensor de gas: Módulo con sensor MQ2.**

Se seleccionó el sensor MQ2 en módulo debido a su facilidad de empleo. El sensor es adecuado para la detección de gas LP, i-butano, propano, metano, alcohol, hidrógeno, con una alta sensibilidad y un tiempo de respuesta rápido, dicha sensibilidad puede ser ajustada por el potenciómetro. Este pequeño sensor de gas detecta la presencia de gas combustible y humo en concentraciones de 300 a 10000 ppm.

3.2 Adecuación de la señal.

Como la mayoría de los sensores son analógicos, para lograr dicho acondicionamiento de señal se utilizaron amplificadores operacionales⁷ en su configuración de seguidor para obtener una señal clara de los mismos.

Los siguientes son los procesos que se presentan en el acondicionamiento de la señal:

⁷ Consultar capítulo 2 (amplificadores operacionales).

- Protección para evitar daño al siguiente elemento que es el microprocesador como consecuencia de un voltaje o una corriente elevados.

Para tal efecto, se colocaron resistencias limitadoras de corriente y limitadores de voltaje. En esta etapa se realizó un arreglo de la señal puesto que los sensores a utilizar entregan señales en voltaje superiores a las que trabaja la antena inalámbrica por lo cual es necesario reducir esa señal analógica obtenida por los sensores de luminosidad y gases de 5v a 1.2v como máximo. Además, se debe tomar en cuenta que se va a utilizar un divisor de tensión con resistencias para generar una ganancia inferior a 1 (que es la ganancia requerida), y que los sensores utilizados representan una resistencia, entonces se tendrían dos etapas seguidas con resistencias, que generará una caída de voltaje, la cual afectará nuestras lecturas, por lo que se propuso utilizar un seguidor de voltaje como elemento intermedio, para que el voltaje que salga de una etapa sea el que llegue a la etapa siguiente.

La Figura 28 muestra el acondicionamiento de la señal proveniente del sensor de luminosidad que trabaja a 5V, donde el seguidor de voltaje 1 sirve para evitar caídas de voltaje del sensor a la etapa de divisor de voltaje, ya en esta última se reducirá la señal del sensor para no dañar la antena inalámbrica, posteriormente el seguidor de voltaje 2 servirá para que no se genere una caída de voltaje entre el divisor de voltaje resistivo y el puerto de entrada análoga de la antena inalámbrica.

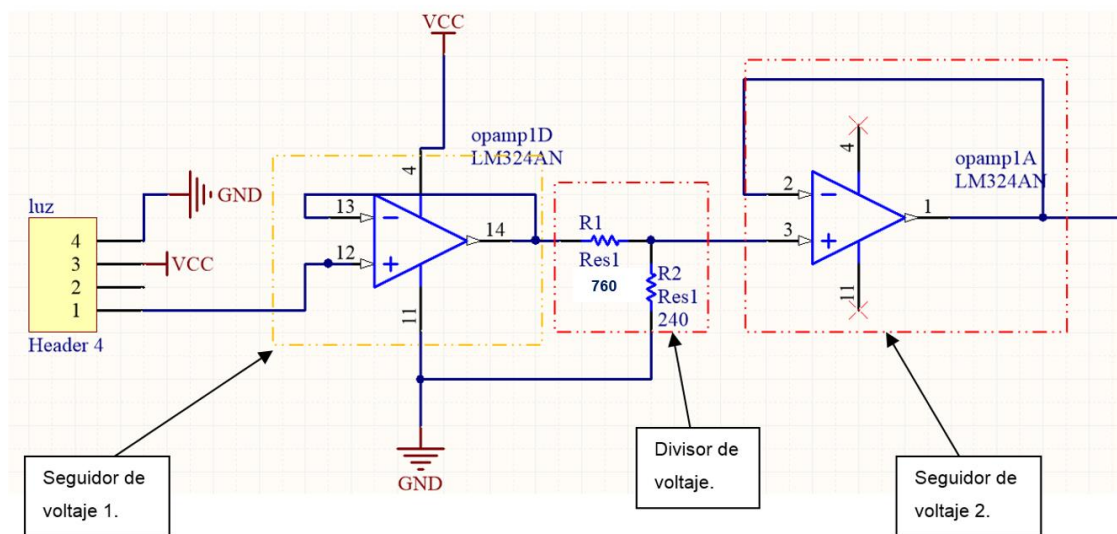


Figura 28 Acondicionamiento señal sensor de gas y sensor de luminosidad.

Para calcular los valores de las resistencias R_1 y R_2 que aparecen en la Figura 28 , se hace uso de la relación del divisor de voltaje (Ec. 2):

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

donde los valores de V_{out} y V_{in} son conocidos, siendo 1.2V y 5V respectivamente. Entonces se propuso un valor comercial de 240 Ω para R_2 . Para conocer el valor de R_1 se despeja de la ecuación del divisor de tensión quedando de la manera siguiente:

$$R_1 = \frac{V_{in} * R_2}{V_{out}} - R_2 = \frac{5V * 240\Omega}{1.2V} - 240\Omega = 760\Omega \quad (Ec. 3)$$

Para el caso del sensor de temperatura solo es necesario realizar una etapa de seguidor de voltaje ya que el sensor LM35 entrega 10mV/ $^{\circ}$ C (valores de voltaje inferiores a 1.2V), así de esta manera el voltaje leído será lo más correcto posible, asegurando que el voltaje que sale del sensor es el que entra a la etapa siguiente.

- Resistencia pull-down para evitar lecturas de niveles lógicos no considerados.

Debido a que también se están empleando sensores con respuesta de 0V o 5V como lo es el sensor de presencia piroeléctrico, es necesario hacer uso de resistencias pull-down, para que de esta manera cuando no se tenga ninguna lectura, se esté monitoreando siempre un valor conocido, que en este caso será 0V, puesto que la resistencia estará conectada directamente a tierra. En la Figura 29 se pueden observar las conexiones necesarias para los sensores digitales, distinguiéndose un esquemático de la antena XBee. Las entradas digitales DIO10, DIO11 y DIO12 se encuentran conectadas con las resistencias R_8 , R_{10} y R_9 respectivamente a tierra, cumpliendo con la función de generar siempre una salida conocida, así cuando el sensor entregue una lectura de nivel lógico en alto (5V) la corriente fluirá por la entrada digital hacia la antena, en vez de fluir por la resistencia debido a la oposición que esta opone.

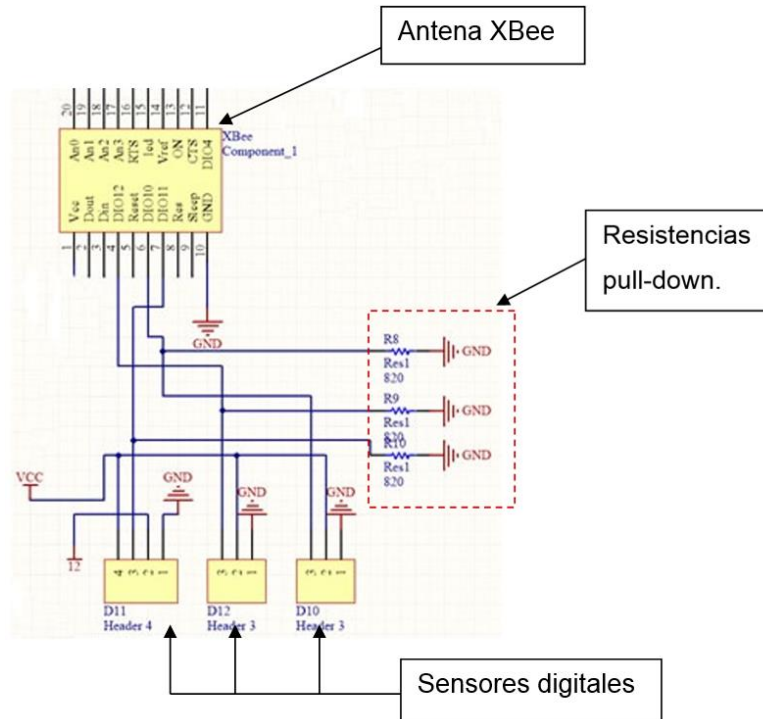


Figura 29 Conexión sensores digitales.

3.3 Recepción y transmisión de información por medio de módulo ZigBee.

En esta etapa se leen los datos que los sensores envían por medio de la antena ZigBee y de forma casi inmediata se manda dicha información hacia la otra antena ZigBee coordinadora, esto se logra por medio del modo de operación API con el que cuenta ZigBee y configurando las antenas para que puedan mandar la información solamente a la antena coordinadora de su red. El modo de operación API es el más complejo y completo, ya que en este modo se puede recabar toda la información de las antenas de la red creada, tanto de qué antena se está recibiendo la información como la información en concreto y es el más utilizado cuando se tienen distintas antenas en la misma red por la misma flexibilidad que tiene de modificar el estado de las salidas de dichas antenas y recibir toda la información que en ellas se encuentra.

3.4 Recepción de información a la tarjeta arduino por medio de módulo ZigBee.

La antena inalámbrica que funge como coordinadora, se encuentra recibiendo toda la información de la red creada tales como la dirección de origen de los datos y los datos en concreto.

En el modo coordinador la antena se encarga de recibir y recabar toda la información de las antenas que se encuentren a su alcance y que tengan el mismo nombre de red. La forma general en que la antena router envía los datos, cuando se encuentra en el modo de operación API se indica en la Figura 30. Observándose en primera instancia la bandera de inicio de datos 0x7E, seguido de dos bytes indicando la longitud de los datos a enviar, después la estructura API como tal (para observar la estructura de la trama API ver Figura 31) y para finalizar 1 Byte de checksum que sirve para tener la certeza que los datos fueron recibidos de manera correcta.

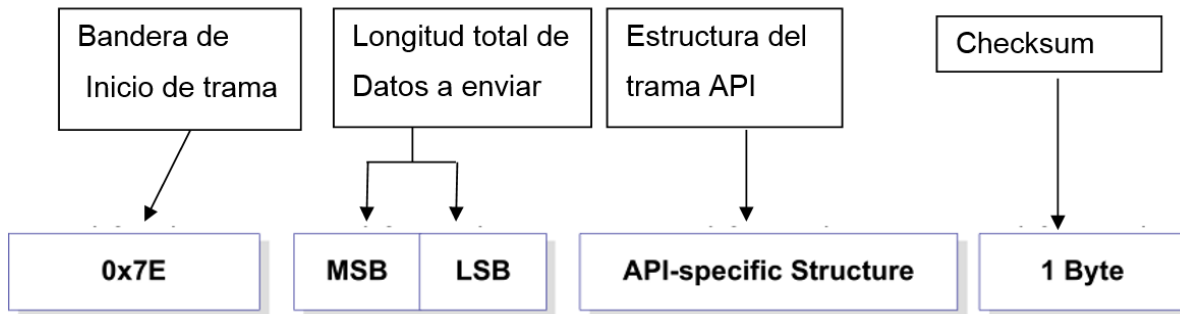


Figura 30 Estructura de datos enviado por cada antena XBee muestreando.

3.4.1 Estructura de la trama API.

En la trama API es donde se localiza toda la información de los sensores, así como de la antena que envía los datos. En la Figura 31 se puede observar un ejemplo de cómo la antena XBee envía toda la información a la antena coordinadora con la que se encuentre conectada.

Byte	Ejemplo	Descripción
0	0x7e	Byte de inicio.Indica el inicio de un trama.
1	0x00	
2	0x14	Longitud. Numero de bytes
3	0x92	Tipo de trama. 0x92 indica que será de datos de muestras tomadas.
4	0x00	
5	0x13	
6	0xA2	
7	0x00	
8	0x40	
9	0x77	
10	0x9C	
11	0x49	64 bit. Dirección de la fuente que envia los datos (numero de serie antena).
12	0x36	
13	0x6A	Dirección de red 16 bits.
14	0x01	Opcion de envio: 01=paquete conocido, 02=transmision de paquete
15	0x01	Numero de muestras. 1 Debido a las limitaciones del Xbee
16	0x00	
17	0x20	Máscara de pines digitales.Indica cuales pines son configurados como DI.
18	0x01	Máscara de pines analógicos.Indica cuales pines son configurados como ADC.
19	0x00	
20	0x14	Lectura de pines digitales(si los hay configurados)
21	0x04	
22	0x25	Lectura de pines analógicos(si los hay configurados). Habrá dos bytes por cada muestra analoga.
23	0xF5	Checksum(0xFF-(suma de bytes desde byte 3))

Trama API

Digital Ch Mask

First Byte
n/a n/a n/a D12 D11 D10 n/a n/a

Second Byte
D7 D6 D5 D4 D3 D2 D1 D0

Example:
0x00 0x0D = 0000 0000 0000 1101
Pins D3, D2 and D0

Analog Ch Mask

(volt) n/a n/a n/a A3 A2 A1 A0

Example:
0x05 = 0000 0101 = Pin A2 and A0

Figura 31 Trama de datos estructura API

Además de recibir toda la información, la antena coordinadora puede mandar serialmente toda la información recabada de la red creada al microcontrolador para allí procesar dicha información.

3.5 Procesamiento de la información recopilada.

Los datos provenientes de las diferentes antenas van a llegar en forma de paquetes serialmente al microcontrolador. Los datos que se están leyendo de esos paquetes son las lecturas analógicas y digitales mandadas por los sensores y la dirección de origen de los datos correspondiente a cada antena que se encuentre muestreando. La recopilación de esa información será utilizada para caracterizar la respuesta de los sensores y mostrar en pantalla las lecturas en tiempo real.

3.6 Mostrar información de sensores en pantalla táctil por medio de un módulo central.

Para mostrar la información recopilada de los sensores fue necesario hacer uso de la hoja de datos de cada sensor para poder conocer su respuesta y mostrar una lectura de manera correcta.

Las lecturas realizadas por el convertidor analógico-digital de la antena XBee transmiten resultados entre 0 y 1023 puesto que la resolución de dicho convertidor es de 10 bits, siendo 0 la lectura cuando haya 0V, y 1023 cuando alcance 1.2V.

Para convertir una lectura análoga tomada por la antena XBee se define la siguiente ecuación:

$$lectura(V) = \frac{lectura_ADC * 1.2}{1023} \quad (Ec. 4)$$

Donde:

lectura(v)=valor en volts de la lectura tomada por la antena.

lectura_ADC= Lectura del convertidor análogo digital de la antena (0-1023).

Cabe recalcar que el valor de lectura_ADC no llega claramente en su escala directa de 0-1023 sino como una lectura en 2 bytes, por lo que hay que ajustar dichos bytes de la manera siguiente:

$$Lectura_ADC = Byte_1 * 256 + Byte_2 \quad (Ec. 5)$$

Donde:

Byte_1=primer byte recibido por lectura análoga que es el byte más significativo(MSB).

Byte_2: segundo byte recibido por lectura análoga equivalente al byte menos significativo(LSB).

- Sensor de temperatura.

Según la hoja de datos del fabricante, este tiene una respuesta lineal correspondiente a la temperatura de 10mV/°C.

Entonces a partir de la (Ec. 4) se tiene que:

$$\begin{aligned} Temp(^{\circ}C) &= \left(\frac{lectura_ADC * 1.2V}{1023} \right) \left(\frac{1^{\circ}C}{10mV} \right) \left(\frac{1000mV}{1V} \right) \\ &= \frac{lectura_ADC * 120}{1023} = 0.117302053 * lectura_ADC \end{aligned} \quad (Ec. 6)$$

- Sensor de luminosidad.

El sensor de luminosidad tiene una respuesta del tipo logarítmica según la hoja de datos del fabricante, dicha respuesta se puede observar en la Figura 32. Como puede percibirse la respuesta del sensor es una línea recta en escala logarítmica.

La ecuación de una recta en escala logarítmica es la siguiente:

$$F(x) = (x^m)(10^b) \quad (Ec. 7)$$

donde m es la pendiente y b es la ordenada al origen o punto de intersección con el eje vertical.

Además:

$$m = \frac{\log(F_2) - \log(F_1)}{\log(x_2) - \log(x_1)} = \frac{\log\left(\frac{F_2}{F_1}\right)}{\log\left(\frac{x_2}{x_1}\right)} \quad (Ec. 8)$$

donde F_1 es $F(x_1)$ y F_2 es $F(x_2)$.

Por lo tanto, es necesario conocer las coordenadas de dos puntos que pasen por la recta.

Para poder conocer la función de la recta que describe la respuesta del sensor de luminosidad se hizo uso del programa WebPlotDigitizer el cual puede descargarse

gratuitamente desde la página <http://arohatgi.info/WebPlotDigitizer/> mismo lugar donde se encuentra una guía de usuario.

Con ayuda del programa WebPlotDigitizer se localizaron dos puntos al azar mostrados a continuación:

1. $X=1.091$ lux, $F(x)=122.15$ K Ω
2. $X=500.75$ lux, $F(x)=1.1089$ K Ω

Haciendo uso de la (Ec. 8) se encontró el valor de la pendiente de la recta:

$$m = \frac{\log\left(\frac{F_2}{F_1}\right)}{\log\left(\frac{x_2}{x_1}\right)} = \frac{\log\left(\frac{1.1089}{122.15}\right)}{\log\left(\frac{500.75}{1.091}\right)} = -0.767151551$$

A partir de la Figura 32 no es posible conocer directamente el valor de la ordenada al origen (b), por lo que se despejó de la (Ec. 7) al conocer dos puntos que pasan por la recta.

$$b = \log\left(\frac{F(x)}{x^m}\right) = \log\left(\frac{122.15}{1.091^{-0.767151551}}\right) = 2.115910787$$

Una vez se conocieron los valores de m y b , la ecuación que relaciona el valor de la resistencia en k Ω con la luminosidad incidente quedó de la forma siguiente:

$$\begin{aligned} R(\text{lux}) &= (\text{lux}^{-0.767151551})(10^{2.115910787}) \\ &= 130.5902603 * \text{lux}^{-0.767151551} \end{aligned} \tag{Ec. 9}$$

A partir de la Figura 22, que muestra la conexión del módulo del sensor de luminosidad se sabe que la salida A_0 del sensor es un divisor de tensión donde

$V_{in} = 5V$ y $A_0 = V_{out}$, con ayuda de la (Ec. 2):

$$V_{out} = 5 * \frac{R_{ldr}}{R_1 + R_{ldr}} \tag{Ec. 10}$$

donde R_{ldr} es el valor de la resistencia del sensor LDR que fue caracterizado por la (Ec. 9) y R_1 es la resistencia que se encuentra en serie con el LDR que tiene un valor de 10k Ω . Combinando la (Ec. 9) con la (Ec. 10) y haciendo un despeje, se obtuvo la ecuación siguiente:

$$\text{lux} = \frac{e^{\ln\left(\frac{-10 * V_{out}}{130.5902603 * (v_{out} - 5)}\right)}}{-0.767151551} \tag{Ec. 11}$$

Donde el valor de V_{out} es el valor directo del voltaje de salida del sensor, que es el mismo que envía la antena que se encuentra muestreando y puede ser obtenido a partir de la (Ec. 4).

Resistencia como función de la iluminación en LDR

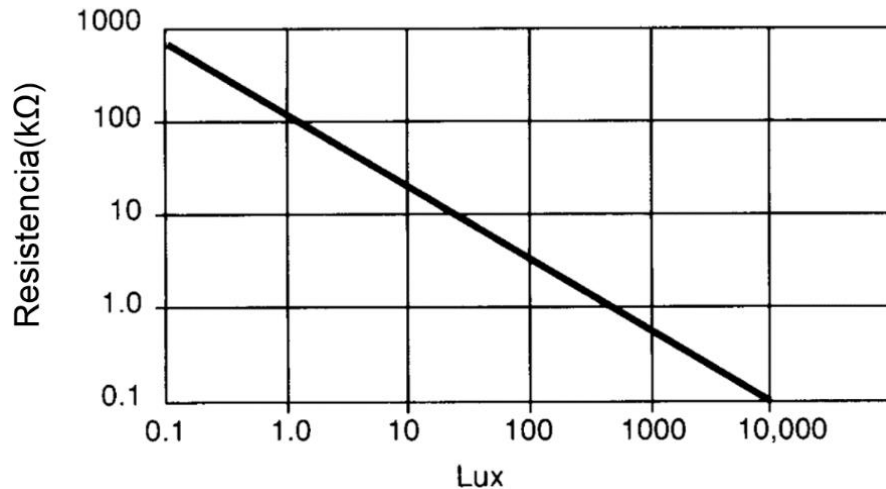


Figura 32 Resistencia en función de la iluminación en sensor LDR.

3.7 Diseño de tarjeta para acondicionamiento de señal.

La función de la tarjeta de acondicionamiento de señal es adquirir la información de los sensores utilizados por medio de una adecuación de señal para no dañar los componentes, además de mandar la información al módulo central. Para lograrlo se colocan 4 conectores, uno para cada sensor utilizado y otros 3 conectores para el posible uso de 3 sensores extras, para facilitar el intercambio de los mismos. Cuatro de los conectores mencionados son para sensores analógicos, de los cuales, 3 son utilizados para el sensor de luminosidad, temperatura y gases, respectivamente quedando una entrada extra para cualquier otro sensor de salida análoga que se alimente con 5V, y devuelva una salida de 0 a 5V, puesto que el acondicionamiento es realizado con esas características. Los otros 3 conectores sirven para vincular 3 sensores con salida digital, uno de los cuales es usado para recibir la señal del sensor de presencia.

Como la antena inalámbrica XBee se alimenta a 3.3V, y los sensores a 5 V, se requieren 2 niveles de voltaje diferentes para lo cual es necesario colocar un regulador de voltaje de 12V a 3.3V. Además, se incluye un regulador de voltaje extra de 12V a

5V, esto con la finalidad de poder conectar algún otro sensor que requiera una alimentación a 12V, dicho conector fue designado con la etiqueta D11, la cual indica que allí puede alimentarse un sensor de 12V. El diseño de dicha tarjeta contiene un relevador, esto con la posibilidad de poder manipular algún otro componente que requiera mayores capacidades de carga de hasta 3A a partir de la salida DIO4 con la que cuenta la antena. La interconexión de los elementos mencionados anteriormente se puede observar en el esquemático mostrado en la Figura 33.

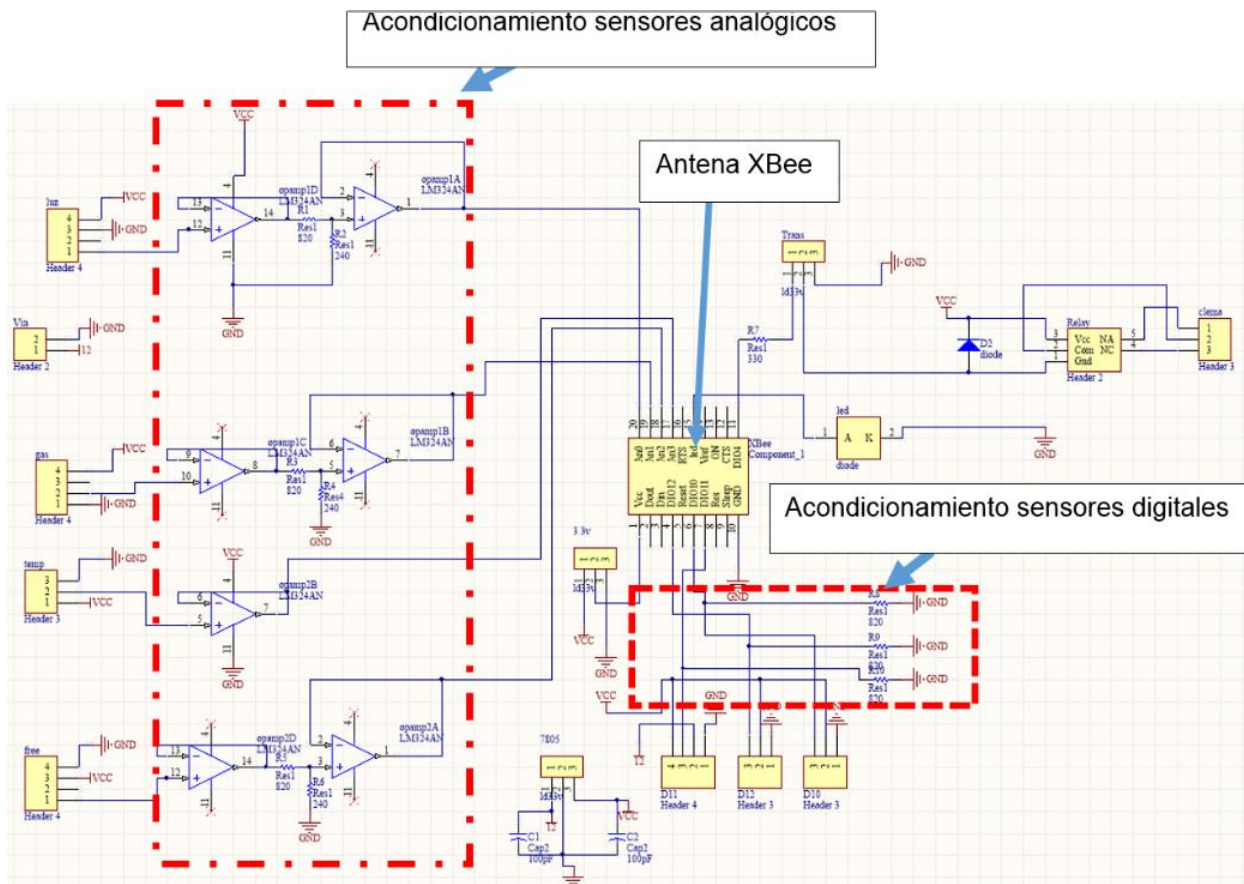


Figura 33 Diagrama eléctrico de la tarjeta de acondicionamiento de señal.

El PCB que muestra la distribución de los elementos que intervienen en dicha tarjeta se puede observar en la Figura 34, así como el ruteo de las pistas requerido para su interconexión.

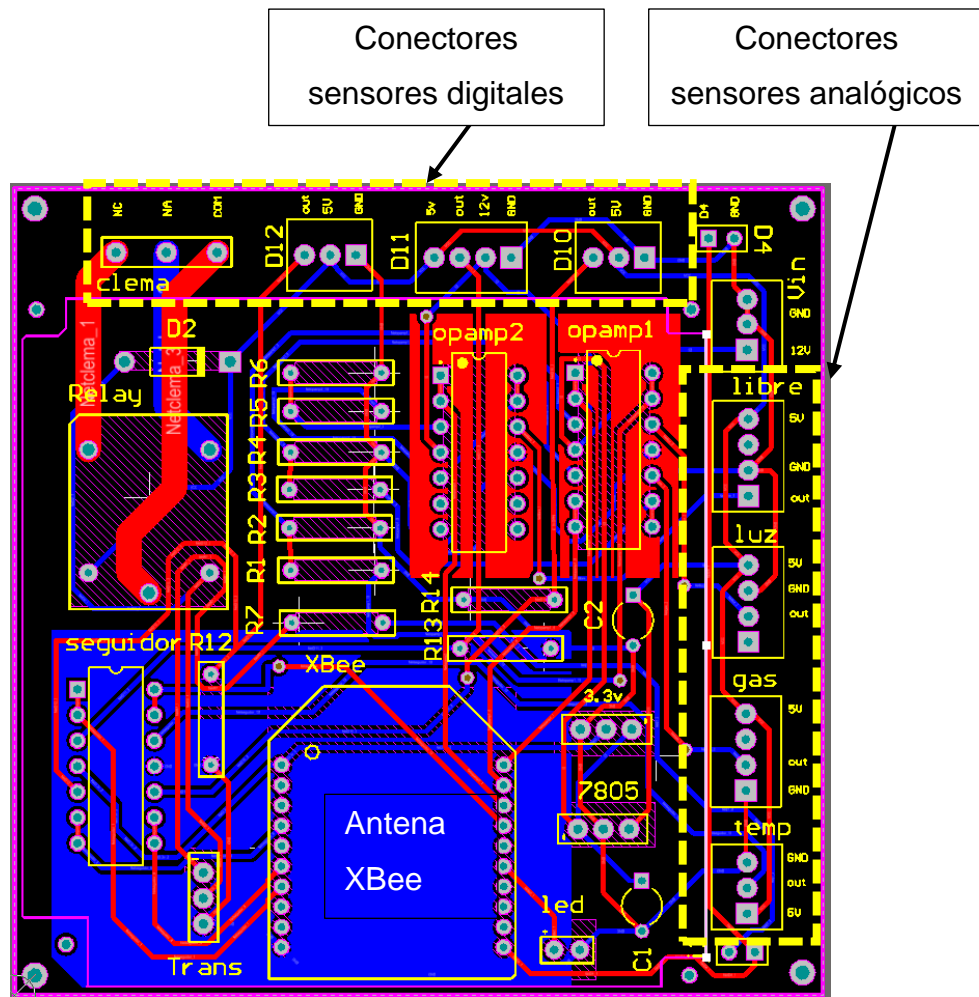


Figura 34 PCB tarjeta de acondicionamiento de señal.

El conector " V_{in} ", es el conector para la alimentación de la tarjeta (12V y GND). Los conectores luz, gas y temp son configurados para conectar los sensores correspondientes a su nombre, los cuales requieren una alimentación de 5V. El conector "libre" es utilizado para poder conectar cualquier otro sensor que requiera una alimentación a 5V.

El conector D10, es utilizado para el sensor piroeléctrico que requiere una alimentación de 5V. Se incluye un conector libre D12 para insertar cualquier sensor con salida digital. Además, el conector D11 incluye una salida a 5V y otra a 12V, para acoplar cualquier sensor que así lo requiera.

3.8 Diseño de tarjeta para monitoreo.

La tarjeta para monitoreo es creada con la finalidad de insertar los elementos para facilitar la instalación del sistema de tal manera que se requiere crear una base para la pantalla táctil, la antena XBee y el reloj (elementos que sirven para adquirir los datos de los sensores de la red y la hora y fecha actuales) además de contar con espacio para un buzzer que sirve para activar un sonido con la finalidad de indicar alguna anomalía en el sistema sirviendo como una alarma, se debe incluir un botón de reset y un interruptor para apagar la pantalla.

El diagrama eléctrico de dicha tarjeta puede observarse en la Figura 35 mientras que en la Figura 36 se muestra su respectivo PCB.

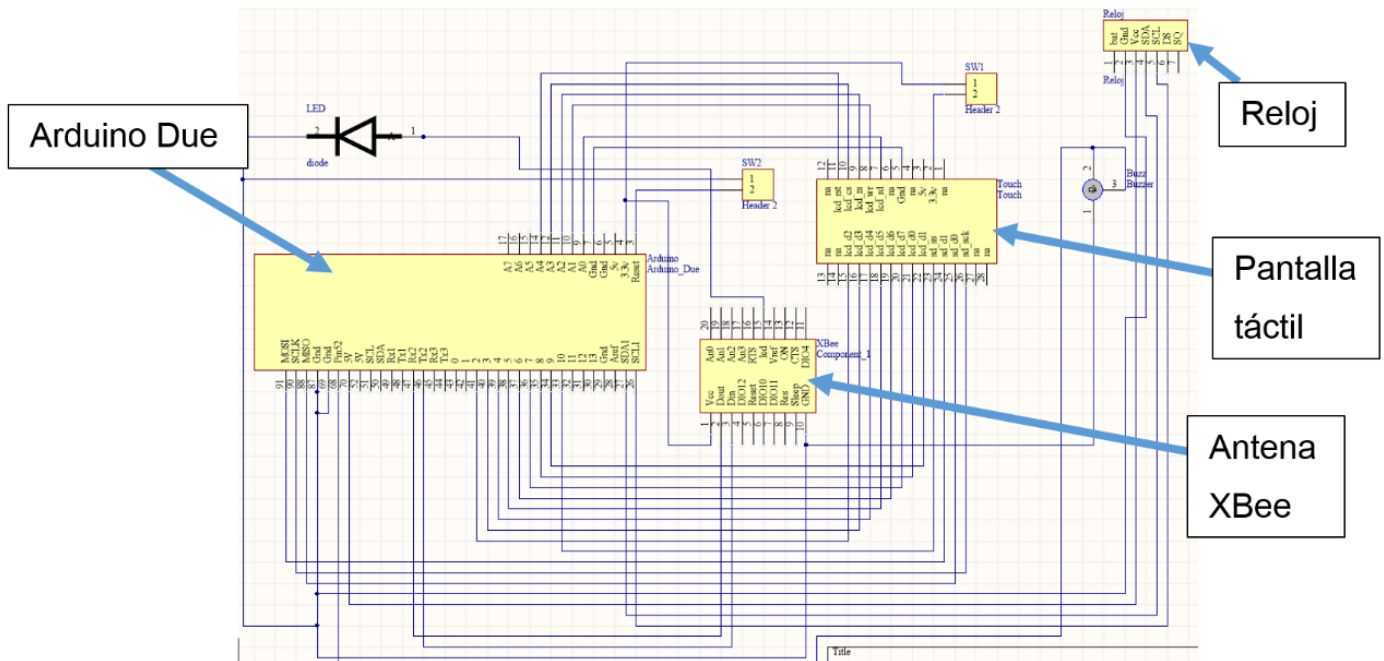


Figura 35 Diagrama eléctrico tarjeta para monitoreo.

Los elementos utilizados (relacionados con sus etiquetas mostradas en la Figura 36) son:

- Arduino: Microcontrolador Arduino Due.
- Touch: Pantalla táctil.
- SW1: Botón de reset.
- SW2: Interruptor ON/OFF pantalla táctil.
- Reloj: Reloj de tiempo real modelo DS1307.
- Buzz: Buzzer(alarma).

- XBee: Antena XBee.
- LED: LED que indica comunicación entre antenas XBee router y antena XBee coordinadora.

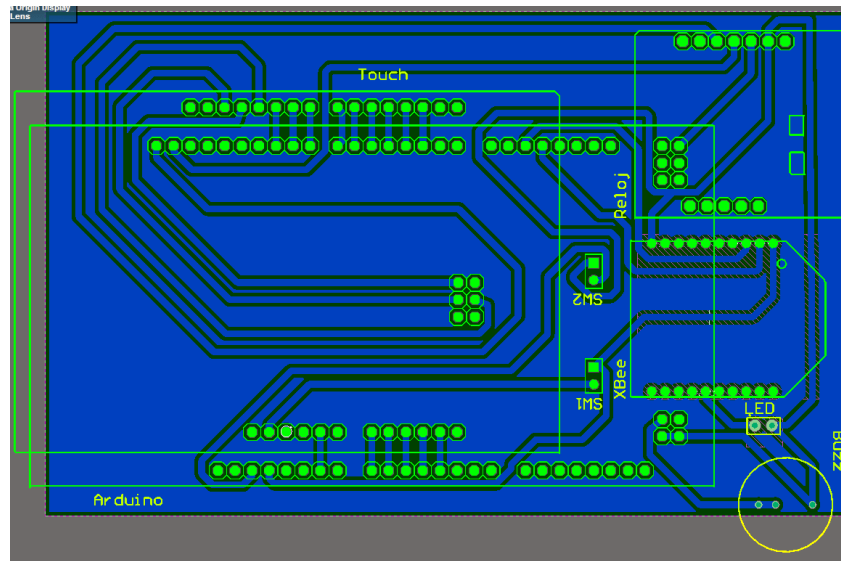


Figura 36 PCB tarjeta para monitoreo.

3.9 Pruebas de funcionalidad del sistema.

3.9.1 Integración del sistema y funcionalidad en edificio.

El sistema desarrollado se implementará en un salón dedicado a los alumnos de posgrado en la Facultad de Ingeniería de la UAQ campus San Juan del Río debido a que el CATAS se encuentra en construcción. En dicho salón se distribuirán los sensores de presencia, rotura de vidrios, luminosidad, temperatura y gases, así como la tarjeta de acondicionamiento de señal de la manera mostrada en la Figura 37 con el objetivo de enviar las señales al módulo central.

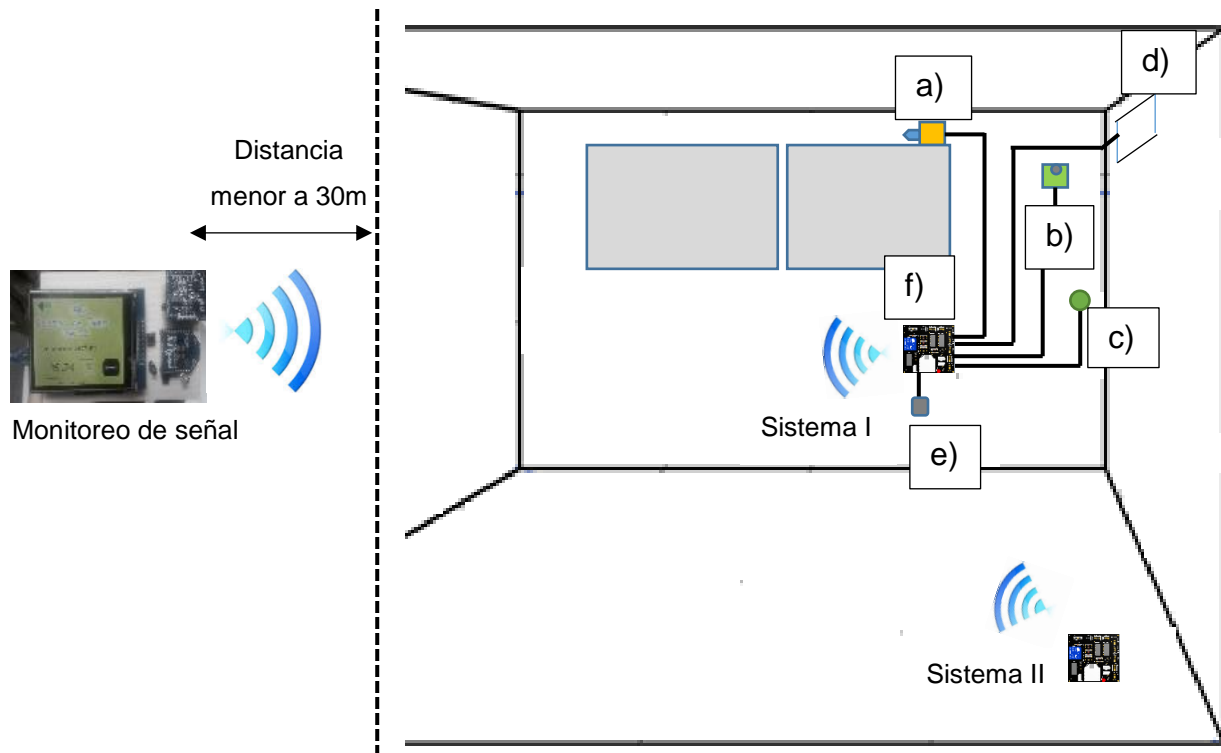


Figura 37 Esquema de instalación del sistema en un recinto, a) sensor de luminosidad, b) sensor de gas humo, c) sensor presencia, d) sensor de rotura de vidrios, e) sensor de temperatura, f) tarjeta de acondicionamiento.

Debe considerarse que es necesario colocar un módulo de acondicionamiento de señal por cada recinto al que deba adquirirse señales, para lo cual dicha tarjeta cuenta con perforaciones para obtener un montaje fácil. La tarjeta debe ubicarse cerca de un contacto tomacorriente para recibir una alimentación a 12 V_{cc}.

Como primera prueba debe colocarse un solo módulo de acondicionamiento en el salón y una tarjeta para monitoreo en el que se habrán de mostrar en tiempo real las lecturas de dichos sensores.

Como segunda prueba debe colocarse una segunda tarjeta de acondicionamiento en el mismo salón para crear una red que deberá ser controlada por una sola tarjeta para monitoreo, en la que se mostrarán las lecturas en tiempo real de los sensores de la red creada.

3.9.2 Transmisión de datos.

En la prueba de transmisión de datos se colocará el módulo central a una distancia menor de 30m (alcance de antena) para monitorear las señales de los sensores instalados en el aula. El módulo central deberá mostrar lecturas en tiempo real del estado de los sensores de temperatura, luminosidad, gas humo, presencia y rotura de vidrios, además de mostrar una gráfica de los datos captados y almacenados en la memoria microSD durante el funcionamiento del sistema considerando que debe colocarse una tarjeta para monitoreo por cada red de sensores creada, la tarjeta está diseñada de tal manera que los componentes que la conforman se pueden colocar o quitar de manera sencilla, la alimentación de la tarjeta debe ser de 7- 12 V_{cc}.

3.9.3 Interfaz de usuario para agregar una nueva antena al módulo central.

Debido a que el sistema debe tener la capacidad de mostrar la información de más de un módulo de acondicionamiento es necesario agregar, quitar o modificar los datos de las distintas antenas conectadas al sistema, para lo cual el módulo central debe reconocer dichos cambios. La manera de ejecutar esta operación es por medio del programa desarrollado denominado "Serial Port". Para comprobar la funcionalidad del programa es necesario conectar el módulo central a una PC, ejecutar el programa Serial Port y establecer una conexión, para después obtener la información de la red creada y generar cambios en la misma, de manera que los datos provenientes de los distintos sensores puedan ser mostrados por el módulo central.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La etapa de adquisición de datos procesa hasta 4 entradas análogas y un máximo de 3 digitales por cada antena que se encuentre conectada a la red creada. Los datos son procesados y transmitidos en una única trama que contiene la información de las 4 lecturas análogas y 3 digitales incluyendo la dirección de la antena que transmite dicha información.

La velocidad de muestreo de cada antena puede ser configurable por medio del software XCTU que es proporcionado gratuitamente por el proveedor de las antenas XBee, en su página oficial Digi, por default tiene una configuración de 50ms.

La antena XBee en su configuración de coordinadora, que solo es una por red creada, se encarga de recopilar toda la información de todas las antenas, para después transmitir las serialmente al microcontrolador.

Se creó una interfaz de usuario para agregar nuevas antenas de manera sencilla al sistema y que este las reconozca para lograr una intercomunicación.

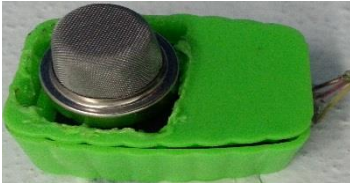
4.1 Integración del sistema y funcionalidad en edificio.

El sistema fue instalado en el salón de clases dedicado a estudiantes de posgrado de la UAQ campus San Juan del Río con una distribución de sensores en puntos adecuados para obtener una señal pertinente de los mismos tal y como se aprecia en la Figura 38. Se observó que a partir de la tarjeta de acondicionamiento los sensores se alimentan de manera correcta para su buen funcionamiento y se recibe de forma correcta la señal de todos los sensores colocados, además de que la antena inalámbrica colocada en la tarjeta de acondicionamiento recibe y manda de manera correcta la información de los sensores colocados.

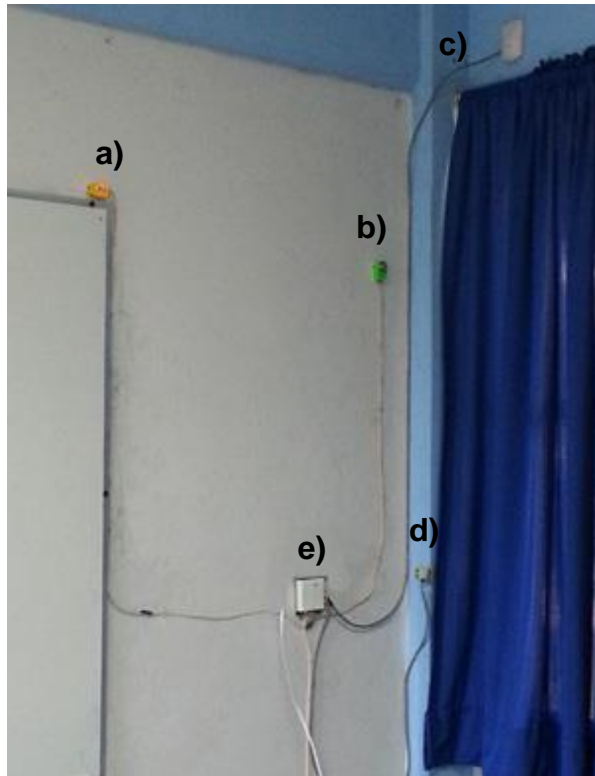
a) Sensor luminosidad



b) Sensor de gas



c) Sensor rotura vidrios



d) Sensor presencia



e) Tarjeta de acondicionamiento



Figura 38 Sistema instalado en aula.

4.2 Transmisión de datos.

En la primer prueba la tarjeta para monitoreo fue colocada en el mismo salón que la tarjeta de acondicionamiento de señal, mientras que en la segunda prueba se colocaron dos tarjetas de acondicionamiento y una tarjeta para monitoreo a una distancia de 10m para crear una red de sensores inalámbrica, observándose resultados de lecturas correctas para ambos casos tal y como se aprecia en la Figura 39 y la Figura 40 que muestran una vista superior de la tarjeta para monitoreo tomando lecturas en tiempo real de temperatura y luminosidad respectivamente.



Figura 39 Vista superior tarjeta para monitoreo, tomando muestras de temperatura.



Figura 40 Vista superior de la tarjeta para monitoreo, tomando muestras de luminosidad.

Además de mostrar lecturas en tiempo real de toda la red de sensores inalámbrica creada, el sistema es capaz de guardar la información de dichas lecturas en una tarjeta microSD para después retomarlas y generar gráficas como la mostrada en la Figura 41.

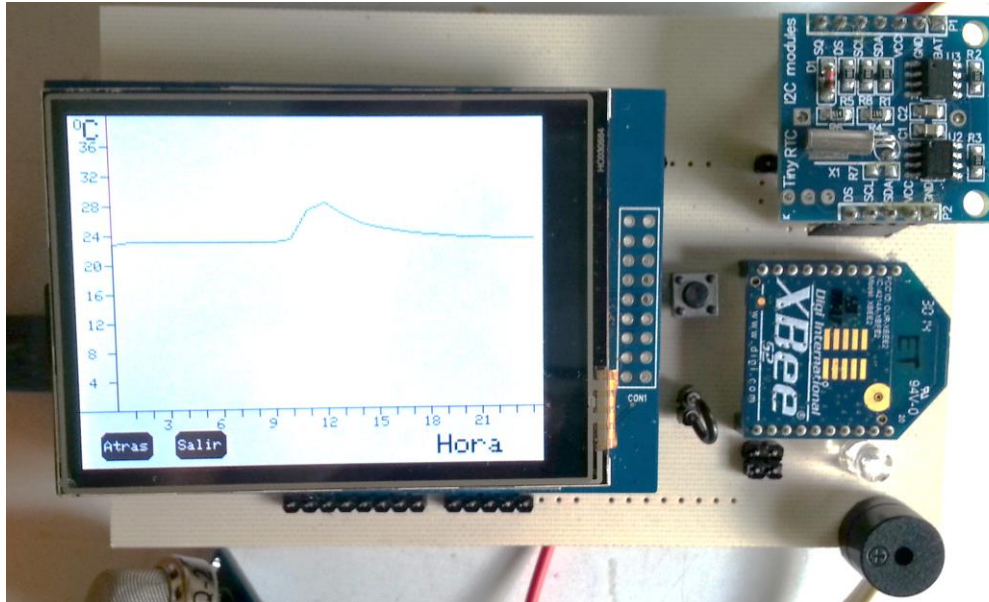


Figura 41 Vista del sistema graficando lecturas almacenadas.

4.3 Interfaz de usuario para agregar una nueva antena al sistema.

El sistema de adquisición de señales desarrollado en este trabajo requiere de antenas inalámbricas para su funcionamiento, entonces para agregar una nueva antena al sistema de manera sencilla se desarrolló una interfaz de usuario de tal manera que el usuario final no requiere conocimientos de programación. A continuación, se describe la ventana que conforma la interfaz de usuario.

En la Figura 42 se muestra la ventana principal, la cual tiene un menú de acciones con las opciones de agregar antena a red, borrar antena de red y modificar datos de antena. Con la opción agregar nueva antena se puede incluir una nueva antena en el sistema para que este la reconozca y pueda mostrar valores de sensores relacionados con dicha antena, con la opción borrar antena de red, el sistema olvida dicha antena y no vuelve a mostrar información de la misma y con la opción modificar datos de antena se pueden realizar modificaciones a la antena por si se posiciona en otra ubicación dentro del edificio. En la interfaz se muestra una tabla con los datos de la red creada hasta el momento en que se realizó la comunicación con el sistema, incluyendo número de botón que le corresponde a cada antena en la pantalla táctil, número de serie de la antena y una pequeña palabra que indica el lugar donde se encuentra dicha antena, de esta manera es sencillo saber cómo se encuentra la red creada hasta el momento.

Para realizar la comunicación del sistema con la PC se requiere de la información de dos campos que son el puerto usb donde se ubica conectado el sistema y la velocidad de comunicación (57600 bits por segundo).



Figura 42 Interfaz de usuario para agregar configurar antena.

4.4 Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos, se puede observar que el uso de un sistema inalámbrico ZigBee para el monitoreo de señales provenientes de sensores de temperatura, luminosidad, gases y presencia ofrece múltiples ventajas respecto a un sistema cableado:

- Facilidad de instalación, pues el sistema final no requiere de complejas conexiones ni de cableados especiales.
- Flexibilidad para colocar el módulo central / display en cualquier lugar del edificio, en lugar de estar fijo.
- Posibilidad de integrarse como un nodo perteneciente a una red de sensores conectados a un sistema domótico central.
- Posibilidad de adquirir y monitorear otras señales adicionales o diferentes a las ya utilizadas (temperatura, luminosidad, gases y presencia) y transmitir todos los datos a la vez con destino al coordinador de la red utilizando el mismo radiotransmisor ZigBee.

4.5 Trabajo a futuro.

- Diseñar módulos adicionales o posteriores para utilizar las señales de todos los sensores de todas las antenas ya recabadas por el módulo central y darles uso para su análisis y/o para ejecutar una acción determinada dependiendo del estado de las mismas.
- Implementar un sistema de comunicación inalámbrico entre el sistema central y una PC mediante un módulo WiFi con la finalidad de habilitar un monitoreo y/o configuración remota que pueda aprovechar alguna infraestructura de red inalámbrica existente en el edificio de instalación.
- Modificar el programa creado en Visual Studio con la finalidad de agregar la función de analizar y/o graficar información que puede ser recuperada desde el módulo central.

REFERENCIAS

- Adafruit Industries. (2016). Obtenido de <https://learn.adafruit.com/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor/how-pirs-work>
- Carletti, E. J. (2015). *Sensores - LDR, Descripción y funcionamiento*.
- Casadomo. (2002). *Casadomo soluciones*. Obtenido de <http://www.casadomo.com/>
- Dignani, J. (2012). Análisis del protocolo ZigBee. 42.
- Domínguez, H. M., & Vacas, F. (2006). *Domótica: un enfoque sociotécnico*. Madrid.
- Electronics for pyroelectric detector for motion sensor. (2008). *PerkinElmer Optoelectronics*.
- FEDIT, E. (2010). *Redes de sensores. Aplicaciones de control automático de edificios*. España.
- Gascón, D. (31 de 08 de 2010). *Dispositivos inalámbricos, ¿cómo conviven?* Obtenido de <http://blogs.heraldo.es/>.
- González, G. J., Masson, F. R., & Mandolesi, P. S. (2007). Nodo para redes de sensores basado en el estándar IEEE 802.15.4 . *XII Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control*.
- Huidobro, J. M. (2007). La domótica como solución de futuro. Madrid, España.
- Huidobro, J. M., & Millán, R. J. (2010). *Manual de domótica*. España.
- Jiménez, F. J. (2009). *Introducción a la domotica*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/ejdlcdomotica/Home/tema-1-introduccion-a-la-domotica>
- K. Alexander, C., & N.O. Sadiku, M. (2012). *Fundamentals Of Electric Circuits*. New York: Mc Graw Hill.
- Kathleen, D. (11 de Enero de 2010). *Electric Light and Power*. Obtenido de http://www.elp.com/articles/powergrid_international/print/volume-15/issue-11/departments/notes/autovation-trumpets-communication-collaboration.html
- Lee, J. S. (2006). Performance Evaluation of IEEE 802.15.4 for Low-Rate Wireless Personal Area Networks. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 52(3).
- Maxim, O. (2008). Home Automation with ZigBee. *Computer Science*, 5174/2008.
- Mesa, L. (4 de Noviembre de 2012). *Domótica*. Obtenido de luismesaprovincia.blogspot.

- Molina, H. G. (2007). *Avances en informática y sistemas computacionales Tomo II*. México.
- O'Driscoll, G. (2000). *The essential guide to Home Networking Technologies*. Prentice Hall.
- Ponce, M. C. (2006). *Estudio del estándar IEEE 802.15.4 ZIGBEE para comunicaciones inalámbricas de área personal de bajo consumo de energía y su comparación en el estándar IEEE 802.15.1 BLUETOOTH*.
- Ramírez, C. D., Sarabia, R. B., & Suárez, M. (2011). Integración de sensores inalámbricos y domótica.
- Reinoso Pérez, E. S. (2008). Diseño e implementación de un prototipo para una red domótica y seguridad para un hogar utilizando el estándar 802.15.4 ZigBee". Quito.
- Salgado, I. V. (2012). ZigBee y sus aplicaciones.
- Sánchez, D. (2004). *Diseño de una casa inteligente basado en la tecnología jini*".
- T. I. (2016). *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*.
- Verdezoto, G. M. (2014). Aplicación de la domótica para el control del sistema de temperatura, monitoreo, apertura y cierre automático de la puerta del garage e iluminación interior y exterior de una vivienda.

ANEXO A MANUAL DE INSTALACIÓN ANTENA XBEE

A.1 ¿Cómo configurar una antena XBee?

Para poder conectar la antena XBee a la PC es necesario contar con un XBee explorer como el que se muestra del lado izquierdo en la Figura 43, mientras que del lado derecho se observa la manera correcta de insertar la antena XBee en el XBee explorer, distinguiéndose la posición del botón con el que cuenta el XBee explorer y la posición de la antena.

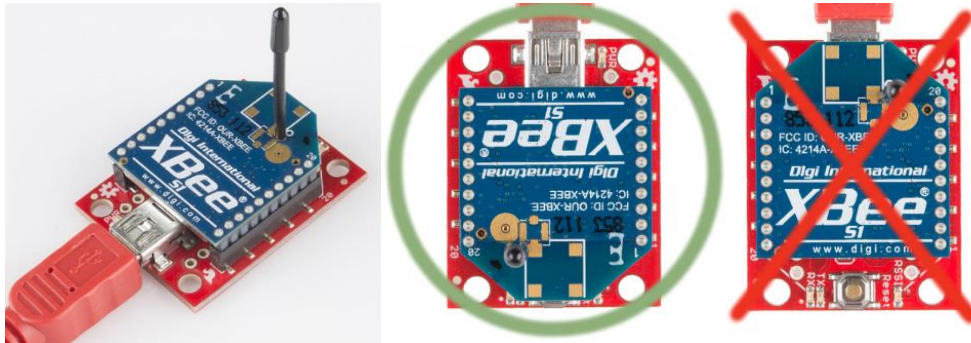


Figura 43 XBee explorer.

Una vez insertado y conectado al PC por medio del cable mini usb, es necesario abrir el programa XCTU que se puede descargar gratuitamente desde la página oficial de DIGI (fabricante de la antena) <http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu>.

*Agregar antena XBee.

Ya incorporado y conectado correctamente aparecerá una ventana como la mostrada en la Figura 44.

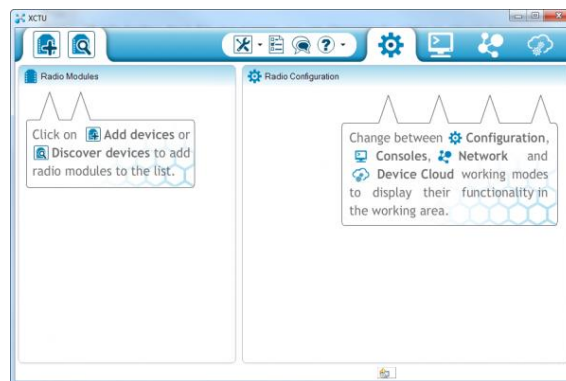


Figura 44 Ventana de inicio programa XCTU

Para agregar el XBee conectado se debe hacer clic en el icono “Add device”–



en la parte superior izquierda de la ventana, lo cual generará una pantalla como la mostrada en la Figura 45.

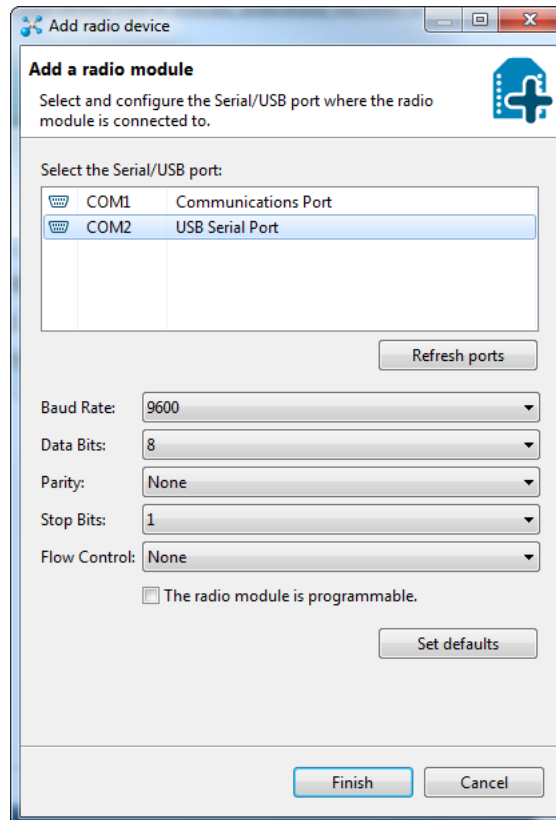


Figura 45 Pantalla agregar XBee.

Seleccionar el puerto de comunicación que corresponda al de la antena XBee en caso de tener más dispositivos conectados al PC.

Esta ventana también permite definir las características de serie más específicos como la velocidad en baudios, bits de datos y bits de parada. Suponiendo que esta es la primera vez que utiliza XBee pueden dejarse estos ajustes por default ya que de manera automática el programa detectará esos datos de la antena XBee insertada y para finalizar dar clic en “finish”.

→Parámetros a configurar:

1. La antena conectada puede realizar la función de coordinador (la cual solo puede existir una en la red), de End Device AT o Router API.

Para configurar la antena dependiendo la función que va a cumplir en la red:

- a. Dar clic en la opción tools que se encuentra en la parte superior en el icono de herramientas como se muestra en la Figura 46 y seleccionar la opción XBee recovery.

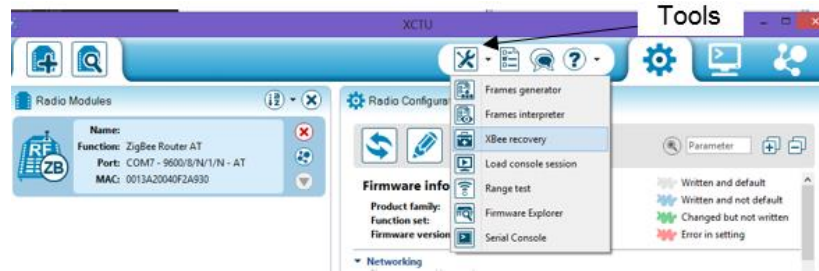


Figura 46 Herramienta tools programa XCTU.

- b. Se desplegará una nueva ventana, dividida en tres columnas, la primera columna indica el tipo de antena utilizada que en este caso es XB24-ZB, la segunda indica el tipo de función que va a fungir la antena en la red, la cual puede ser coordinadora API, End Device AT o router API y en la tercera columna se encuentra el firmware a instalar, se recomienda instalar el más reciente.
- c. Seleccionar el puerto al que se encuentra conectada la antena y para finalizar dar clic en el botón recover que se encuentra en la parte inferior derecha tal y como se observa en la Figura 47.

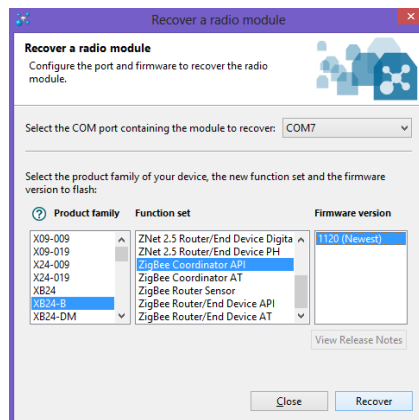


Figura 47 Configurar antena para función coordinador o router.

2. Configurar datos de la red en la que trabajará la antena como se muestra a continuación:

- a. Cambiar al modo de configuración de trabajo dando clic en el icono de un engrane que se encuentra en la parte superior derecha de la pantalla de inicio del programa XCTU como se observa en la Figura 48.

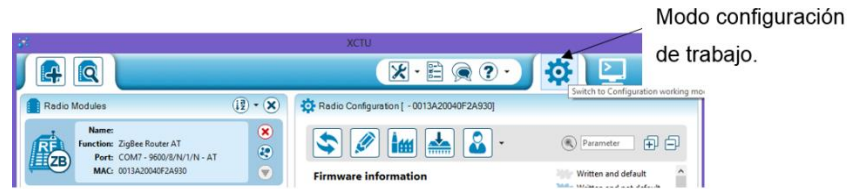


Figura 48 Modo configuración de trabajo XCTU.

- b. Datos principales a configurar:

- i. Coordinador de la red:

Pan ID	Id deseado para la red
Scan duration	3
Node Join Time	FF
Baud Rate	57600

*Todos los demás datos dejarlos configurados por default.

- ii. Router API: Esta configuración es utilizada para el caso en el que la antena coordinadora se encuentre fuera del alcance de la antena end device y los datos no lleguen de manera correcta, por lo cual se debe colocar un repetidor (Router AT) para que este sirva como enlace entre dichos dispositivos.

PAN ID	Mismo que el del coordinador de la red
DH (Destination Address High)	Primeros seis dígitos del número de serie impresos al reverso de la antena destino ó 0 en caso de que el destino sea el coordinador
DL (Destination Address Low)	Últimos ocho dígitos del número de serie impresos al reverso de la antena destino ó 0 en caso de que el destino sea el coordinador
Baud Rate	57600

- iii. En device AT: Dispositivo que consume menor energía que las configuraciones de Router AT y coordinador ya que la mayor parte del tiempo se la pasa dormido y es el encargado de coleccionar la información de los sensores y enviarla al coordinador.

PAN ID	Mismo que el del coordinador de la red
DH (Destination Address High)	Primeros seis dígitos del número de serie impresos al reverso de la antena destino ó 0 en caso de que el destino sea el coordinador
DL (Destination Address Low)	Últimos ocho dígitos del número de serie impresos al reverso de la antena destino ó 0 en caso de que el destino sea el coordinador
Baud Rate	57600
AD0/DIO0	ADC [2]
AD1/DIO1	ADC [2]
AD2/DIO2	ADC [2]
AD3/DIO3	ADC [2]
DIO4	Digital Out, Low [4]
DIO10	Digital Input [3]
DIO11	Digital Input [3]
DIO12	Digital Input [3]
ST (Time Before Sleep)	Tiempo en ms en que la antena End Device AT permanecerá dormida y no enviará datos.
IO Sampling Rate	Tiempo (insertar dato en hexadecimal) en ms de muestreo deseado

- c. Guardar datos en antena presionando el botón write radio settings el cual tiene un icono de un lápiz ubicado en la parte superior tal y como se observa en la Figura 49.

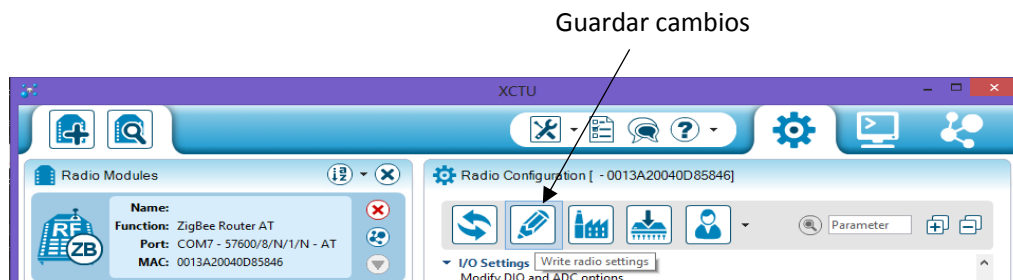


Figura 49 Guardar cambios en antena.

A.2 ¿Cómo agregar una antena XBee al módulo central por medio del programa Serial Port?

Una vez configurada la antena XBee siguiendo los pasos del anexo A.1 de manera correcta es necesario indicarle al módulo central que una nueva antena ha sido agregada a la red y que es necesario mostrar los datos de dicha antena, para lo cual se deben seguir los siguientes y sencillos pasos:

- a. Insertar el cable micro usb al puerto que se encuentra a un costado del conector de energía del arduino DUE y a la PC.
- b. Abrir el programa ejecutable nombrado Serial Port y configurar los datos siguientes para establecer conexión con el módulo central y dar clic en el botón Abrir puerto:

Com	Puerto al que se encuentra conectado el módulo central.
Baudrate	Velocidad de transmisión de datos (57600)

- c. Una vez establecida la conexión se mostrará una tabla con los datos más relevantes de las antenas que se encuentran en la red y el lugar en el que se ubican. Para agregar, borrar o modificar datos de una antena, seleccionar la acción deseada dando clic en la opción adecuada del menú que se encuentra en la parte superior del programa Serial Port como se puede observar en la y llenar los datos siguientes según corresponda:

Num de botón en touch	Indica en que botón se mostrarán las lecturas provenientes de la antena indicada en el módulo central.
ID impreso en antena	Son los últimos seis dígitos del número serial que se encuentran impresos al reverso de cada antena.
Lugar de muestreo	Indica el lugar en que se encuentra ubicada la antena.

- d. Una vez llenados todos los datos de manera correcta, dar clic en el botón enviar.



Figura 50 Programa Serial Port para configurar datos de antena.