

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Sistema de Transmisión Inalámbrico de Largo Alcance

Trabajo de graduación presentado por José Ángel Ochoa Molina para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2020

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería




Sistema de Transmisión Inalámbrico de Largo Alcance

Trabajo de graduación presentado por José Ángel Ochoa Molina para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,


2020

Vo.Bo.:


(f) 

Ing. Vidal Villegas


Tribunal Examinador:

(f) 

Ing. Vidal Villegas

(f) 

MSc. Carlos Esquit

(f) 

Ing. Pablo Mazariegos

Fecha de aprobación: Guatemala, 16 de Junio de 2020.

Este trabajo de graduación se presenta gracias a la oportunidad laboral que se me presentó en mis últimos años de carrera universitaria que me enseñaron el valor del tiempo y esfuerzo que requiere el convertirse en un profesional. Por esto mismo se realiza el trabajo con el deseo de entregar un proyecto que beneficie grandemente a quienes me brindaron la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo y depositaron su confianza en mi para llevar a cabo múltiples proyectos como este.

A pesar de que este trabajo de graduación es de mi autoría no podría haberse realizado sin la ayuda de amigos y familia que me apoyaron en cada paso del proyecto. Con esto no me queda mas que agradecerle a Dios por brindarme la oportunidad de tener amistades incondicionales y una familia unida, a quienes dedico este trabajo de graduación.

Prefacio	v
Lista de figuras	XIII
Lista de cuadros	XV
Resumen	XVIII
Abstract	XX
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Justificación	5
4. Objetivos	7
4.1. Objetivo general	7
4.2. Objetivos específicos	7
5. Alcance	9
6. Marco teórico	11
6.1. Basurero de Zona 3	11
6.2. Rellenos sanitarios	12
6.3. Dirección de Gestión y Manejo de Residuos y Desechos Sólidos	14
6.3.1. SICM	15
6.3.2. SSO	15
6.3.3. Obra civil	15
6.4. Peligros y riesgos en el sitio de disposición final	15
6.4.1. Incendios	16
6.4.2. Sismos	17
6.4.3. Accidentes	17
6.5. Alarmas	18

6.5.1. Funcionamiento	18
6.5.2. Tipos de alarmas	19
6.6. Tecnología Wi-fi	21
6.6.1. Estándar IEEE 802.11	21
6.7. Módulo Zigbee	22
6.7.1. Entradas y salidas	23
6.8. Java	24
6.8.1. Programación orientada a objetos	24
6.9. Circuito de potencia	26
7. Metodología	27
8. Investigación de sitio y tecnología	29
8.1. Situación de seguridad industrial en el SDF	29
8.2. Identificación del problema	29
8.3. Evaluación de sitios de riesgo	30
8.4. Estudio de tecnología disponible	31
9. Proposición de solución	33
10. Diseños propuestos	35
10.1. Diseño de red inalámbrica	35
10.2. Configuración de red inalámbrica	36
10.3. Diseño electrónico de módulos de temperatura	38
10.4. Alimentación de módulos	39
10.5. Diseño de case y cableado	39
11. Detalles del proceso	43
11.1. Evaluación de instalaciones	43
11.2. Selección de tecnologías	46
11.3. Configuración de red inalámbrica	50
11.4. Programación de módulos	55
11.5. Implementación de módulo de temperatura	59
11.6. Diseño de contenedores	61
12. Pruebas de funcionamiento	65
12.1. Comunicación inalámbrica	65
12.2. Lectura y envío de temperatura de red	67
12.3. Accionamiento de alarmas	69
12.3.1. Modo manual	69
12.3.2. Modo automático	71
13. Discusión de resultados	73
14. Conclusiones	75
15. Recomendaciones	77
16. Bibliografía	79

Lista de figuras

1.	Relleno sanitario en Ciudad de Guatemala 2015	12
2.	Funcionamiento de un relleno sanitario	12
3.	Tractor de oruga	13
4.	Tractor compactador	13
5.	Excavadora	14
6.	Retro excavadora	14
7.	Triángulo del fuego	16
8.	Tipos de accidentes	18
9.	Alarma sonora contra incendios	20
10.	Alarma contra incendios visual y sonora	20
11.	Ejemplo de sistema Wi-fi	21
12.	Módulos Zigbee	22
13.	Red de Zigbee	23
14.	Topología de malla Zigbee	24
15.	Topología DigiMesh	24
16.	Plataforma Eclipse	25
17.	Contactador industrial	26
18.	Diagrama de flujo de metodología.	27
19.	Distancia de prueba de sirena a bodega.	30
20.	Distancia de prueba de bodega a básculas.	30
21.	Xbee3 mesh kit	31
22.	Ventana inicial de la aplicación WinBox	35
23.	Topología de malla	36
24.	Configuración de red en XCTU	36
25.	Configuración de red en XCTU	37
26.	Diagrama de módulo de temperatura	38
27.	Ecuación de duración de batería	39
28.	Diseño propuesto para case de modulo inalámbrico	40
29.	Cable de red categoría 5A	40
30.	Dado de terminales de red	41

31.	Dado de red hembra	41
32.	Combustible almacenado en bodega	43
33.	Torre de control en bodega	44
34.	Alarma de sirena en SDF	45
35.	Software XCTU	46
36.	Entorno de programación Eclipse	47
37.	Características de empaquetado LM35	48
38.	Diseño de empaquetado LM35DZ TO92	49
39.	Aplicación típica de empaquetado LM35	49
40.	Adición de dispositivo a XCTU	50
41.	Modulo conectado exitosamente como router	51
42.	Adición de múltiples dispositivos	52
43.	Configuración de red de coordinador	53
44.	Configuración de red de router	53
45.	Configuración UART	54
46.	Resumen de configuración de módulos	54
47.	Librerías implementadas	55
48.	Definición de variables estáticas	56
49.	Configuración de red en software	56
50.	Configuración de entradas y salidas	57
51.	Ciclo principal de funcionamiento	58
52.	Prototipo de módulo de temperatura	59
53.	Medición de voltaje de temperatura	59
54.	Termómetro digital utilizado	60
55.	Termómetro análogo utilizado	60
56.	Vista isometrica case	61
57.	Vista superior case	61
58.	Vista frontal case	62
59.	Vista inferior case	62
60.	Vista isometrica tapa	62
61.	Vista frontal tapa	63
62.	Vista isometrica de módulo de sensores	63
63.	Vista superior de módulo de sensores	63
64.	Entrada de sensores en módulo	64
65.	Alimentación y datos de módulo de sensores	64
66.	Resultados de conexión de sirena a bodega	66
67.	Resultados de conexión de bodega a báscula	66
68.	Resultados de conexión a 200 metros de separación	67
69.	Relación de temperatura contra voltaje	67
70.	Relación de voltaje contra valor ADC	68
71.	Lecturas de temperatura	68
72.	Buzzer de alarma apagado	69
73.	Buzzer de alarma encendido	69
74.	Rele de alarma apagado	70
75.	Rele de alarma encendido	70
76.	Prototipo del sistema en funcionamiento	71

77.	Xbee 3 development board	81
78.	Distribución de pines en Xbee 3	82
79.	Descripción de pines en Xbee 3 SMT	83
80.	Tabla de configuraciones para Xbee 3	84
81.	Descripción general de LM35	85
82.	Diagrama de empaquetados LM35	86
83.	Tabla de valores máximos LM35	87
84.	Tabla de características eléctricas de LM35	87
85.	Gráfica comportamientos de LM35	88
86.	2. Gráficas de comportamientos de LM35	89
87.	Diseño de empaquetado LM35DZ	90
88.	Código programado en Java	91
89.	Código programado en Java	92
90.	Código programado en Java	93
91.	Código programado en Java	94
92.	Código programado en Java	94

Lista de cuadros

1.	Escala de sismos	17
2.	Plataformas de desarrollo	46

En 1953, se dispuso el área conocida como el relleno sanitario, ubicado en la zona 3 de la ciudad de Guatemala, en el cual se vierten y controlan los desechos de dicha ciudad. A medida que la ciudad aumentó en población, así también lo hicieron los desechos y, por lo tanto, surgió la necesidad de una gestión formal para estos. La gestión de dicho sitio pronto necesitó de un grupo de trabajo más amplio y del uso de maquinaria pesada, para el manejo apropiado de los residuos sólidos en el sitio, un sitio de alto riesgo por parte de potenciales deslaves e incendios. El sitio en donde se ubica el relleno sanitario es considerado de alto riesgo, para la vida e integridad humana, debido principalmente por los potenciales deslaves e incendios. La mayor parte del equipo de trabajo se ve expuesto tanto a riesgos naturales, como ya fue mencionado con anterioridad, o de índole accidental, por lo es necesario implementar protocolos y sistemas de seguridad para resguardar la vida del grupo.

En el sitio de disposición final se requiere estar en constante alerta por distintas amenazas, como las ya antes mencionadas. Sin embargo, estar alerta no es suficiente, ya que, al reconocerse una situación de peligro, se debe informar al equipo de trabajo de la situación, en la menor cantidad de tiempo posible, para poder reaccionar a esta.

La automatización, en la seguridad industrial denota una mejora en la detección de situaciones de riesgo para los trabajadores que se encuentran expuestos a estas. Con el propósito de mejorar la seguridad del sitio de trabajo, se propone utilizar un dispositivo, comprendido por una red de módulos de sensores y actuadores, para automatizar el proceso de detección temprana de incendios. Este dispositivo de forma continua toma mediciones del ambiente y en el caso de obtener valores mayores a los preestablecidos, emitirá una alarma. Los módulos de sensores se encontrarán conectados por medio inalámbrico, los cuales se localizan en puntos estratégicos a lo largo del área de trabajo, para que en el momento de que exista un conato de incendio, el alcance de la alarma sea desde donde se ubiquen trabajadores de campo y así tener una evacuación pronta y salvaguardar sus vidas.

La red de módulos deberá ser una de tipo inalámbrico, debido a la vasta extensión del área de trabajo, para lo cual se utilizarán módulos xBee Zigbee que se especializan en la comunicación inalámbrica segura, de bajo consumo, capaz de crear una red de tipo mesh que permite alcanzar distintos puntos en la red incluso en el caso de que un módulo presente desperfectos.

Se escogen puntos de ubicación específicos, que se consideran de riesgo como la bodega de materiales del sitio de trabajo, en la cual se almacenan tanto materiales inflamables como combustible. Por lo que es imprescindible colocar el dispositivo desarrollado para poseer una mejor seguridad industrial en la bodega.

In 1953, the area known as Relleno Sanitario" was established, located in Guatemala city zone 3, in which wastes are disposed and controlled. As time went by the city grew its population, and so did the waste generated by it and the necessity for a formal management was born. The management of this place quickly developed the need of a wider working organization as well as the use of heavy machinery for the proper management of the wastes received in the disposal site, a place that grew constantly in fire and landslide dangers. The site in which the disposal central was established is considered a highly dangerous place due to the respective fires and landslides constantly threatening people in it. The majority of the workers on the site usually are exposed to not only these dangers but also working dangers as well as natural risks affecting the disposal site, which is why it is necessary to implement protocols and security systems to protect their lives.

In the Disposal Site it is required to be in constant lookout for various threats as the before mentioned. However being alert just isn't enough, due to the need to communicate a hazardous situation as soon as it is recognized and the whole working group should be informed in the least amount of time to be able to react to it.

Automatization, in industrial security, proves a big improvement in the detection of hazardous situations for workers in close proximity to this. With the purpose of improving security in the working site the proposition of creating a device, consisting of a sensor and actuators network that automatize the process of detecting and alerting of fires on the working site. This device will be able to obtain temperature values and determine whether a fire is occurring or not depending on the pre-established values on the system. The connection throughout the network will be wireless to be able to locate these systems all around the working site without the need of data cabled to it and ensure a secure connection to evacuate all workers in the site as soon as possible to avoid injuries.

This network needs to be wireless due to the great extension in the disposal site, which is why the technology chosen for this is Xbee Zigbee modules which specialize in long range secure connections of ultra low electric consumption, capable of creating Mesh networks that allow communications between nodes beyond their maximum working range.

The sites chosen for this prototype are the ones presenting the most hazardous charac-

teristics, like the storage room, that contain flammable objects and combustibles that could cause the fires to quickly spread resulting in severe injuries to the workers on its reach. This is the main reason why the storage room is in need of industrial security measures.

CAPÍTULO 1

Introducción

En toda área de operaciones de cualquier entidad siempre será el recurso más valioso el recurso humano por lo que una de las prioridades para resguardar y proteger a los trabajadores es invertir en su salud y seguridad. Con este propósito nace el departamento de Seguridad y Salud Ocupacional en el Sitio de Disposición Final que protege al empleado y previene en la medida de lo posible cualquier accidente haciendo énfasis en reducir los peligros en las distintas áreas de trabajo. Al día de hoy se ha logrado reducir diversas situaciones de peligro e implementar una sirena de emergencia que se activa si se presentara un caso que requiera una evacuación completa de tanto el personal de trabajo como de los particulares que se encontraran dentro del área de operación.

La psicología social describe una sirena de alarma como “un fragmento sonoro sin sentido propio que adopta la forma y sentido de alarma precisamente por su continua repetición”. Por lo tanto la sirena es un dispositivo de alarma ideal para el sitio de trabajo debido a que puede escucharse a una distancia considerable y es funcional tanto bajo la luz del sol y en la oscuridad de la noche, por lo cual no es extraño que siempre que cualquier tipo de emergencia se presente escucharemos una sirena alertando para ya sea prestar atención a la emergencia o buscar resguardo.

La automatización en los sistemas de seguridad es un tema de investigación basto y de gran utilidad pues a menor sea la intervención del usuario menor probabilidad existirá de caer en el error humano, por lo cual es inminente mantenerse a la vanguardia en este campo. Actualmente la sirena cuenta con un sistema de activación manual por medio de un interruptor que puede ser fácilmente accedido en la desafortunada ocasión de un desastre natural o situación de peligro. sin embargo su fácil acceso también da lugar a una activación accidental o no autorizada por lo cual se implementará una activación de forma automática y se colocara un activador manual en un sitio más seguro para evitar falsas alarmas.

Como parte de la automatización se implementan sensores de temperatura que buscan monitorear sitios de alto riesgos de incendio debido materiales inflamables o posibles combustible que puedan dar inicio a conatos de incendio. El uso de sensores de temperaturas en la detección y prevención de incendios tanto forestales y en sitios de trabajo ha sido in-

plementado repetidas veces con resultados satisfactorios como se resume en varios trabajos de investigación. Por ejemplo en el proyecto realizado en la empresa ACETERM durante el proyecto de investigación de alerta temprana de incendios donde se utilizan diversos sensores para prevenir incendios por medio de detección de altas temperaturas, bajos niveles de humedad y humo.

Para la comunicación de datos se optó por una comunicación de tipo inalámbrica entre módulos debido a que las extensiones entre cada módulo será considerable y comunicarnos por medio alámbrico inducirá cantidades notables de ruido electrónico además de que sería un potencial problema debido a la corrosión que se da en el ambiente del Sitio de Disposición Final. La comunicación se realizará con los módulos Zigbee Xbee3 que permiten comunicación RF utilizando una red mesh que permite conectar distintos puntos a un coordinador y comunicarse entre ellos. Esta tecnología se ha probado en distintos proyectos y prueba una gran confiabilidad en términos de seguridad de datos y estabilidad de red, como se demostró en el artículo de “Redes de Sensores Inalámbricos, la tecnología invisible” donde se utiliza una red Mesh de módulos Zigbee para implementar un sistema de anti incendios en una zona forestal a través de largas distancias y demás proyectos.

CAPÍTULO 2

Antecedentes

Tanto la quema de cobre como conatos, resultados de descuidos por el público, dan lugar a conatos de incendio que debido a la alta cantidad de material combustible y la presencia de gases naturales crean las condiciones apropiadas para incendios que llegan a tener extensiones de alto riesgo y la dificultad de atravesar el sitio dificulta la movilidad de los bomberos municipales para apaciguar las llamas de los incendios, permitiendo que este se extienda aun más. Adicionalmente se encuentran casos de deslaves naturales de basura como el caso dado en el año de 2016 en el cual se perdieron 14 vidas en un trágico evento. Esto confirma la necesidad de un sistema apropiado de seguridad y detección de riesgos para salvaguardar la vida de tanto los ciudadanos cercanos al sitio así como el personal de trabajo dentro del sitio.

Las alarmas, a pesar de que en la mayoría de ocasiones no pueden prevenir que accidentes ocurran, pueden reducir considerablemente las consecuencias de los accidentes ocurridos en los sitios de trabajo. La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos recomienda un protocolo de evacuación apropiado a su vez acompañado de una alarma de tipo sirena que indique el momento en el que la situación de peligro se solventa, por lo cual la sirena implementada en el proyecto de graduación será una gran adición al departamento de Seguridad y Salud Ocupacional del Sitio de Disposición Final. Las alarmas también pueden ser de distintos tipos, como alarmas preventivas como la que se implementara con ayuda del sensor de temperatura con el objetivo de prevenir posibles conatos en el área de bodega, donde se albergan combustibles fósiles y material inflamable como maderas y plásticos, además de la estructura estar hecha de madera.

La red inalámbrica nos permite comunicar los nodos a través de grandes distancias gracias a la tecnología mesh que le permite a cada nodo enviar y recibir solicitudes de datos que el coordinador desee enviar buscando rutas alternas en el caso que algún nodo encuentre fallos. La corrosión es otro problema que podría afectar grandemente el cableado ya que el ambiente soleado y fuertes vientos con polvo, por lo que un sistema de RF evita este problema al mismo tiempo que permite conexiones de largo alcance. Adicional a esto el módulo consumirá muy poca corriente por lo que alimentación con distintas alternativas es posible, por ejemplo alimentación solar.

4.1. Objetivo general

Ensamblar un prototipo funcional de un sistema de transmisión inalámbrico de largo alcance; capaz de transmitir información recabada de sensores como accionar actuadores de manera segura y efectiva.

4.2. Objetivos específicos

- Seleccionar puntos estratégicos para colocar los módulos conformantes del sistema acorde a la capacidad de la tecnología a utilizar y la topología del sitio.
- Implementar la lectura remota de un tipo de sensor de manera automatizada.
- Implementar la activación remota de un actuador de manera manual para emergencias que no reconozca el sistema.
- Diseñar e implementar los circuitos de potencia necesarios accionar los actuadores.

CAPÍTULO 5

Alcance

Con este proyecto se espera alcanzar una solución a la problemática de la falta de un sistema de alarmas de emergencias con la entrega de un prototipo funcional. Se espera que dicho prototipo presente una solución que pueda industrializarse para cumplir con todas las necesidades del Sitio de Disposición Final para que sea un sistema duradero e independiente tras su instalación, lo cual resultara en un sistema de seguridad pasivo que proteja el personal de trabajo los 365 días del año con la menor cantidad de intervenciones posible con el sistema.

6.1. Basurero de Zona 3

Tras el asentamiento de la capital de Guatemala rápidamente se aglomeraron varios ciudadanos en los alrededores de dicho palacio, cada vez extendiéndose más a medida que la población en la capital aumentaba. Tras un aumento considerable de ciudadanos los desechos empezaban a acumularse en diversos basureros clandestinos por lo que una organización de los desechos sólidos generados por el pueblo era necesaria. Una de las prácticas más comunes y sencillas para disponer de dichos desechos sólidos es el uso de un relleno sanitario, en el que grandes hoyos naturales o artificiales se rellenaban con los desechos para su posterior recubrimiento. Esta práctica es utilizada desde hace mucho tiempo, llegando hasta el siglo V a.C. en el que se utilizaba un sistema de recolección y disposición para llevar los desechos a mínimo una milla de los alrededores de las murallas de las ciudades, como en la ciudad de Atenas cerca del año 500 a.C. . En la ciudad de Guatemala se dispuso a utilizar un barranco en la actual conocida zona 3 como un relleno sanitario como resultado del súbito aumento de desperdicios y desechos generados por el ser humano debido a la revolución industrial que aumentó exponencialmente el consumo de los ciudadanos y como resultado los desperdicios generados, dando así inicio al Relleno Sanitario de la Ciudad de Guatemala. El relleno sanitario se designó como un botadero de desechos sólidos en el año de 1953, lo cual excluye desechos de tipo líquidos y de emisiones atmosféricas, sin embargo la desorganización y mal tratamiento del llenado del relleno daría sus consecuencias años después. A principios del siglo XXI varios accidentes empezarían a salir a ser de conocimiento público, como múltiples incendios, accidentes laborales, camiones y maquinaria soterrada finalizando con el deslave del año 2008 en el cual se perdieron la vida de 4 pepenadores , popularmente conocidos en Guatemala como guajeros. Esto llamó la atención del pueblo de Guatemala y generó la necesidad de reformular la administración y proceso de tratamiento de suelos en el Relleno Sanitario para obtener un mejor control sobre el área y velar por la seguridad de las personas dentro de este mismo.



Figura 1: Relleno sanitario en Ciudad de Guatemala 2015 [1]

6.2. Rellenos sanitarios

Los basureros a cielo abiertos generan distintas problemáticas y controversias sobre su efectividad, viniendo desde los malos olores, llegando a la contaminación de varios sectores que lo rodean hasta la proliferación de distintas plagas como lo son las ratas y cucarachas que se alimentan en estos ambientes. Como resultado del almacenamiento en masa de productos en descomposición también se hacen presentes lixiviados tóxicos, los cuales son líquidos tóxicos que contaminan los mantos acuíferos y aguas superficiales en su cercanía. Al mismo tiempo los productos en descomposición como resultado generan metano, un gas altamente combustible que se almacena en el subsuelo y puede llegar a crear salidas naturales de este gas, siendo un agente combustible capaz de crear grandes incendios, como sucedió varias veces en años pasados como se reporta en el año del 2006 en *elPeriodico*.

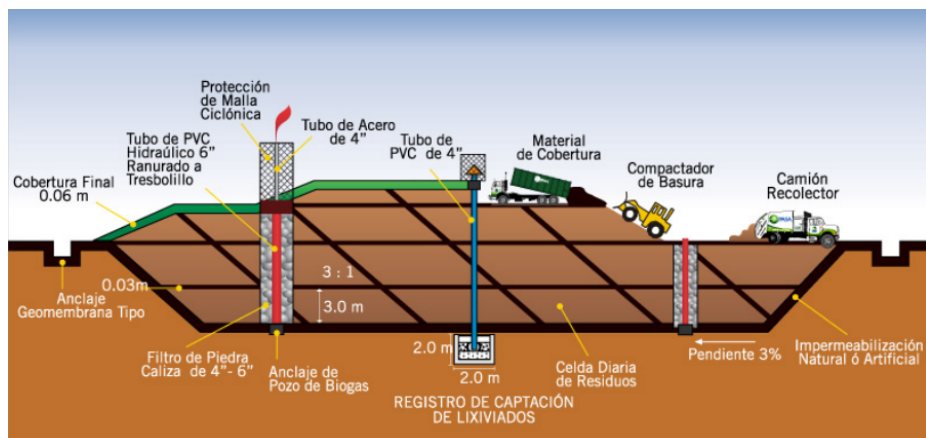


Figura 2: Funcionamiento de un relleno sanitario [2]

Maquinaria

Para el correcto tratamiento y disposición de los desechos se emplea maquinaria pesada para su correcta organización, como lo son tractores de oruga, compactadoras, excavadoras y retro excavadoras para poder colocar, apelmazar y distribuir en sus debidos sectores los desechos. Los tractores se encargan del movimiento de los desechos mientras las compactadoras se encargan del apelmazamiento de estos. Las excavadores con la ayuda de retro excavadoras y tractores se encargan de la realización de taludes, los cuales son un fuerte apoyo para la rigidez estructural de los distintos niveles realizados en las distintas celdas. Adicionalmente la maquinaria es utilizada en distintas tareas como apoyo a obra civil y volteo de camiones en caso de que surjan distintos tipos de emergencias.



Figura 3: Tractor de oruga



Figura 4: Tractor compactador



Figura 5: Excavadora



Figura 6: Retro excavadora

6.3. Dirección de Gestión y Manejo de Residuos y Desechos Sólidos

Con el propósito de mejorar la organización en el relleno sanitario de la ciudad de Guatemala se crea la Dirección de Gestión y Manejo de Residuos y Desechos Sólidos Según el acuerdo COM-15-2017. Dicha dirección se responsabiliza de la gestión de los residuos y desechos sólidos generados en la municipalidad de Guatemala y diversos municipios aledaños. Además de esto la susodicha dirección se encarga de promover y ejecutar planes de disposición de residuos alternativos con la finalidad de mejorar la calidad de vida de los vecinos de la ciudad de Guatemala.

6.3.1. SICM

Como parte de la innovación en los procesos de gestión de los desechos nace la jefatura de Sistemas Informáticos de Control y Monitoreo. Dicha jefatura implementara una un sistema de control y pesaje de los desechos que se disponen dentro del Relleno Sanitario con el uso de un sistema de doble basculas automatizadas. Así mismo implementa nuevas soluciones a problemas dentro del sitio de trabajo haciendo uso de nuevas e innovadoras tecnologías para poder crear estadísticas y al mismo tiempo predicciones del comportamiento del Sitio de Disposición Final para poder planear a futuro con la información recabada.

6.3.2. SSO

Debido a los diversos riesgos a los que el personal de trabajo se ve expuesto en el Sitio de Disposición Final se crea la jefatura de Seguridad y Salud Ocupacional, la cual gestiona todas las medidas de seguridad necesarias para evitar los peligros y riesgos presentes en el área de trabajo de cada equipo de la dirección correspondiente. Para proveer las medidas de seguridad necesarias la jefatura de SSO utiliza diversas técnicas, como lo son las capacitaciones de personal, proveer de equipo de seguridad adecuado para cada trabajo, supervisar que los trabajos se realicen de manera adecuada y asegurarse de que cada área cuente con el equipo necesario para atender emergencias provocadas por accidentes o agentes de riesgo como lo son los incendios espontáneos.

6.3.3. Obra civil

Dentro de las instalaciones del sitio de disposición final también se cuenta con un equipo de obra civil, el cual consta de albañiles, ayudantes de albañilería y maestros de obra así como un arquitecto que dirige el personal. La tarea de este equipo es la construcción de las nuevas instalaciones planificadas para el personal administrativo y oficinas para la jefatura de SICM. El personal de Obra Civil también cumple con la tarea de apoyo en el área de mantenimiento de equipos e instalaciones tanto de muebles como eléctricas, bajo la supervisión del adecuado personal y el correcto almacenamiento del equipo de trabajo y herramientas utilizadas por el personal del Sitio de Disposición Final.

6.4. Peligros y riesgos en el sitio de disposición final

La Real Academia Española (2014) define peligro y riesgo respectivamente como “Capacidad intrínseca de una sustancia o potencialidad de una situación física para ocasionar daños a las personas, los bienes y el medio ambiente” y “Contingencia u objeto que dan proximidad a un daño” por lo cual los riesgo pueden dar lugar a una situación de peligro, el cual conlleva consecuentemente a un potencial accidente. Debido a las diferentes tareas realizadas en el área de trabajo, dicho sitio se encuentra expuesto a distintos riesgos y peligros que pueden resultar en accidentes laborales con menores consecuencias pero también con graves y letales conclusiones. A continuación se describen los distintos tipos de peligros a los cuales se encuentra expuesto el Sitio de Disposición Final.

6.4.1. Incendios

Como parte del trabajo realizado del grupo de Obra Civil se designó un espacio como bodega de materiales de trabajo, en el cual se almacenan herramientas de distintos tipos así como insumos y materiales varios. Dentro de los insumos y materiales se encuentran algunos en la categoría de altamente inflamables, pero por falta de espacio y recursos es imposible resguardarlos en un espacio seguro y alejado de otro materiales inflamable, lo cual representa un constante peligro para el sitio de trabajo y el personal de trabajo. Un incendio se define como “un fuego grande que destruye lo que no debería quemarse” el cual si no se contiene a tiempo y con las debidas medidas puede llegar a extenderse y tanto destruir materiales como causar heridas graves a personal de trabajo resultando en graves consecuencias. Para que un incendio de lugar es necesario un agente combustible, como lo es el material de trabajo en el cual se encuentran distintas herramientas de maderas y tablas, un agente de calor que da inicio al fuego y oxígeno. La alta probabilidad y riesgo latente de incendio se debe a la alta cantidad de material inflamable presente en todo el sitio de trabajo así como en los patios de disposición por lo cual deben tomarse muchas medidas de precaución ante este peligro.

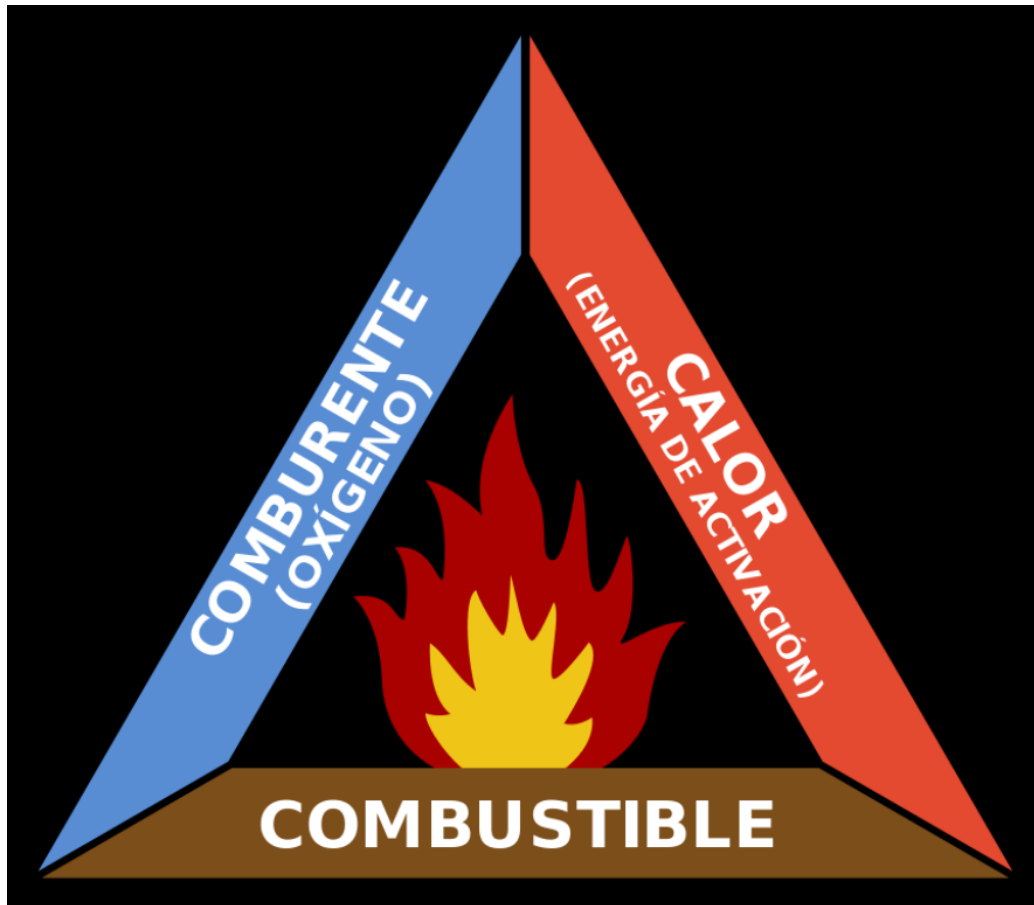


Figura 7: Triángulo del fuego [3]

6.4.2. Sismos

Los sismos naturales son causados por movimientos de placas tectónicas subterráneas que dan lugar a movimientos de la tierra en la superficie. Estos son medidos según la escala de (*Richter*) que cataloga los sismos en una escala numérica de 0 hasta 8 según registros. De 0 - 3.5 los sismos son imperceptibles aunque pueden ser registrados. Los sismos más leves registrados se conocen como temblores y van de 3.6 - 6.0 durante los cuales pueden llegar a causar daños estructurales en edificaciones con estructura débil. De 6.1 - 8.0 se da lo que se conoce como terremoto, un gran sismo capaz de causar daños estructurales incluso en edificios con fuertes cimientos. Finalmente se encuentran los grandes terremotos más allá de los 8.0 puntos en la escala de (*Richter*), los cuales causan grandes daños y destrucción a todas las edificaciones que se encuentren en el área de efecto del sismo.

Magnitud, escala Richter	Efectos del sismo o terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3.5-5.4	A menudo se siente, pero solo causa daños menores
5.5-6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios
6.1-6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas donde vive mucha gente
7.0-7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños.
8 ó mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas

Cuadro 1: Escala de sismos. Datos recuperados de servicio geológico mexicano [4]

La razón por la cual los sismos representan un riesgo potencial dentro del sitio de disposición final es la debilidad estructural que representa el suelo creado en los patios del relleno sanitario debido a que la basura se encuentra sujeta a descomposición, la descomposición causa que el nivel de los patios varíe en varios sectores, lo cual resulta en una débil estructuración de las diferentes capas del subsuelo. Como consecuencia un sismo podría ser capaz de sacudir la ya débil capa de subsuelo crean grandes deslaves de tierra y basura, resultando en graves accidentes que podrían incluso resultar letales.

6.4.3. Accidentes

Los accidentes son definidos por la Real Academia Española (2014) como “Sucesos eventuales o acciones que resultan en daño involuntario para las personas o las cosas”. Debido al constante trabajo realizado por obra civil como en los patios de disposición los riesgos a accidentes laborales siempre existirán debido a la maquinaria utilizada por obra civil durante su trabajo y la altura a la que deben laborar. De la misma manera, en los patios de trabajo la maquinaria pesada se encuentra trabajando constantemente, representando un peligro para tanto el personal de trabajo municipal como para recolectores cercanos. Dichos peligros si no se les da la atención y el cuidado respectivo pueden llegar a resultar desafortunadamente en distintos tipos de accidentes para el personal que llegue a inhabilitarlos, resultando en pérdidas económicas para tanto el afectado como para la empresa, además de inhabilitar temporal o permanentemente distintas habilidades del afectado.



Figura 8: Tipos de accidentes

6.5. Alarmas

Los sistemas de alarmas son sistemas de seguridad pasivos, dichos sistemas no cumplen la función de evitar el suceso no deseado, sino advertir de la ocurrencia del mismo a quienes no están directamente en contacto visual o no es de su conocimiento la situación que se esté llevando a cabo. Las alarmas pueden avisar de distintas situaciones como lo son: la intrusión de personas, inicio de fuego, desbordamiento de tanques, presencia de agentes tóxicos o cualquier otra situación anormal para los distintos usuarios en su alcance.

6.5.1. Funcionamiento

Las alarmas deben de tener tanto alimentación de corriente así como de datos, la corriente le permite activarse en cuanto los datos necesarios le sean proporcionados. Dependiendo del tipo de alarma, diferentes tipos de condiciones deberán cumplirse para activarse. Dichas condiciones podrán registrarse de manera tanto mecánica como digital, cada una correspondiendo al sistema de detección que le sea instalada. Adicionalmente puede ser de activación manual, lo cual puede realizarse por medio de un accionador como un botón o una palanca. La corriente que la alarma exige también dependerá del tipo de alarma así como de la potencia necesaria para activarla y mantenerla en este estado.

6.5.2. Tipos de alarmas

Las alarmas pueden catalogarse en distintos tipos, los cuales son: según el área controlada, según su función, según el aviso y según el sistema. Cada alarma cumple una función especial en las áreas en las que protege, ya que no cualquier alarma puede ser percibida en cualquier ambiente. Los tipos de alarmas según su categoría se listan a continuación.

Según área controlada

- Única zona: Cubre un área concreta en la se ubique el personal en su mayoría.
- Varias zonas: Tipo de alarma que cubre áreas múltiples como diferentes pisos de un edificio.

Según función

- Control de intrusos: Alerta de entradas en sistemas de personal no autorizado.
- Anti-incendios: Alerta de conatos de incendio.
- De inundaciones: Alerta de niveles altos de agua.
- De información: Alertas de texto específicas.

Según aviso

- Tipo visual: Por medio de luces o flashes.
- Tipo auditiva: Por medio de sistemas sonoros de tipo sirenas.
- Tipo informativa: Por medio de llamadas telefónicas o mensajes de texto.

Según Sistema

- Mediante cable: ofrecen garantía de durabilidad y seguridad.
- Inalámbrico: Permite fácil instalación.
- De monitorización: Permite controlar de manera remota y en tiempo real resultados.



Figura 9: Alarma sonora contra incendios [5]



Figura 10: Alarma contra incendios visual y sonora [5]

Es importante contar con los distintos tipos de alarmas necesarios para cada tipo de situación ya que no cualquier alarma es capaz de transmitir la alerta con la misma efectividad en todos los medios y situaciones, por lo que debe estudiarse cada sitio y situación específica para maximizar la cantidad de personas advertida en el caso de una emergencia. También pueden ser de tipo automática, manual o una combinación de ambas y queda a discreción del usuario cuál será el tipo más apropiado para utilizar en el sitio que se instalarán.

6.6. Tecnología Wi-fi

Wi-fi se puede definir como “Tecnología de comunicación inalámbrica que permite conectar distintos dispositivos eléctricos mediante el uso de radiofrecuencias, infrarrojo, (*bluetooth*) u otros medios para la transmisión de información”. Para lograr la comunicación dicha tecnología hace uso de distintos estándares y protocolos que se especifican en la IEEE802.11 para lograr asegurar que los distintos tipos de dispositivos que intenten conectarse por medio de wi-fi logren transmitir información entre ellos y tengan inter-compatibilidad.



Figura 11: Ejemplo de sistema Wi-fi [6]

6.6.1. Estándar IEEE 802.11

Dependiendo del rango y cobertura que se desee para cada red se pueden clasificar los distintos tipos dentro del estándar IEEE802.11 en: WPAN (Wireless Personal Area Network); WLAN (Wireless Local Area Network) las cuales siguen el estándar IEEE 802.11X; WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) las cuales se basan en el estándar IEEE 802.16X y WWAN (Wireless Wide Area Network) con el alcance más alto de todos los tipos utiliza tecnología UMTS (Universal Mobile Telecommunication Systems) como la utilizada en los dispositivos con GPRS (General Packet Radio Service).

- **Número de Canal:** es el identificador de frecuencias de trabajo de la red. En cada tipo de diferente de redes utilizado se utiliza una separación entre canales especial para evitar conflictos. Para algunos canales como el 802.11a no existe riesgo de conflicto entre canales siempre que los nodos operen en canales diferentes.
- **Potencia de Transmisión:** La potencia de transmisión es la encargada de variar el rango de cobertura de la red. La cobertura es directamente proporcional a la potencia, pero la interferencia también será directamente proporcional a dicha potencia, por lo cual debe evitarse elevarse demasiado.
- **Velocidad de Transmisión:** Dicha velocidad depende del estándar utilizado por el dispositivo, teniendo un máximo en 11Mbps para 802.11a y 54Mbps para 802.11b por ejemplo. Sin embargo emplear una velocidad más lenta asegura de mejor manera la entrega de paquetes dentro de la red y una mayor cobertura.
- **Modos de Operación:** se definen dos modos de operación en dicho estándar, el modo de infraestructura en el que los clientes de tecnología inalámbrica se conectan a un punto de acceso y el modo ad-hoc en el que los clientes se conectan entre sí sin ningún punto de acceso. **SSID (Service Set Identifier):** es el nombre de la red LAN inalámbrica. Dicho identificador se compone de hasta 32 caracteres en los cuales se puede utilizar

mayúsculas, minúsculas y números para crear la asociación de dicha red inalámbrica. El identificador puede colocarse en modo invisible para garantizar una mayor seguridad de la red.

- RTS/CTS (Request To Send/Clear To Receive): es un método utilizado por el estándar 802.11 para reducir la cantidad de colisiones de datos. Para lograr esto utiliza el mecanismo CSMA/CA que le da robustez a la red pero incrementa el tráfico en la red. Cuando se envían datos se envía una RTS y se espera la respuesta de CTS, si el RTS/CTS responde de manera correcta los datos se envían. En este tramo se lleva a cabo el filtro MAC de acceso al medio cifrado WEP o WPA y restricciones de acceso.
- Modo Ad Hoc: conocido también como de punto a punto permite establecer comunicación directa entre cada nodo sin necesitar pasar por el administrador central, lo cual permite comunicación directa a cualquier punto necesario de manera inmediata. Sin embargo dicho modo de funcionamiento funciona mejor en redes con pocos nodos, por lo cual a medida que el número de nodos el rendimiento decrece.
- Modo infraestructura: cada estación se comunica por medio del enlace inalámbrico central, dicha configuración por nodos y enlace inalámbrico se denomina conjunto de servicio básico denominado también BSS. Es posible combinar distintos enlaces inalámbricos juntos para crear redes más grandes manteniendo calidad, dicha red se denomina célula y se identifican dentro de la red con un BSSID que corresponde a la dirección MAC del punto de acceso.

6.7. Módulo Zigbee

Con una gran diversidad de dispositivos, los módulos Zigbee se centran en el desarrollo de sistemas de comunicación inalámbrica, los cuales se centran en una comunicación de baja tasa de transmisión y recepción de datos para asegurar el menor consumo energético posible. Para lograr la creación de redes inalámbricas los módulos Zigbee son capaces de utilizar distintos protocolos de alto nivel de comunicación con la intención de crear una red segura, para esto se utiliza el protocolo IEEE 802.15.4. También utiliza la tecnología de comunicación inalámbrica banda ISM de 2.4GHz para comunicarse con los distintos nodos ya que esta es globalmente compatible con distintos dispositivos de comunicación inalámbrica.



Figura 12: Módulos Zigbee [7]

Dicho dispositivo presenta la enorme ventaja de proveer de un módulo de bajo costo y aunque sencillo en su modo de operación ofrece un gran nivel de seguridad y versatilidad de usos. Provee una mejor eficiencia que dispositivos que utilizan módulos de bluetooth debido a que necesitan un 10 % del hardware necesario para crear un dispositivo de comunicación bluetooth. Debido a su bajo coste representa una gran ventaja para empresas en proyectos de comunicación inalámbrica. En cuanto al software tiene distintos tipos de compatibilidad e incluso su propio lenguaje y requiere de únicamente 128 kb de almacenamiento para el código fuente, siendo un 50 % del espacio necesario para comunicación bluetooth.

6.7.1. Entradas y salidas

Es posible implementar los módulos Zigbees en proyectos complejos sin necesidad de otro dispositivo debido a su capacidad de implementar módulos de entradas y salidas tanto digitales como análogas. El módulo Zigbee puede tener múltiples dispositivos de entrada o salida interactuando tanto con los nodos como con el enlace inalámbrico de manera simultánea, lo que le permite cumplir distintas tareas al mismo tiempo y así cumplir con las metas de distintos proyectos.



Figura 13: Red de Zigbee [7]

Topología de red Zigbee

Los dispositivos inalámbricos Zigbee son capaces de implementar distintos tipos de topologías, dentro de los cuales se encuentran: estrella, árbol y malla. Dentro de estas tres topologías una de las versátiles en el campo de telecomunicaciones es el tipo malla, de la cual Zigbee crea sus propias versiones llamadas Malla Zigbee y (*DigiMesh*) debido a sus grandes capacidades de alcance de comunicación. En esta topología los distintos nodos son capaces de comunicarse unos a otros sin pasar por el coordinador, lo cual permite crear redes de mayor tamaño para cubrir mayores extensiones y al mismo tiempo asegura la conexión a todos los nodos. Sin embargo en Malla Zigbee el nodo administrador siempre coordina el envío de datos de cada nodo por lo cual puede fallar cualquier nodo, excepto el administrador pues

el resultado será la deshabilitación de la red. Sin embargo, dicha problemática no ocurre en (*DigiMesh*) debido a que dentro de esta topología se elimina la necesidad de un coordinador y funciona a base de una red de nodos permitiendo que aunque uno de los nodos presente mal funcionamiento la red sigue operable, sin importar cual de ellas presente problemas.

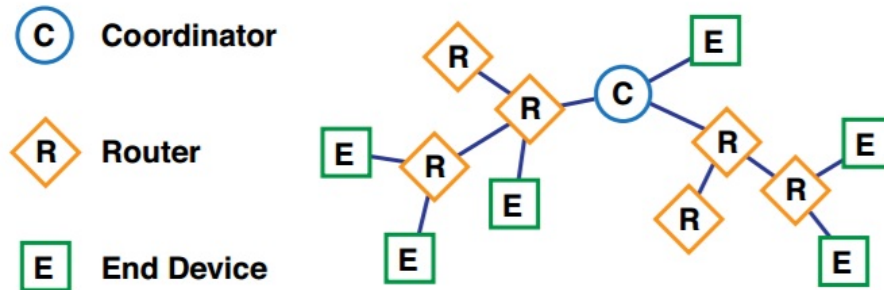


Figura 14: Topología de malla Zigbee [6]

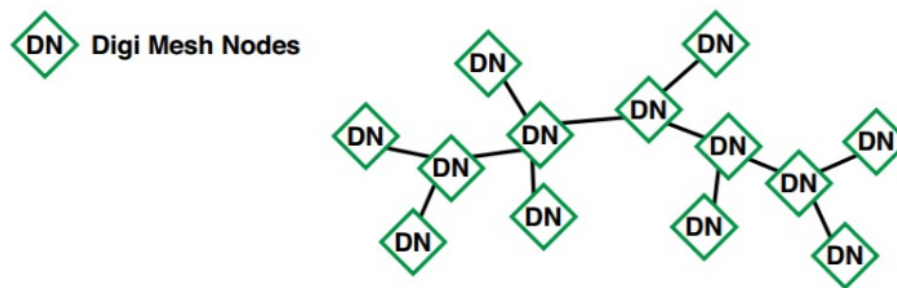


Figura 15: Topología DigiMesh [6]

6.8. Java

Java es un lenguaje de programación creado en el año de 1995 bajo el liderazgo de Sun Microsystems. Perteneciendo a la programación alto y medio nivel de lenguaje permite desarrollar distintas aplicaciones para distintos tipos de consumidores, ya sean clientes finales o desarrolladores de distintas plataformas.

6.8.1. Programación orientada a objetos

Cada lenguaje posee su propia estructura y para Java esta estructura se basa en el concepto de programación orientada a objetos (POO) las cuales definen su característica regla de sintaxis sencilla y su programación de distintas de clases, lo cual le permite poseer variables con varias características, perfecta para definir objetos con varios datos dentro de ellas sin hacer uso de matrices, simplificando la programación. La sintaxis se asemeja mucho a la del lenguaje C, los cuales se caracterizan por realizar bloques de código que se modulan

en métodos y se separan por llaves ({ , }) y las variables y objetos deben de crearse previo a implementarse en cualquier iteración del código para asegurar que ninguna funcione de forma inconsistente.

Estructuralmente Java puede proveer paquetes de código. Dichos paquetes contienen dentro mecanismos en los cuales se utilizan distintos métodos, clases, variables constantes y demás pre programados para lograr realizar acciones con el uso de una simple función que solicita los parámetros necesarios.

Compilador

Compilar el código creado en Java es necesario para verificar su el código cumple con todas las reglas de programación orientada a objetos como la sintaxis. Tras verificar que no existe ninguno error de sintaxis se escriben los códigos byte en los archivos de .class para cada clase creada. Dichos códigos se asemejan a instrucciones destinadas a ejecutarse en la máquina virtual de java (JVM) la cual lee e interpreta las instrucciones en la plataforma que le permite ejecutarla en cualquier tipo de hardware. En Java el compilador difiere de otros escribiendo instrucciones que pueden ser interpretadas en distintos chipsets de varias CPUs en el que el programa se ejecuta.

Entorno de desarrollo

Para la programación se pueden utilizar distintos programas de desarrollo, como lo serían NetBeans, JDK-Oracle o Eclipse. Dichas plataformas ofrece distintas herramientas de comandos para compilar y ejecutar codigos de Java que nos permite diseñar aplicaciones y programas con mayor facilidad ya que ofrece funcionalidades como gestiones de tareas y una interfaz que permite visualizar en tiempo real el progreso del programa previo a la instalación en el hardware de destino.

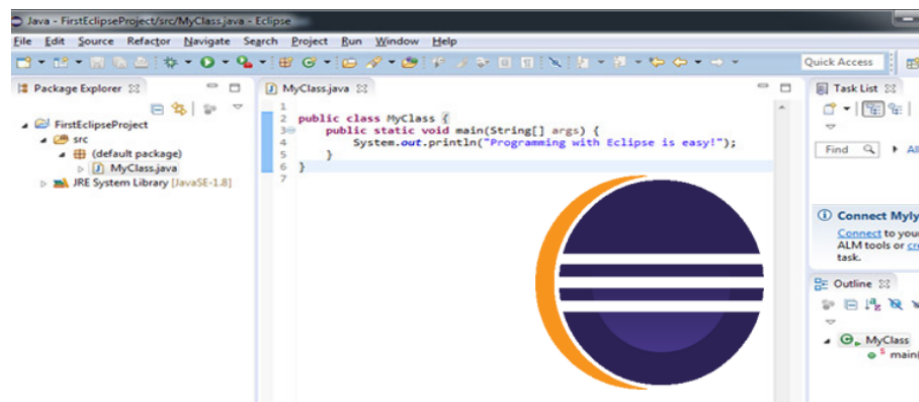


Figura 16: Plataforma Eclipse [6]

6.9. Circuito de potencia

En un circuito eléctrico la potencia eléctrica DC representa la tasa a la cual la energía eléctrica se convierte a otras formas como calor, energía mecánica, energía almacenada en campos magnéticos o campos eléctricos. Dicha potencia estará dada por el producto del voltaje aplicado y la intensidad de corriente eléctrica. lo cual nos indica que a mayor corriente eléctrica o mayor voltaje mayor será la potencia entregada. En circuitos con alta demanda de voltaje o corriente es necesario implementar un circuito de potencia, el cual le permite entregar la cantidad de energía eléctrica necesaria para el elemento eléctrico. Los circuitos de potencia se apoyan del uso de contactores y Relés que son los dispositivos de acción mecánica que al recibir la señal indicada permiten el paso de corriente de una fuente de voltaje mayor o suficiente para cumplir las demandas de potencia de los dispositivos eléctricos accionados.

Contactores

Los contactores funcionan básicamente como interruptores controlados eléctricamente, estos dispositivos cuentan con contactos normalmente abiertos que al recibir la señal de activación cierran el circuito por medio de contactos electromagnéticos. La diferencia entre relés y contactores reside en la carga a la que se someterán ya que los conductores cuentan con protección de sobrecarga y son capaces de interrumpir grandes cantidades de corriente mientras que los relés son de menor capacidad de corriente y voltaje y se diseñan para contactos NC o NA dependiendo de la aplicación.

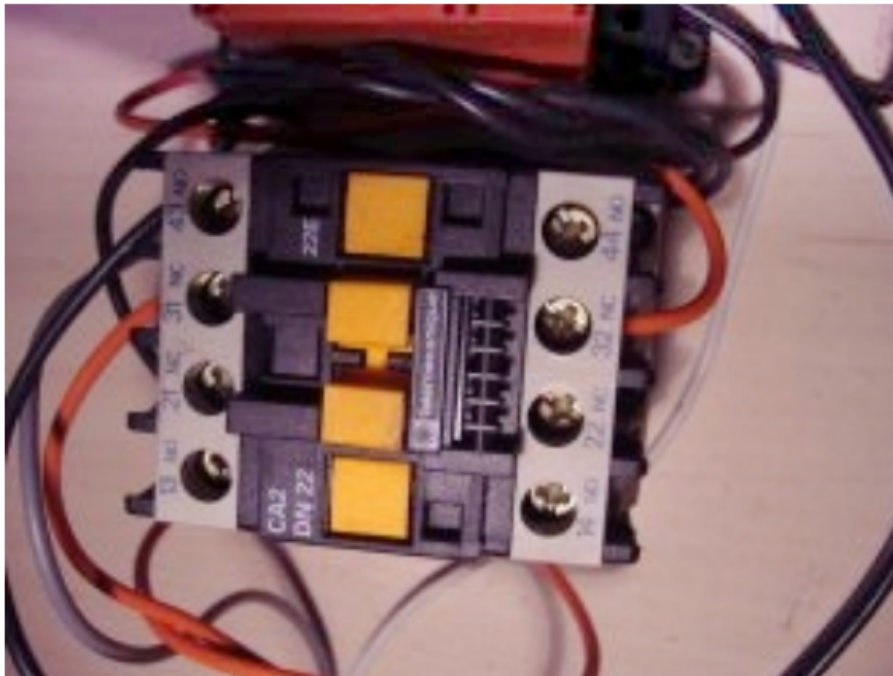


Figura 17: Contactor industrial [8]

El trabajo se realizó en las instalaciones del sitio de disposición final localizada en 9a avenida de la zona 3 de la ciudad de Guatemala en apoyo del área de Sistemas Informáticos de Control y Monitoreo. La duración del proyecto fue de 4 meses empezando desde el mes de enero del año 2020 hasta el mes de abril del mismo año. Para llegar a una solución para la problemática presentada se realizó un proceso que empezó por la investigación de la situación del sitio hasta la aprobación del sistema propuesto. Los distintos pasos del procedimiento se detallan en la figura a continuación.

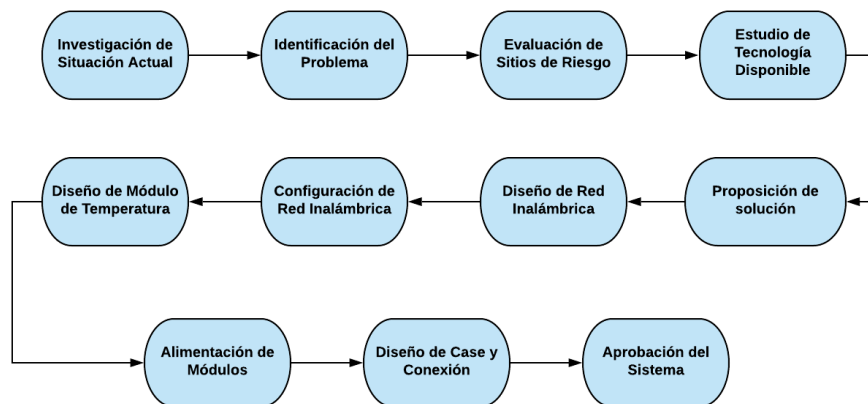


Figura 18: Diagrama de flujo de metodología.

8.1. Situación de seguridad industrial en el SDF

Para determinar la situación de seguridad actual en el SDF se tuvo una reunión con el personal encargado de seguridad industrial, durante la cual se discutieron los riesgos latentes en las distintas áreas de trabajo y los proyectos planificados para mejorar la seguridad del personal de trabajo. Dentro de distintos protocolos propuestos para mejorar la seguridad del trabajo se planificó también la instalación de una sirena de emergencia para alertar de distintos desastres dentro de las áreas de trabajo y los patios de disposición. También se discutió y profundizó en el riesgo de incendio en el área de bodega, donde además de almacenarse distintas herramientas y materiales de trabajo también se encuentran distintos tipos de combustibles y material susceptible a igniciones.

8.2. Identificación del problema

Con el conocimiento del nuevo proyecto de sirena en el SDF se propone la creación de un sistema de redes inalámbricas que sean capaces de notificar de situaciones de riesgos que se presenten en lugares retirados a la sirena, ya que para activar la sirena debe de activarse el interruptor situado debajo de esta misma. debido a que una de las situaciones de peligro latentes es la creación de conatos de incendio y su propagación generando incendios, se decide crear la red inalámbrica para que sea capaz de detectar súbitos aumentos de temperatura.

8.3. Evaluación de sitios de riesgo

Para escoger 2 puntos de prueba para colocar los prototipos de la red inalámbrica se propone colocar 2 sensores dentro del área de bodega para monitorear posibles incendios acompañados de su módulo inalámbrico y en el área de básculas 1 módulo inalámbrico para alertar de emergencias que se presenten debido a la larga distancia a la cual se encuentran de la sirena. Estos dos sitios son ideales para las pruebas debido a que cuentan con torres de vigilancia y un alto nivel que permiten tener campo de visión de torre a torre y por lo tanto de módulo a módulo, permitiendo tener una conexión con mayor cobertura utilizando menos módulos para cubrir más distancia.



Figura 19: Distancia de prueba de sirena a bodega.



Figura 20: Distancia de prueba de bodega a básculas.

8.4. Estudio de tecnología disponible

Para la conexión inalámbrica se provee de un juego de microcontroladores de la tecnología zigbee utilizado en proyectos de innovación. Dichos módulos permiten la creación de redes inalámbricas de distintos tipos y configuraciones al mismo tiempo que ofrece compatibilidad con diferentes plataformas de programación como lo es JAVA, con la cual se decide realizar la programación para la creación del sistema de transmisión inalámbrico. Para el circuito sensor de temperatura se utilizará un empaquetado que permita tener una lectura análoga para ingresar al microcontrolador y por medio de esta señal interpretar si un conato de incendio se está dando lugar.



Figura 21: Xbee3 mesh kit

Proposición de solución

Para crear un sistema que permita la comunicación en dos vías desde un maestro a distintos esclavos y se optimice la cantidad de módulos inalámbricos que se necesitan para cubrir largas distancias se propone la realización de una red de tipo malla. Afortunadamente el la tecnología Zigbee cuenta con un protocolo específico para su tecnología llamado malla Zigbee que permite tener una red en la cual el módulo maestro se comuniquen con cualquier esclavo por medio de otros esclavos. Por medio de esta red podrán enviarse señales de tanto el sensor de temperatura como de botones que indiquen emergencias. Cuando una señal de emergencia o de alta temperatura sea recibida por cada módulo se le comunicará al maestro y este por medio de un circuito de potencia activará la sirena del SDF.

10.1. Diseño de red inalámbrica

Previo a la programación deben de configurarse los distintos módulos a una misma red y a cada uno su función específica, en este caso 1 maestro y 2 esclavos.

Param	XBee A	XBee B	XBee C
ID	2015	2015	2015
JV	—	Enabled [1]	Enabled [1]
CE	Enabled [1]	—	—
DH	—	0	0
DL	—	0	0
NI	COORD	ROUTER_1	ROUTER_2
AP	API enabled [1]	API enabled [1]	API enabled [1]
D4	—	Digital Input [3]	Digital Input [3]
IC	—	10	10

Figura 22: Ventana inicial de la aplicación WinBox

Al configurar los módulos en una red de malla se permite que desde el módulo maestro se transmitan datos a otros esclavos pasando por diferentes nodos maximizando así la cantidad de tiempo de transmisión de datos así como brindar seguridad de conexión ofreciendo distintas rutas de comunicación en el caso de que una de ellas no se encuentre disponible.

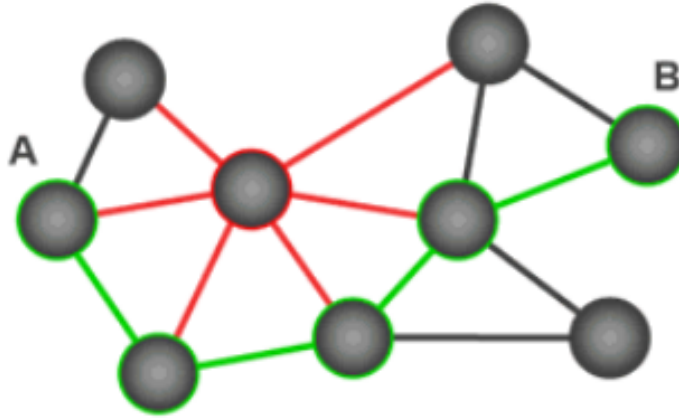


Figura 23: Topología de malla

Una vez configurados los módulos inalámbricos se procede a crear un proyecto en Eclipse para poder controlar y manipular la transmisión de datos entre módulos.

10.2. Configuración de red inalámbrica

Crear la red inalámbrica requiere de su programación apropiada, la cual se realizó en en Java. La programación se realiza en el programa Eclipse y el código realizado se presenta en las figuras 82 a 86. Dentro del programa deben de confirmarse ciertas propiedades de la red como el (*Baud Rate*) y el puerto de comunicación para el módulo maestro. También deben de configurarse los módulos esclavos para ser identificados de manera sencilla por el maestro así como sus pines de entradas y salidas en el software de XCTU. Cuando los módulos y periféricos estén correctamente configurados se procede a realizar la conexión inalámbrica por medio de la plataforma de programación Eclipse.

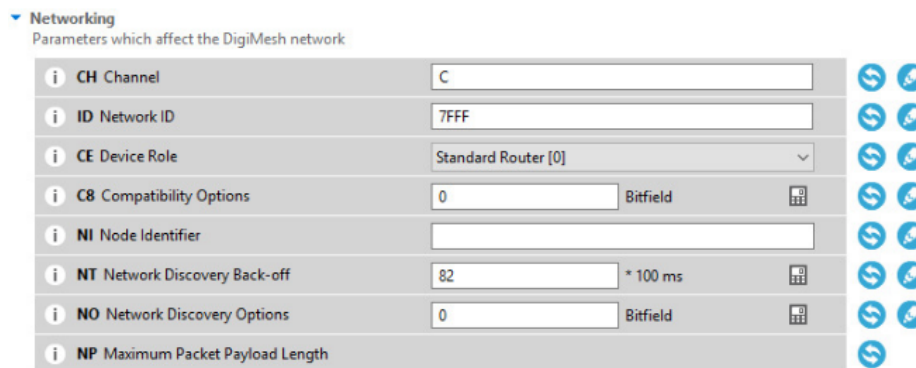


Figura 24: Configuración de red en XCTU

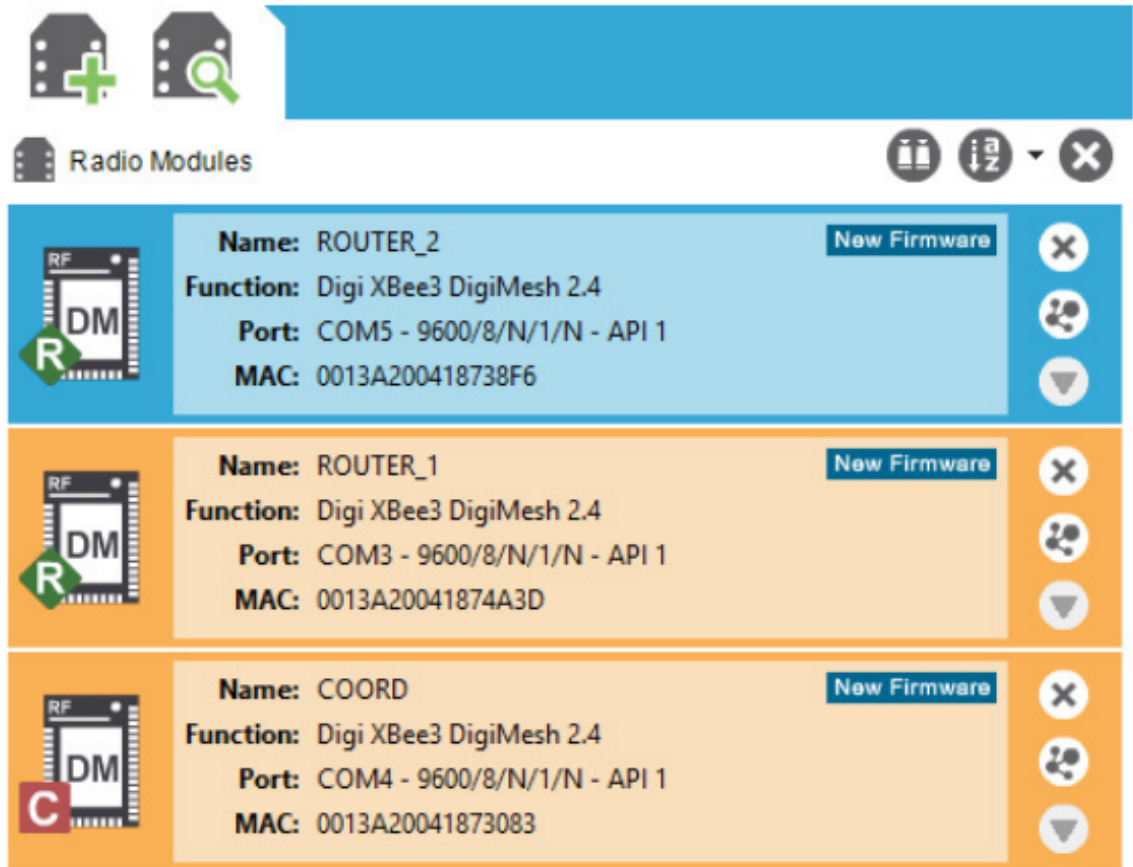
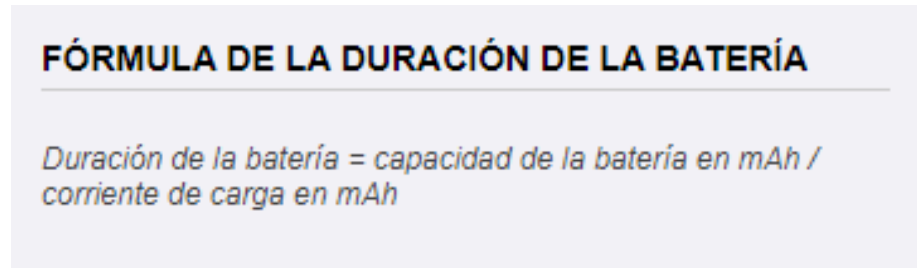


Figura 25: Configuración de red en XCTU

Cuando la conexión inalámbrica esté correctamente establecida es posible correr el ciclo de funcionamiento que permite leer datos digitales de distintos módulos y enviarlos al maestro para que este también pueda enviar señales digitales. Los esclavos también pueden configurar sus entradas para incorporar un ADC por medio del microcontrolador para la lectura del módulo de sensor de temperatura.

Una vez realizado el módulo de sensor de temperatura se dejó funcionar en un cuarto con temperatura controlada a 2 temperaturas distintas y con la ayuda de un sensor de temperatura de alta precisión se procede a realizar la relación de valores para el mapeo de temperatura de dicho módulo. El sensor aumenta su voltaje a medida que la temperatura baja y decrementa el voltaje a medida que la temperatura aumenta. Una vez mapeado se realiza la relación matemática en el programa en java para poder desplegar la temperatura equivalente. Con el valor de la temperatura es posible comparar con un valor predefinido para determinar si un aumento súbito de temperatura se está dando lugar indicando un posible conato de incendio.



FÓRMULA DE LA DURACIÓN DE LA BATERÍA

Duración de la batería = capacidad de la batería en mAh / corriente de carga en mAh

Figura 27: Ecuación de duración de batería

10.4. Alimentación de módulos

Para la alimentación eléctrica de los módulos tanto de temperatura como de los wi-fi se decidió utilizar una batería tipo lipo que permitiera el uso del módulo durante las 24 horas del día por lo menos hasta 2 semanas. Para determinar la capacidad de la batería se determinó la cantidad de corriente que el circuito completo consume con el uso de un multímetro, resultando en una lectura de 550 microA. Utilizando la relación para vida útil de una batería demostrada en la Figura 27 se despeja el valor de la capacidad de la batería necesaria, estimando para 2 semanas. El resultado sería una batería con capacidad de 610 mAh a 4V, por lo cual cualquier batería por sobre estas especificaciones será perfecta para la tarea.

10.5. Diseño de case y cableado

Para asegurar la funcionalidad y durabilidad del sistema de comunicación se propuso proteger los módulos con estructuras protectoras que encapsulan los circuitos y módulos que además permitan su colocación en distintas superficies por medio de la utilización de pernos. Además es necesario protegerlos tanto del polvo como del agua ya que las torres de control se encuentran expuestas al ambiente y puede llegar a sufrir de corrosión o un corto circuito causado por el agua. Para esto se procedió a realizar un diseño 3D en el paquete de modelado paramétrico de sólidos Autodesk Inventor que nos permitirá crear una estructura realizada a la medida para contener el modulo, la batería para la alimentación y crear las entradas de datos necesarias.

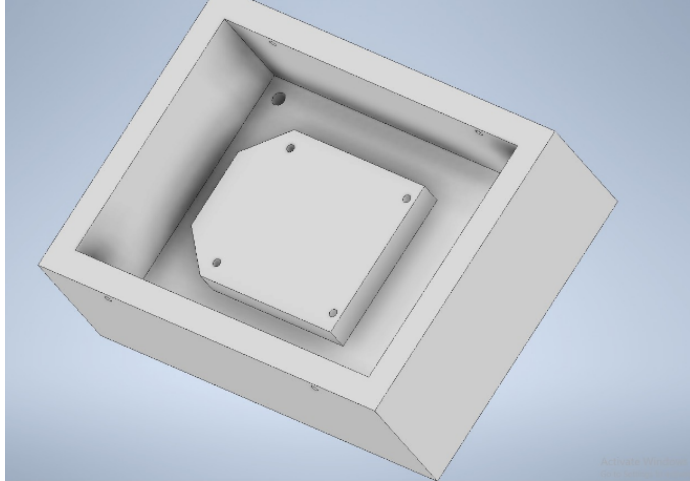


Figura 28: Diseño propuesto para case de modulo inalámbrico

Una vez terminado el case que contendrá el módulo y las baterías se procede a crear un case para los módulos de temperatura que permitan el contacto de los sensores de temperatura con el ambiente así como proteger el circuito de la corrosión. Adicionalmente para permitir medir puntos a distancias considerables del módulo se cablea el módulo de temperatura al módulo de wi-fi por medio de cable de red para asegurar que dicho cableado de módulo de temperatura a módulo wi-fi no se encontrará expuesto al ambiente. Se escoge un cable de red categoría 5A que permite conectar módulos a largas distancias si llegara a ser necesario además de ofrecer aislamiento de polietileno de alta densidad.



Figura 29: Cable de red categoría 5A

Para la conexión de cable a módulo también se utilizan dos conectores con el propósito de tener una mejor organización de cableado en los cases y así asegurar el funcionamiento del sistema. Esto también hará mas fácil la conexión de nuevos dispositivos y módulos si se desea agregar nuevas funcionalidades.

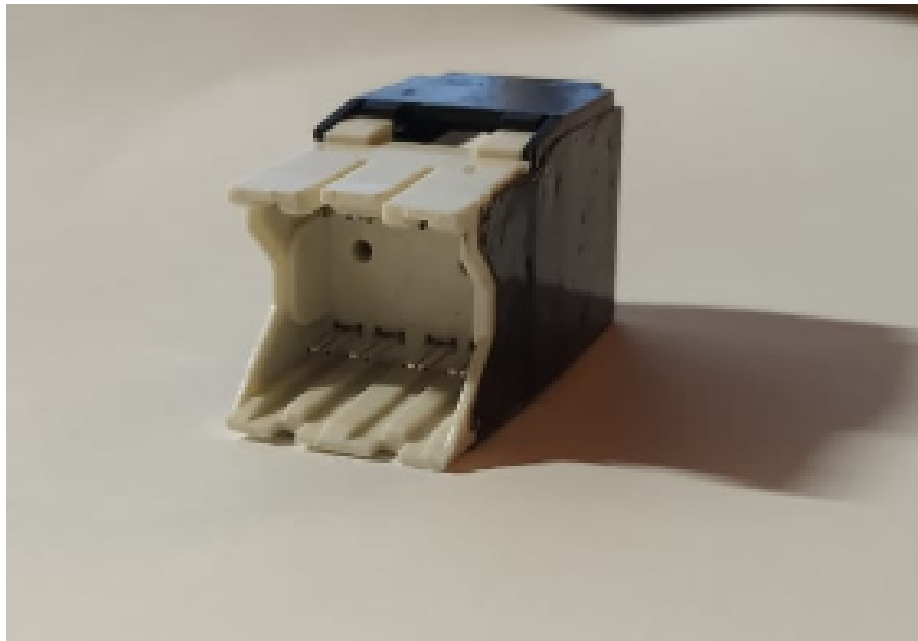


Figura 30: Dado de terminales de red

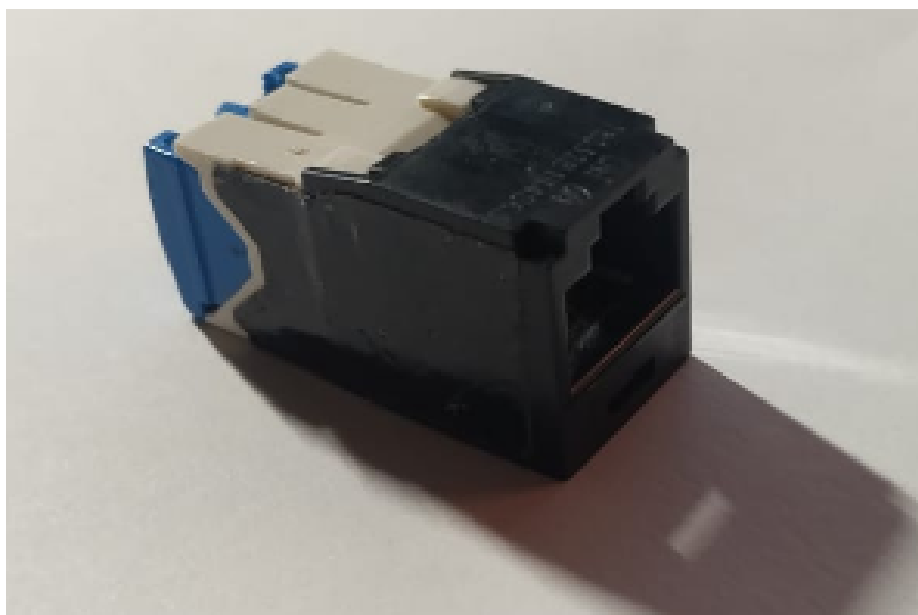


Figura 31: Dado de red hembra

11.1. Evaluación de instalaciones

Se determinó que el peligro latente más ocurrente en el sitio de trabajo es la probabilidad de incendios dados por los constantes conatos de incendio que se dan lugar en los alrededores del relleno sanitario. Dichos conatos pueden llegar a extenderse hasta alcanzar zonas como la bodega en la cual se almacenan distintos combustibles que pueden extender el incendio hasta el punto de volverse incontrolable por lo cual se decidió realizar el sistema para vigilar este suceso.



Figura 32: Combustible almacenado en bodega

Dicha bodega posee una torre de vigilancia que permite tener visión de campo lo cual permite la conexión inalámbrica de los módulos ya que es necesario que los dispositivos se encuentren en línea de visión sin ninguna clase de obstrucción para que se puedan alcanzar largas distancias de comunicación.



Figura 33: Torre de control en bodega

A medida que el proyecto avanzó se implementó una alarma de tipo sirena en el relleno sanitario accionada manualmente sobre las oficinas de SICM la cual tiene una línea de visión directa hacia las torres de control lo cual es ideal para la conexión de los módulos inalámbricos. Dicha sirena cumplirá la función de alarma accionada para la detección de incendios y otros incidentes o accidentes.



Figura 34: Alarma de sirena en SDF

11.2. Selección de tecnologías

Para la creación del sistema inalámbrico se utilizó el kit de módulos inalámbricos "Xbee3 Mesh kit" que incluye 3 microcontroladores con sus respectivas antenas y cables usb para su programación. Dichos kit tienen la capacidad de conectarse el uno al otro por medio de una red privada de tipo inalámbrica que por medio del programa XCTU facilita la configuración individual de cada módulo que permite declarar los pines deseados como entradas o salidas de datos digitales tanto como analógicos. Dicho programa también permite la realización de pruebas de los distintos tipos de comunicación a los que se somete el módulo de comunicación inalámbrico.

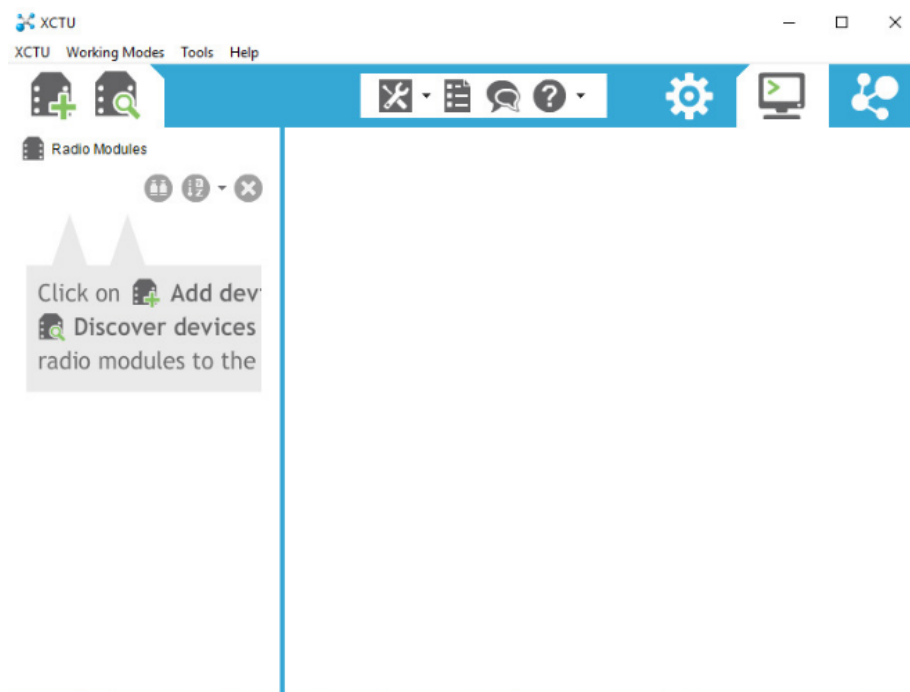


Figura 35: Software XCTU

Prosiguiendo con la investigación del software pertinente al módulo wifi se escoge la plataforma para la programación que involucra tanto el enlace de la red como la manipulación y procesamiento de las distintas variables a medirse y enviarse para la funcionalidad del proyecto. Debido a que uno de los entornos de programación compatibles con la tecnología Zigbee es Java este se escoge esta por su alto nivel de lenguaje y sencillez para escribir e interpretar el código.

Entornos de programación compatibles con tecnología Zigbee
XCTU
Java
Python
Arduino IDE

Cuadro 2: Plataformas compatibles con Zigbee

Para realizar la programación es necesario la selección de un software de plataforma que permita la edición del código que al mismo tiempo permita la realización de una interfaz gráfica para el usuario final. Se seleccionó la multi plataforma de programación IDE Eclipse que cuenta con un editor de texto para la redacción del código, un analizador sintáctico que permite la detección de errores de redacción en el código y un compilador en tiempo real que permite la evaluación paso a paso del funcionamiento del código que facilita enormemente la depuración de errores dentro del código.

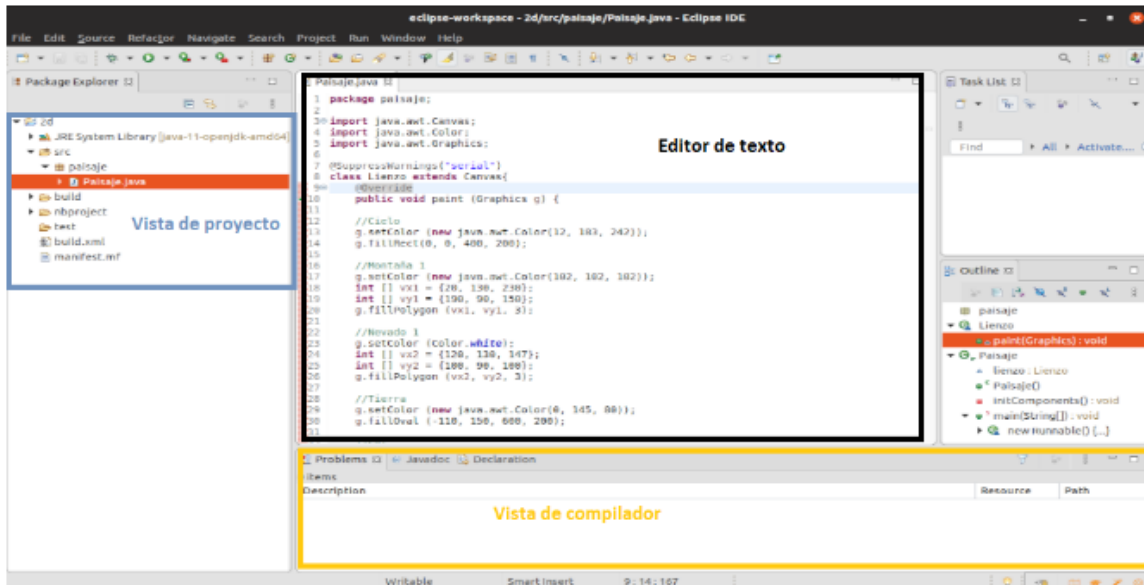


Figura 36: Entorno de programación Eclipse

Para el módulo de temperatura se seleccionó dentro de los empaquetados disponibles uno que permita una sencilla calibración del voltaje para poder ser leído por el ADC en el modulo inalámbrico. La implementación física del circuito también debe ser compatible con los voltajes recibidos por el módulo para poder interpretar los datos recabados por el módulo de temperatura creado con este mismo. Para cumplir con dichas características se escogió el empaquetado LM35DZ el cual transforma la temperatura del ambiente en un voltaje que se relaciona con una escala de factor lineal. Debido a la calibración dentro del empaquetado no es necesaria mayor configuración en el circuito electrónico y por el simple uso de una resistencia para la calibración del voltaje analógico resultado de la salida del empaquetado.

FEATURES

- **Calibrated Directly in ° Celsius (Centigrade)**
- **Linear + 10 mV/°C Scale Factor**
- **0.5°C Ensured Accuracy (at +25°C)**
- **Rated for Full -55°C to +150°C Range**
- **Suitable for Remote Applications**
- **Low Cost Due to Wafer-Level Trimming**
- **Operates from 4 to 30 V**
- **Less than 60- μ A Current Drain**
- **Low Self-Heating, 0.08°C in Still Air**
- **Nonlinearity Only $\pm 1/4^\circ$ C Typical**
- **Low Impedance Output, 0.1 Ω for 1 mA Load**

Figura 37: Características de empaquetado LM35

**PLASTIC PACKAGE
TO-92 (LP)
BOTTOM VIEW**

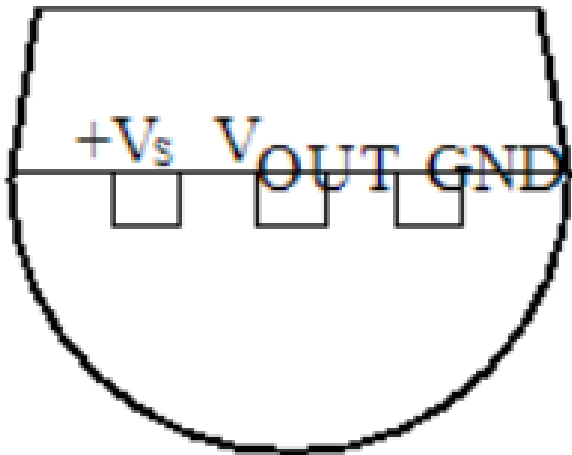
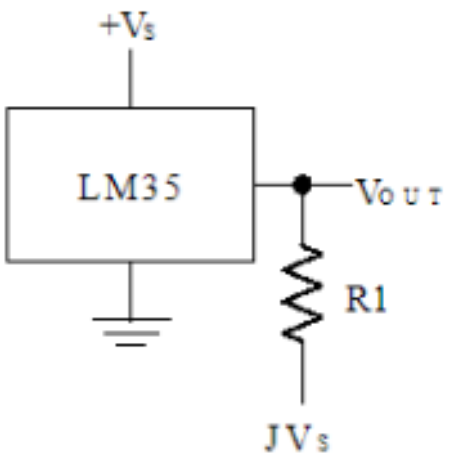


Figura 38: Diseño de empaquetado LM35DZ TO92



Choose $R_1 = -V_s / 50 \mu A$
 $V_{OUT} = 1500 \text{ mV at } 150^\circ C$
 $V_{OUT} = 250 \text{ mV at } 25^\circ C$
 $V_{OUT} = -550 \text{ mV at } -55^\circ C$

Figura 39: Aplicación típica de empaquetado LM35

11.3. Configuración de red inalámbrica

La configuración de red de los módulos inalámbricos se realizó por medio del uso del software de asistencia diseñado para la tecnología Zigbee XCTU. Cada módulo debe ser actualizado a la versión de software más reciente así como la instalación del protocolo de red q seguir de comunicación inalámbrica y configurado por separado a la misma red conectándose por medio usb a la computadora con el software XCTU y posteriormente sincronizandose con el software por medio de comunicación serial.

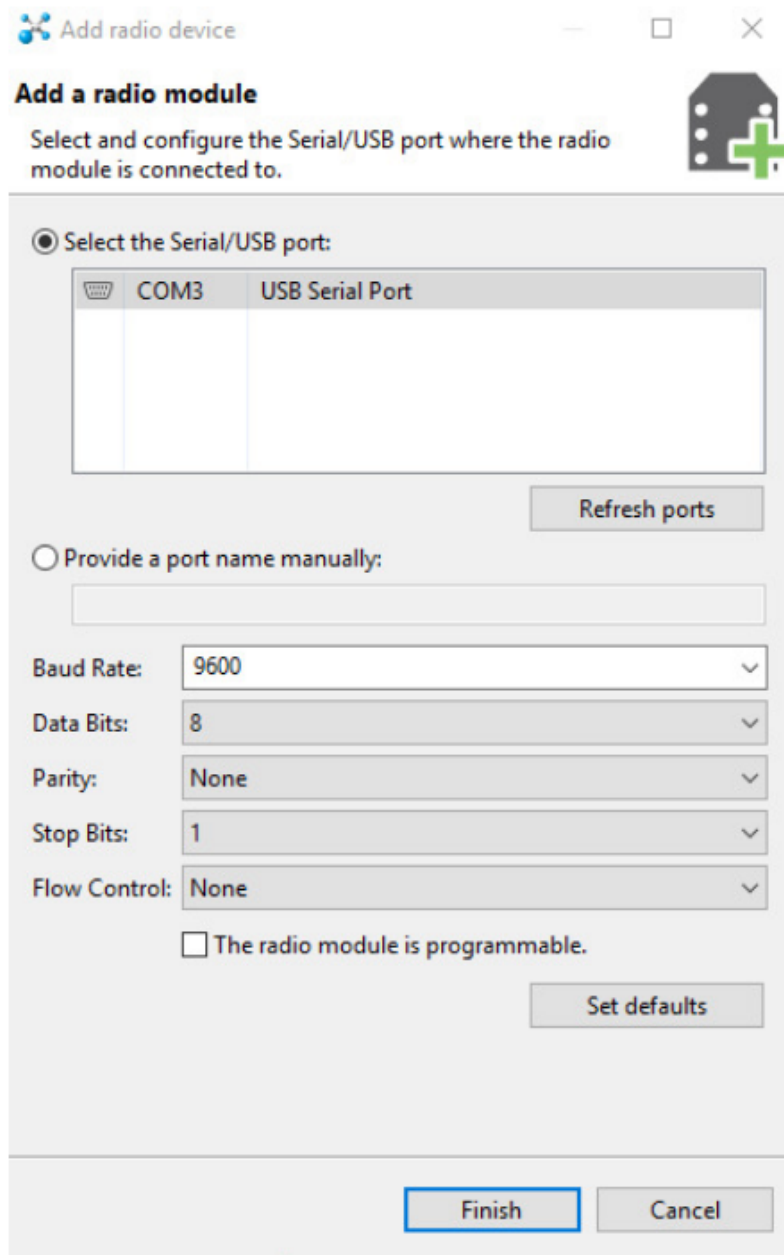


Figura 40: Adición de dispositivo a XCTU

Una vez conectados los módulos al software de XCTU la ventana de configuración se habilita para editar la configuración de cada módulo individualmente. Cada módulo puede configurarse en distintas categorías así como la configuración esencial de la red como ID de la red, canal de comunicación y rol del modulo inalámbrico. La configuración de los módulos inalámbricos será de 2 módulos como esclavos y uno como maestros los cuales corresponden a (“*Standard Router*”) y (“*Indirect Message Coordinator*”) respectivamente. Para esto deben de conectarse todos los módulos para poder configurar cada uno.

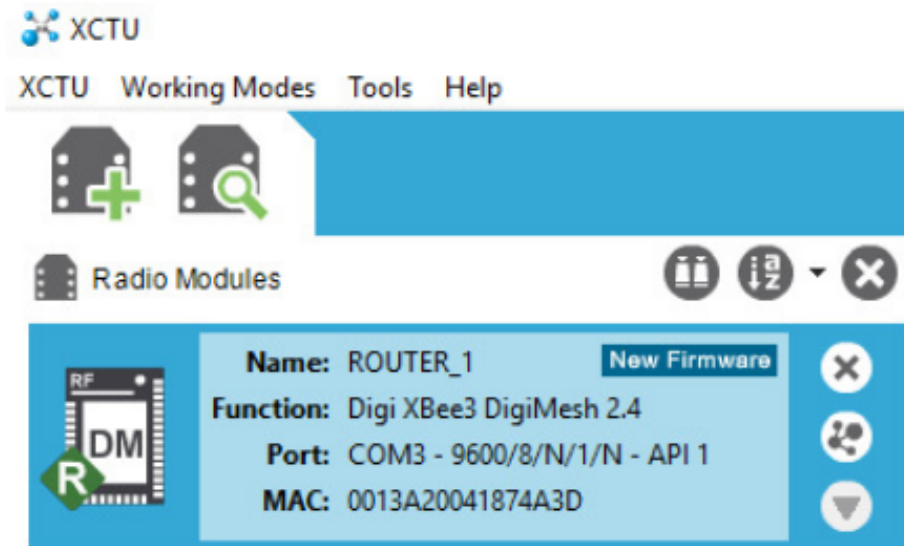


Figura 41: Modulo conectado exitosamente como router

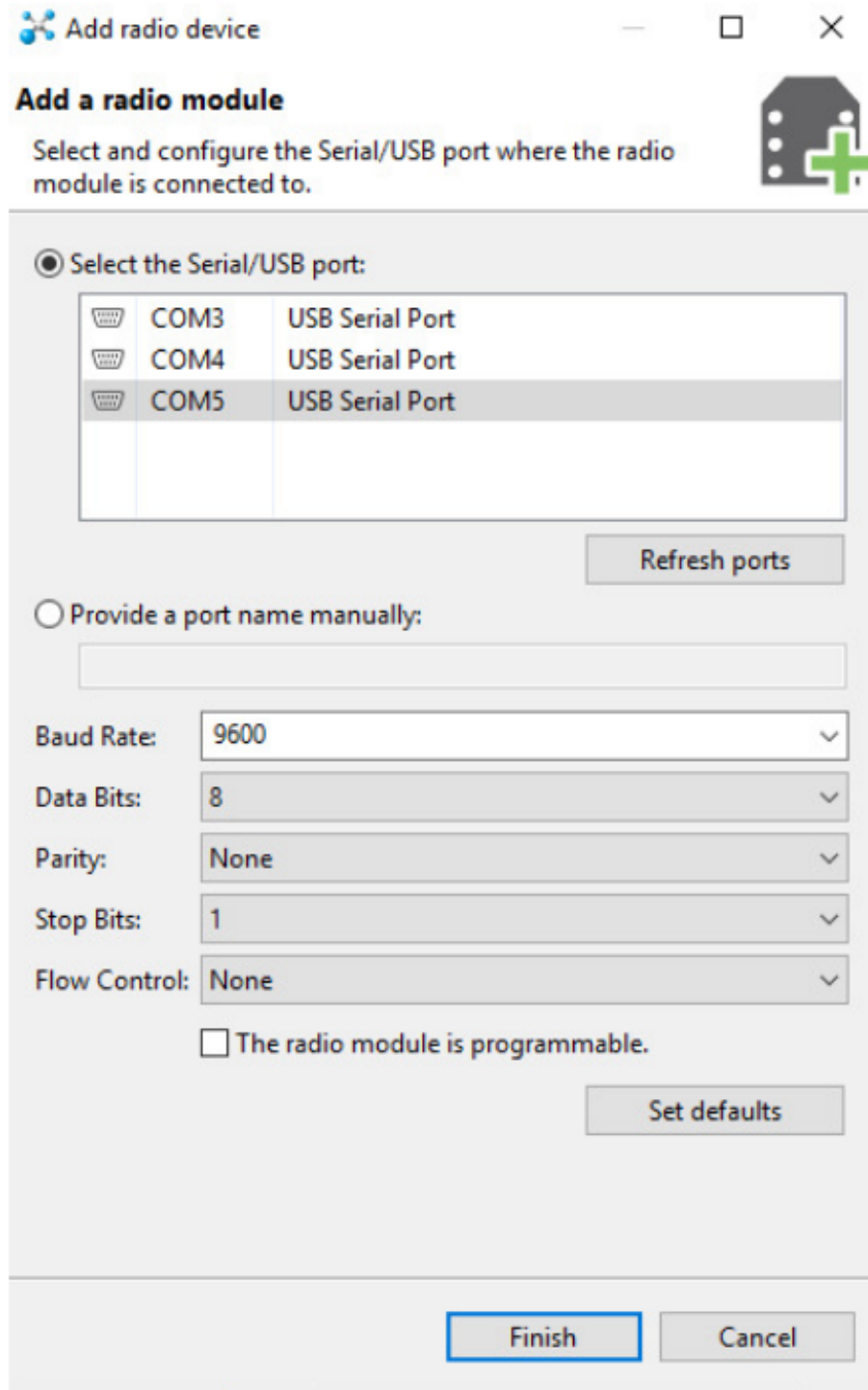


Figura 42: Adición de múltiples dispositivos

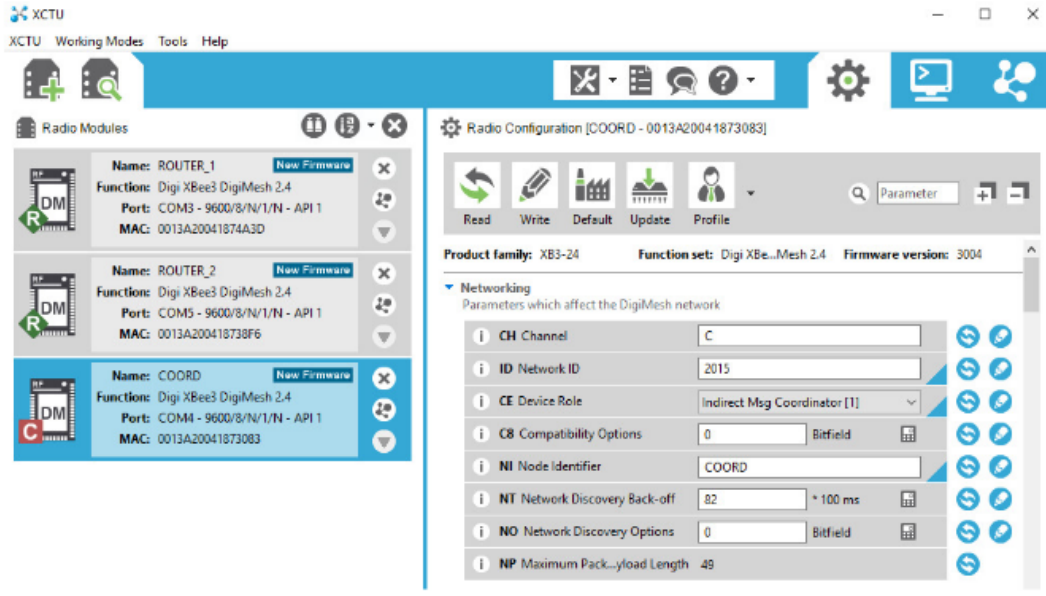


Figura 43: Configuración de red de coordinador

La misma configuración debe aplicarse a ambos routers para unirse exitosamente a la red del coordinador de red.

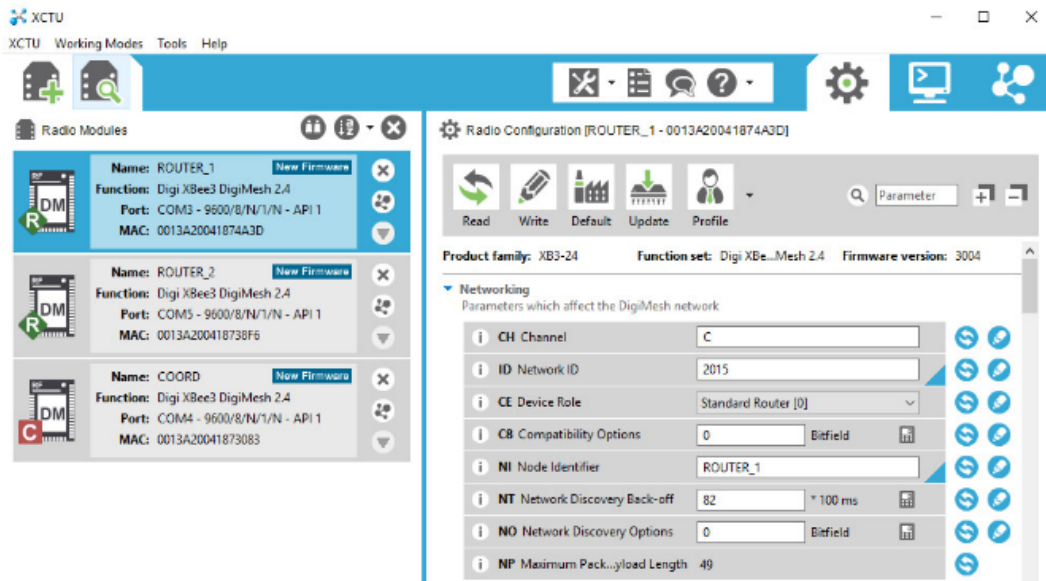


Figura 44: Configuración de red de router

El coordinador debe configurarse para comunicación UART ya que se utilizara para transmitir datos hacia la computadora. Para esto es necesario definir la velocidad de transmisión y el modo API para su correcto funcionamiento.

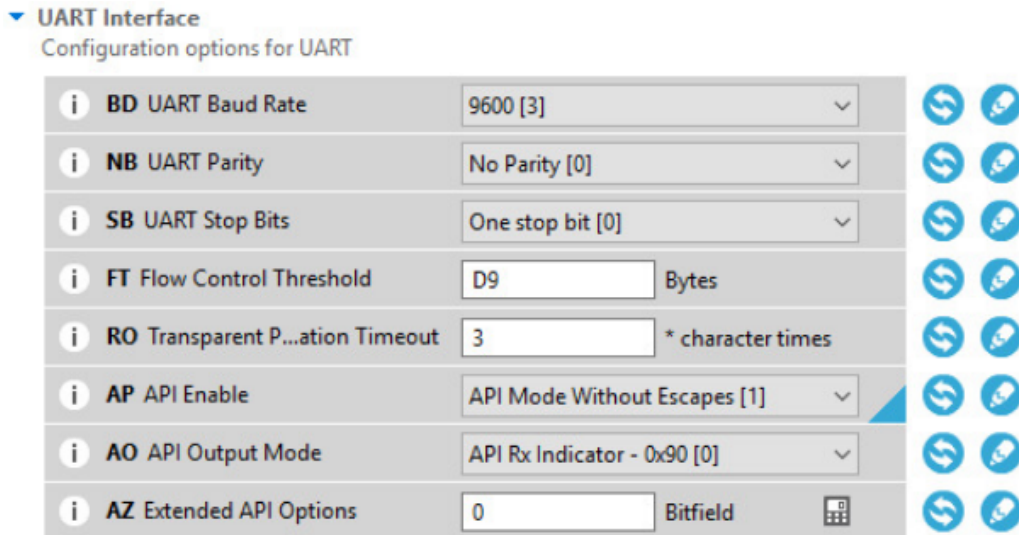


Figura 45: Configuración UART

Finalmente cuando todos los módulos inalámbricos estén configurados correctamente se desplegará en la pantalla de módulos de radio una breve descripción de la configuración de red de cada módulo inalámbrico y se debe asegurar que todos los módulos coincidan en su tipo de red para poder establecer la red inalámbrica.

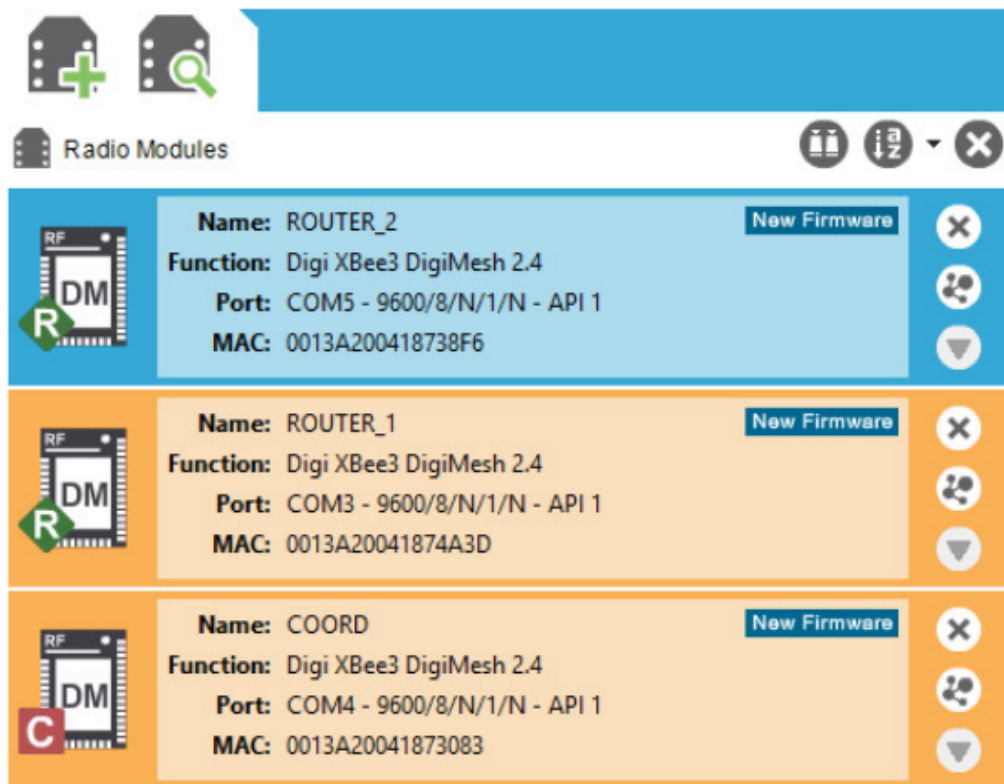


Figura 46: Resumen de configuración de módulos

11.4. Programación de módulos

Una vez realizada la configuración de red en el software XCTU para los 3 módulos es posible realizar pruebas de funcionamiento de tanto rango como de entradas y salidas de datos en los distintos enviados por la red inalámbrica. Sin embargo para lograr que la red sea funcional con la implementación del módulo de temperatura y salidas de datos para activación de alarmas o recepción de datos es necesario utilizar una plataforma de programación para que los módulos inalámbricos conectados puedan interpretar los datos recibidos al mismo tiempo que generen salidas para la activación de alarmas. Para esto se realizó el programa cuyo código se presenta en los anexos en la figura 85 a 86 y cuyas secciones se explican a continuación.

Digi proporciona una librería para el uso de sus dispositivos en conjunto con el lenguaje java, sin embargo para poder utilizarla es necesario descargarla de la página oficial y proceder a instalar los paquetes en la misma carpeta del proyecto en el que se realiza el programa de control de la red del sistema. Además de estas librerías también se instalan las librerías de temporizador y matemática para poder realizar operaciones matemáticas complejas con métodos predefinidos y temporizadores para realizar retrasos más precisos.

```
package com.digi.xbee.api.remoteadc;

import java.math.BigDecimal;
import java.math.RoundingMode;
import java.util.Timer;
import java.util.TimerTask;

import com.digi.xbee.api.RemoteXBeeDevice;
import com.digi.xbee.api.XBeeDevice;
import com.digi.xbee.api.XBeeNetwork;
import com.digi.xbee.api.exceptions.XBeeException;
import com.digi.xbee.api.io.IOLine;
import com.digi.xbee.api.io.IOMode;
import com.digi.xbee.api.io.IOValue;
```

Figura 47: Librerías implementadas

Al definir la clase principal para el programa se inicia por definir las distintas variables a utilizar durante el programa y sus tipos como clases estáticas. Primero se inicia por definir el puerto del coordinador y la razón de la comunicación serial en la variable "BAUDRATE" el tiempo de lectura que se utilizara para el ADC como lo indican los comentarios del programa. A continuación se indica el nombre de los dispositivos esclavos configurados en la red para que posteriormente el coordinador sea capaz de encontrarlos. Finalmente se definen los nombres de los puertos de entradas y salidas generales que se aplicarán a cada módulo para la lectura o escritura de sus pines correspondientes.

```

public class MainApp{

    private static double S1 = 0;
    private static int i = 0;

    /* Constants */

    // REEMPLAZAR POR EL PUERTO SERIAL A UTILIZAR.
    private static final String PORT = "COM4";
    // REEMPLAZAR CON BAUDRATE DEL MODULO .
    private static final int BAUD_RATE = 9600;
    private static final int READ_TIMEOUT = 25;

    // Reemplazar con nombres de dispositivos remotos configurados en la red
    private static final String REMOTE_NODE_IDENTIFIER = "ROUTER_1";
    private static final String REMOTE_NODE_IDENTIFIER2 = "ROUTER_2";

    //entradas y salidas de dispositivos
    //(se utiliza D0 como entrada en todos los dispositivos y D4 como salida en dispositivos remotos)
    private static final IOLine IOLINE_INC = IOLine.DI00_AD0;
    private static final IOLine IOLINE_OUT = IOLine.DI04_AD4;
    //private static final IOLine tempAlert = IOLine.DI05_AD5;

    private static final IOLine IOLINE_IN = IOLine.DI01_AD1;

```

Figura 48: Definición de variables estáticas

Con las variables declaradas se procede a iniciar con el método void donde se configuran las características de la red como la correcta comunicación del coordinador por medio del puerto conectado en la computadora y el baud rate escogido, el puerto al que se encuentra conectado el coordinador puede verificarse en el software de XCTU al momento de sincronizarse con este mismo. Cuando el coordinador logre exitosamente la comunicación con el computador procederá a intentar conectar con cada nodo que se le indique, si alguna de las conexiones no llegase a ser exitosa se desplegará un mensaje indicando precisamente que nodos no fueron capaces de conectarse. De lograr una comunicación exitosa con todos los nodos especificados se procede con el programa, de lo contrario el programa se finaliza al desplegar el mensaje donde indica que nodos fue imposible de conectar después de varios intentos.

```

public static void main(String[] args) {
    System.out.println("-----+");
    System.out.println(" | XBee Java Library Read Remote ADC Sample |");
    System.out.println("-----+\n");

    XBeeDevice localDevice = new XBeeDevice(PORT, BAUD_RATE);
    //SE CREA UNA CLASE TIMER PARA DESPLEGAR DATOS
    Timer readADCTimer = new Timer();

    try {
        localDevice.open();

        // SE OBTIENE LA CONFIGURACION PREESCRITA EN LOS MODULOS.
        XBeeNetwork xbeeNetwork = localDevice.getNetwork();
        RemoteXBeeDevice remoteDevice = xbeeNetwork.discoverDevice(REMOTE_NODE_IDENTIFIER);
        if (remoteDevice == null) {
            System.out.println("Couldn't find the remote XBee device with '" + REMOTE_NODE_IDENTIFIER + "' Node Identifier.");
            localDevice.close();
            System.exit(1);
        }
        RemoteXBeeDevice remoteDevice2 = xbeeNetwork.discoverDevice(REMOTE_NODE_IDENTIFIER2);
        if (remoteDevice2 == null) {
            System.out.println("Couldn't find the remote XBee device with '" + REMOTE_NODE_IDENTIFIER2 + "' Node Identifier.");
            localDevice.close();
            System.exit(1);
        }
    }
}

```

Figura 49: Configuración de red en software

Una vez se cumpla con todas las configuraciones de tanto red, módulos y entrada y salidas de los distintos dispositivos es posible correr el ciclo principal del programa en el cual se obtienen los valores de las entradas de datos de los módulos, como el módulo de temperatura. Utilizando las funciones de la librería Digi de `remoteDevice.getADCValue(IOLINEIN)`, es posible leer el valor analógico en el pin asignado para `IOLINEIN` así obtener un valor de 0-1023. Este valor representa la temperatura a la cual se encuentra expuesta el sensor LM35DZ y debe ser convertido por medio de una relación matemática de tendencia linealmente inversa para obtener el valor equivalente a la temperatura como se muestra en el código, este valor se muestrea 5 veces por segundo para adquirir un valor más preciso y consistente. Una vez realizada esta lectura se lee el valor del accionado que representa la activación manual de la alarma de emergencias y se escribe el valor de este en los distintos módulos conectados a la red para activar una alarma visual en los distintos nodos. Al final del ciclo se realiza el promedio del valor de la temperatura acumulado en la variable `S1` y se convierte a un valor que presente únicamente 2 decimales y se imprime el valor de la temperatura. Cada segundo se presenta el valor de la temperatura y se compara con un valor de temperatura preestablecido que representa una temperatura elevada para alertar de una posible presencia de conato de incendio. Al cumplir dicha condición se activa también el pin de salida del coordinador activando por este medio la alarma de sirena para alertar de la situación a todo el personal al alcance de este mismo. Una vez terminada estas acciones se reinician los valores del contador y el de temperatura para realizar una nueva lectura y una nueva prueba de temperatura el siguiente segundo.

```

//Configuracion de pines de entradas de datos
localDevice.setIOConfiguration(IOLINE_INC, IOMode.DIGITAL_IN);
remoteDevice.setIOConfiguration(IOLINE_IN, IOMode.ADC);
readADCTimer.schedule(new ReadADCTask(remoteDevice2, remoteDevice, localDevice), 0, READ_TIMEOUT);

//Configuracion de pines de salidas de datos
remoteDevice.setIOConfiguration(IOLINE_OUT, IOMode.DIGITAL_OUT_LOW);
remoteDevice2.setIOConfiguration(IOLINE_OUT, IOMode.DIGITAL_OUT_LOW);
//remoteDevice2.setIOConfiguration(tempalert, IOMode.DIGITAL_OUT_LOW);
} catch (XBeeException e) {
    e.printStackTrace();
    localDevice.close();
    System.exit(1);
}

```

Figura 50: Configuración de entradas y salidas

```

@Override
public void run() {
    try {
        //determinar valor limite de temperatura
        int alerta = 27;
        //SE LEE EL VALOR ANALOGO DE LA ENTRADA.
        double value = remoteDevice.getADCValue(IOLINE_IN);
        value = value +1;
        value = (596 - value)/(3.1694);
        //leer el valor digital del accionador local
        IOValue accionador = localDevice.getDIOValue(IOLINE_INC);
        remoteDevice.setDIOValue(IOLINE_OUT, accionador);
        remoteDevice2.setDIOValue(IOLINE_OUT, accionador);
        System.out.println(IOLINE_IN + ": " + value);
        if (i < 30) {
            i = i + 1;
            S1 = S1 + value;
        }
        if (i == 10) {
            S1 = S1/10;
            BigDecimal bd = BigDecimal.valueOf(value);
            bd = bd.setScale(2, RoundingMode.HALF_UP);
            S1 = bd.doubleValue();
            System.out.println("LA TEMPERATURA EN EL SENSOR 1 ES " + S1);
            if (alerta < value)
            {
                System.out.println("ALERTA DE TEMPERATURA ALTA EN ESTACION " + REMOTE_NODE_IDENTIFIER2);
                localDevice.setDIOValue(IOLINE_OUT, IOValue.HIGH);
            }
            if (alerta > value)
            {
                localDevice.setDIOValue(IOLINE_OUT, IOValue.LOW);
            }
            i = 0;
            S1 = 0;
        }
    }
}

```

Figura 51: Ciclo principal de funcionamiento

11.5. Implementación de módulo de temperatura

Una vez realizado el circuito mostrado en la Figura 26 puede procederse a realizar el mapeo de datos. Para esto es necesario el uso de un dispositivo que nos permita comparar el voltaje de salida del empaquetado LM35DZ con la temperatura y así mismo con el valor resultado del ADC. Con estos datos se realiza una gráfica para obtener la relación matemática de los valores. El resultado será una tendencia de proporcionalidad inversa debido a que el voltaje utilizado es uno positivo en lugar de uno negativo.

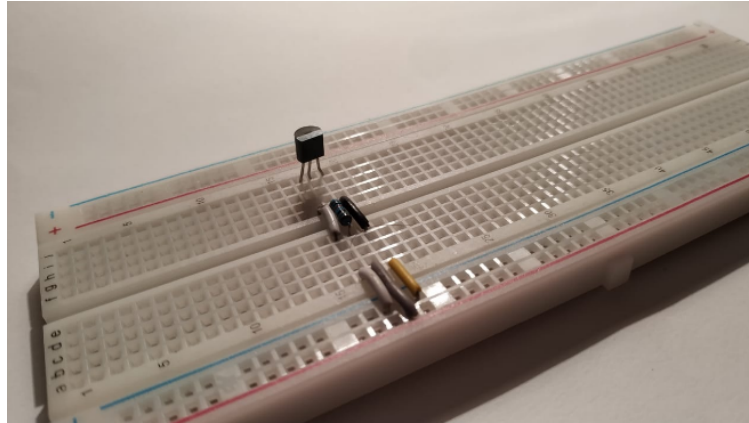


Figura 52: Prototipo de módulo de temperatura



Figura 53: Medición de voltaje de temperatura

Para la lectura de la temperatura se utilizaron 2 termómetros, uno digital y uno analógico. Esto se realizó con el propósito de tener una comparación lo más precisa posible ya que podía darse la problemática de mapear la relación con un termómetro poco preciso y por ende dar lugar a errores en la medición de temperaturas altas lo cual por consiguiente podría generar falsas alarmas de temperaturas altas.

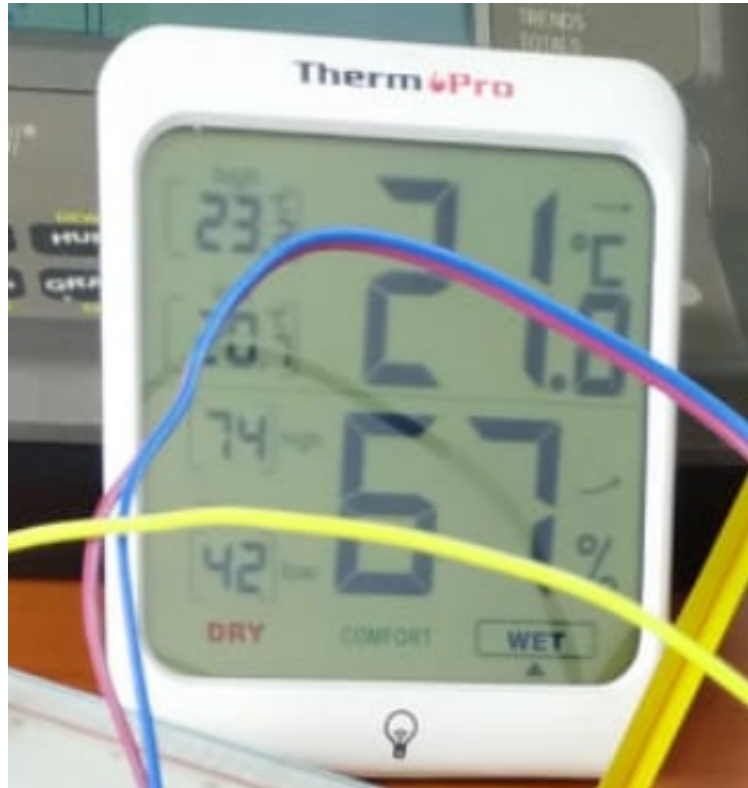


Figura 54: Termómetro digital utilizado



Figura 55: Termómetro análogo utilizado

11.6. Diseño de contenedores

Con el objetivo de proteger los circuitos y cableados de corrosión por humedad y contacto con polvo que es bastante recurrente en el sitio de trabajo se diseñó un contenedor que fuera capaz de aislar el módulo inalámbrico y la batería de alimentación. Al mismo tiempo este permite la conexión de distintos periféricos al módulo así como la conexión a la alimentación para los módulos de temperatura que se encontraran en su puntos de conexión. Los contenedores se crean en la herramienta de diseño 3D Autodesk Inventor para posteriormente exportar los archivos CAD correspondientes para su impresión 3D. La impresión se realiza a una densidad baja para disminuir el peso y se le agregan orificios con los tamaños adecuados para permitir la sujeción a superficies con la ayuda de pernos de variables dimensiones según sea la necesidad. A continuación se presentan las distintas vistas del diseño del contenedor diseñado.

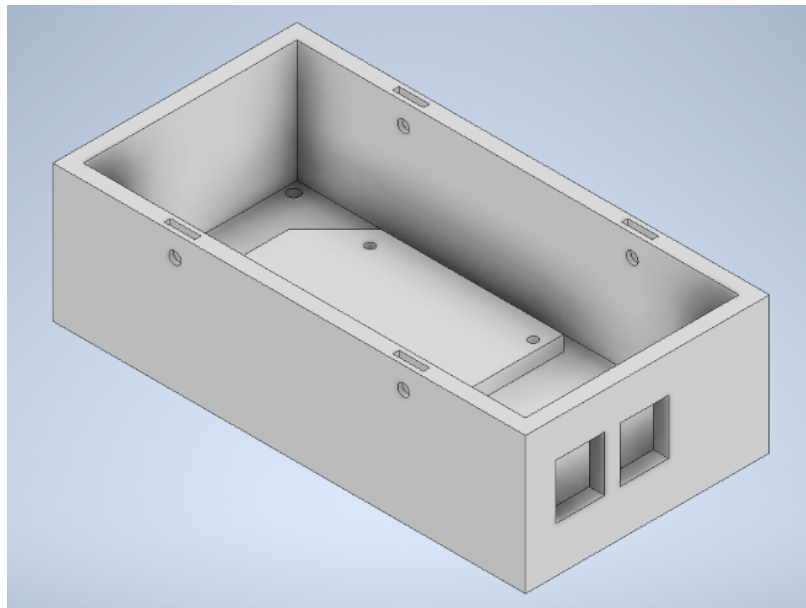


Figura 56: Vista isometrica case

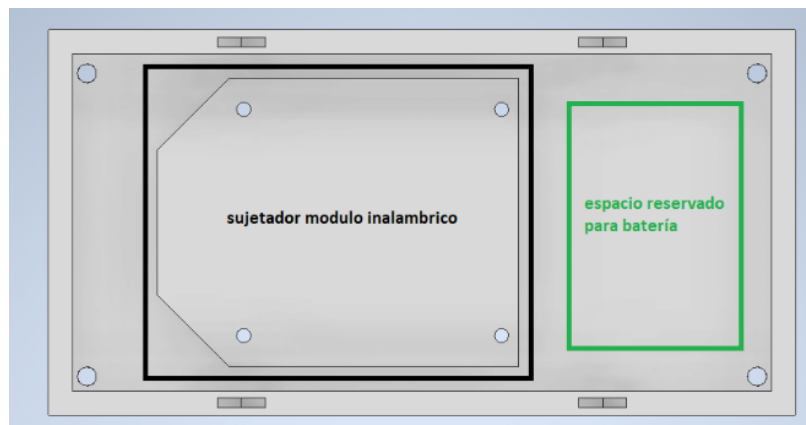


Figura 57: Vista superior case

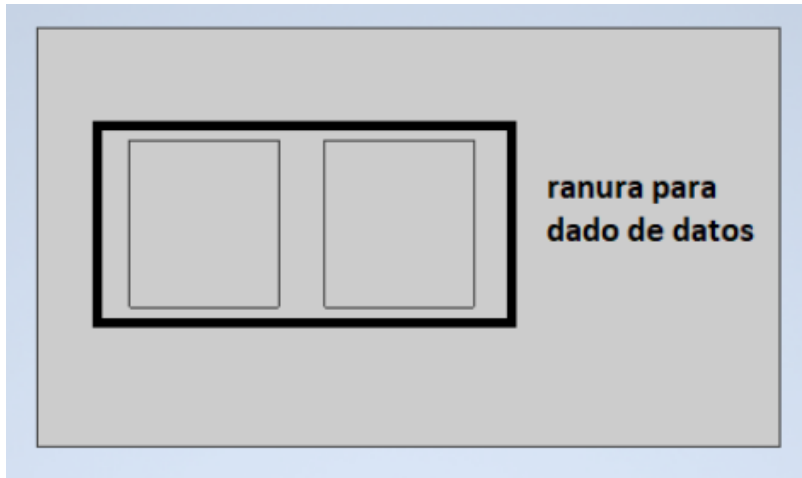


Figura 58: Vista frontal case

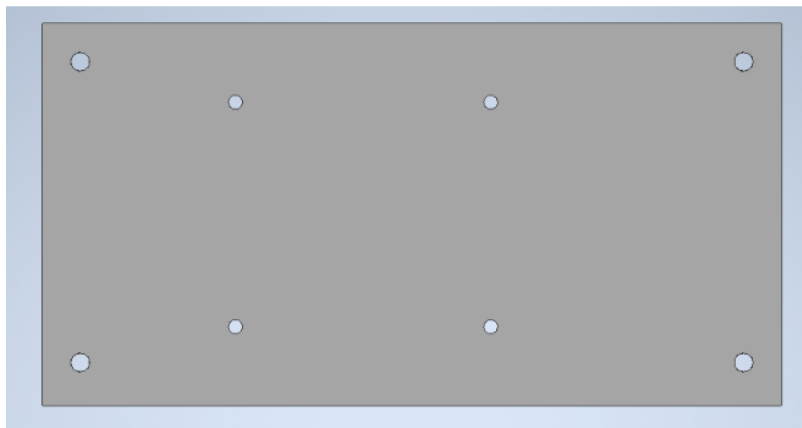


Figura 59: Vista inferior case

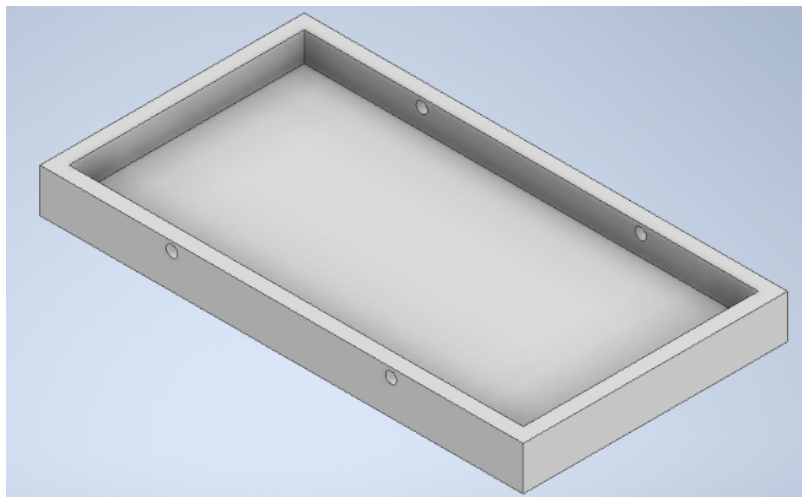


Figura 60: Vista isometrica tapa

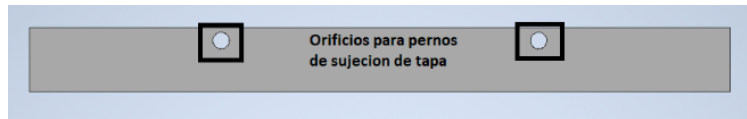


Figura 61: Vista frontal tapa

Adicional a este modulo se propone el diseño de un contenedor con el propósito de proteger los circuitos diseñados para detectar las distintas variables en el ambiente. Dicho contenedor sera capaz de exponer los sensores correspondientes al ambiente sin exponerse completamente, lo cual podría causar fallos por corrosión.

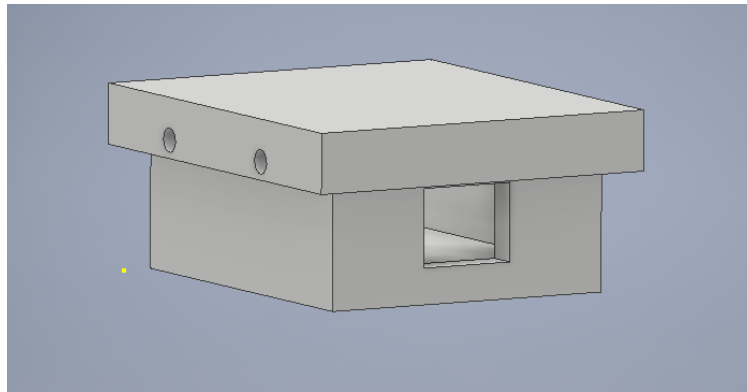


Figura 62: Vista isometrica de módulo de sensores

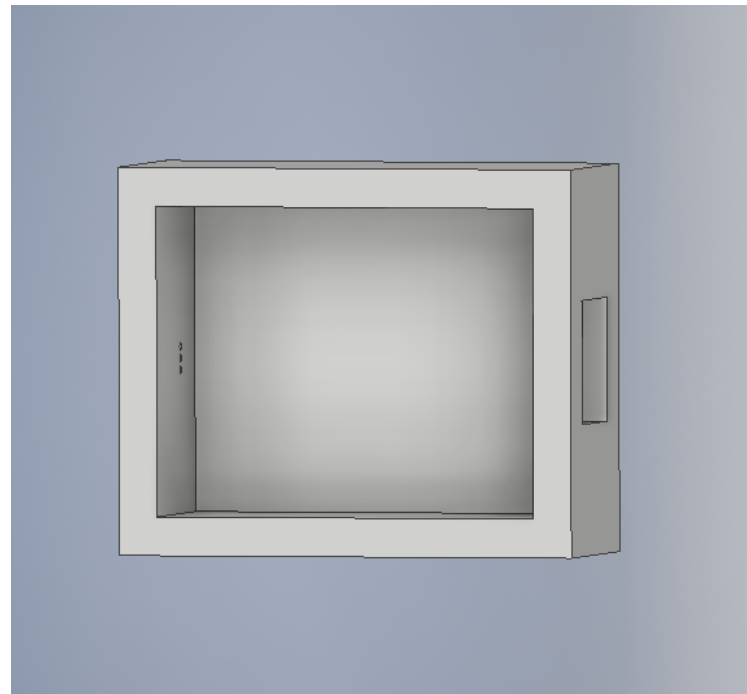


Figura 63: Vista superior de módulo de sensores

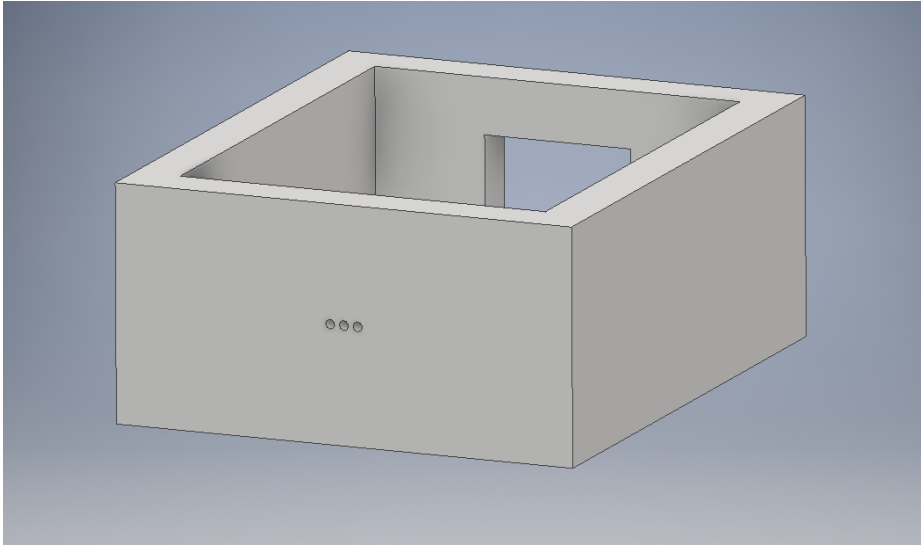


Figura 64: Entrada de sensores en módulo

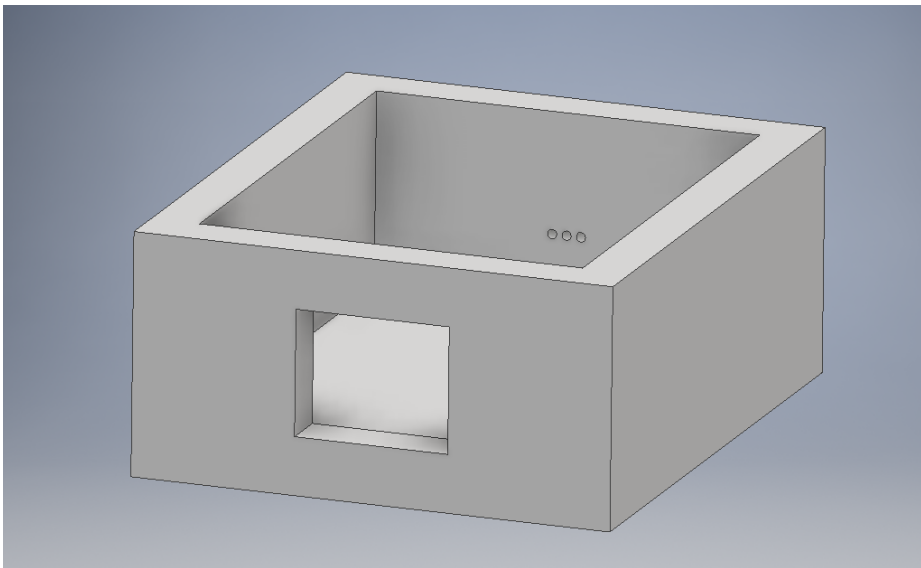


Figura 65: Alimentación y datos de módulo de sensores

12.1. Comunicación inalámbrica

Para comprobar que la comunicación a las distancias definidas sería estable se realizó una prueba de rango de comunicación con la ayuda del software XCTU que incluye una funcionalidad para realizar específicamente este tipo de prueba. Dicha prueba consiste del envío y recepción de paquetes en rápida sucesión. Para tener una idea de la calidad de transmisión de datos se realizaron 2 pruebas; 120 m y 65 m de distancia que corresponden a las distancias máximas entre nodos. Cada prueba presenta la cantidad de paquetes enviados así como la cantidad de datos recibidos y un medido de la razón de la potencia de la señal entre los nodos que se encuentren en prueba.

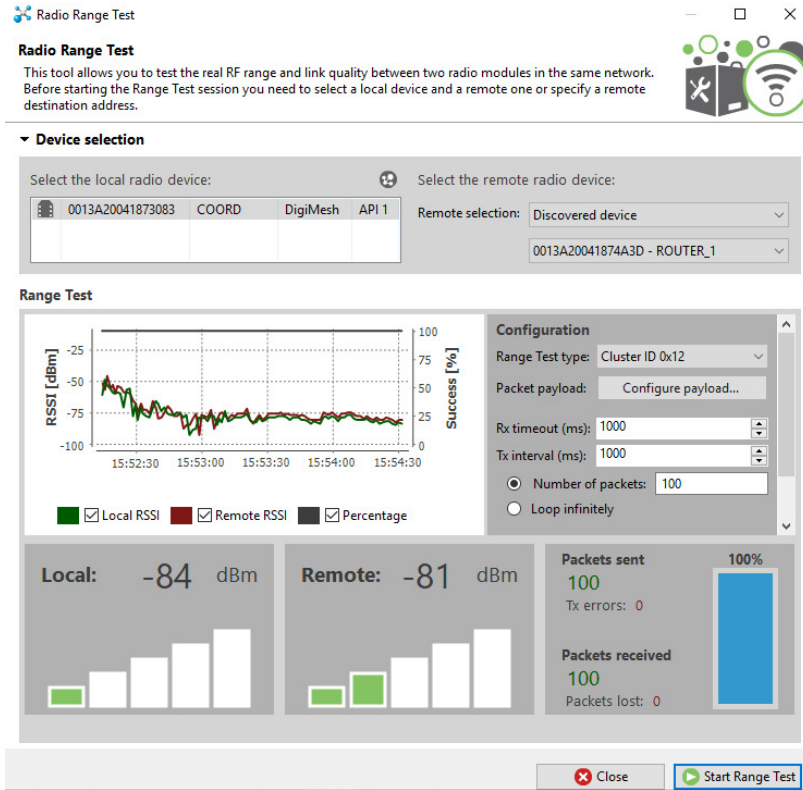


Figura 66: Resultados de conexión de sirena a bodega

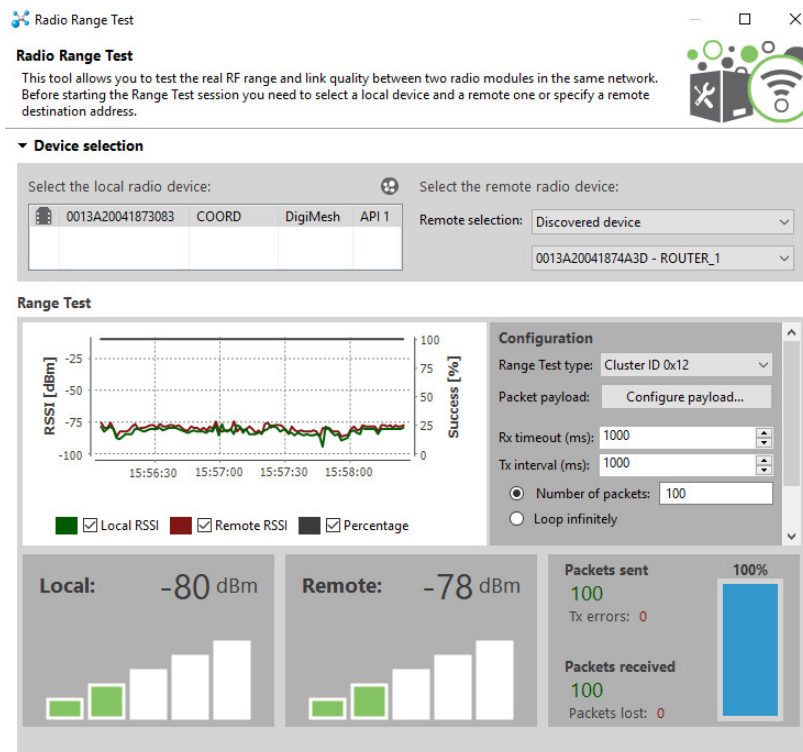


Figura 67: Resultados de conexión de bodega a báscula

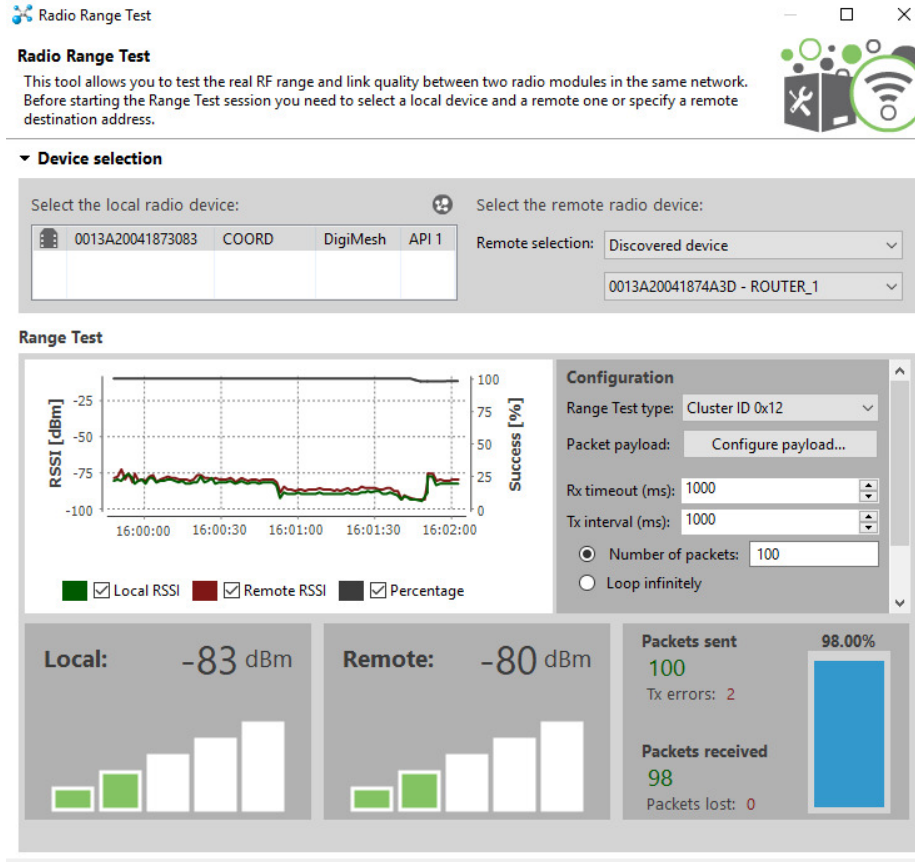


Figura 68: Resultados de conexión a 200 metros de separación

12.2. Lectura y envío de temperatura de red

Con el correcto funcionamiento del módulo de temperatura se procede a realizar las tablas de datos con las cuales es posible obtener la relación de temperatura a voltaje para convertir el valor de entrada del ADC a un número equivalente de la temperatura del ambiente para el programa.

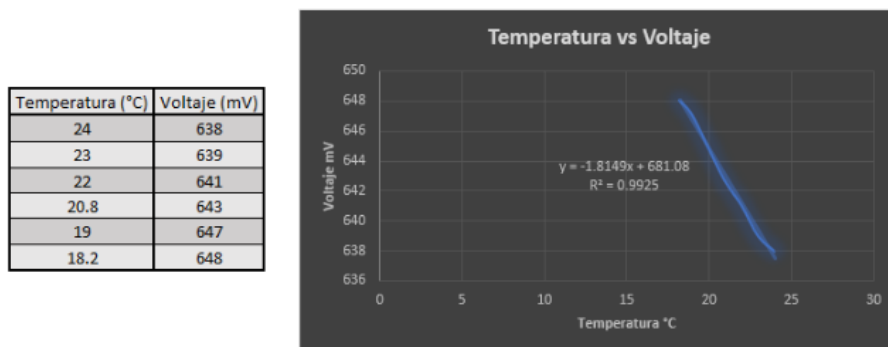


Figura 69: Relación de temperatura contra voltaje

Temperatura (°C)	ADC
24	520
22	527
21.1	529

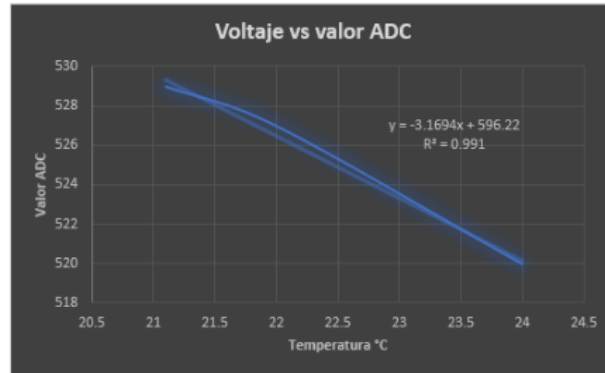


Figura 70: Relación de voltaje contra valor ADC

Con los datos mapeados y graficados es posible crear una relación matemática que nos permita convertir el valor en el ADC a uno equivalente de la temperatura. Esta relación se obtiene de la función generada por la relación del voltaje contra el valor de ADC dando como resultado el valor de la temperatura en grados Centígrados equivalentes en el programa generado.

Temperatura (°C)	ADC
24	520
22	527
21.1	529

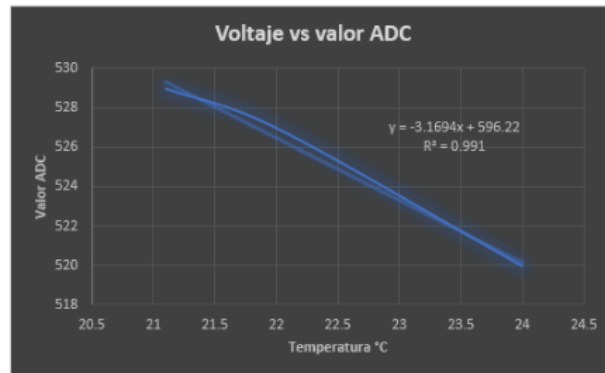


Figura 71: Lecturas de temperatura

Con esta información se confirma el correcto funcionamiento de la lectura y transformación del valor de la temperatura en el programa obteniendo como resultado una precisa lectura de la temperatura en el ambiente con un pequeño error 0.1 °C que realmente prueba ser de mínimo impacto ya que la aplicación no verá diferencia en ese margen de precisión.

12.3. Accionamiento de alarmas

12.3.1. Modo manual

Para el accionamiento manual se hizo uso de un switch en conjunto con una entrada digital al modulo inalámbrico para la activación desde el módulo coordinador que envía 2 salidas digitales a los módulos inalámbricos con alarmas incorporadas. Para la fase de prototipo se implementó tanto una alarma visual como una sonora de prueba. Para la alarma sonora se utilizó un buzzer de 3-24V que al activarse la señal de alarma suena de manera constante hasta que el switch se desactive. Dicho buzzer se activó con un promedio de 3.2 V generando un sonido [lohttps://es.overleaf.com/project/5eaf5ba0d67b330001faaa35](https://es.overleaf.com/project/5eaf5ba0d67b330001faaa35) suficientemente intenso como para notificar al personal dentro de bodega.

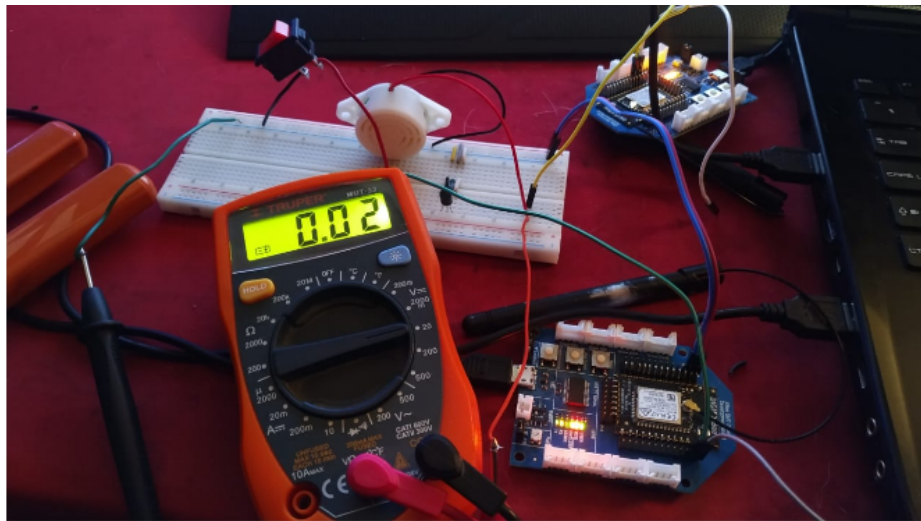


Figura 72: Buzzer de alarma apagado

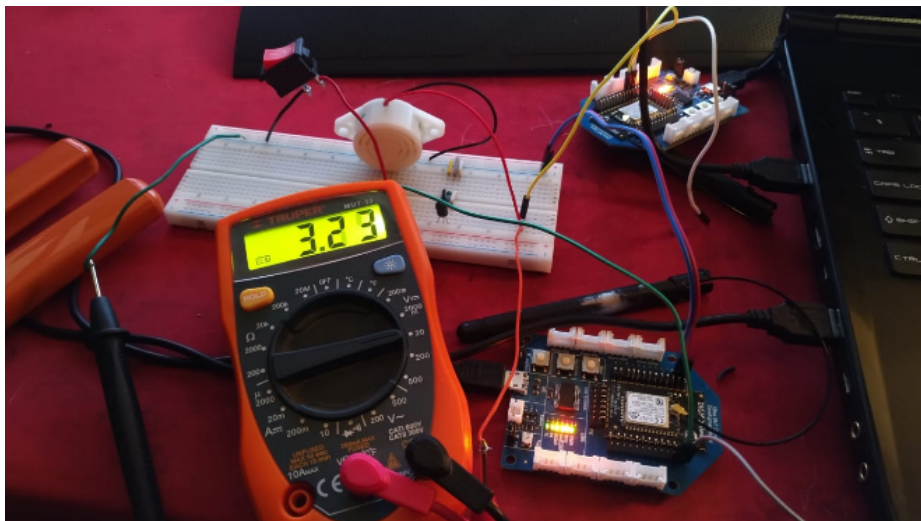


Figura 73: Buzzer de alarma encendido

Con la misma acción se activa una segunda salida digital con el propósito de activar una segunda alarma visual. Para la activación de dicha alarma se implementó un módulo de potencia denominado “módulo relay” que permite la activación de circuitos de alta potencia a 120V o 240V siempre que el consumo de corriente no sobrepase las especificaciones del relé en el módulo de potencia. Para la activación se utilizó la señal digital de activación de alarma, mientras la alimentación para el módulo de potencia se provee directamente desde la batería instalada para alimentación del modulo inalámbrico debido a que este módulo requiere de una alimentación mayor a 3.5V. Con el objetivo de llamar la atención visual del personal dentro de bodega se programa un modo de activación intermitente que enciende y apaga repetidamente el foco de alarma utilizado.

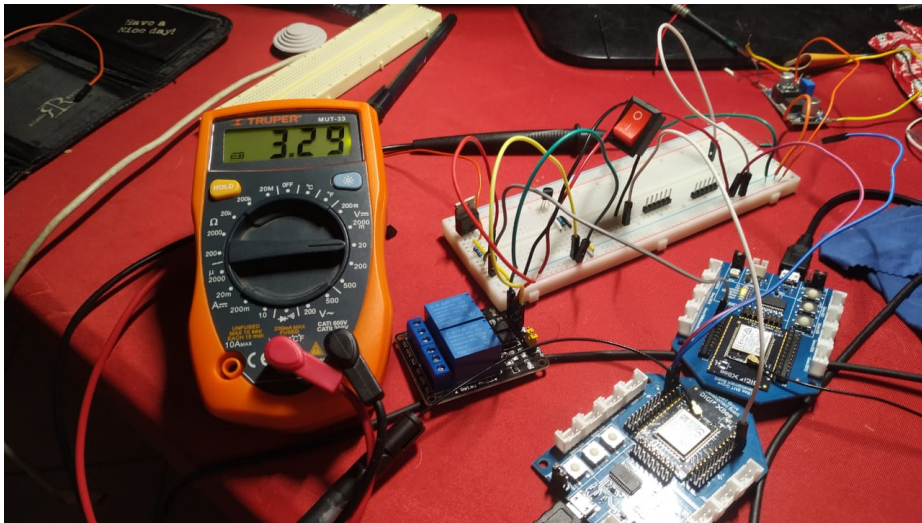


Figura 74: Relé de alarma apagado

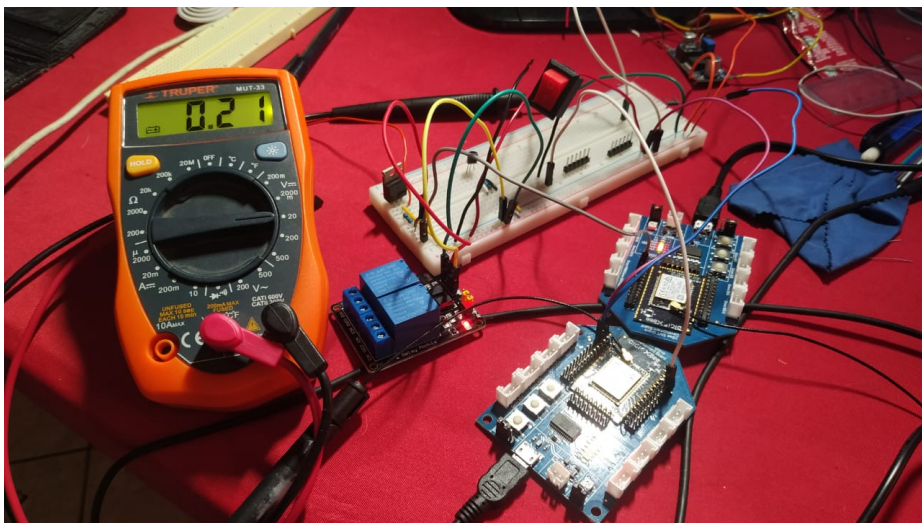


Figura 75: Relé de alarma encendido

12.3.2. Modo automático

Para el accionamiento automático se emplea una comparación de temperatura predefinida para evaluar si se presenta una ocasión de emergencia y es necesario activar la alarma. Cuando la temperatura alcance el valor predeterminado se activaran las dos salidas digitales en cada módulo que posea un sistema de alarmas para accionar tanto el buzzer como la alarma visual de la misma manera que lo realiza en su funcionamiento manual.

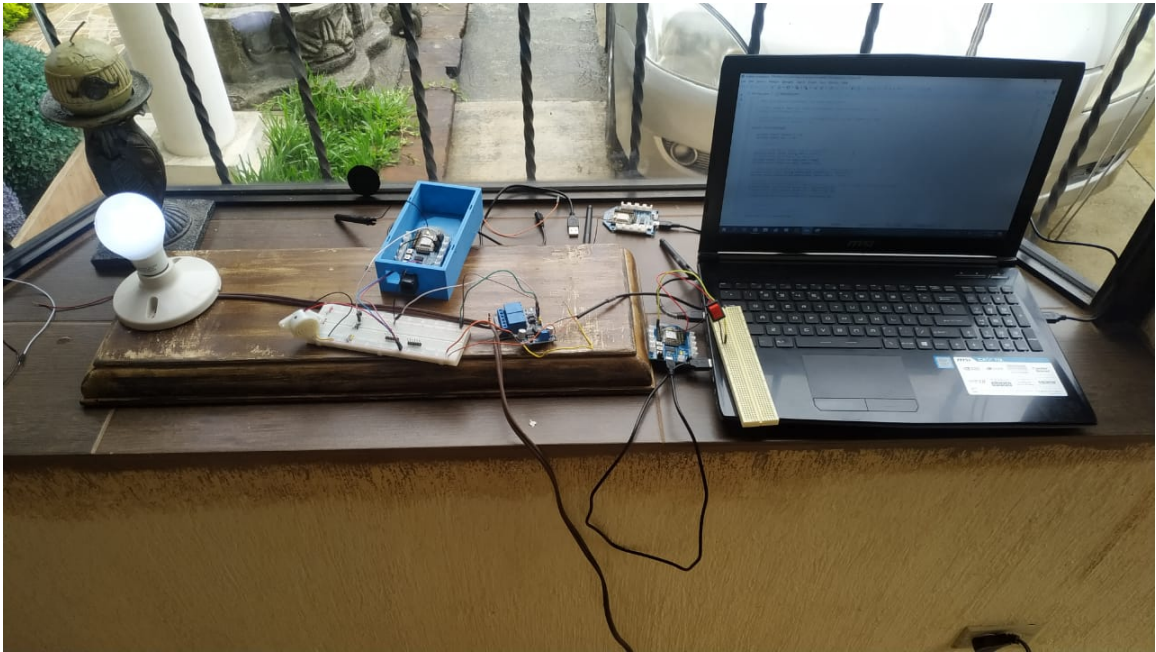


Figura 76: Prototipo del sistema en funcionamiento

Discusión de resultados

En un sitio de operaciones industriales la probabilidad de accidentes de diversos tipos es un peligro latente, por lo cual la seguridad de operaciones representará de manera constante un área a la cual prestar atención para cuidar de la salud y seguridad de los empleados laborando en dicho sitio. El objetivo del desarrollo del prototipo planteado es cuidar del peligro latente de la generación de conatos de incendio así como diversos tipos de peligros que pueden ser divisados fácilmente por personal en contacto visual con dichos sucesos y notificar a la mayor cantidad de personal en la menor cantidad de tiempo, objetivo que se cumple con la implementación de alarmas tanto visuales como sonoras en puntos deseados sin la necesidad de conexión física para entrega de datos.

Para la fase de creación de red se escogió la red de tipo malla para la aplicación, este tipo de red permite que cada uno de los módulos inalámbricos, aun siendo configurados como un esclavo que está destinado únicamente a recibir y enviar datos, funcionara al mismo tiempo como un maestro o coordinador. Esto permite que si el coordinador se encuentra demasiado lejos de un nodo el coordinador pueden alcanzarlo por medio de rutas a través de distintos nodos. Esto también agrega una capa a la seguridad de conexión debido a que si una ruta hacia un nodo no se encuentra disponible por mal funcionamiento el mensaje es capaz de ser entregado a través de otras rutas utilizando distintos nodos. Esta funcionalidad de la red tipo malla permite tener versatilidad en cuanto a la ubicación de los distintos nodos ya que debido a la geografía del sitio de trabajo no se tiene la versatilidad de escoger ubicaciones exactas de nodos de comunicación y la topología malla asegura el acceso a cualquier nodo así como la recepción de datos de estos hacia el coordinador o cualquier nodo.

Con la red creada los módulos inalámbricos cumplen la función de terminal de datos así como de nodos de red, por lo cual no es necesaria la implementación de ninguno micro-controlador adicional al sistema. Esto facilita grandemente el proyecto debido a que tanto la alimentación, el dispositivo de red y las terminales de datos se encuentran centralizados en un solo modulo de bajo consumo energético. El módulo Zigbee Xbee3 SMT es capaz de

recibir y entregar tanto salidas y entrada digitales así como análogas, esto con el uso de un ADC incorporado en el módulo disponible en algunos pines I/O lo cual permite tanto versatilidad como sencillez en la aplicación de distintos módulos sensores para agregar a la red.

El envío y recepción de datos probó ser exitoso a las distancias probadas y teóricamente estos podrían extenderse hasta 150 metros, sin embargo estas distancias a medida que se acercan más al límite de alcance presentan una caída notable en la entrega y recepción de datos como se pudo observar en las pruebas realizadas.

El módulo de temperatura debió ser implementado sin una alimentación negativa como lo indica su aplicación típica, sin embargo con una alimentación de 3.3V probó funcionar entregando una relación inversamente proporcional, la cual puede mapearse y relacionarse matemáticamente para entregar una conversión de su voltaje a temperatura. La precisión en las medidas además probó ser bastante acertada, aún más de lo que era necesario para esta aplicación, demostrando un error de ± 0.1 grados Centígrados, que para la detección de aumentos de temperatura prueba entregar un dato con suficiente precisión como para diferenciar un ambiente con temperatura alta, indicando un conato de incendio.

El diseño del contenedor fue capaz de almacenar dentro de él tanto el módulo como la batería de alimentación necesaria para el funcionamiento del módulo inalámbrico y de temperatura, el ensamble es además bastante sencillo ya que únicamente son 2 piezas que encajan con bastante precisión y además pueden asegurarse con la ayuda de 4 pernos y sus roscas correspondientes.

Finalmente los dos modos de accionamiento de alarmas sonora y visual fueron exitosas así como fácilmente configurables ya que con 2 simples salidas digitales es posible accionar ambas alarmas. El módulo relay cumple la función de módulo de potencia permitiendo accionar circuitos de 120VAC o 240VAC con un consumo de 15A y 10 A respectivamente. La alarma probó ser tanto divisible en el cuarto de bodega y se escuchaba con suficiente intensidad también en el interior del cuarto.

El prototipo probó en todos los aspectos cumplir con los objetivos planteados así como permitir la sencilla actualización e implementación de nuevos módulos por medio de su programación en el entorno de java y sencilla conexión física a los módulos inalámbricos. La implementación de los sensores de temperatura probó que distintos tipos de sensores pueden ser fácilmente incluidos en el sistema y permitiendo explorar con distintas variables a medir expandiendo así sus aplicaciones. Finalmente la implementación del módulo de potencia nos permite experimentar con distintos actuadores de hasta 240V siempre que el consumo de corriente de estos se mantenga debajo de los 10A, por lo que para implementar actuadores de alta potencia será necesario hacer uso de contactores diseñados para alta potencia.

- Los puntos geográficos de los nodos prueban ser un reto para la comunicación inalámbrica que se logran resolver con la ayuda de la topología mesh.
- Los sensores de temperatura escogidos presentaron resultados satisfactorios y precisos que cumplen con las necesidades del proyecto.
- La topología de red tipo mesh presenta estabilidad y versatilidad de conexión a los distintos nodos conectados.
- El módulo rele utilizado cumple con las características necesarias para activar una alarma clara que indica la ocurrencia de una emergencia

Recomendaciones

- Para una aplicación mas industrial es recomendado reemplazar el módulo rele por un circuito de potencia capaz de soportar la carga de una sirena de alta potencia.
- Para cubrir un amplio espectro de eventualidades es necesario emplear más sensores para la temprana detección de conatos de incendio.
- La creación de una interfaz gráfica es recomendable para la simple interpretación de las distintas variables en medición en los distintos nodos.
- Para asegurar el correcto funcionamiento de la topología Digi malla deben de conectarse mas módulos y desconectar uno por uno para verificar la efectividad de la topología escogida.
- La inclusión de un módulo de alimentación de voltaje de energía renovable como un panel solar probaría ser muy ventajoso y le brindaría gran independencia al sistema.

- [1] *Realidad del Relleno Sanitario"de la zona 3.*
- [2] M. Medina, "Manejo de desechos solidos y desarrollo sustentable", Económica de CUC, 1995.
- [3] *Sistema electrónica de alerta temprana para la detección de incendios en la empresa Aceterm de la ciudad de Santo Domingo de los Tsachilas - Gascón, David*, [Visitado el 27. Feb. 2020], Universidad Técnica de Ambato, 2017. dirección: <http://192.188.46.193/handle/123456789/37296>.
- [4] *Escala de sismos.*
- [5] *¿Que tipos de alarmas hay?*
- [6] *¿Que significan los terminos WiFi para todo el hogar y WiFi mesh?*, [Visitado el 15. Mar. 2020], LINKSYS, 2020. dirección: <https://www.linksys.com/es/r/resource-center/whole-home-mesh-wifi/>.
- [7] *ExamplesGuides.*
- [8] *Contactor - ¿Qué es?*

XBee SMT Grove Development Board



Figura 77: Xbee 3 development board

XBee I/O pins

The following table shows the I/O pins of the XBee THT and XBee SMT modules:

XBee THT Model



XBee SMT model

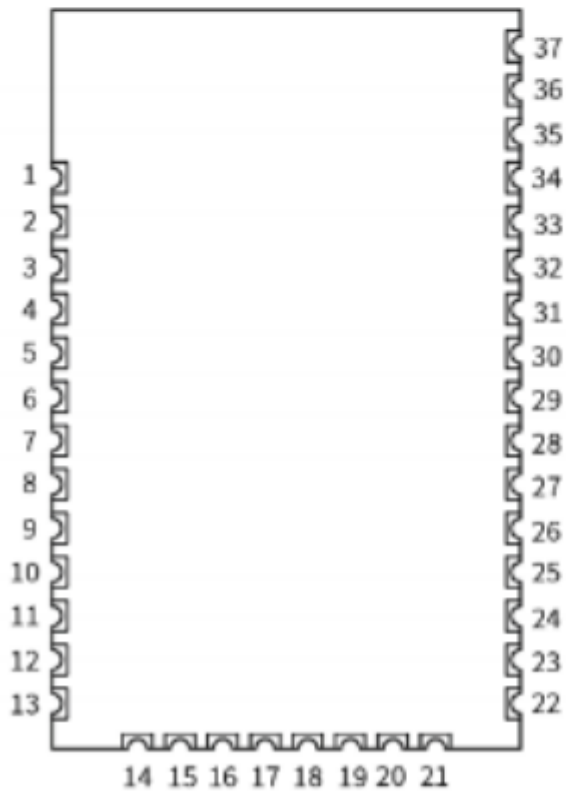


Figura 78: Distribución de pines en Xbee 3

Pin name	Physical pin#		Parameter
	THT	SMT	
DIO0, AD0	20	33	D0
DIO1, AD1	19	32	D1
DIO2, AD2	18	31	D2
DIO3, AD3	17	30	D3
DIO4	11	24	D4
DIO5	15	28	D5
DIO6	16	29	D6
DIO7	12	25	D7
DIO8	9	10	D8
DIO9	13	26	D9
DIO10, PWM RSSI	6	7	P0
PWM1, DIO11	7	8	P1
DIO12, PWM2	4	21	P2
DIO13	2	3	P3
DIO14	3	4	P4
DIO15	—	17	P5
DIO16	—	16	P6
DIO17	—	15	P7
DIO18	—	14	P8
DIO19	—	12	P9

(D = digital, I = input, O = output, AD = analog input, PWM = pulse-width modulation, — not available)

Note The number and type of IOs available can vary between different module variants.

Figura 79: Descripción de pines en Xbee 3 SMT

2. Use XCTU to configure the following parameters:


Param	XBee A	XBee B	XBee C	Effect
ID	2015	2015	2015	Defines the network that a radio will attach to. This must be the same for all radios in your network.
JV	—	Enabled [1]	Enabled [1]	Verifies if a coordinator exists on the same channel to join the network or to leave if it cannot be found.
CE	Enabled [1]	—	—	Sets the device as coordinator.
DH	—	0	0	Defines the destination address (high part) to transmit the data to. The address 0000000000000000 can be used to address the coordinator.
DL	—	0	0	Defines the destination address (low part) to transmit the data to. The address 0000000000000000 can be used to address the coordinator.
NI	COORD	ROUTER_1	ROUTER_2	<p>Defines the node identifier, a human-friendly name for the module.</p> <hr/>  <p>The default NI value is a blank space. Make sure to delete the space when you change the value.</p> <hr/>
AP	API enabled [1]	API enabled [1]	API enabled [1]	Enables the API operating mode.
D4	—	Digital Input [3]	Digital Input [3]	Sets the DIO4/AD4 pin as digital input in the senders. This pin is connected to a button.
IC	—	10	10	<p>Configures the senders to transmit an IO sample when pin DIO4 (where the button is connected) changes. 00010000 (binary) = 10 (hexadecimal).</p> <p>For more information on how to configure this parameter to monitor the pins, see How to obtain data from a sensor.</p>

Figura 80: Tabla de configuraciones para Xbee 3

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

FEATURES

- Calibrated Directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10 mV/°C Scale Factor
- 0.5°C Ensured Accuracy (at +25°C)
- Rated for Full –55°C to +150°C Range
- Suitable for Remote Applications
- Low Cost Due to Wafer-Level Trimming
- Operates from 4 to 30 V
- Less than 60-µA Current Drain
- Low Self-Heating, 0.08°C in Still Air
- Nonlinearity Only ±¼°C Typical
- Low Impedance Output, 0.1 Ω for 1 mA Load

DESCRIPTION

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, with an output voltage linearly proportional to the Centigrade temperature. Thus the LM35 has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from the output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of ±¼°C at room temperature and ±¾°C over a full –55°C to +150°C temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The low output impedance, linear output, and precise inherent calibration of the LM35 make interfacing to readout or control circuitry especially easy. The device is used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As the LM35 draws only 60 µA from the supply, it has very low self-heating of less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a –55°C to +150°C temperature range, while the LM35C is rated for a –40°C to +110°C range (–10° with improved accuracy). The LM35 series is available packaged in hermetic TO transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface-mount small-outline package and a plastic TO-220 package.

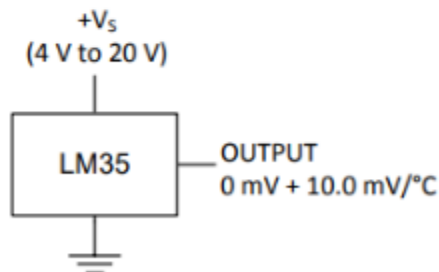
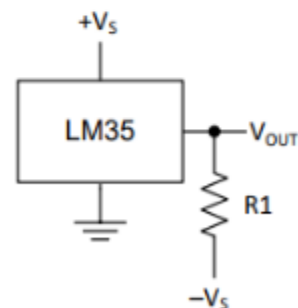


Figure 1. Basic Centigrade Temperature Sensor (+2°C to +150°C)

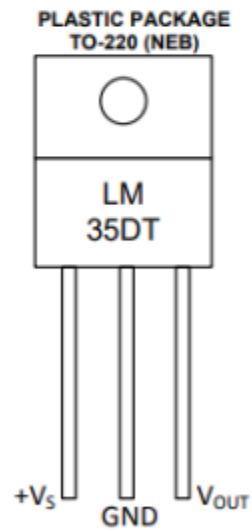
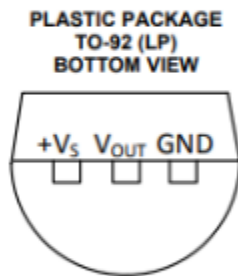
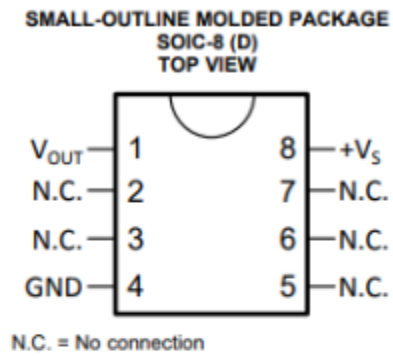
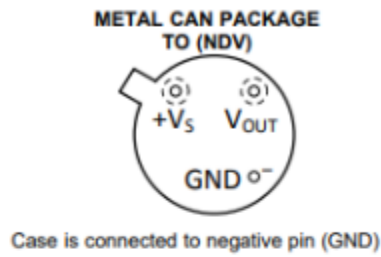


Choose $R_1 = -V_S / 50 \mu\text{A}$
 $V_{OUT} = 1500 \text{ mV at } 150^\circ\text{C}$
 $V_{OUT} = 250 \text{ mV at } 25^\circ\text{C}$
 $V_{OUT} = -550 \text{ mV at } -55^\circ\text{C}$

Figure 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Figura 81: Descripción general de LM35

CONNECTION DIAGRAMS



Tab is connected to the negative pin (GND).

NOTE: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP

Figura 82: Diagrama de empaquetados LM35

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ⁽¹⁾⁽²⁾

		MIN	MAX	UNIT	
Supply voltage		-0.2	35	V	
Output voltage		-1	6	V	
Output current			10	mA	
Electrostatic discharge (ESD) susceptibility ⁽³⁾			2500	V	
Storage temperature	TO Package	-60	180	°C	
	TO-92 Package	-60	150		
	TO-220 Package	-65	150		
	SOIC-8 Package	-65	150		
Lead temperature	TO Package (soldering, 10 seconds)		300	°C	
	TO-92 and TO-220 Package (soldering, 10 seconds)		260		
	SOIC Package	Infrared (15 seconds)	220		
		Vapor phase (60 seconds)	215		
Specified operating temperature range: T_{MIN} to T_{MAX} ⁽⁴⁾	LM35, LM35A		-55	150	°C
	LM35C, LM35CA		-40	110	
	LM35D		0	100	

Figura 83: Tabla de valores máximos LM35

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ⁽¹⁾⁽²⁾

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM35A			LM35CA			UNITS (MAX.)
		TYP	TESTED LIMIT ⁽³⁾	DESIGN LIMIT ⁽⁴⁾	TYP	TESTED LIMIT ⁽³⁾	DESIGN LIMIT ⁽⁴⁾	
Accuracy ⁽⁵⁾	$T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1	
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1		± 0.4	± 1		
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1		± 0.4		± 1.5	
Nonlinearity ⁽⁶⁾	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	°C
Sensor gain (average slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10	+9.9, +10.1		+10		+9.9, +10.1	mV/°C
Load regulation ⁽⁷⁾ $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1		± 0.4	± 1		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3	± 0.5		± 3	
Line regulation ⁽⁷⁾	$T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4 \text{ V} \leq V_S \leq 30 \text{ V}$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	

Figura 84: Tabla de características eléctricas de LM35

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

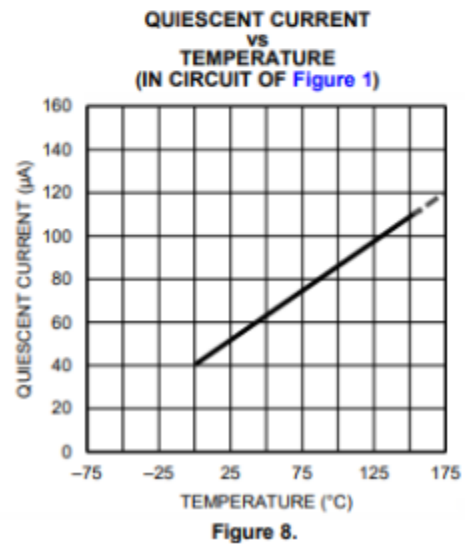
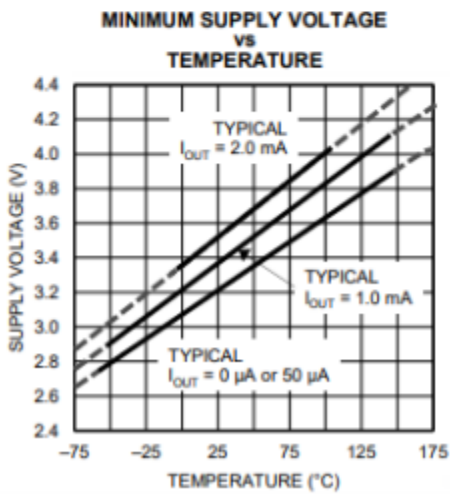
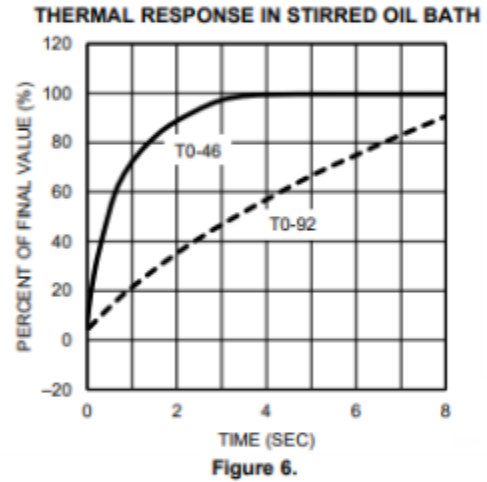
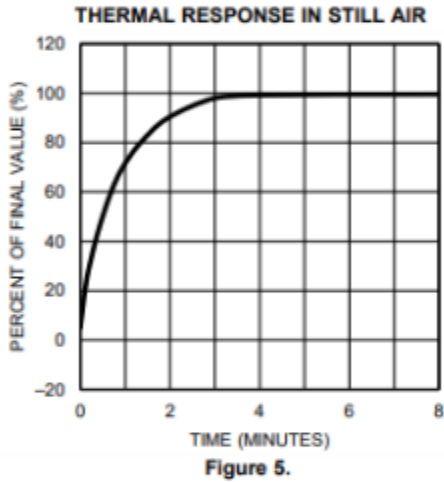
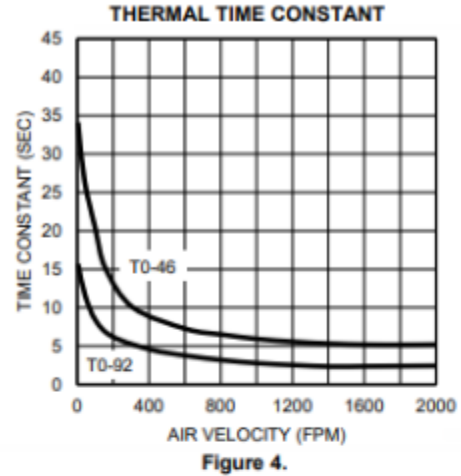
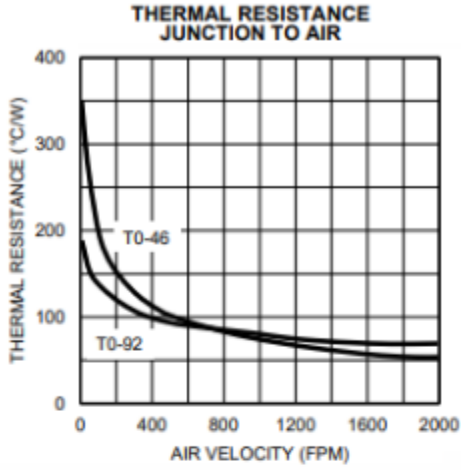


Figura 85: Gráfica comportamientos de LM35

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (continued)
QUIESCENT CURRENT
vs
TEMPERATURE
(IN CIRCUIT OF Figure 2)

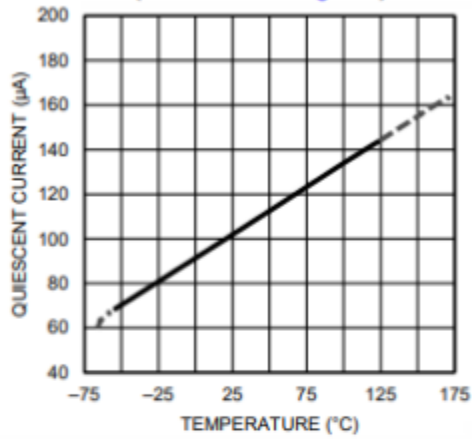


Figure 9.

ACCURACY
vs
TEMPERATURE (ENSURED)

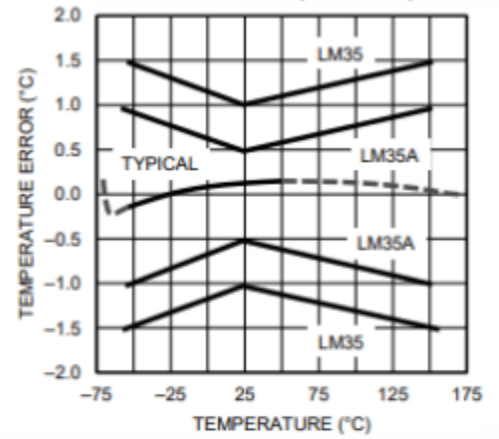


Figure 10.

ACCURACY
vs
TEMPERATURE (ENSURED)

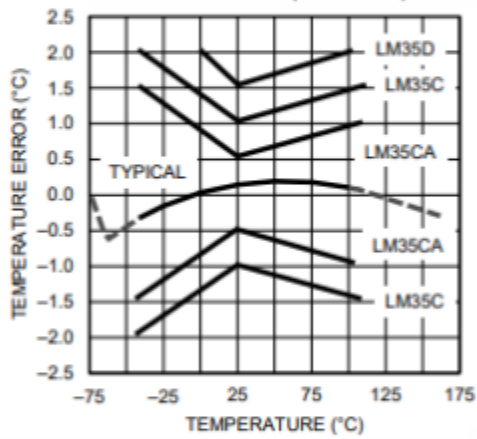


Figure 11.

NOISE VOLTAGE

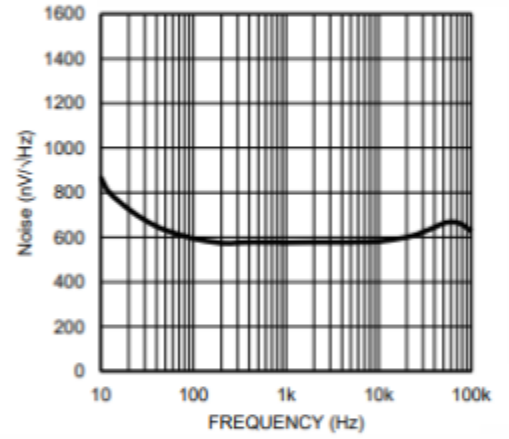


Figure 12.

START-UP RESPONSE

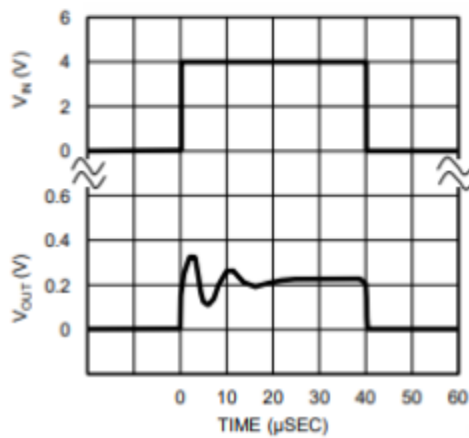


Figure 13.

Figura 86: 2. Gráficas de comportamientos de LM35

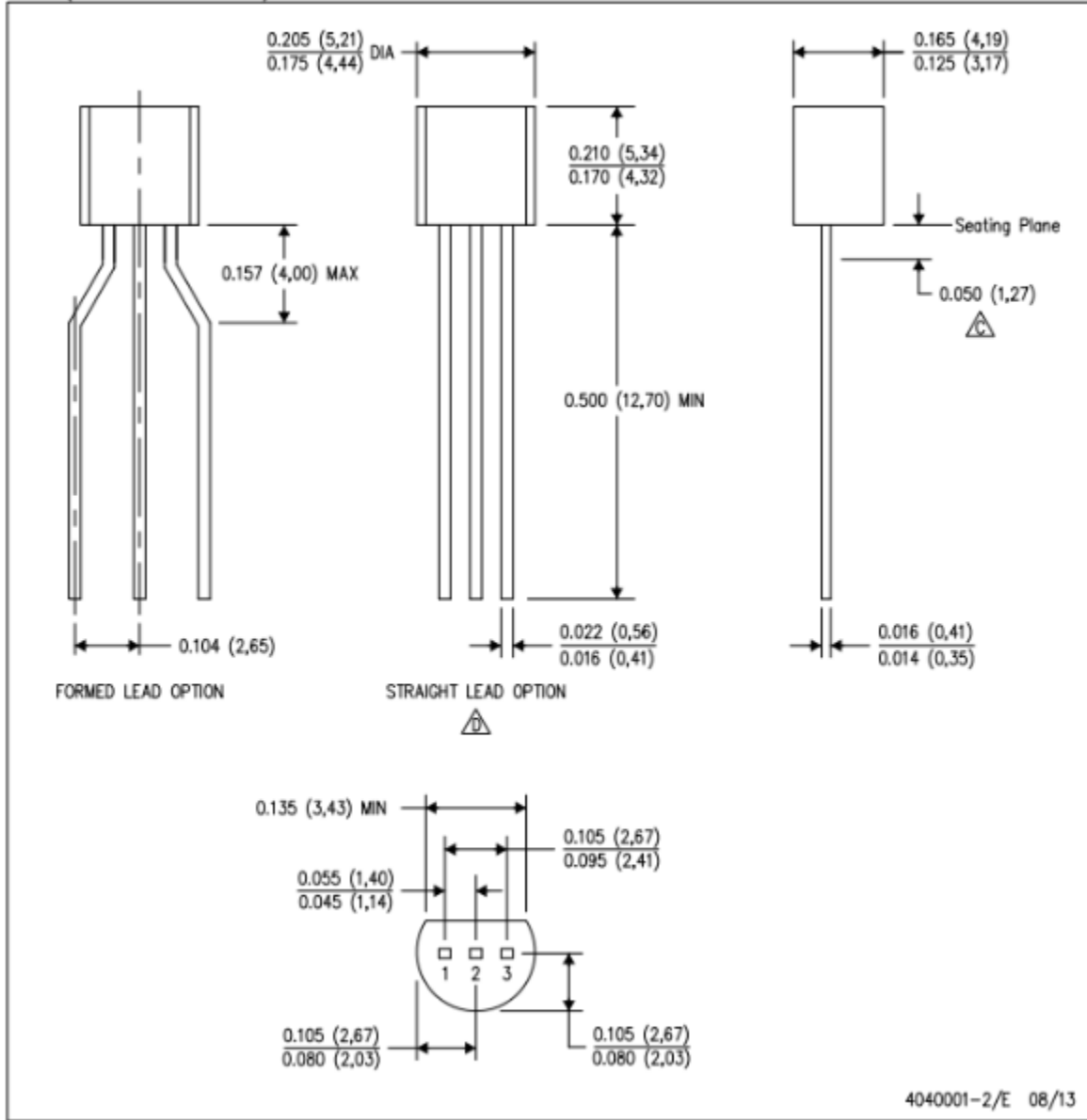


Figura 87: Diseño de empaquetado LM35DZ

```

1 package com.digi.xbee.api.remoteadc;
2
3 import java.math.BigDecimal;
15
16 /**
17  * XBee Java Library Read Remote ADC sample application.
18  *
19  * <p>This example reads the remote potentiometer value and prints it in the
20  * output console every 250ms.</p>
21  *
22  * <p>For a complete description on the example, refer to the 'ReadMe.txt' file
23  * included in the root directory.</p>
24  */
25 public class MainApp{
26
27     private static double SI = 0;
28     private static int i = 0;
29
30     /* Constants */
31
32     // REEMPLAZAR POR EL PUERTO SERIAL A UTILIZAR.
33     private static final String PORT = "COM4";
34     // REEMPLAZAR CON BAUDRATE DEL MODULO .
35     private static final int BAUD_RATE = 9600;
36     private static final int READ_TIMEOUT = 25;
37
38     // Reemplazar con nombres de dispositivos remotos configurados en la red
39     private static final String REMOTE_NODE_IDENTIFIER = "ROUTER_1";
40     private static final String REMOTE_NODE_IDENTIFIER2 = "ROUTER_2";
41
42     //entradas y salidas de dispositivos
43     //(se utiliza D0 como entrada en todos los dispositivos y D4 como salida en dispositivos remotos)
44     private static final IOLine IOLINE_INC = IOLine.DIO0_AD0;
45     private static final IOLine IOLINE_OUT = IOLine.DIO4_AD4;
46     //private static final IOLine tempAlert = IOLine.DIO5_AD5;
47     private static final IOLine IOLINE_IN = IOLine.DIO1_AD1;
48
49     /**
50     * Application main method.

```

Figura 88: Código programado en Java

```

51  *
52  * @param args Command line arguments.
53  */
54  public static void main(String[] args) {
55      System.out.println(" +-----+");
56      System.out.println(" | XBee Java Library Read Remote ADC Sample |");
57      System.out.println(" +-----+\n");
58
59      XBeeDevice localDevice = new XBeeDevice(PORT, BAUD_RATE);
60      //SE CREA UNA CLASE TIMER PARA DESPLEGAR DATOS
61      Timer readADCTimer = new Timer();
62
63      try {
64          localDevice.open();
65
66          // SE OBTIENE LA CONFIGURACION PREESCRITA EN LOS MODULOS.
67          XBeeNetwork xbeeNetwork = localDevice.getNetwork();
68          RemoteXBeeDevice remoteDevice = xbeeNetwork.discoverDevice(REMOTE_NODE_IDENTIFIER);
69          if (remoteDevice == null) {
70              System.out.println("Couldn't find the remote XBee device with '" + REMOTE_NODE_IDENTIFIER + "' Node Identifier.");
71              localDevice.close();
72              System.exit(1);
73          }
74          RemoteXBeeDevice remoteDevice2 = xbeeNetwork.discoverDevice(REMOTE_NODE_IDENTIFIER2);
75          if (remoteDevice2 == null) {
76              System.out.println("Couldn't find the remote XBee device with '" + REMOTE_NODE_IDENTIFIER2 + "' Node Identifier.");
77              localDevice.close();
78              System.exit(1);
79          }
80
81          //Configuracion de pines de entradas de datos
82          localDevice.setIOConfiguration(IOLINE_INC, IOMode.DIGITAL_IN);
83          remoteDevice.setIOConfiguration(IOLINE_IN, IOMode.ADC);
84          readADCTimer.schedule(new ReadADCTask(remoteDevice2, remoteDevice, localDevice), 0, READ_TIMEOUT);
85
86          //Configuracion de pines de salidas de datos
87          remoteDevice.setIOConfiguration(IOLINE_OUT, IOMode.DIGITAL_OUT_LOW);
88          remoteDevice2.setIOConfiguration(IOLINE_OUT, IOMode.DIGITAL_OUT_LOW);
89
90

```

Figura 89: Código programado en Java

```

89         //remoteDevice2.setIOConfiguration(tempAlert, IOMode.DIGITAL_OUT_LOW);
90     } catch (XBeeException e) {
91         e.printStackTrace();
92         localDevice.close();
93         System.exit(1);
94     }
95 }
96 }
97
98 /**
99  * Read ADC task to be performed every {@value #READ_TIMEOUT} ms.
100  *
101  * <p>The task will read the ADC value of {@code IOLINE_IN} and print its
102  * value to the standard output.</p>
103  *
104  * @see TimerTask
105  */
106 private static class ReadADCTask extends TimerTask {
107     private XBeeDevice localDevice;
108     private RemoteXBeeDevice remoteDevice;
109     private RemoteXBeeDevice remoteDevice2;
110
111     public ReadADCTask(RemoteXBeeDevice remoteDevice2, RemoteXBeeDevice remoteDevice, XBeeDevice local) {
112         this.remoteDevice = remoteDevice;
113         this.remoteDevice2 = remoteDevice2;
114         this.localDevice = local;
115     }
116
117     @Override
118     public void run() {
119         try {
120             //determinar valor limite de temperatura
121             int alerta = 27;
122             //SE LEE EL VALOR ANALOGO DE LA ENTRADA.
123             double value = remoteDevice.getADCValue(IOLINE_IN);
124             value = value +1;
125             value = (596 - value)/(3.1694);
126             //leer el valor digital del accionador local

```

Figura 90: Código programado en Java

```

127     IOValue accionador = localDevice.getDIOValue(IOLINE_INC);
128     System.out.println("switch: " + accionador);
129     if (i==1){
130         remoteDevice.setDIOValue(IOLINE_OUT, accionador);
131         remoteDevice2.setDIOValue(IOLINE_OUT, accionador);
132     }else if (i==3){
133         remoteDevice.setDIOValue(IOLINE_OUT, accionador);
134         remoteDevice2.setDIOValue(IOLINE_OUT, accionador);
135     }else if (i==5){
136         remoteDevice.setDIOValue(IOLINE_OUT, accionador);
137         remoteDevice2.setDIOValue(IOLINE_OUT, accionador);
138     }else if (i==7){
139         remoteDevice.setDIOValue(IOLINE_OUT, accionador);
140         remoteDevice2.setDIOValue(IOLINE_OUT, accionador);
141     }else if (i==9){
142         remoteDevice.setDIOValue(IOLINE_OUT, accionador);
143         remoteDevice2.setDIOValue(IOLINE_OUT, accionador);
144     }else {
145         remoteDevice.setDIOValue(IOLINE_OUT, IOValue.LOW);
146         remoteDevice2.setDIOValue(IOLINE_OUT, IOValue.LOW);
147     }
148     if (i < 30) {
149         i = i + 1;
150         S1 = S1 + value;
151     }
152     if (i == 10) {
153         S1 = S1/10;
154         BigDecimal bd = BigDecimal.valueOf(value);
155         bd = bd.setScale(2, RoundingMode.HALF_UP);
156         S1 = bd.doubleValue();
157         System.out.println("LA TEMPERATURA EN EL SENSOR 1 ES " + S1);
158         if (alerta < value)
159             {
160                 System.out.println("ALERTA DE TEMPERATURA ALTA EN ESTACION " + REMOTE_NODE_IDENTIFER2);
161                 localDevice.setDIOValue(IOLINE_OUT, IOValue.HIGH);
162             }
163         if (alerta > value)
164             {
165                 localDevice.setDIOValue(IOLINE_OUT, IOValue.LOW);

```

Figura 91: Código programado en Java

```

166         }
167         i = 0;
168         S1 = 0;
169     }
170     } catch (XBeeException e) {
171         e.printStackTrace();
172     }
173 }
174 }
175 }

```

Figura 92: Código programado en Java

