

**CENTRO UNIVERSITARIO TECNOLÓGICO
CEUTEC**

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES
UTILIZANDO EL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN ZIGBEE**

SUSTENTADO POR

SERGIO JAVIER TURCIOS DELCID - 32041085

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA
ELECTRÓNICA**

TEGUCIGALPA, M.D.C.

HONDURAS, C.A.

ABRIL, 2023

**CENTRO UNIVERSITARIO TECNOLÓGICO
CEUTEC**

LICENCIATURA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTORA

ROSALPINA RODRÍGUEZ

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ MIRALDA

DECANA CEUTEC

DINA ELIZABETH VENTURA DÍAZ

DIRECTORA ACADÉMICA CEUTEC

IRIS GABRIELA GONZALES ORTEGA

TEGUCIGALPA, M.D.C.

HONDURAS, C.A.

ABRIL, 2023

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIOS
FORESTALES UTILIZANDO EL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN
ZIGBEE**

**TRABAJO PRESENTADO EN EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS
EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ASESOR:

ING. ROGER DANIEL PONCE RODRÍGUEZ

TERNA EXAMINADORA:

ING. LUCY ALEXANDRA LÓPEZ QUINTANILLA

TEGUCIGALPA, M.D.C.

HONDURAS, C.A.

ABRIL, 2023

DERECHOS DE AUTOR

© Copyright 2023

SERGIO JAVIER TURCIOS DELCID

Todos los derechos son reservados.

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado principalmente: a mi madre Wendy quien siempre me apoyó y confió en mí, a mi padre Sergio y mi madrastra Evelyn quienes me apoyaron y fueron pacientes conmigo.

A mis abuelos Emilio y María cuyos consejos y apoyo incondicional hicieron que fuera posible mantener la motivación para culminar este proyecto.

Finalmente, quiero dedicarles este proyecto a mis hermanos, Génesis, Nataly y Emilio, a quienes quiero mucho y espero sirva de inspiración para que puedan cumplir sus metas.

Sergio Javier Turcios Delcid

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, hermanos, abuelos y tíos quienes siempre me brindaron apoyo cuando más lo necesitaba. A todos mis maestros a lo largo de la carrera quienes me impartieron su conocimiento, y al Ing. Roger Ponce por su apoyo en este proyecto.

Sergio Javier Turcios Delcid

RESUMEN EJECUTIVO

Los incendios forestales son siniestros que afectan cada año a miles de hectáreas de bosque en nuestro país. Es por ello que la pronta detección de estos es de vital importancia. Este proyecto busca diseñar un sistema que permita detectar incendios forestales pronto mediante redes de sensores inalámbricas y el protocolo de comunicación Zigbee. Para ello se hizo un análisis de distintos sensores de temperatura y de humedad relativa, donde se determinó que un sensor infrarrojo MLX90615 es el más adecuado para medir la temperatura, mientras que el HDC1080 es el más adecuado para medir la humedad relativa. Se desarrolló un programa de captura de datos en Matlab que permite graficar a tiempo real las mediciones tomadas por los sensores. Finalmente, se muestran los costos del prototipo.

Palabras Clave: Redes de sensores inalámbricas, Zigbee, sensores de temperatura

ABSTRACT

Forest fires are accidents that affect thousands of hectares of forest in our country every year. That is why early detection of them is of vital importance. This project seeks to design a system that allows the early forest fires using wireless sensor networks and Zigbee communication protocol. For this, an analysis of different temperatures and relative humidity sensors was made, where it was determined that a MLX90615 infrared sensor is the most suitable for measuring temperature, whereas the HDC1080 is the most suitable for measuring relative humidity. A data capture program was developed in Matlab that allows the measurements taken by the sensors to be graphed in real time. Finally, the costs of the prototype are shown.

Keywords: Wireless sensors networks, Zigbee, temperature sensors

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN EJECUTIVO.....	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
GLOSARIO	XI
1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
2 CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2.1 Antecedentes	2
2.2 Definición del Problema	3
2.3 Preguntas de Investigación	4
2.4 Hipótesis	4
2.5 Justificación	6
3 CAPÍTULO III: OBJETIVOS.....	7
3.1 Objetivo General.....	7
3.2 Objetivos Específicos.....	7
4 CAPÍTULO IV: MARCO TEÓRICO	8
4.1 Incendios Forestales en Honduras	8
4.2 Espectro Electromagnético	9
4.2.1 Propagación	9
4.2.2 Espectro Electromagnético y las Telecomunicaciones.....	10
4.3 Redes de Sensores Inalámbricas	11
4.3.1 Características.....	11
4.3.2 Importancia del manejo de energía.....	11
4.3.3 La Tecnología IEEE 802.15.4	12
4.4 Zigbee	12
4.4.1 Roles de una red Zigbee	12
4.4.2 Topologías	12
4.5 Microcontroladores	14
4.6 Sensores de Temperatura	15
4.6.1 Termistores	15
4.6.2 Termopares	16

4.6.3	Detectores de Temperatura Resistivos (RTD).....	17
4.6.4	Sensores Infrarrojos.....	17
4.7	Sensor de Humedad.....	18
4.7.1	Humedad Relativa del Aire.....	18
4.8	Sensores de Gas.....	19
4.8.1	Principio de Operación.....	19
5	CAPÍTULO V: METODOLOGÍA.....	21
5.1	Enfoque y Métodos.....	21
5.2	Población y Muestra.....	21
5.3	Unidad de análisis y Respuesta.....	22
5.4	Técnicas e Instrumentos Aplicados.....	22
5.5	Fuentes de Información.....	22
5.6	Cronología de Trabajo.....	23
6	CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	24
6.1	Sensores de Temperatura:.....	24
6.1.1	Prueba de precisión y tiempo de respuesta:.....	24
6.1.2	Prueba de Sensibilidad.....	25
6.2	Sensores de Humedad Relativa.....	28
6.3	Sensor de Gas MQ-7.....	30
6.4	Elección de los sensores.....	31
6.5	Diagrama de Conexiones.....	32
6.6	Desarrollo del Programa de Recepción de Datos.....	33
6.7	Prueba del dispositivo.....	33
6.8	Costos.....	36
6.9	Validación de la Hipótesis.....	37
7	CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES.....	38
8	CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES.....	39
9	CAPÍTULO IX: BIBLIOGRAFÍA.....	40
10	CAPÍTULO X: ANEXOS.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	3
Tabla 2.2	5
Tabla 2.3	6
Tabla 6.1	24
Tabla 6.2	24
Tabla 6.3	25
Tabla 6.4	25
Tabla 6.5	31
Tabla 6.6	36
Tabla 6.7	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Gráfico de causas de incendios forestales (2015-2019) (Instituto Nacional de Estadística, 2020).....	8
Figura 4.2 Espectro Electromagnético (Rodríguez & Virgós, 1999)	9
Figura 4.3 Espectro Electromagnético y las telecomunicaciones. (Huidobro & Ordóñez, 2014)....	10
Figura 4.4 Ejemplo de una red de topología estrella. (Farahani, 2008)	13
Figura 4.5 Topología Mesh. (Gislasson, 2008)	13
Figura 4.6 Enrutamiento automático de una red Mesh. (Gislasson, 2008)	14
Figura 4.7 Esquema de bloques general de un microcontrolador. (Valdés & Pallás, 2007)	15
Figura 4.8 Forma de los termistores. (Bastian, et al., 1996).....	16
Figura 4.9 Termopares (SRC, n.d.)	17
Figura 4.10 Sensor RTD (Peak Sensors, 2022).....	17
Figura 4.11 Sensor de temperatura infrarrojo. (Logicbus, n.d.)	18
Figura 4.12 Sensor de humedad del aire.....	19
Figura 4.13 Sensor de Gas. (Corona, Abarca, & Carreño, 2014).....	20
Figura 5.1 Diagrama de Gantt.	23
Figura 6.1 Cambio de temperatura del sensor PT100 con fuego directo.	26
Figura 6.2 Cambio de temperatura del sensor DS18B20 con fuego directo.	26
Figura 6.3 Cambio de temperatura de la termocupla tipo K con fuego directo.	27
Figura 6.4 Cambio de temperatura del MLX90615 con fuego directo.	28
Figura 6.5 Humedad relativa de los sensores DHT11, DHT22 y HDC1080 cercanos a un encendedor.....	29
Figura 6.6 Humedad relativa de los sensores DHT11, DHT22 y HDC1080 cercanos a vapor de agua.....	29
Figura 6.7 PPM de CO en la primera prueba.	30
Figura 6.8 PPM de CO en la segunda prueba.....	31
Figura 6.9 Nodo Receptor/Coordinador	32
Figura 6.10 Nodo Transmisor/End Device	32
Figura 6.11 UI del programa de recepción de datos.....	33
Figura 6.12 Circuito transmisor.....	34
Figura 6.13 Circuito Receptor	34

Figura 6.14 Serial circuito transmisor	35
Figura 6.15 Serial circuito receptor	35
Figura 6.16 Datos Recibidos en el programa.	36

GLOSARIO

- Partes por millón (PPM): “Proporción de la concentración de una sustancia con respecto a la concentración de otra, como una unidad de soluto disuelta en un millón de unidades de disolvente. Se puede expresar también en términos de peso-peso, volumen-volumen o en cualquier otra relación de unidades de medida” (Mosby, 2003).
- Monóxido de carbono: “Gas venenoso que no tiene olor ni color. Lo emite la quema de combustible (como en el caso del escape de los automóviles o las chimeneas domésticas) y de productos del tabaco. El monóxido de carbono impide que los glóbulos rojos lleven suficiente oxígeno para que las células y los tejidos puedan vivir” (Instituto Nacional del Cáncer, n.d.).
- Escalabilidad: “Es un término usado en tecnología para referirse a la propiedad de aumentar la capacidad de trabajo o de tamaño de un sistema sin comprometer el funcionamiento y calidad normales del mismo. Cuando un sistema tiene esta propiedad, se le refiere comúnmente como “sistema escalable” (*scalable system*, en inglés) o, simplemente, escalable” (Castro, 2019).

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Los bosques son una parte importante en el balance ecológico de la tierra, sin embargo, los incendios forestales suelen detectarse una vez se han esparcido en un área grande, haciendo que sea casi imposible detenerlos (Alkhatib, 2014). Algunos países han implementado sistemas de detección contra incendios como ser imágenes satelitales, el uso de vehículos no tripulados, etc. Estos sistemas, si bien son efectivos, suelen ser bastante costosos. Es por ello que la última década se han buscado nuevas formas de detección temprana de incendios entre ellas tenemos las redes de sensores inalámbricas. Esta tecnología es prometedora, ya que permite monitorear condiciones ambientales como temperatura, humedad y humo.

Este proyecto busca desarrollar un sistema de detección contra incendios forestales a base de las redes de sensores inalámbricas y el protocolo de comunicación Zigbee. Primero se determinará que tipo de sensores son más útiles para el detector. Después se desarrollará un pequeño prototipo de un nodo transmisor utilizando los sensores, un microcontrolador Arduino, y transceptores Zigbee CC2530. Luego, se hará un programa que reciba los datos medidos, los grafique y los guarde en una hoja de Excel, si así lo desea el operador y finalmente, se mostrará el costo aproximado de un nodo transmisor.

CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Antecedentes

En la última década las redes de sensores inalámbricas han ido recibiendo más atención gracias al estándar industrial Zigbee basado en el estándar IEEE 802.15.4. Esta tecnología permite el envío de datos de manera inalámbrica a un bajo consumo eléctrico, además de aportar una fácil integración debido a su topología de red en malla. Alkhatib comenta en su estudio “*A review on Forest Fire Detection Techniques*” cómo esta tecnología se utiliza en la detección de incendios. Además, compara distintos métodos para la detección de incendios forestales, mostrando sus ventajas y desventajas siendo las redes de mallas inalámbricas las que más sobresalen gracias a su escalabilidad, su coste y fácil instalación. (Alkhatib, 2014)

Ganesh y compañía desarrollaron un sistema que se enfoca en optimizar la alimentación del circuito mediante un MPPT (Seguidor del punto de máxima potencia). Esto les permitió crear un sistema que funciona por largos periodos con un incremento en la eficiencia. Los autores indican que este sistema mejora el nivel de seguridad de las zonas aledañas a los bosques. (Ganesh, y otros, 2013)

A mediados de la década de los 2010s Arellano et. al. efectuaron pruebas de propagación para distintos dispositivos Xbee para determinar cuál es el más adecuado para utilizar en estas redes. Los autores señalan que Xbee Pro 2.4GHz tiene una mayor utilidad que los demás debido a su mayor alcance. (Arellano, Ávila, Erazo, & Hervas, 2015)

Es indiscutible que este tipo de sistema de detección de incendios cobrará una gran importancia en el futuro. La escalabilidad de este sistema permite que los investigadores puedan adaptarlo a las necesidades de distintas regiones en el mundo.

2.2 Definición del Problema

En Honduras, los incendios forestales han sido una gran problemática a lo largo de los años, estos destruyen miles de hectáreas de bosque afectando la fauna flora de estos sitios, y siendo Francisco Morazán uno de los departamentos que año tras año es de los más afectados. Además, estos aumentan las emisiones de CO₂, siendo así una de las fuentes que contribuyen al calentamiento global. La Tabla 2.1 muestra el total de incendios y las hectáreas quemadas por departamento, desde el año 2015 hasta el 2019.

Tabla 2.1

Incendios Forestales por departamento (2015-2019) (Instituto Nacional de Estadística, 2020)

Departamento	2015		2016		2017		2018		2019	
	Total de incendios	Hectáreas quemadas	Total de incendios	Hectáreas quemadas	Total de incendios	Hectáreas quemadas	Total de incendios	Hectáreas quemadas	Total de incendios	Hectáreas quemadas
Atlántida	—	—	1.00	219.62	1.00	25.00	1.00	18.08	5.00	57.82
Choluteca	31.00	948.50	—	—	77.00	2,338.30	32.00	2,423.33	42.00	1,206.00
Colón	—	—	198.00	4,060.47	2.00	33.00	1.00	12.00	—	—
Cornayagua	138.00	3,116.44	90.00	1,387.86	49.00	1,607.50	61.00	1,007.95	44.00	1,000.13
Copán	70.00	611.80	68.00	884.34	27.00	327.40	37.00	335.32	132.00	2,125.76
Cortés	31.00	198.45	41.00	558.30	26.00	689.70	45.00	533.79	19.00	500.99
El Paraíso	44.00	3,126.97	69.00	3,770.50	46.00	2,266.80	73.00	6,343.09	78.00	5,428.09
Francisco Morazán	471.00	21,007.83	300.00	7,289.77	266.00	7,638.60	313.00	10,656.65	268.00	7,529.00
Gracias a Dios	39.00	7,552.75	87.00	25,151.31	47.00	9,180.30	48.00	17,726.70	44.00	24,372.93
Intibucá	46.00	3,619.71	35.00	217.57	51.00	3,189.30	42.00	797.22	20.00	2,297.36
La Paz	20.00	688.39	11.00	181.50	18.00	121.90	11.00	534.00	9.00	60.50
Lempira	27.00	1,643.00	24.00	558.90	12.00	672.50	34.00	1,495.07	79.00	2,759.63
Ocotepeque	12.00	149.50	28.00	802.10	32.00	1,227.00	22.00	902.48	26.00	1,112.35
Olancho	377.00	7,845.61	212.00	8,279.94	97.00	1,447.60	221.00	13,291.01	213.00	15,936.62
Santa Bárbara	64.00	411.15	133.00	1,244.50	32.00	276.70	36.00	358.05	64.00	1,734.49
Valle	4.00	535.00	10.00	210.50	15.00	352.00	3.00	533.61	9.00	252.00
Yoro	103.00	1,664.80	210.00	2,155.21	94.00	4,588.60	140.00	3,714.25	125.00	6,061.10
Total	1,477.00	53,319.90	1,517.00	56,972.39	892.00	36,000.20	1,120.00	60,682.60	1,177.00	72,434.77

2.3 Preguntas de Investigación

¿Cuál sensor de temperatura es el mejor para el detector?

¿Qué pruebas se harán para validar el correcto funcionamiento del circuito de receptor de datos y del circuito de captura y envío de datos?

¿Cuánto costaría este sistema de detección de incendios forestales?

2.4 Hipótesis

H_1 : El costo de cada nodo oscilará entre L.4,000.00 y L.5,000.00.

H_{01} : El costo de cada nodo no oscilará entre L.4,000.00 y L.5,000.00.

H_{a1} : El costo de cada nodo será mayor a L.5,000.00.

H_2 : Un sensor RTD será mejor sensor de temperatura para el detector de incendios que un sensor infrarrojo.

H_{02} : Un sensor RTD no será mejor sensor de temperatura para el detector de incendios que un sensor infrarrojo.

H_{a2} : Un termopar será mejor sensor de temperatura para el detector de incendios.

En la tabla 2.2 se operacionalizan las variables.

Tabla 2.2

Operacionalización de las variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Costo	Cantidad que se da o se paga por algo. (RAE, 2022)	Variable que puede ser identificada haciendo una revisión de precios de los distintos componentes de los circuitos.	Costo por cada nodo	Precios de los componentes
				Costo total
Sensor de temperatura	<p>Sensor es un dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente. (RAE, 2022)</p> <p>La temperatura es la magnitud física que expresa el grado de frío o calor de los cuerpos o del ambiente, y cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin (K). (RAE, 2022)</p>	<p>El sensor de temperatura puede establecerse en función de las propiedades que mejor se acoplen al detector de incendios.</p>	Tipos	Costo
				Error en la medición
				Rango de temperatura

2.5 Justificación

Los incendios forestales en Honduras, a lo largo de los años, han destruido miles de hectáreas de bosque. Esta investigación puede ayudar al combate de estos siniestros, mediante una rápida detección de ellos, lo que permitirá que las autoridades puedan movilizarse rápidamente al momento de recibir la información. Además, esta investigación podrá brindar información útil para una posible implementación. El número de incendios, hectáreas quemadas y causa de estos se presentan en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3

Incendios Forestales y causas de origen (2000-2019) (Instituto Nacional de Estadística, 2020)

Año	N.º de incendios	Hectáreas quemadas	Origen / causa de los incendios forestales (%)				
			Mano criminal	Pastoreo	Quemas agrícolas	Caminantes nocturnos	Otros
2000	1,920.00	54,912.00	54.00	17.00	12.00	5.00	12.00
2001	2,336.00	82,227.20	57.00	13.00	12.00	4.00	14.00
2002	2,152.00	63,484.00	—	13.00	11.00	3.00	11.00
2003	1,316.00	56,719.60	60.00	11.00	11.00	2.00	16.00
2004	542.00	8,401.00	57.00	13.00	11.00	4.00	15.00
2005	1,479.00	156,182.40	58.00	12.00	12.00	3.00	15.00
2006	1,922.00	60,022.00	40.00	18.00	20.00	4.00	18.00
2007	1,692.00	63,989.00	49.00	16.00	13.00	2.00	20.00
2008	1,655.00	65,467.15	50.00	12.00	16.00	2.00	20.00
2009	1,252.00	62,004.56	69.00	7.00	6.00	4.00	14.00
2010	798.00	37,047.25	62.00	4.00	9.00	1.00	24.00
2011	1,830.00	90,586.43	34.00	0.15	1.89	0.20	63.40
2012	411.00	58,239.80	62.00	2.20	4.80	0.50	30.50
2013	510.00	24,461.52	90.00	—	3.60	—	5.60
2014	682.00	81,506.15	72.00	—	12.00	—	16.00
2015	1,477.00	53,319.90	77.00	—	9.00	—	14.00
2016	1,517.00	56,972.39	59.00	—	11.00	—	30.00
2017	892.00	36,000.20	63.00	—	9.00	—	28.00
2018	1,120.00	60,682.60	80.00	1.00	5.00	—	14.00
2019	1,177.00	72,434.77	86.00	2.00	5.00	—	7.00

* Otros: Cazadores, leñadores, colmeneros, pescadores, crematorios rurales, derecho de vía, etc

CAPÍTULO III: OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de detección de incendios que pueda enviar información útil a un operario o computadora mediante redes de sensores inalámbricas, para registrar incendios forestales.

3.2 Objetivos Específicos

- Comparar distintos sensores de temperatura para definir cuál es el mejor para el detector.
- Validar el funcionamiento del circuito mediante pruebas de medición y envío de datos.
- Desarrollar un programa que muestre en pantalla los datos recibidos por los sensores y que además permita guardar estos datos.
- Analizar la viabilidad según los costos para el desarrollo del sistema.

CAPÍTULO IV: MARCO TEÓRICO

4.1 Incendios Forestales en Honduras

“Un incendio forestal sería aquel fuego que se extendería sin control sobre terreno forestal” (Tapia, 2019).

Estos siniestros contienen en su humo una mezcla de gases como monóxido de carbono, el dióxido de carbono, entre otros. Los síntomas que causa la respiración de monóxido de carbono en altas cantidades incluyen: dolores de cabeza, mareos, náusea y funcionamiento mental disminuido. Entre otros síntomas se encuentran la irritación de los ojos, nariz, y garganta seca. (Washington State Department of Health, 2019).

En Honduras, la cantidad de incendios forestales ha ido incrementando a lo largo de los años. Son varios los motivos de causa de estos incendios, siendo el principal la mano criminal. El mayor número de incendios de esta causa se dio en el año 2019 y corresponde a un 86% de los incendios, luego se dio en el año 2018 con un 80% de los incendios, después sigue el 2015 con el 77% de los incendios, en el 2017 fueron 63% de los incendios y por último el 2016 con 59% de los incendios (Instituto Nacional de Estadística, 2020). Ver figura 4.1.

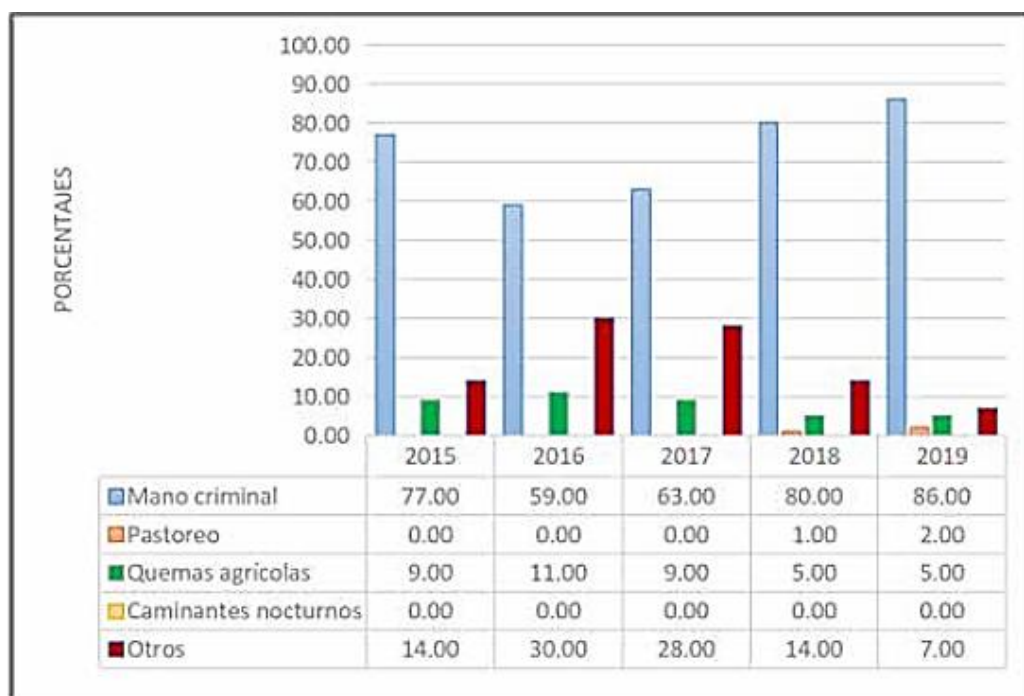


Figura 4.1 Gráfico de causas de incendios forestales (2015-2019) (Instituto Nacional de Estadística, 2020)

4.2 Espectro Electromagnético

Se le llama espectro electromagnético al conjunto de todas las radiaciones electromagnéticas ordenadas por orden de frecuencia o de longitud de onda (Andrés, Antón, & Pérez, 2008). El espectro electromagnético comienza con las ondas electromagnéticas de radiación no ionizante, donde encontramos las ondas de radio, las microondas, el infrarrojo y la luz visible, -esta última siendo la zona en la que es sensible el ojo humano. Después se encuentra la luz ultravioleta dando paso a la radiación ionizante, donde se encuentran los rayos X y los rayos gamma. Estos se caracterizan por tener la energía suficiente para alterar los electrones en los átomos. En la figura 4.2 se encuentra el espectro electromagnético.

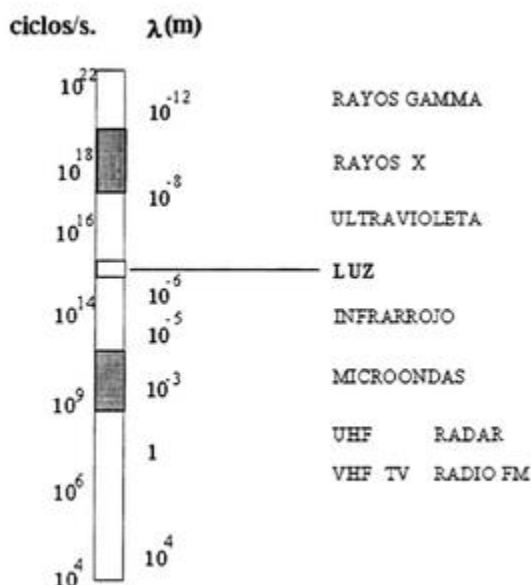


Figura 4.2 Espectro Electromagnético (Rodríguez & Virgós, 1999)

4.2.1 Propagación

El estudio de la propagación de las ondas electromagnéticas es de vital importancia ya que es fundamental saber su comportamiento para la transmisión de datos. Existen ciertas características de la propagación que resultan ser útiles para las comunicaciones. Entre ellas tenemos que a menor frecuencia hay una menor atenuación de la señal, lo que nos brinda una mayor cobertura. Existen distintos factores que puede afectar la propagación como los climatológicos (lluvia, nieve, niebla, etc.), el medio por el cual se transmite la señal, el comportamiento que tiene la señal ante obstáculos, la capacidad de penetración y el comportamiento frente a las capas atmosféricas.

Los modos de propagación de una onda electromagnética dependen de su frecuencia y de las características eléctricas del terreno subyacente y de la atmosfera (Huidobro & Ordóñez, 2014).

4.2.2 Espectro Electromagnético y las Telecomunicaciones

Las ondas electromagnéticas pueden ser tratadas para la transmisión de datos o información. Dependiendo del medio, la información transmitida tendrá una mayor o menor velocidad y ancho de banda. Existen los medios guiados y los no guiados, y podemos encontrar comúnmente en nuestros hogares o lugares de trabajo, ya sea en la forma de cable coaxial, fibra óptica, Wifi etc.

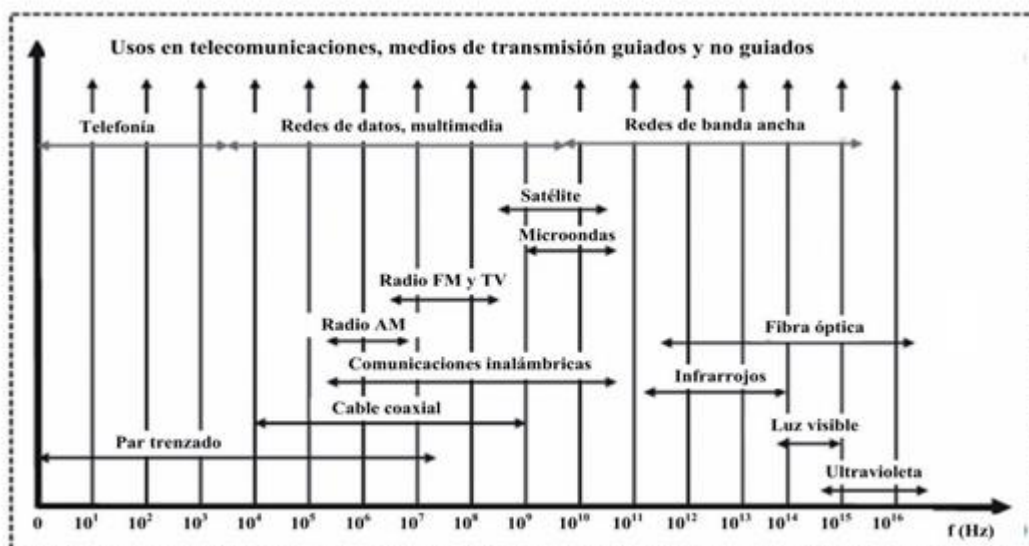


Figura 4.3 Espectro Electromagnético y las telecomunicaciones. (Huidobro & Ordóñez, 2014)

4.3 Redes de Sensores Inalámbricas

Las redes de sensores inalámbricas (WSN, del inglés Wireless Sensor Networks) están compuestas por distintos nodos inalámbricos constituidos por un circuito impreso, sensores, una unidad de procesamiento de datos y un transceptor inalámbrico. Los nodos pueden ser estacionarios o móviles, pueden estar conscientes de sus alrededores o no, lo importante es que exista una cooperación entre el monitoreo y la comunicación. Estas redes permiten detectar parámetros físicos del ambiente como ser humedad, temperatura, presión, así como parámetros químicos tales como el monóxido de carbono, dióxido de carbono y dióxido de nitrógeno presentes en un incendio forestal. Las redes de sensores inalámbricas han tenido un rápido crecimiento en un gran número de aplicaciones debido a que este tipo de tecnología tiene el potencial de ser aplicado en cualquier sitio (Alkhatib, 2014).

4.3.1 Características

- Proveen información precisa del entorno.
- Escalabilidad
- Pueden ser conectadas a muchos dispositivos y se les puede agregar sensores de diferentes tipos para medir distintos parámetros.
- Se pueden colocar en cualquier sitio.
- Bajo costo y bajo consumo.

4.3.2 Importancia del manejo de energía

La eficiencia energética es clave para muchas aplicaciones de las redes WSN, por tanto, es de suma importancia hacer un buen manejo del ciclo de vida de los nodos. Un nodo se compone de una batería, un microprocesador, una memoria, sensores y un transceptor (Buratti, Martalo, Verdone, & Ferrari, 2011). En las etapas de envío y recepción de datos el transceptor es el componente que más consume energía, es por ello que estas dos etapas hay que mantenerlas activas el menor tiempo posible. Esto se logra limitando la cantidad de datos que envían, ya sea que envíen datos solamente cuando un operador los pida, o que envíen datos cada cierto tiempo o que envíen datos en caso de que ocurra cierto evento, por ejemplo, que el transceptor solo envíe datos si los sensores detectan cierta temperatura.

4.3.3 La Tecnología IEEE 802.15.4

La tecnología inalámbrica IEEE 802.15.4 es un sistema de comunicación de corto alcance destinada a proveer aplicaciones con requerimientos de baja latencia en WPANs. Las principales características de esta tecnología son la baja complejidad, bajo costo, bajo consumo de potencia, baja tasa de transmisión de datos para dispositivos de bajo costo.

4.4 Zigbee

Zigbee es el estándar que define el conjunto de protocolos de comunicación para redes inalámbricas de corto alcance y de baja transmisión de datos (Farahani, 2008). Los dispositivos inalámbricos basados en Zigbee trabajan con bandas de frecuencia de 868MHz, 915MHz y 2.4GHz y tiene una tasa de transmisión máxima de 250kb por segundo. Zigbee se basa en el protocolo IEEE 802.15.4.

Los dispositivos Zigbee pueden utilizarse en la domótica, gracias a su tamaño y costo por lo que es ideal en el uso de bombillas, alarmas, sistemas de riego, etc. Es importante que los dispositivos basados en Zigbee puedan interactuar entre sí, sin importar el fabricante. De aquí surge la interoperabilidad en el protocolo Zigbee, lo que le da una gran ventaja en comparación con otros protocolos.

4.4.1 Roles de una red Zigbee

- Coordinador: es el controlador principal de la red.
- Router: es el encargado de repetir los mensajes recibidos hacia otros nodos.
- End Device: son los nodos con menos capacidades siendo los más baratos de la red.

4.4.2 Topologías

Existen dos tipos de topologías especificadas en el IEEE 802.15.4, la estrella y la peer-to-peer.

En la topología estrella todos los dispositivos de la red pueden comunicarse con el coordinador. Al estar los “end devices” conectados al coordinador, el coordinador se asegura

que el identificador PAN no sea utilizado por otras redes cercanas. En la figura 4.3 se muestra una red estrella.

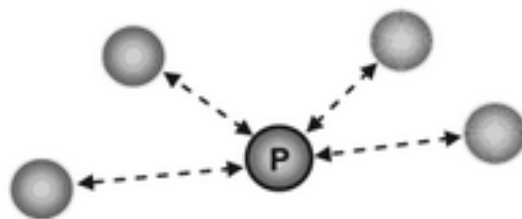


Figura 4.4 Ejemplo de una red de topología estrella. (Farahani, 2008)

En la topología peer-to-peer, cada nodo se comunica directamente con cualquier otro nodo que se encuentre lo suficientemente cercano para establecer un enlace de comunicación exitoso. Esta topología puede tomar distintas formas dependiendo de las restricciones que se definan en los nodos que se comunican entre sí. En caso de no haber ningún tipo de restricción a la red se le conoce como topología Mesh. Ver figura 4.5.

La topología Mesh logra fiabilidad, ya que esencialmente provee tres capacidades mejoradas a la red inalámbrica: rango-extendido mediante saltos múltiples, una formación de la red que requiere poco planeamiento y descubrimiento de rutas automático (Gislasson, 2008) (ver figura 4.6). Con esta topología el primer nodo puede llegar a cualquier otro nodo, sin importar la distancia mientras haya suficientes routers entre ellos que puedan pasar el mensaje.

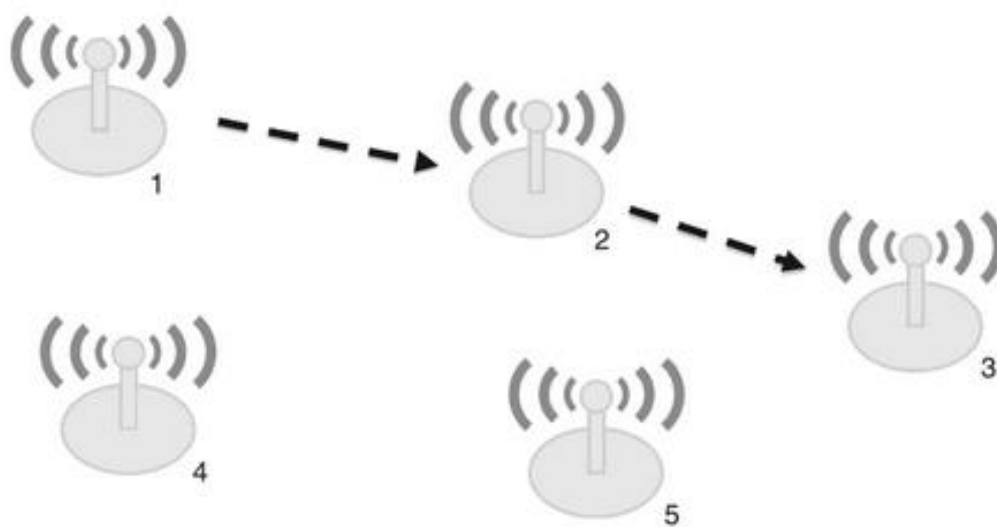


Figura 4.5 Topología Mesh. (Gislasson, 2008)

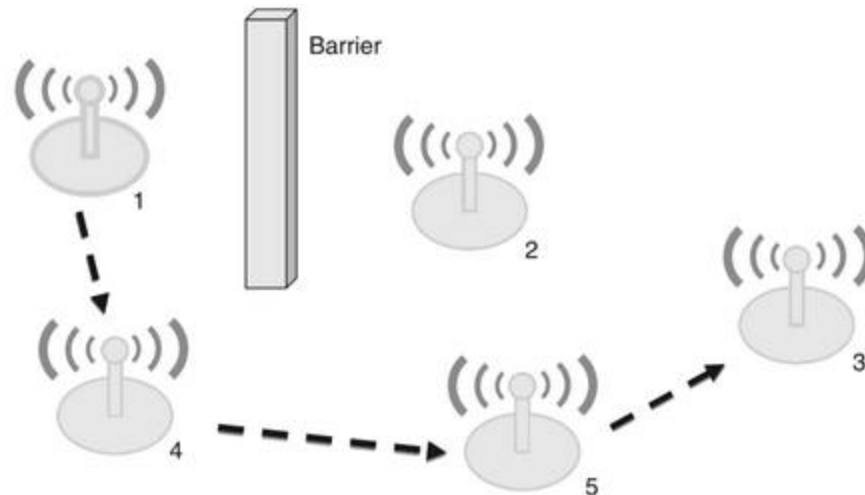


Figura 4.6 Enrutamiento automático de una red Mesh. (Gislason, 2008)

4.5 Microcontroladores

Los microcontroladores son circuitos integrados compuestos por un microprocesador, periféricos de entrada y salida y memoria (Vázquez, de la Flor, Fernández, Payo, & Oliver, 2015). Estos dispositivos se utilizan, normalmente, para aplicaciones específicas en las que el microcontrolador realice pequeñas tareas. Estos ejecutan el programa almacenado en memoria e interactúan con otros componentes mediante sus líneas de entrada y salida. Los microcontroladores los podemos encontrar en aplicaciones de domótica, automoción, en comunicaciones y telefonía, etc.

Existen varias características deseadas en un microcontrolador:

- Buen manejo de las líneas de entrada y salida, en el manejo de interrupciones, en señales analógicas, etc.
- Que tengan un espacio optimizado, es decir, tener el menor espacio posible, a un costo razonable, para desarrollar la aplicación deseada.
- Que los microcontroladores sean idóneos para una aplicación, es por ello que los fabricantes ofrecen una familia de microcontroladores que, si bien comparten las mismas características en el manejo de instrucciones, difieren en los componentes de hardware (Valdés & Pallás, 2007).

- Se busca que los microcontroladores tengan una medida de seguridad para garantizar el correcto funcionamiento de este, es por ello que incluyen un componente llamado “perro guardián” que se encarga de reiniciar el programa para evitar errores.
- Que sean de bajo consumo, ya que hay muchas aplicaciones donde el usuario utiliza baterías como fuente de alimentación.
- Que ofrezcan una protección contra las copias, es decir, que cuiden la información almacenada en la memoria.

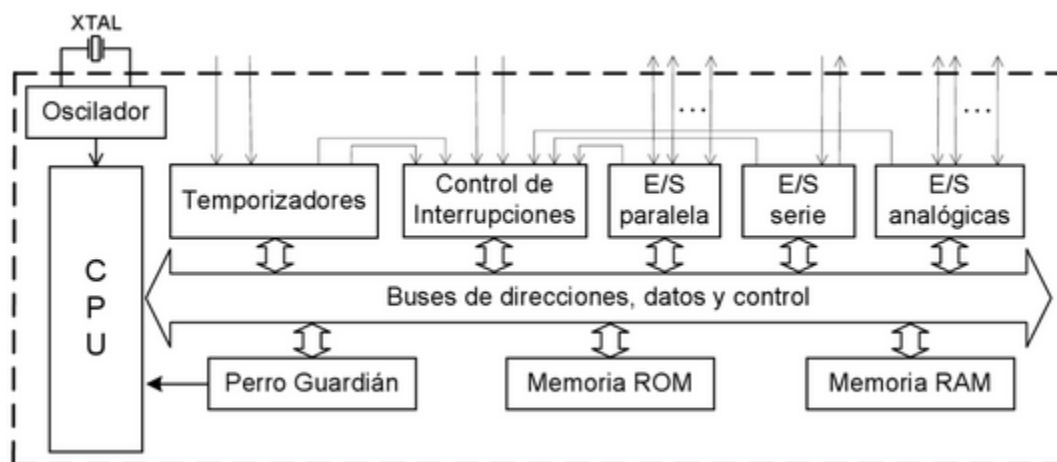


Figura 4.7 Esquema de bloques general de un microcontrolador. (Valdés & Pallás, 2007)

4.6 Sensores de Temperatura

Los sensores de temperatura son dispositivos electrónicos que permiten medir la variación de temperatura por medio de una señal eléctrica. Los sensores de temperatura están conformados por tres elementos, el elemento encargado de medir, la vaina de material conductor y el cable que se conecta al sistema electrónico. Existen dos tipos principales de sensores de temperatura los cuales son: los que cambian una resistencia y los que trabajan directamente mediante una señal (Rechner Sensors, s.f.).

4.6.1 Termistores

Dentro de los sensores con cambio de la resistencia tenemos los termistores. Existen dos tipos de termistores, los NTC y los PTC. Los primeros señalizan un aumento de temperatura con

una reducción de resistencia, mientras que los PTC lo hacen con un aumento de resistencia. Los termistores se conectan a puentes de Wheatstone convencionales para la medición de la resistencia. Los termistores en intervalos amplios de temperatura tienen características no lineales (Solé, 2005). Otras características que menciona es que los termistores son de tamaño pequeño y tienen un tiempo de respuesta que depende de la capacidad térmica y de la masa del mismo, por lo que varía de 0.5 a 10 segundos. Finalmente, la distancia entre el termistor y el instrumento de medida puede ser alta siempre y cuando el elemento posea una alta resistencia en comparación con los cables de unión, además de que la corriente que circula en este debe ser baja para garantizar que la variación de resistencia se deba solamente a los cambios de temperatura del proceso.

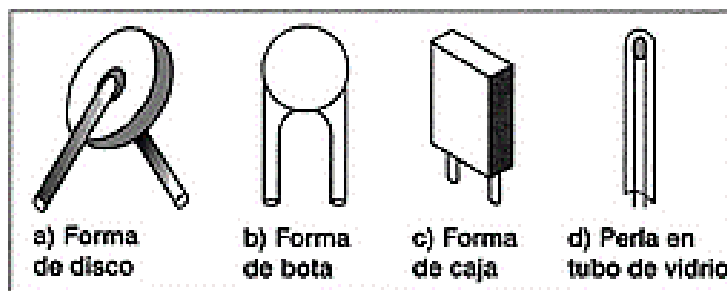


Figura 4.8 Forma de los termistores. (Bastian, et al., 1996)

4.6.2 Termopares

Los termopares funcionan mediante una unión de medida caliente y una unión de referencia fría, la diferencia de temperatura que se produce entre ambas uniones produce una diferencia de voltaje, que funciona como la señal que se envía hacia el sistema eléctrico. Existe una gran variedad de termopares con distintas características y rangos de operación (SRC, n.d.):

- Termopar tipo J, con rango de temperatura de $0^{\circ}\text{C} - 750^{\circ}\text{C}$
- Termopar tipo T, con rango de temperatura de $-250^{\circ}\text{C} - 350^{\circ}\text{C}$
- Termopar tipo K, con rango de temperatura de $-200^{\circ}\text{C} - 1250^{\circ}\text{C}$
- Termopar tipo E, con rango de temperatura de $3000^{\circ}\text{C} - 1100^{\circ}\text{C}$
- Termopar tipo S, con rango de temperatura de $0^{\circ}\text{C} - 1650^{\circ}\text{C}$
- Termopar tipo R, con rango de temperatura de $0^{\circ}\text{C} - 1750^{\circ}\text{C}$



Figura 4.9 Termopares (SRC, n.d.)

4.6.3 Detectores de Temperatura Resistivos (RTD)

Los detectores de temperatura resistivos o sensores RTD detectan la temperatura mediante la variación de una resistencia eléctrica. También se conocen como PRT (Platinum Resistance Thermometer) debido a que el material que se utiliza con mayor frecuencia es el platino. El fundamento de las RTD es la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. En el conductor, el número de electrones no cambia apreciablemente con la temperatura a menos que aumente las vibraciones de los átomos alrededor de sus posiciones de equilibrio, lo que causa un aumento de la resistencia con la temperatura (Pallás, 2003).



Figura 4.10 Sensor RTD (Peak Sensors, 2022)

4.6.4 Sensores Infrarrojos

Los sensores infrarrojos miden la temperatura de un objeto determinando la cantidad de radiación que emiten y cuál es su longitud de onda. Este sensor es un dispositivo compuesto por un fototransistor o fotodiodos que miden la radiación electromagnética infrarroja, cuando la base del fototransistor recibe luz infrarroja, genera una corriente eléctrica que se procesa

electrónicamente para producir un voltaje como señal de salida (Reyes, Monjaraz, & Soto, 2013).

El infrarrojo es una porción del espectro electromagnético que corresponde a luz invisible, la banda de luz infrarroja va desde 700 a 1000 nanómetros. Hay varios tipos de sensores infrarrojos siendo el más común el térmico debido a que la radiación se transforma en calor. Los sensores infrarrojos tienen aplicaciones en aparatos electrodomésticos como los hornos de microondas, detectar objetos calientes, etc.; otros sistemas como equipos de cómputo e impresoras incorporan sensores infrarrojos para transmitir y recibir datos, archivos, programas, etc.



Figura 4.11 Sensor de temperatura infrarrojo. (Logicbus, n.d.)

4.7 Sensor de Humedad

Los sensores de humedad son dispositivos que ayudan a medir la cantidad de agua que se encuentra en un área específica. Estos dispositivos se utilizan en aplicaciones con reguladores, sistemas de calefacción, ventilación, sistemas de riego, etc. Existen tres tipos de humedad: la humedad absoluta, la humedad relativa y la humedad específica (G., 2021).

4.7.1 Humedad Relativa del Aire

“La humedad relativa del aire se expresa como la cantidad de vapor de agua presente como un porcentaje de la máxima cantidad de vapor de agua que el aire puede contener a una temperatura dada” (Jara, 1997).

La humedad relativa puede variar ya sea cambiando la cantidad de vapor de agua en el volumen o cambiando la temperatura. Al agregar más vapor de agua, la cantidad en el aire aumenta acercándose al aire saturado. En cambio, si la temperatura se eleva la humedad relativa bajará.

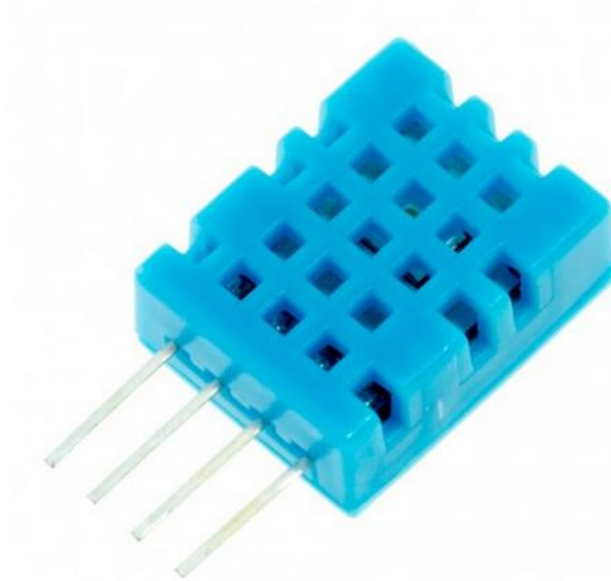


Figura 4.12 Sensor de humedad del aire.

4.8 Sensores de Gas

Los sensores de gas son dispositivos conformados por transductores que, al formar una reacción química entre un gas determinado y la resistencia de óxido semiconductor, generan un cambio de resistividad en el material el cual permite realizar la detección. Los sensores de gas requieren de tres elementos. (Corona, Abarca, & Carreño, 2014).

- Una película sensora
- Un microcalefactor
- Un circuito de acondicionamiento

4.8.1 Principio de Operación

El dispositivo entra en acción, cuando la mezcla de gas-aire entra en contacto con el microcalefactor, esto produce una reacción química entre la película sensora y el gas, produciendo el cambio de resistencia del oxido semiconductor. Una vez se produce este cambio el circuito encargado hace una lectura y registra el cambio de resistencia, relacionándolo con una

concentración de gas en el ambiente, en otras palabras, mide las partículas por millón (PPM) del gas en el aire.

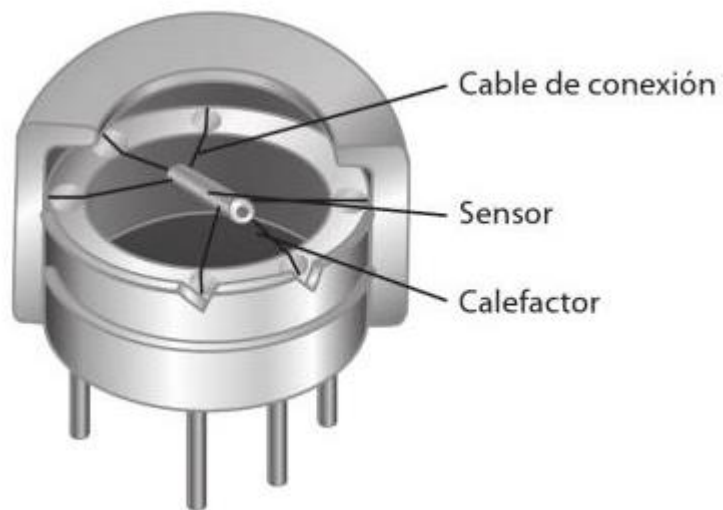


Figura 4.13 Sensor de Gas. (Corona, Abarca, & Carreño, 2014)

CAPÍTULO V: METODOLOGÍA

5.1 Enfoque y Métodos

El proyecto consiste en un enfoque cuantitativo, debido a que se analizarán parámetros medibles (temperatura, humedad relativa del aire, etc.). Por ello, se utilizará el método experimental para poder comprobar o no las hipótesis planteadas y así poder realizar conclusiones.

Este proyecto tiene un alcance descriptivo, ya que consiste en describir distintas características de un grupo de sensores para determinar cuál será más útil para el detector de incendios. Para ello, se harán pruebas de dichos sensores en diferentes situaciones, donde se evaluará la potencia consumida, el error en la medición y la distancia en la que empiezan a recibir cambios de temperatura.

Una vez determinados los sensores a utilizar, se analizará el proceso de toma, envío y recepción de datos del detector de incendios. Se describirá la medición de parámetros como la temperatura, la humedad relativa del aire, la detección de monóxido de carbono, la hora en que se detectan anomalías en el ambiente (posible presencia de incendios), hora en que se reciben los datos a la computadora del operario y finalmente los costos relacionados con el nodo sensor.

5.2 Población y Muestra

La muestra de este proyecto está compuesta por los siguientes sensores:

- El sensor RTD PT100 de dos cables.
- La sonda de temperatura DS18B20.
- El sensor DHT22
- El sensor DHT11
- El sensor de gas de monóxido de carbono MQ-7.
- El sensor de temperatura infrarrojo MLX90615
- La termocupla tipo K MAX6675
- El sensor de temperatura y humedad HDC1080

5.3 Unidad de análisis y Respuesta

Para los sensores de temperatura las unidades de análisis son:

- Precisión en la medición
- Tiempo de respuesta
- Costo
- Rango de operación
- Sensibilidad

Para los sensores humedad relativa la unidad de análisis es:

- La rapidez en la que detectan los cambios de humedad relativa

5.4 Técnicas e Instrumentos Aplicados

- Hojas de datos: permiten obtener datos generales de los sensores utilizados.
- Diseño de circuitos: permite realizar un esquema de un circuito, definiendo las distintas conexiones a realizar, que componentes se utilizaran, etc.
- Softwares de programación: permiten programar los microcontroladores, crear interfaces gráficas para observar los datos medidos, etc.

5.5 Fuentes de Información

Hojas de datos utilizadas:

- PT100 (Itsirl, 2018)
- DS18B20 (Analog, 2019)
- DHT22 (Aosong Electronics Co.,Ltd)
- MQ-7 (HANWEI ELECTRONICS CO ., LTD)
- HDC1080 (Texas Instruments, 2016)
- MAX6675 (Maxim Integrated, 2021)
- DHT11 (OSEPP Electronics)

- MLX90615 (Melexis, 2013)

5.6 Cronología de Trabajo

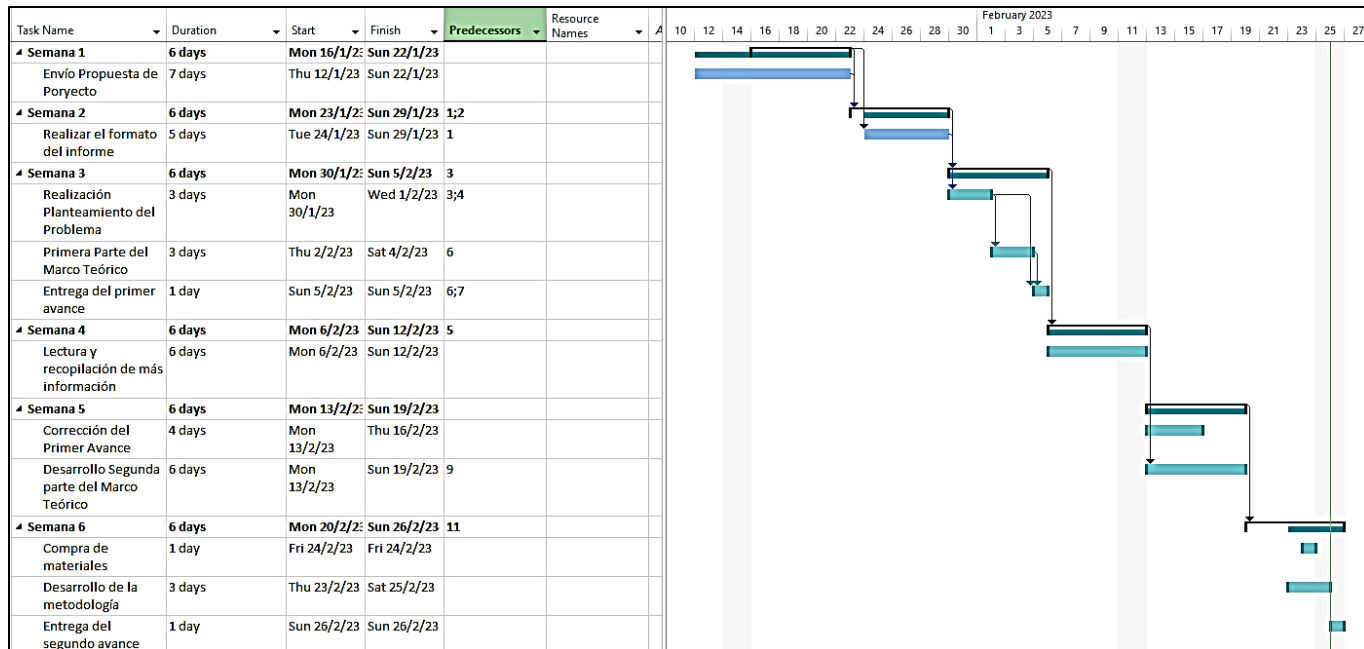


Figura 5.1 Diagrama de Gantt.

CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 Sensores de Temperatura:

Para determinar cuál es el mejor sensor de temperatura se hicieron pruebas de precisión, sensibilidad y tiempo de respuesta. Además, se obtuvo información importante como rango de operación y costo.

6.1.1 Prueba de precisión y tiempo de respuesta:

Para la prueba de precisión se utilizó un termómetro de referencia en agua caliente para medir el error entre la temperatura de referencia y la lectura del sensor y mediante un cronometro se tomó el tiempo que tardó en llegar a dicha temperatura. Los siguientes son los resultados obtenidos:

Tabla 6.1

Datos obtenidos PT100.

Número de medición	Termómetro Referencia	PT100	Error	Tiempo
1	53	51	3.77%	58
2	61	58.17	4.64%	53
3	55	52.61	4.35%	45
4	50	47	6.00%	46
5	48	45.67	4.85%	48
		Error Promedio	4.72%	

Tabla 6.2

Datos obtenidos DS18B20

Número de medición	Termómetro Referencia	DS18B20	Error	Tiempo
1	55	55	0.00%	77
2	60	59.44	0.93%	47
3	53	52.16	1.58%	76
4	50	49.63	0.74%	62
5	47	47	0.00%	49
		Error Promedio	0.65%	

Tabla 6.3

Datos obtenidos Termocupla tipo K

Número de medición	Termómetro Referencia	Termocupla Tipo K	Error	Tiempo
1	59	61.5	4.24%	40
2	58	57.5	0.86%	40
3	51	51	0.00%	28
4	48	48	0.00%	39
5	47	47	0.00%	50
		Error Promedio	1.02%	

Tabla 6.4

Datos obtenidos MLX90615

Número de medición	Termómetro Referencia	MLX90615	Error	Tiempo
1	45	45.03	0.07%	7
2	70	69.31	0.99%	2
3	65	65.01	0.02%	2
4	45	45	0.00%	2
5	45	44	2.22%	2
6	45	43.91	2.42%	3
		Error Promedio	0.66%	

6.1.2 Prueba de Sensibilidad

Para esta prueba se observará el comportamiento del sensor a cambios de temperaturas bruscos (con flama directamente o cerca). Para ello se realizó una medición cada segundo durante un periodo de 100 segundos.

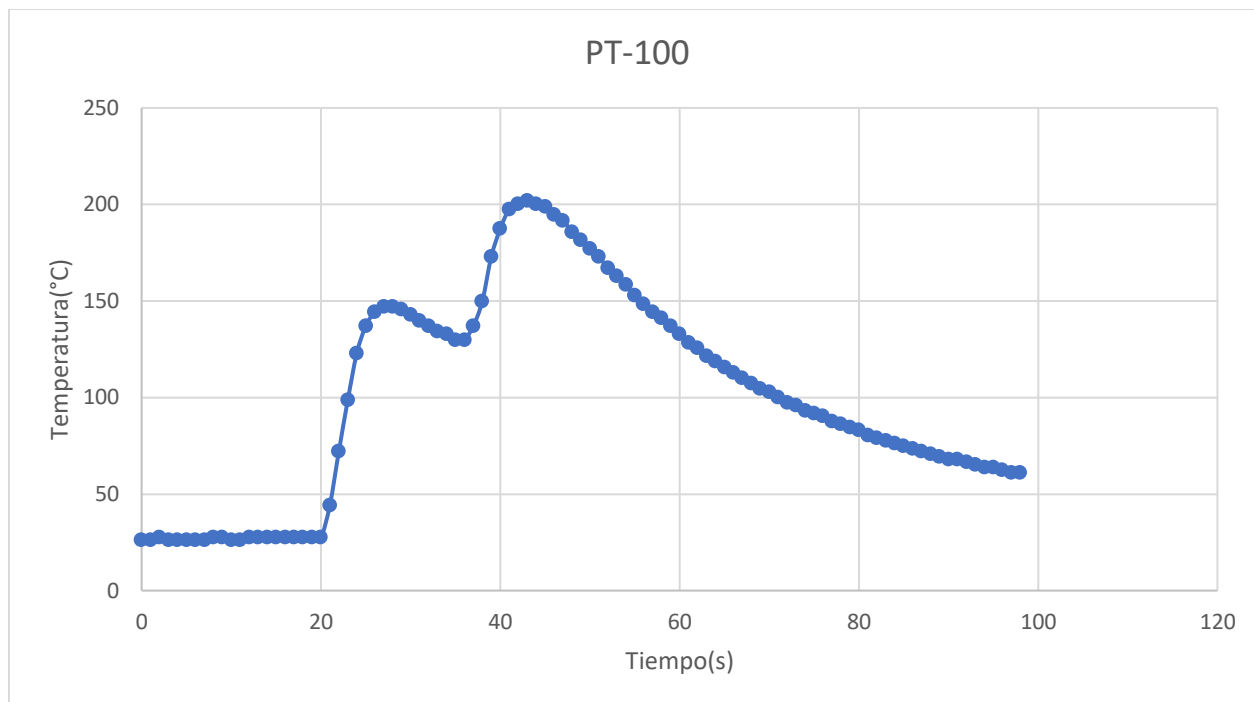


Figura 6.1 Cambio de temperatura del sensor PT100 con fuego directo.

En la figura 6.1 muestra cuando se le aplica contacto con fuego el cual es alrededor de los 20 segundos. Se observa que en 7 segundos alcanza la temperatura de los 147°C. Una vez alcanzó los 200°C se removió el contacto directo con el fuego.

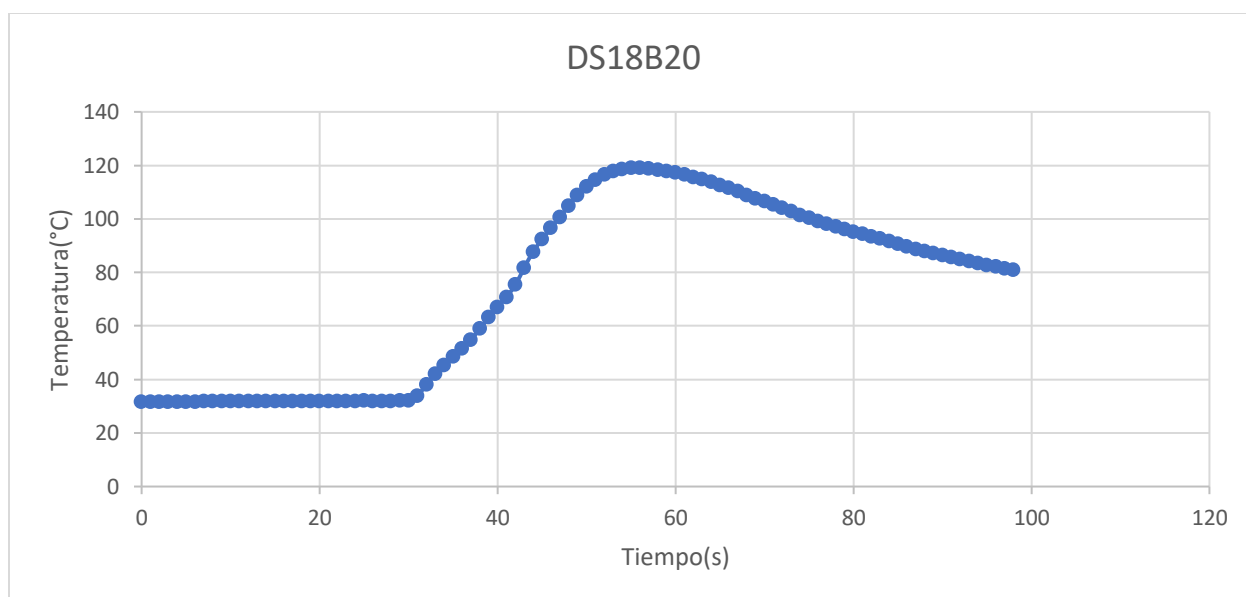


Figura 6.2 Cambio de temperatura del sensor DS18B20 con fuego directo.

La figura 6.2 muestra un incremento en la temperatura bastante sensible, ya que tardó alrededor de 28 segundos en llegar a los 119°C, donde se procedió a removerlo para proteger el equipo debido a que el rango máximo de este sensor es hasta los 125°C.

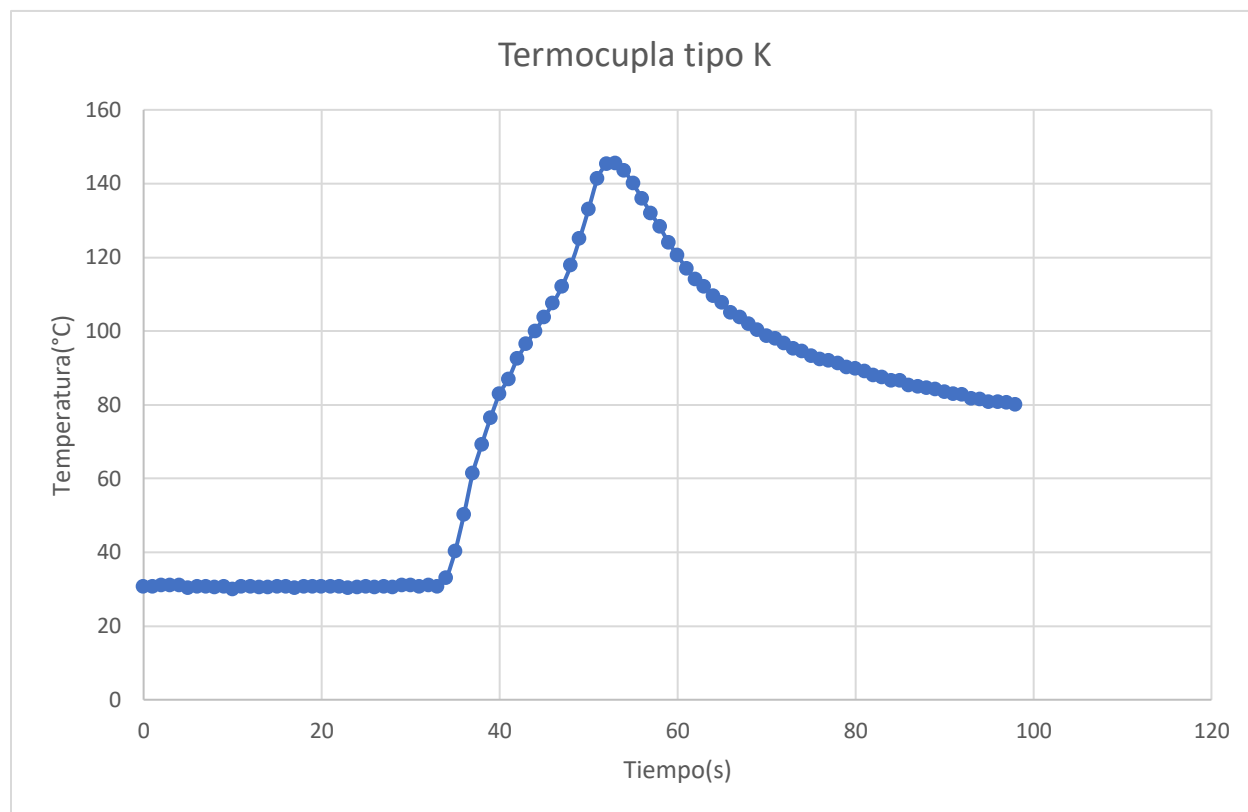


Figura 6.3 Cambio de temperatura de la termocupla tipo K con fuego directo.

La figura muestra lo altamente sensible que es la termocupla, debido a que en 21 segundos llegó a los 145°C.

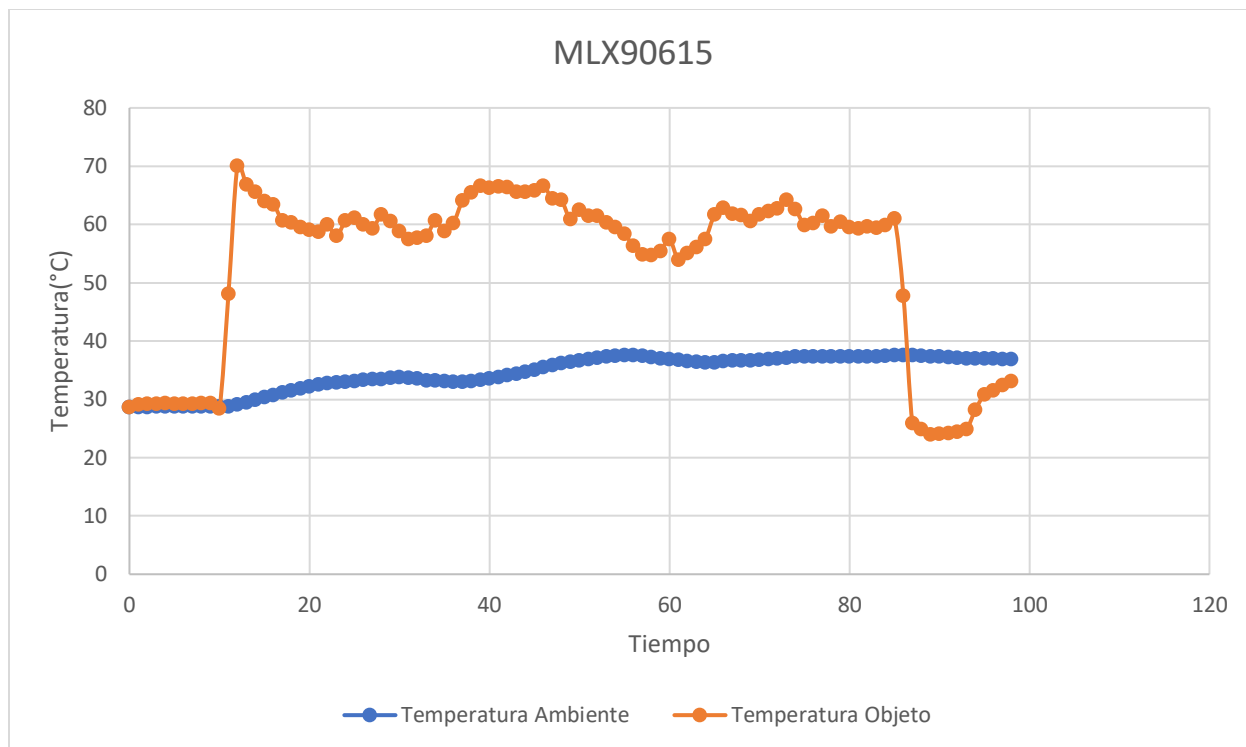


Figura 6.4 Cambio de temperatura del MLX90615 con fuego directo.

El MLX90615 permite obtener la temperatura del objeto el cual está apuntando, así como la temperatura del entorno en el que se encuentra. Tiene una alta sensibilidad como se puede observar en la figura 6.4, en 2 segundos midió el cambio de temperatura.

6.2 Sensores de Humedad Relativa

Para elegir el mejor sensor de humedad relativa se tomaron mediciones en dos entornos distintos, el primero cerca de vapor de agua y el segunda cerca de un encendedor. Con esto se busca medir que tan rápido los sensores detectan los cambios de humedad en el aire.

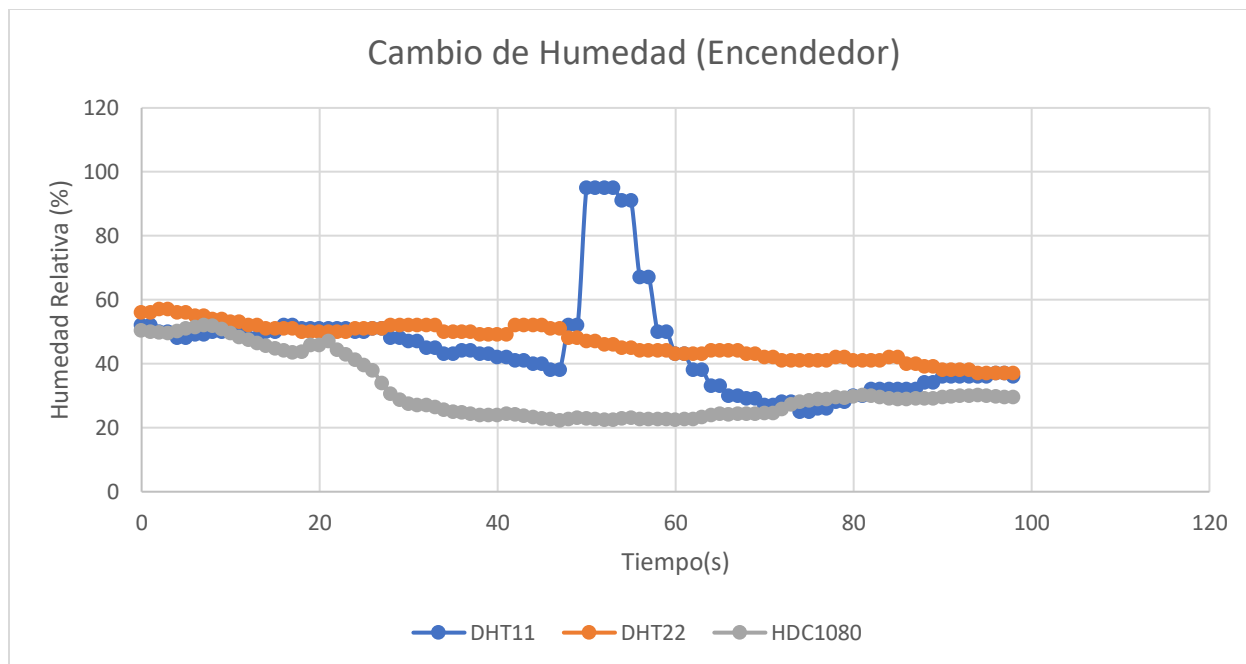


Figura 6.5 Humedad relativa de los sensores DHT11, DHT22 y HDC1080 cercanos a un encendedor.

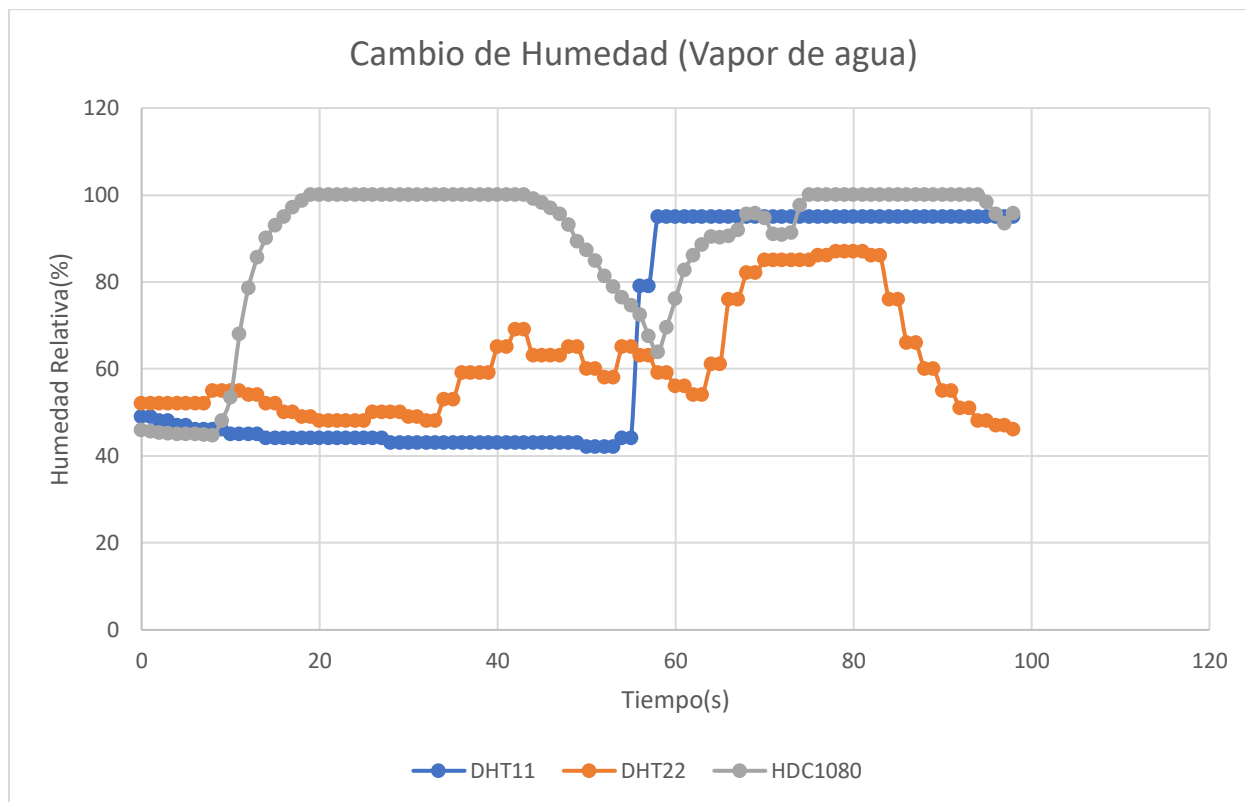


Figura 6.6 Humedad relativa de los sensores DHT11, DHT22 y HDC1080 cercanos a vapor de agua.

En la figura 6.5 se muestra como el HDC1080 detectó la reducción de la humedad relativa en el aire, más rápido que los otros sensores. El DHT11 tuvo un comportamiento anormal por unos segundos, pero luego regresó a funcionar correctamente.

En la figura 6.6 se observa que tanto el DHT11 como el HDC1080 detectan el aumento de humedad relativa bastante rápido, mientras que el DHT22 tuvo un rendimiento inferior.

6.3 Sensor de Gas MQ-7

Para probar la sensibilidad del sensor de gas MQ-7, se hicieron 2 pruebas cerca de fuego en un asador con carbón y leña. Las condiciones ambientales en las que se realizaron las pruebas fueron las siguientes: alta humedad y mucho viento por causa de lluvia. Debido a ello, en la primera prueba el sensor no detecto muchas PPM de CO. Se realizaron alrededor de 100 mediciones en un periodo de 8 minutos. Ver figura 6.7.

Para la segunda prueba se realizaron alrededor de 60 mediciones en un periodo de 5 minutos. En esta prueba el fuego en el asador había incrementado, además de que el viento empujaba el humo en dirección del sensor, por lo tanto, el sensor detecto un gran incremento de PPM de CO. Ver figura 6.8.

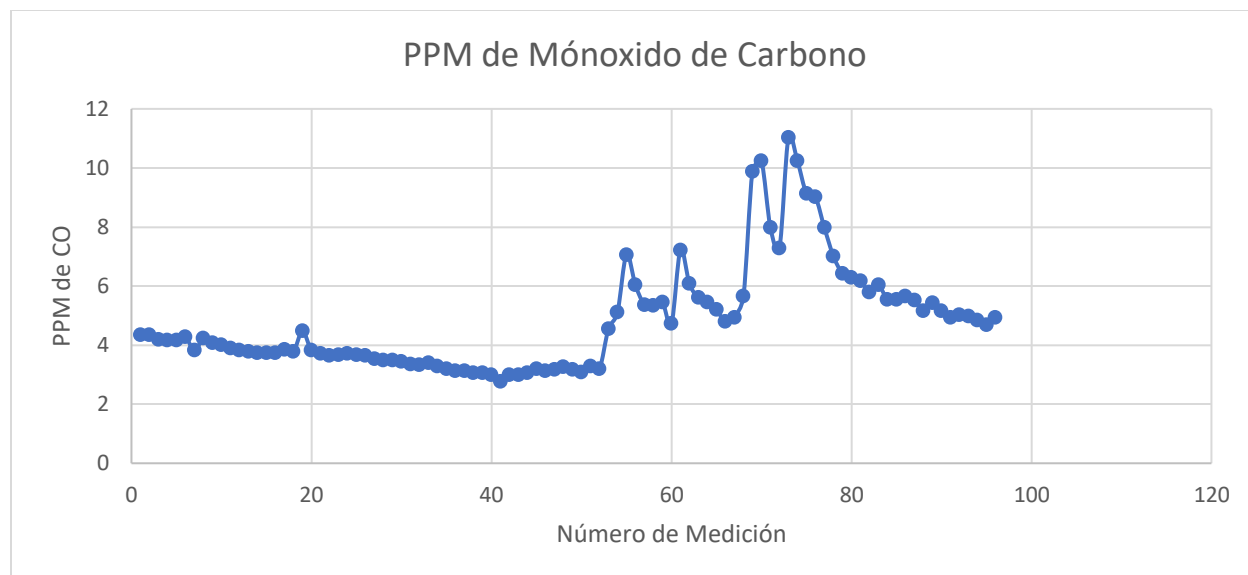


Figura 6.7 PPM de CO en la primera prueba.

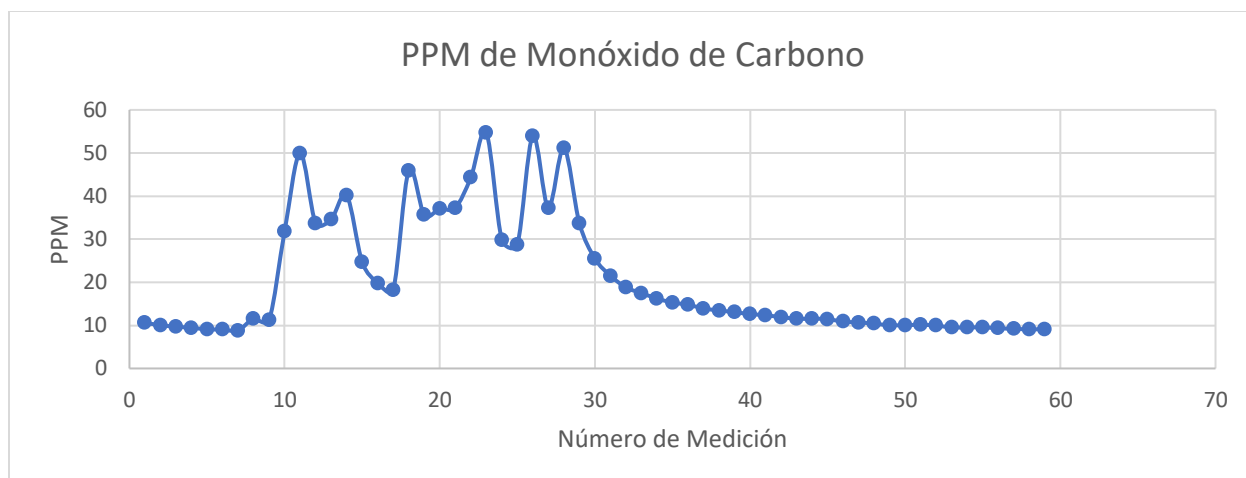


Figura 6.8 PPM de CO en la segunda prueba.

6.4 Elección de los sensores

A continuación, se presenta una tabla resumen de los sensores de temperatura probados.

Tabla 6.5

Tabla Resumen

Sensor de temperatura	Error	Sensibilidad	Costo	Rango de operación
PT100	4.72%	Alta	L. 150	-200 - 650°C
DS18B20	0.65%	Media	L. 395	-55 - 125°C
Termocupla tipo K	1.02%	Alta	L. 213	0 - 1024°C
MLX90615	0.66%	Muy Alta	L. 350	-40 - 115°C

El detector de incendios solo necesitará que se detecte una temperatura de 50°C para avisar al operario. Teniendo esto en cuenta el MLX90615 será el sensor de temperatura a utilizar debido a su rapidez en medir los cambios de temperatura, además de que tiene un error bastante pequeño y puede medir a distancia.

Para la elección del sensor de humedad relativa, las mediciones mostraron que el HDC1080, mide los cambios de humedad relativa más rápido que el DHT11 y el DHT22, además de mostrar una mayor estabilidad.

Finalmente, se utilizará el sensor de gas MQ-7, ya que conocer los cambios de PPM de CO en el bosque brinda información extra para los operarios. Los microcontroladores utilizados son Arduino UNO y los transceptores Zigbee utilizados son los CC2530.

6.5 Diagrama de Conexiones

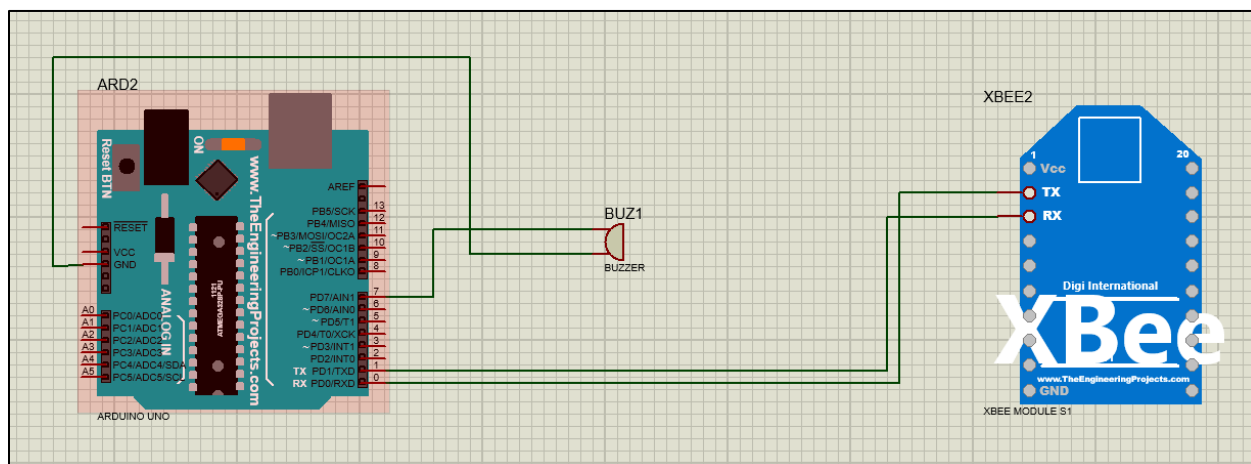


Figura 6.9 Nodo Receptor/Coordinador

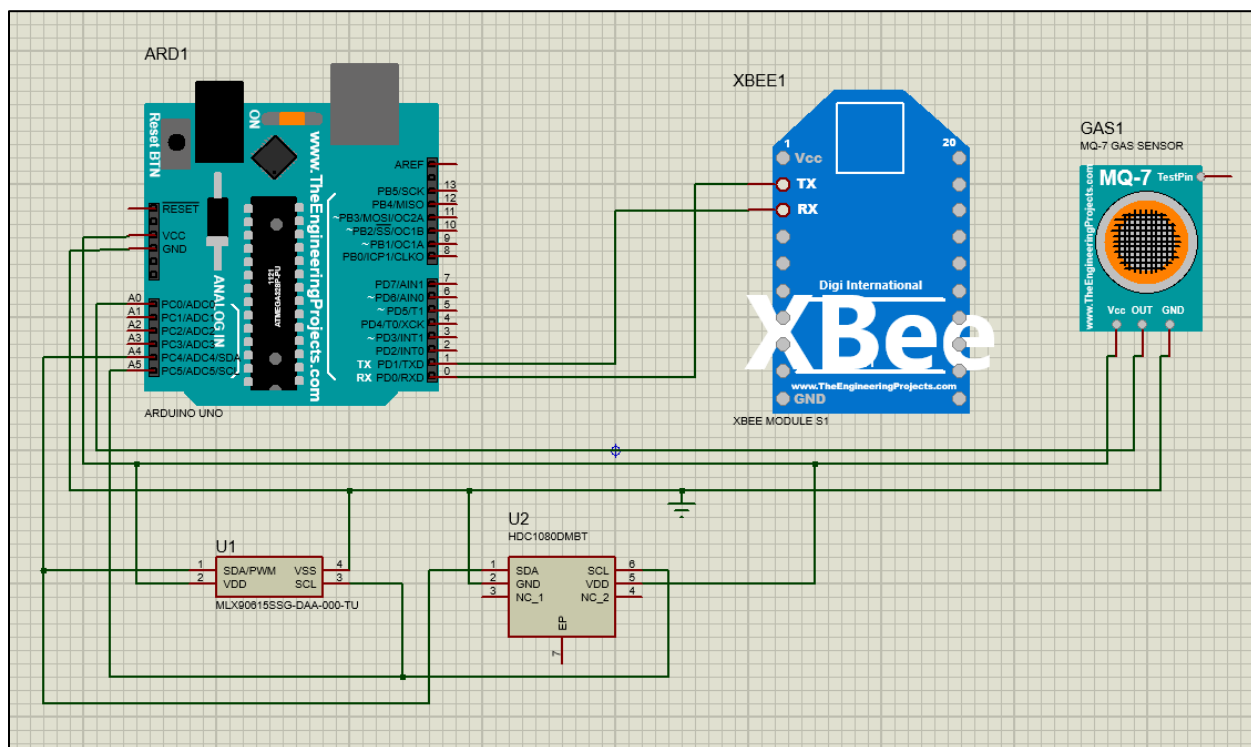


Figura 6.10 Nodo Transmisor/End Device

6.6 Desarrollo del Programa de Recepción de Datos

El programa que se encarga de recibir los datos medidos por el nodo transmisor fue desarrollado utilizando el App Designer de Matlab. Ver Figura 6.11. Tiene la funcionalidad de graficar los datos recibidos de temperatura, humedad relativa y PPM de CO. Además, muestra las últimas mediciones recibidas. Por último, tiene la funcionalidad de imprimir los datos recibidos a una hoja de Excel para realizar análisis posteriores.

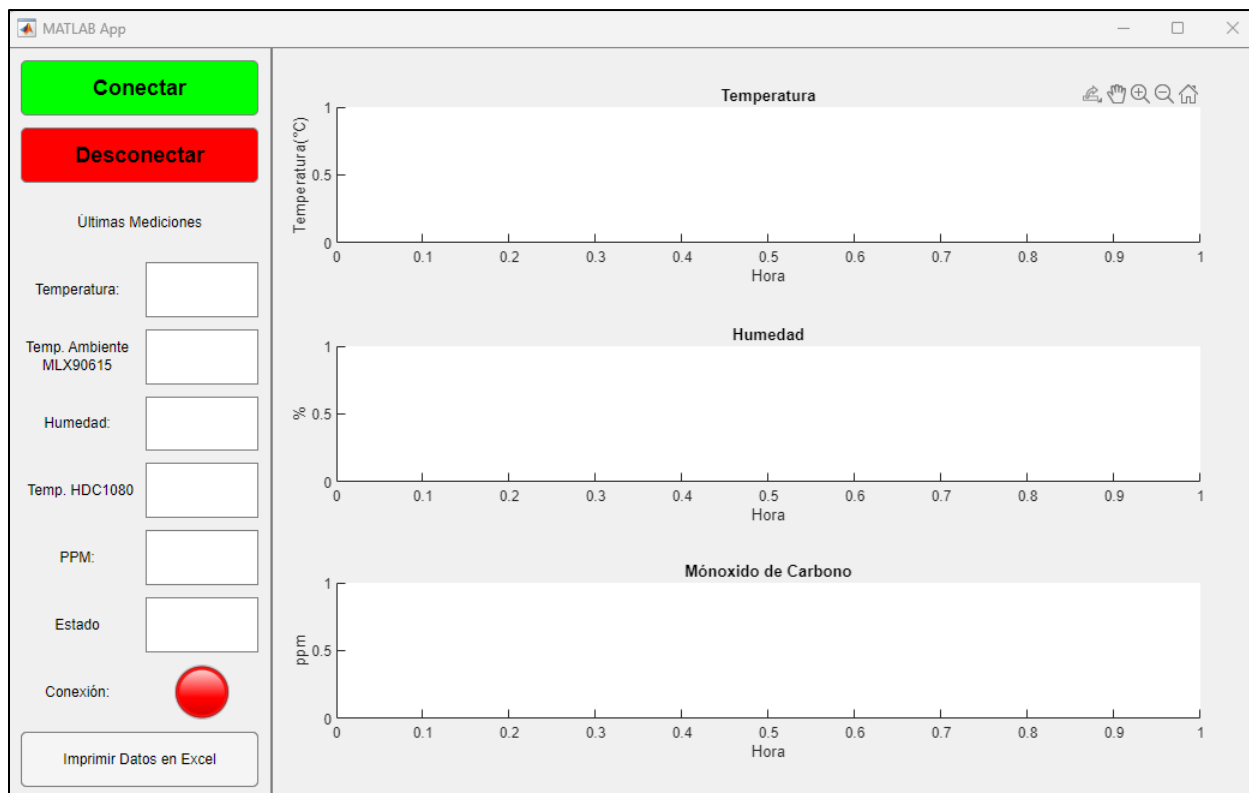


Figura 6.11 UI del programa de recepción de datos.

6.7 Prueba del dispositivo

A continuación, se presenta los circuitos físicos y la prueba del sistema, mostrando los datos capturados por el circuito transmisor y como se envían en la comunicación Serial, como los recibe el circuito receptor y finalmente como se muestran en el programa. La figura 6.12 muestra el circuito transmisor y la figura 6.13 muestra el circuito receptor.

Primero los datos son tomados con los sensores del circuito transmisor, y se envían en una sola línea hacia el serial, estos datos luego viajan mediante la comunicación Zigbee del CC2230. Ver figura 6.14.

Después son recibidos en el receptor, el cual divide los datos para representar la medición de cada sensor. Ver figura 6.15. Finalmente, el programa se conecta al serial del receptor y captura estos y los despliega en la interfaz gráfica. Ver figura 6.16.

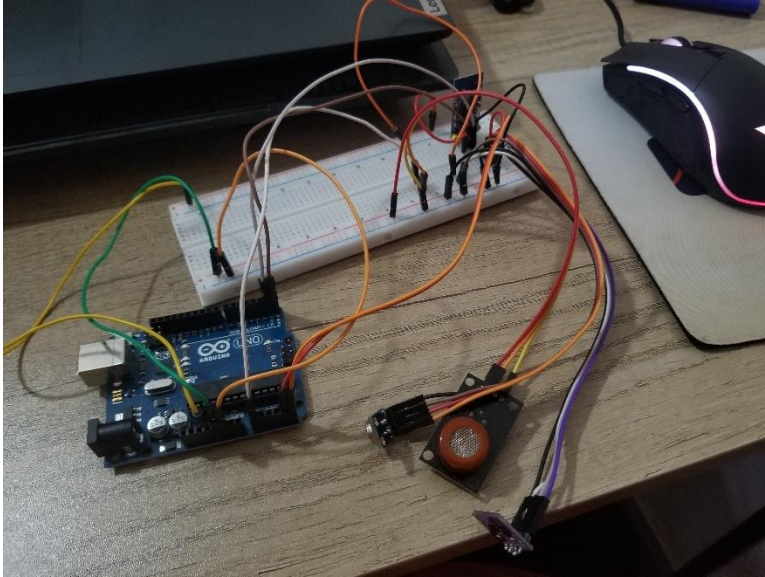


Figura 6.12 Circuito transmisor

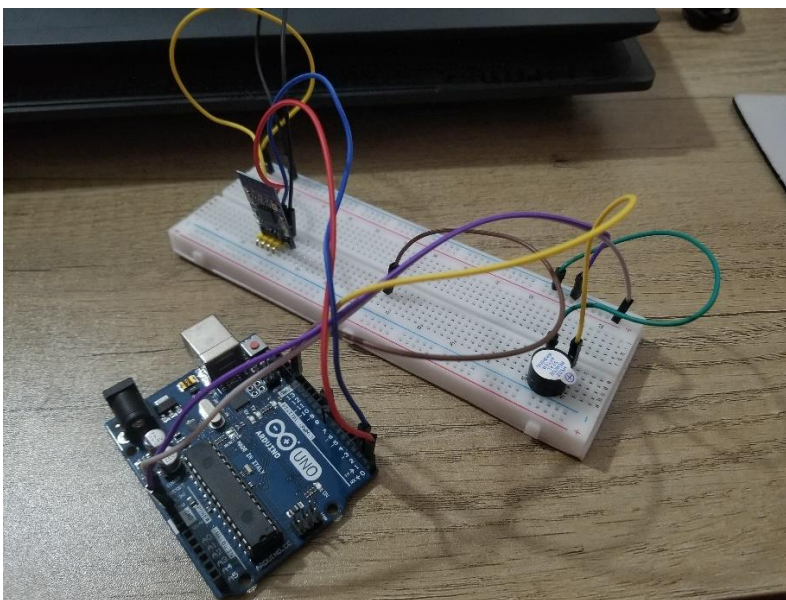


Figura 6.13 Circuito Receptor

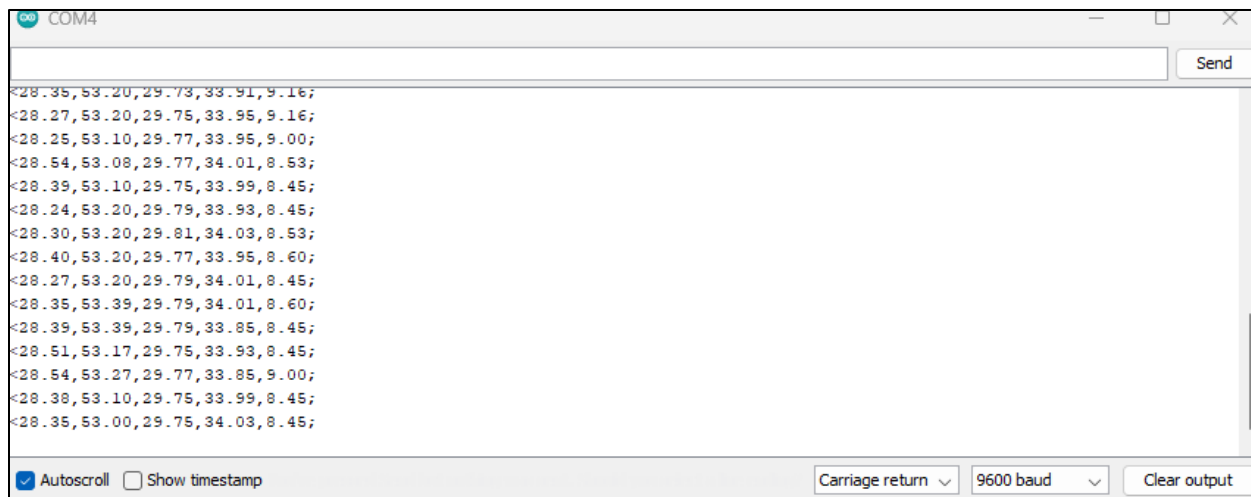


Figura 6.14 Serial circuito transmisor

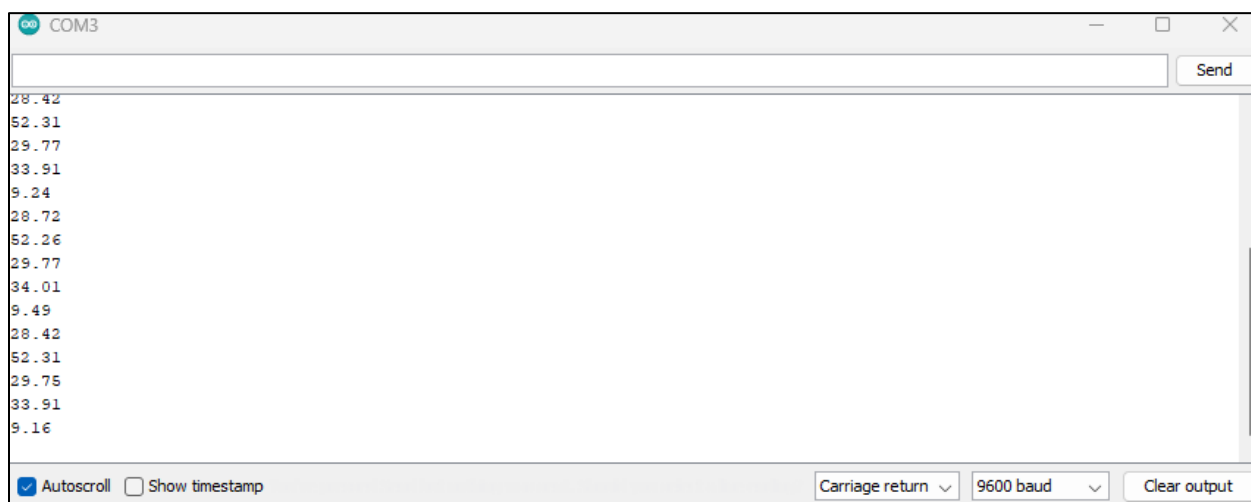


Figura 6.15 Serial circuito receptor

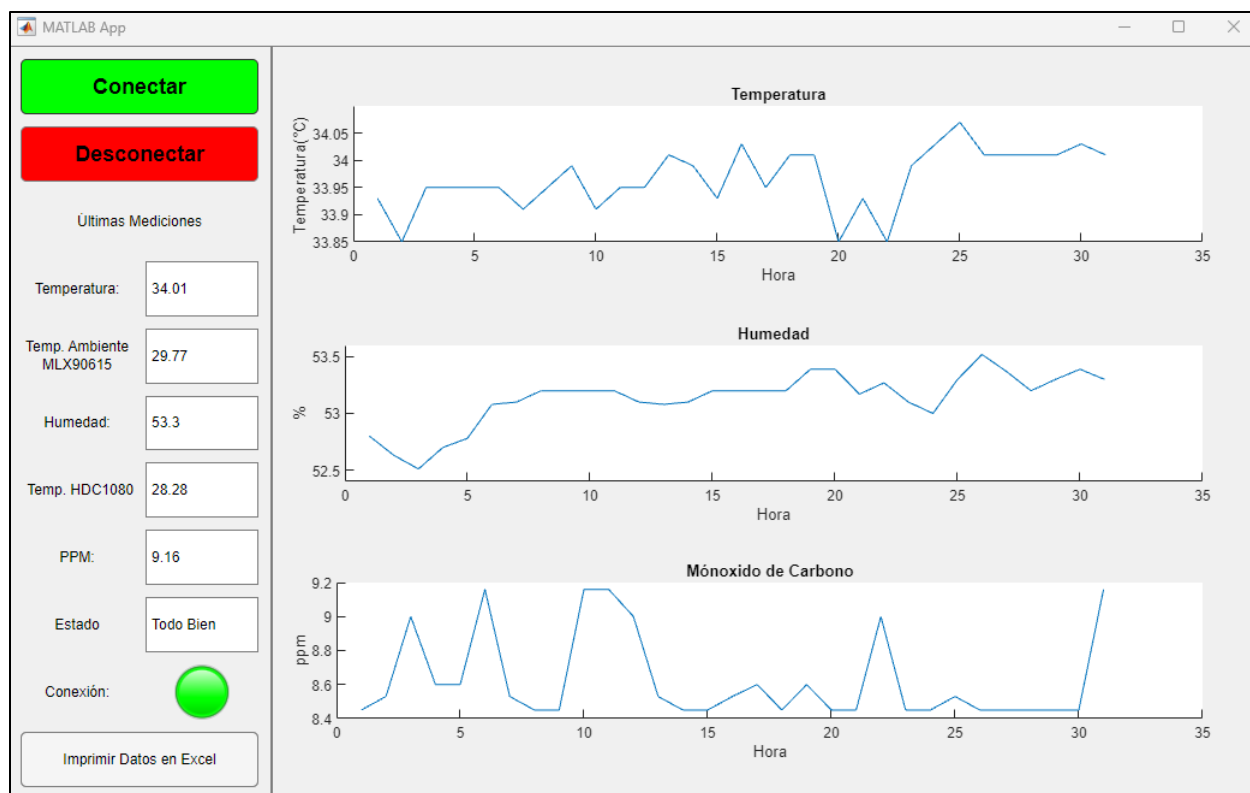


Figura 6.16 Datos Recibidos en el programa.

6.8 Costos

En las siguientes tablas (6.6, 6.7) se muestran los costos del nodo transmisor y del prototipo respectivamente.

Tabla 6.6

Costos del nodo transmisor

Dispositivo	Costo
Batería 9V + contenedor	L 165.00
Arduino	L 420.00
MLX90615	L 350.00
HDC1080	L 220.00
CC2530	L 456.00
MQ-7	L 169.00
Jumpers	L 244.00
Protoboard	L 197.00
Total	L 2,221.00

Tabla 6.7

Costo del prototipo

Dispositivo	Costo
Batería 9V + contenedor	L 165.00
Arduino(x2)	L 840.00
MLX90615	L 350.00
HDC1080	L 220.00
CC2530(x2)	L 912.00
MQ-7	L 169.00
Jumpers	L 244.00
Buzzer	L 56.00
Protoboard(x2)	L 394.00
Total	L 3,350.00

6.9 Validación de la Hipótesis

H_1 : El costo de cada nodo oscilará entre L.4,000.00 y L.5,000.00.

H_{01} : El costo de cada nodo no oscilará entre L.4,000.00 y L.5,000.00.

H_{a1} : El costo de cada nodo será mayor a L.5,000.00.

El costo del nodo transmisor fue de L. 2,221.00, por tanto, se rechaza la hipótesis H_1 y se acepta la hipótesis nula H_{01} .

H_2 : Un sensor RTD será mejor sensor de temperatura para el detector de incendios que un sensor infrarrojo.

H_{02} : Un sensor RTD no será mejor sensor de temperatura para el detector de incendios que un sensor infrarrojo.

H_{a2} : Un termopar será mejor sensor de temperatura para el detector de incendios.

En la tabla 6.5 se muestra que el sensor RTD PT100 de dos cables tiene un mayor error en sus mediciones en comparación que el sensor infrarrojo, además la tabla 6.1 muestra que el tiempo de respuesta es más lento que el MLX90615 en la tabla 6.4. Teniendo esto en cuenta se rechaza la hipótesis H_2 y se acepta la hipótesis nula H_{02} .

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

Se consiguió diseñar un sistema de detección de incendios forestales, este sistema se divide en dos circuitos, el primero se encarga de obtener datos de temperatura, humedad relativa del aire y PPM de monóxido de carbono. Luego, envía los datos mediante un transceptor Zigbee CC2530. Mientras que el segundo circuito se encarga de recibir los datos y enviarlos mediante una conexión a computadora hacia el programa y mostrarlos en pantalla.

Se determinó que el mejor sensor para el detector de incendios es el sensor de temperatura infrarrojo MLX90615, debido a su rapidez en la medición de datos. Además, que cuenta con la ventaja de medir a distancia y tiene un error en la medición bastante pequeño. Si bien es un sensor cuyo costo es más elevado, brinda muchas ventajas al detector.

Se validó el correcto funcionamiento del circuito transmisor y del receptor de datos mediante el monitor serial de Arduino, ya que este permitió ver que los datos que se enviaban del transmisor llegaran correctamente al receptor. Además, que el programa de captura de datos permite ver los últimos datos medidos y se pueden comparar con los datos que aparecen en el monitor serial del circuito transmisor.

Se desarrolló un programa mediante el App designer de Matlab, el cual muestra los datos más recientes. Además, muestra gráficos de temperatura, humedad relativa del aire y PPM de monóxido de carbono. El programa cuenta con una opción donde registra los datos recibidos en un archivo de Excel.

Es muy difícil poder decir que este sistema es viable debido a que en la información de los costos no se tomó en cuenta varios factores como ser: costos de manufactura para los nodos, costos de mano de obra, cantidad de nodos a fabricar, etc. Por tanto, se requiere de más recopilación de datos.

CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES

- Realizar simulaciones de la red WSN para determinar el comportamiento de este ante distintos escenarios como ser: fallo de comunicación, pérdida de paquetes, entre otros.
- Utilizar transceptores con mejores especificaciones (mayor rango, mayor tasa de transmisión de datos, etc.).
- Para realizar la escalabilidad, al agregar más nodos se deberán de programar las rutas para el envío de datos, esto dependerá del tipo de transceptor Zigbee.
- Realizar pruebas de la red en entornos de bosque.
- Analizar con mayor detalle los costos de manufactura de los nodos.

- Itsirl. (2018). *General Purpose PT100 Temperature Sensors*.
- Jara, L. (1997). *Secado, procesamiento y almacenamiento de semillas forestales*. CATIE.
- Logicbus. (s.f.). *Logicbus*. Obtenido de https://www.logicbus.com.mx/sensores-temperatura-infrarrojos-pyrocube_p.php
- Maxim Integrated. (2021). *Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)*.
- Melexis. (2013). *MLX90615 Infra Red Thermometer*.
- Mosby, D. (2003). *Diccionario Mosby: Medicina, Enfermería y Ciencias de la Salud*. Madrid: Elsevier.
- OSEPP Electronics. (s.f.). *DHT11 Humidity & Temperature Sensor*.
- Pallás, R. (2003). *Sensores y Acondicionadores de Señal*. Marcombo.
- Peak Sensors. (30 de Junio de 2022). *Peak Sensors*. Obtenido de <https://peaksensors.co.uk/blog/what-is-rtd-sensor-how-does-it-work/>
- RAE. (2022). *Real Academia Española*. Obtenido de Real Academia Española: <https://dle.rae.es/costo>
- RAE. (2022). *Real Academia Española*. Obtenido de Real Academia Española: <https://dle.rae.es/sensor?m=form>
- RAE. (2022). *Real Academia Española*. Obtenido de Real Academia Española: <https://dle.rae.es/temperatura?m=form>
- Rechner Sensors. (s.f.). *Rechner Sensors*. Obtenido de <https://www.rechner-sensors.com/es/documentacion/knowledge/el-sensor-de-temperatura>
- Reyes, F., Monjaraz, J., & Soto, E. (2013). *Mecatrónica control y automatización*. México D.F.: Alfaomega.
- Rodríguez, J., & Virgós, J. (1999). *Fundamentos de Óptica Ondulatoria*. Universidad de Oviedo.
- Solé, A. (2005). *Instrumentación Industrial*. Marcombo.
- SRC. (s.f.). *SCR*. Obtenido de SCR: <https://srsl.com/tipos-sensores-temperatura/>
- Tapia, M. (2019). *Incendios Forestales Experiencias y comportamientos del fuego a través de los informes técnicos*. Asturias: Gráficas Summa.
- Texas Instruments. (2016). *HDC1080 Low Power, High Accuracy Digital Humidity Sensor with Temperature Sensor*.
- Valdés, F., & Pallás, R. (2007). *Microcontroladores: Fundamentos y aplicaciones con PIC*. Barcelona: Marcombo.
- Vázquez, A., de la Flor, F., Fernández, R., Payo, I., & Oliver, A. (2015). *Robótica Educativa*. RA-MA .

Washington State Department of Health. (2019). *Washington State Department of Health*.
Obtenido de <https://doh.wa.gov/community-and-environment/air-quality/smoke-fires/humo-de-incendios-forestales>

CAPÍTULO X: ANEXOS

10.1 Población y Muestra a Futuro

Población:

La población para este proyecto puede ser todas las áreas del país que estén en riesgo de incendios forestales como ser los parques nacionales, bosques, etc.

Muestra

La muestra sería el Parque Nacional la Tigra donde se pueden obtener nuevos datos de interés como ser: áreas de mayor riesgo, cantidad de nodos para cubrir dichas áreas, rapidez en la detección del incendio, etc.

10.2 Encuesta para realizar a futuro:

1. ¿Qué métodos utilizan para detectar incendios forestales?
2. ¿Qué tan efectivos son estos métodos?
3. ¿Cuál es el presupuesto para el mantenimiento de dichos métodos?
4. ¿Conocen las redes de sensores inalámbricas?
5. ¿Ha habido incendios forestales recientemente?
6. ¿Cuánto tiempo se tardó en detectar dichos incendios?
7. ¿Cuáles fueron las causas de dichos incendios?
8. ¿Realizan incendios controlados?
9. En caso de que sí, ¿estarían interesados en probar un sistema de incendios forestales a base de redes de sensores inalámbricas?
10. En caso de que no, ¿Por qué?