



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

**“BENCHMARK DE SELECCIÓN DE SENSORES PARA UNA WSN DE
RECOLECCION DE DATOS PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE
INCENDIOS FORESTALES”**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA
EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

AUTOR: JOSÉ LUIS ORTIZ ARCINIEGA

DIRECTOR: MSC. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN

Ibarra-Ecuador

2017

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DEL NORTE.**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de identidad	1003060587
Apellidos y Nombres	Ortiz Arciniega José Luis
Dirección	Luis Martínez 1-115 y Jorge Adoum
E-mail	jlortiza@utn.edu.ec
Teléfono móvil	0967732573
DATOS DE LA OBRA	
Título	BENCHMARK DE SELECCIÓN DE SENSORES PARA UNA WSN DE RECOLECCION DE DATOS PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INCENDIOS FORESTALES.
Autor	Ortiz Arciniega José Luis
Fecha	Marzo de 2017
Programa	Pregrado

Título	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
Director	Ing. Jaime Michilena Calderón, MSc.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.

Yo, Ortiz Arciniega José Luis, con cedula de identidad Nro. 1003060587, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la ley de Educación Superior Artículo 144.

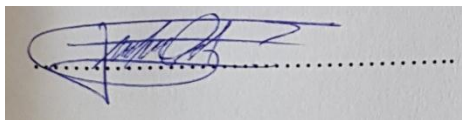
3. CONSTANCIAS.

Yo, ORTIZ ARCINIEGA JOSÉ LUIS declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; y que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se presentan en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las leyes de propiedad intelectual, reglamentos y normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.

En la ciudad de Ibarra, marzo de 2017.

EL AUTOR



Ortiz Arciniega José Luis

CI: 1003060587



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

Yo, Ortiz Arciniega José Luis, con cedula de identidad Nro. 1003060587, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado con el tema: BENCHMARK DE SELECCIÓN DE SENSORES PARA UNA WSN DE RECOLECCION DE DATOS PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INCENDIOS FORESTALES. Que ha sido desarrollado con propósito de obtener el título de Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.



Ortiz Arciniega José Luis
1003060587
Ibarra, marzo 2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

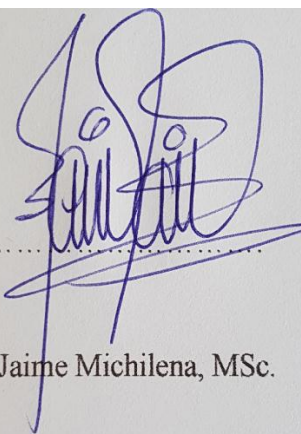
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN.

MAGISTER JAIME MICHILENA, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de Titulación “BENCHMARK DE SELECCIÓN DE SENSORES PARA UNA WSN DE RECOLECCION DE DATOS PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INCENDIOS FORESTALES.” Ha sido desarrollado por el señor Ortiz Arciniega José Luis bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.



Ing. Jaime Michilena, MSc.

1002198438

DIRECTOR

Agradecimiento.

Manifiesto mi más sincero agradecimiento a las autoridades de la Universidad Técnica del Norte, al Coordinador de la Carrera de Electrónica y Redes de Comunicación de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas y a todos mis profesores que durante mi estancia como estudiante de ésta casona de estudios supieron guiarme por el mejor camino.

Especial agradecimiento a mi Director de Tesis el Ing. Jaime Michilena Calderón, MSc, que con sus sabios consejos a lo largo de la realización de ésta investigación me permitió culminar mi carrera estudiantil de la mejor forma.

Dedicatoria.

Este trabajo está dedicado a toda mi familia, en especial a mis padres María Arciniega y José Ortiz, a mis hermanas, a mis queridos sobrinos y a mi novia, quienes me ofrecieron su apoyo permanente para poder alcanzar uno de los sueños más importantes de mi vida, ser un Ingeniero. Dedico a todas las personas que siempre estuvieron brindándome su ayuda, motivándome y dándome su cariño incondicional durante la realización de este Trabajo de Grado.

Índice.

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.	I
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.	III
CERTIFICACIÓN.	IV
Agradecimiento.	V
Dedicatoria.	VI
Índice.	VII
Índice de Ilustraciones.	X
Índice de Tablas.	XIII
Resumen.	XIV
Abstract.	XV
Capítulo 1. Antecedentes.	1
1.1. Tema.	1
1.2. Problema.	1
1.3. Objetivos.	2
1.1.1. Objetivo general.	2
1.1.2. Objetivos específicos.	3
1.4. Alcance.	3
1.5. Justificación.	4
Capítulo 2. Justificación Teórica	6
2.1. Benchmark.	6
2.2. Fenómeno del Fuego.	6
2.3. Comportamiento del Fuego.	9
2.3.1. Meteorología.	9
2.3.2. Topografía.	11
2.3.3. Combustibles.	11
2.4. Incendios Forestales.	12
2.4.1. Factores ambientales.	12
2.4.2. Factores no ambientales.	14

2.5. Selección de Parámetros a Sensar.....	14
2.5.1. Parámetros Descartados.....	15
2.5.2. Parámetros seleccionados.....	17
2.6. Hardware Libre.....	18
2.6.1. Mundo Arduino.....	20
2.7. Sensores.....	25
2.7.1. Clasificación de los sensores.....	25
2.7.2. Sensores aplicables al proyecto.....	26
Capítulo 3. Metodología.....	28
3.1. Proceso de benchmark.....	28
3.2. Sensores de Temperatura y Humedad Relativa.....	29
3.2.1. DHT11.....	30
3.2.2. DHT21.....	32
3.2.3. DHT22.....	34
3.2.4. Selección del sensor.....	36
3.3. Sensores de Dióxido de Carbono.....	37
3.3.1. MG-811.....	37
3.3.2. MQ135.....	39
3.3.3. Selección del sensor.....	41
3.4. Sensores de Radiación Infrarroja.....	42
3.4.1. YG1006.....	42
3.4.2. SFH 213.....	44
3.4.3. Selección del sensor.....	46
3.5. Sensores de Humo.....	47
3.5.1. MQ2.....	47
3.5.2. MQ4.....	49
3.5.3. Selección del sensor.....	51
Capítulo 4. Pruebas de Funcionamiento.....	53
4.1. Pruebas Iniciales con Sistemas de Detección Individuales.....	53
4.1.1. Sistema de detección de temperatura y humedad.....	54
4.1.2. Sistema de detección de dióxido de carbono.....	62

4.1.3. Sistema de detección de radiación infrarroja.....	69
4.1.4. Sistema de detección de humo.	75
4.2. Pruebas Finales con el Sistema de Detección Multisensor.	80
4.2.1. Equipamiento del sistema.....	80
4.2.2. Diagrama de conexión del sistema.	82
4.2.3. Explicación del funcionamiento.	83
4.2.4. Entorno de análisis.	85
4.2.5. Resultados obtenidos.....	88
Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones.	98
5.1. Conclusiones.	98
5.2. Recomendaciones.....	100
Referencias.....	101
Glosario de Términos y Acrónimos.....	104
Anexos.	109
Anexo A. Hoja de Datos del Sensor DHT22 (AM2302).	109
Anexo B. Hoja de Datos del Sensor MQ135.	111
Anexo C. Hoja de Datos del Sensor YG1006.	113
Anexo D. Hoja de Datos del Sensor MQ2.	115
Anexo E. Código del Sistema de Detección Individual de Temperatura y Humedad Relativa.	117
Anexo F. Código del Sistema de Detección Individual de Dióxido de Carbono.....	118
Anexo G. Código del Sistema de Detección Individual de Radiación Infrarroja.	119
Anexo H. Código del Sistema de Detección Individual de Humo.....	120
Anexo I. Código del Sistema de Detección Multisensor.	121

Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1. Triángulo del fuego.....	7
Ilustración 2. Tetraedro del fuego.....	7
Ilustración 3. Triángulo de comportamiento del fuego.....	9
Ilustración 4. Arduino mega 2560 R3.....	23
Ilustración 5 Sensor DHT11.....	30
Ilustración 6 Conexión característica del sensor DHT11.....	31
Ilustración 7 Sensor DHT21.....	32
Ilustración 8 Conexión característica del sensor DHT21.....	33
Ilustración 9 Sensor DHT22.....	34
Ilustración 10 Conexión característica del sensor DHT22.....	35
Ilustración 11 Sensor MG-811 montado en una placa comercial (breakout board)	37
Ilustración 12 Conexión del sensor MG-811 a una placa Arduino.....	38
Ilustración 13 Sensor MQ135 montado en una placa comercial (breakout board).....	39
Ilustración 14 Conexión del sensor MQ135 a una placa Arduino	40
Ilustración 15 Sensor YG1006 montado en una placa comercial (breakout board)	42
Ilustración 16 Conexión del sensor YG1006 a una placa Arduino.....	43
Ilustración 17 Sensor SFH 213 montado en una placa comercial (breakout board).....	44
Ilustración 18 Conexión del sensor SFH 213 a una placa Arduino	45
Ilustración 19 Sensor MQ2 montado en una placa comercial (breakout board).....	47
Ilustración 20 Conexión del módulo sensor MQ2 a una placa Arduino	48
Ilustración 21 Sensor MQ4 montado en una placa comercial (breakout board).....	49
Ilustración 22 Conexión del módulo sensor MQ4 a una placa Arduino	50
Ilustración 23 Simbología del diodo LED	54
Ilustración 24 Componentes del diodo LED.....	55
Ilustración 25 Simbología del resistor.....	55
Ilustración 26 Componentes del resistor.....	55
Ilustración 27 Código de colores de los resistores.....	56
Ilustración 28 Esquema de conexión del sistema de temperatura y humedad relativa.	57
Ilustración 29 Escenario de prueba para el sistema de detección de temperatura y humedad relativa.....	59

Ilustración 30 Temperatura y humedad relativa en condiciones normales	60
Ilustración 31 Tendencias en los valores de temperatura y humedad relativa en condiciones normales	60
Ilustración 32. Temperatura y humedad relativa con el secador de cabello encendido....	61
Ilustración 33 Tendencias en los valores de temperatura y humedad relativa durante la prueba.....	62
Ilustración 34 Esquema de conexión del sistema de detección de CO2.	63
Ilustración 35 Escenario de prueba para el sistema de detección de dióxido de carbono. 64	
Ilustración 36 Dióxido de carbono en condiciones normales y con el recipiente abierto. 65	
Ilustración 37 Tendencias en los valores de dióxido de carbono con el recipiente abierto.65	
Ilustración 38 Tendencias en los valores de dióxido de carbono con el recipiente cerrado.66	
Ilustración 39 Tendencias en los valores de dióxido de carbono con el recipiente cerrado y la vela encendida.	67
Ilustración 40 Tendencias en los valores de dióxido de carbono con el recipiente abierto y la vela encendida.	67
Ilustración 41 Tendencias en los valores de dióxido de carbono con el recipiente cerrado y el aliento de una persona.	68
Ilustración 42 Simbología del zumbador.	69
Ilustración 43 Zumbador de 5 Voltios.	69
Ilustración 44 Esquema de conexión del sistema de detección de radiación infrarroja....	70
Ilustración 45 Escenario de prueba para el sistema de detección de radiación infrarroja. 71	
Ilustración 46 Mesa de pruebas.....	72
Ilustración 47 Llama de una vela a 55cm del sensor.	72
Ilustración 48 Distancias a las que se detectó la llama de una vela.	73
Ilustración 49 Llama de retazos de tela a 220cm del sensor.	74
Ilustración 50 Diferencia en la detección de llamas.....	74
Ilustración 51 Esquema de conexión del sistema de detección de humo.....	75
Ilustración 52 Escenario de prueba para el sistema de detección de humo.	77
Ilustración 53 Tiempo de respuesta para el humo producido por hojas secas.	78
Ilustración 54 Tiempo de respuesta para el humo producido por hojas húmedas.	79
Ilustración 55 Detección de humo en la quema de los dos tipos de vegetación.	79

Ilustración 56 Esquema de conexión del sistema de detección multisensor.	82
Ilustración 57 Vista interior del prototipo.	84
Ilustración 58 Vista exterior del prototipo.	85
Ilustración 59 Espacio cerrado para la realización de la prueba.	85
Ilustración 60 Esquema del entorno de análisis para las pruebas con el sistema multisensor.	86
Ilustración 61 Ubicación del prototipo en el espacio cerrado.	87
Ilustración 62 Calibración del sensor MQ135.	88
Ilustración 63 Temperatura y humedad relativa en condiciones ambientales normales. ...	89
Ilustración 64 Dióxido de carbono en condiciones ambientales normales.	89
Ilustración 65 Inicio del incendio forestal.	90
Ilustración 66 Variaciones en los valores de CO2 ante el inicio del incendio.	91
Ilustración 67 Incendio controlado dentro del espacio cerrado.	91
Ilustración 68 Detección de humo.	92
Ilustración 69 Fluctuaciones en la detección de humo.	92
Ilustración 70 Valores pico en la Temperatura.	93
Ilustración 71 Valores más bajos en la humedad relativa.	93
Ilustración 72 Valores pico del CO2 en ppm.	94
Ilustración 73 Sensores alertando un incendio forestal.	95
Ilustración 74 Prototipo del sistema multisensor alertando de un incendio.	95
Ilustración 75 Extinción del incendio controlado.	96
Ilustración 76 Valores de temperatura y humedad relativa normales.	96
Ilustración 77 Valores de CO2 estabilizándose.	97

Índice de Tablas.

Tabla 1. Factores ambientales relacionados con el fuego.	13
Tabla 2. Factores no ambientales relacionados con el fuego.	14
Tabla 3. Criterios del Hardware Libre	19
Tabla 4. Plataformas Arduino	22
Tabla 5. Especificaciones técnicas de la placa Arduino mega 2560 R3	24
Tabla 6. Clasificación de los sensores	26
Tabla 7. Sensores disponibles en el mercado ecuatoriano.	27
Tabla 8 Especificaciones técnicas del sensor DHT11.....	31
Tabla 9 Especificaciones técnicas del sensor DHT21.....	33
Tabla 10 Especificaciones técnicas del sensor DHT22.....	35
Tabla 11 Análisis comparativo de los sensores de temperatura y humedad relativa.	36
Tabla 12 Especificaciones técnicas del sensor MG-811.	38
Tabla 13 Especificaciones técnicas del sensor MQ135.	40
Tabla 14 Análisis comparativo de los sensores de dióxido de carbono.....	41
Tabla 15 Especificaciones técnicas del sensor YG1006.....	43
Tabla 16 Especificaciones técnicas del sensor SFH 213.	45
Tabla 17 Análisis comparativo de los sensores de radiación infrarroja.....	46
Tabla 18 Especificaciones técnicas del sensor MQ2.	48
Tabla 19 Especificaciones técnicas del sensor MQ4.	50
Tabla 20 Análisis comparativo de los sensores de humo.....	51
Tabla 21 Sensores seleccionados para la aplicación del proyecto.	52
Tabla 22 Valores establecidos para el sistema de detección.	58
Tabla 23 Componentes del sistema de detección multisensor.....	81
Tabla 24 descripción del funcionamiento de cada subsistema.....	83

Resumen.

El presente proyecto presenta una selección de sensores capaces de brindar alertas ante incendios forestales.

Basándose en una investigación bibliográfica del fenómeno del fuego, se estableció una metodología de tres puntos de aprobación, con la cual se eligió los parámetros ambientales y no ambientales que deben ser sensados, los cuales fueron la temperatura, humedad relativa, dióxido de carbono, radiación infrarroja y humo.

Seguido de esto, se desarrolló un benchmark de sensores, teniendo a la fiabilidad, estabilidad, tiempo de respuesta, precisión, precio y disponibilidad, como criterios de evaluación, para seleccionar a los sensores con las mejores prestaciones.

Para finalizar se incluye un ensayo de laboratorio que contiene las pruebas de funcionamiento, en entornos controlados, de todos los sensores de manera individual y colectiva, teniendo como resultado un sistema multisensor de detección de incendios, que opera con software y hardware libre y permite comprobar que el benchmark es el correcto.

Abstract.

This research presents a selection of sensors, they are capable to provide alerts for forest fires.

Based on a bibliographical investigation about fire phenomenon, a methodology of three points of approval was established, which chose environmental and non-environmental parameters to be registered: temperature, humidity, carbon dioxide, infrared radiation and smoke.

Then, a sensor benchmark was developed, having reliability, stability, response time, accuracy, price and availability, as evaluation criteria, to select the sensors with the best performance.

Finally, a laboratory test was included, that contains the tests of operation in controlled environments of all sensors individually and collectively, resulting a multisensor fire detection system, which will operate with free software and hardware and allowing to check that the benchmark is correct.

Capítulo 1. Antecedentes.

En este capítulo se encuentran detalladas las bases para el desarrollo del presente trabajo de titulación, siendo éstos: el tema, la problemática, los objetivos, el alcance y la justificación, con la finalidad de expresar la importancia de la realización de un benchmark de selección de sensores que ofrezcan las mejores prestaciones para una WSN de recolección de datos para un sistema de alerta temprana de incendios forestales.

1.1. Tema.

BENCHMARK DE SELECCIÓN DE SENSORES PARA UNA WSN DE RECOLECCION DE DATOS PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INCENDIOS FORESTALES.

1.2. Problema.

Cada año los incendios forestales acaban con 350 millones de hectáreas de bosques a nivel mundial de acuerdo a estudios realizados por la NASA y Green Peace International, y con más de diez mil hectáreas en el Ecuador según la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos, siendo la mayoría de éstos de origen antropogénico, teniendo como resultado un cambio en el microclima de los sectores afectados, dicho cambio ocasiona un gran impacto negativo en la flora, fauna, suelo, agua y es el principal causante del deterioro ambiental en el País. (Erazo & Hervás, 2014) (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2015)

La ciudad de Ibarra cuenta con varios bosques a su alrededor, siendo el principal el Bosque Protector “Guayabillas” (Diario La Hora, 2002), la cual es el pulmón de la urbe y en donde se han ocasionado varios siniestros en los últimos años, sin la posibilidad de evitarlos, éstos desastres han dejado diezmada gran parte de la reserva y en la actualidad se están efectuando campañas de reforestación en las áreas afectadas.

Sabiendo que el número de incendios forestales no presenta señales de disminución, se necesita encontrar métodos que proporcionen una alerta temprana para mermar al máximo el daño que éstos puedan causar, siendo una posible solución el desarrollo de un prototipo de detección de incendios conformado por nodos sensoriales inalámbricos, los cuales se eligen más de manera intuitiva que de forma específica y al no existir técnicas de selección de sensores de acuerdo al fenómeno a medir, se necesita realizar un estudio de éste fenómeno para determinar los parámetros que se deben sensor, una vez determinados los parámetros necesarios se tiene que desarrollar un análisis comparativo de los sensores con las mejores prestaciones para una WSN, los cuales permitan la recolección de datos para un sistema de alerta temprana de incendios forestales.

1.3. Objetivos.

1.1.1. Objetivo general.

Desarrollar un análisis comparativo de sensores para una WSN de recolección de datos que permita la medición de variables ambientales relacionadas con el fenómeno del fuego con la finalidad de contribuir en el desarrollo de un sistema de alerta temprana de incendios forestales.

1.1.2. Objetivos específicos.

Realizar una investigación bibliográfica del fenómeno del fuego para determinar qué factores ambientales varían significativamente en el instante que se produce.

Seleccionar los parámetros a sensor basados en la disponibilidad de sensores inalámbricos en el mercado para efectuar una comparativa entre los sensores disponibles, enfatizando en las características de: fiabilidad, estabilidad, tiempo de respuesta, precisión, disponibilidad y precio para cada parámetro seleccionado.

Determinar los sensores con las mejores prestaciones, basándose en los resultados obtenidos en el análisis comparativo y realizar las pruebas de trabajo con un ensayo de laboratorio que corrobore que el benchmark establecido permite la selección de los sensores más adecuados para la recolección de información del fenómeno del fuego.

1.4. Alcance.

En la investigación bibliográfica del fenómeno del fuego se pretende identificar, de manera teórica, el efecto o cambio significativo que produce un incendio sobre las variables ambientales.

Conociendo los factores ambientales que sufren de variaciones al producirse un incendio, se debe seleccionar los que tengan cambios abruptos en sus valores promedio y sean de fácil medición, así como también se debe tomar en cuenta agentes externos como el humo resultante del siniestro o la presencia del ser humano en el sector, ya que el incendio puede ser provocado directa o indirectamente.

El análisis comparativo de los sensores inalámbricos, se enfoca en cuatro características específicas de cada uno de ellos las cuales son la fiabilidad, la estabilidad, la precisión y el tiempo de respuesta que ofrecen, al igual que dos variables del mercado, siendo éstas la disponibilidad y el precio de adquisición.

Una vez efectuado el benchmark se procede a seleccionar los sensores inalámbricos que brinden las mejores prestaciones, los cuales serán controlados por una placa computacional para poder garantizar el correcto funcionamiento del prototipo, por facilidad de programación se utilizará una plataforma arduino y la visualización de las mediciones realizadas por los sensores se llevará a cabo con el uso de sketches que permitirán la generación de alertas tempranas para poder detener lo antes posible el daño que pueden producir los incendios forestales.

Para poder comprobar que el benchmark desarrollado permite la selección de los sensores con las mejores prestaciones para el tema de estudio, se necesita realizar un ensayo de laboratorio, en donde se realizará la conexión de los sensores a la placa arduino para obtener las pruebas del trabajo, las cuales son la recolección de información del fenómeno del fuego y las variaciones que éste provoca en los factores ambientales.

1.5. Justificación.

El deterioro ambiental ocasionado por los incendios forestales aumenta con el paso de los años, lo cual ha llevado al Gobierno Nacional a reconocer los derechos de la naturaleza mediante la instauración del Plan Nacional del Buen Vivir, específicamente en el objetivo 7, el cual nos dice que debemos garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global, de tal forma que los estragos ambientales causados, en éste caso, por incendios

forestales sean reducidos. A pesar de la objetividad del Plan Nacional del Buen Vivir, el país no cuenta con componentes preventivos para los incendios forestales, solo existen mecanismos que tratan este problema cuando ya ha provocado un deterioro significativo al ecosistema, dificultando las labores para extinguir el siniestro e incrementando los daños en el sector forestal. (Gobierno Nacional del Ecuador, 2013) (Erazo & Hervas, 2014)

El objetivo planteado por el PNBV puede cumplirse, en parte, con la detección y alerta temprana de incendios forestales por parte de un sistema de nodos sensoriales, pero al no existir un análisis comparativo garantizado que nos permita seleccionar los sensores adecuados de acuerdo al fenómeno a evaluar, se procede a la elaboración de éste trabajo investigativo con el fin de colaborar con el cuidado del medio ambiente, mediante la recolección apropiada de información que nos permita entender de la mejor manera el fenómeno del fuego, y de ésta forma tomar las acciones respectivas para la búsqueda de una solución factible ante la problemática planteada. Además de consolidar futuros estudios para temas relacionados, que colaboren en el cuidado de la naturaleza.

Los intereses personales de la presente investigación se centran en la adquisición de nuevos conocimientos relacionados con sensores inalámbricos y las posibles soluciones que brindan ante problemas de carácter ambiental, pero principalmente con la obtención de mi Título de Grado de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, logrando una meta importante en mi vida la cual es el inicio de mi carrera profesional.

Capítulo 2. Justificación Teórica

El capítulo 2 presenta una breve introducción al benchmark, la investigación bibliográfica del fenómeno del fuego, incendios forestales y sus efectos sobre factores ambientales. Además, se describen los tipos de sensores existentes que permiten la medición de los parámetros ambientales, y la plataforma o sistema embebido que efectuará el control de los mismos.

2.1. Benchmark.

“Designa el hecho de elaborar una lista de productos o de servicios, definir criterios de evaluación del rendimiento o de eficacia y realizar el estudio comparativo, generalmente presentado en un cuadro”. (CCM Benchmark Group, 2014)

En el caso de este tema de titulación, una vez que las variables ambientales que serán censadas han sido seleccionadas, se elabora una lista de productos, que vienen a ser los sensores, para cada una de ellas, se definen los criterios de evaluación los cuales son: fiabilidad, estabilidad, tiempo de respuesta, precisión, disponibilidad y precio, y se efectúa el análisis comparativo presentándolo en tablas informativas, de esta manera se realiza un benchmark completo que satisface los objetivos previamente planteados.

2.2. Fenómeno del Fuego.

Es una reacción físico-química producida por la interacción del oxígeno y una sustancia combustible, que producen luz y calor hasta que uno de los factores que intervienen se consume totalmente, siendo en la mayoría de las veces el combustible. Un subproducto producido durante la duración de este fenómeno es el humo, y para que la combustión inicie y se mantenga constante

es necesario la presencia simultánea de combustible, comburente (oxígeno) y calor, lo que se denomina como el triángulo del fuego y se puede observar en la ilustración 1. Además, se puede considerar un cuarto elemento presente durante la combustión el cual es la reacción en cadena, y se trata de la fluctuación en el fenómeno obtenida de los factores químicos que se liberan por la actuación de las altas temperaturas sobre el combustible, así el triángulo del fuego pasa a ser una figura de cuatro lados conocido como el tetraedro del fuego (véase ilustración 2), pero el combustible, el comburente y el calor se siguen manteniendo como los principales componentes del fenómeno del fuego. (Consejo de Federaciones de Bomberos de Argentina, 2006)

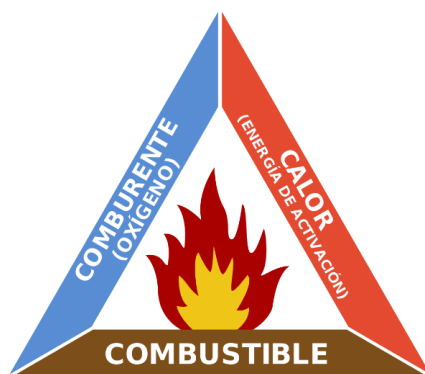


Ilustración 1. Triángulo del fuego

Fuente: <http://elfuego-equipounesambiente3.blogspot.com/>



Ilustración 2. Tetraedro del fuego

Fuente: <http://www.aprendemergencias.es/incendios/teor%C3%ADa-del-fuego/>

El comburente es una sustancia que ayuda a la combustión de la materia y en este caso es el oxígeno, el cual se encuentra libre en la atmósfera y representa una quinta parte de la totalidad de la misma. Es directamente proporcional al proceso de combustión, ya que con mayor presencia de oxígeno el fuego se expande y con menor cantidad el fuego puede llegar a consumirse totalmente, estas variaciones del comburente producen que el dióxido de carbono, que es un gas opuesto al oxígeno, tenga alteraciones significativas en sus valores promedio en el instante que un incendio se produce. Al aire libre las concentraciones normales de dióxido de carbono están alrededor de 360ppm (OMS, 2004), y en experimentos realizados en bosques de Chile, se comprobó que los niveles de CO₂ en el ambiente aumentan a más de 1000ppm al trascurrir 1:30 minutos de haberse iniciado un incendio (González, 2014).

Cualquier substrato inflamable (líquido, sólido o gaseoso) puede ser considerado combustible, y este es el factor que se consume durante el fenómeno del fuego, es decir que, si existe una gran cantidad de combustible, se producirá una reacción en cadena que conlleva a la propagación incontrolable del fuego, y al contrario de esto una vez terminado el combustible se termina el proceso de combustión.

El calor es la energía que permite el inicio del fuego mediante la interacción del combustible y el comburente, es un tipo de energía mensurable por medio de la temperatura que puede presentarse por chispas, rayos, putrefacción, fermentación, el sol, y es instantáneo o acumulativo.

2.3. Comportamiento del Fuego.

Una vez que el fuego es producido se inicia un incendio y se necesita conocer que factores intervienen en su comportamiento y se encargan de controlarlo, es decir, cuales son los agentes que van a ir cambiando conforme la combustión avanza. De manera general se considera que existen tres componentes que controlan el comportamiento de un incendio, los cuales son: la meteorología, la topografía y los combustibles, dando paso a la formación de otro triángulo, en este caso el triángulo del comportamiento del fuego, representado en la ilustración 3.



Ilustración 3. Triángulo de comportamiento del fuego
Fuente: <http://incendios.semadet.jalisco.gob.mx/conceptos>

2.3.1. Meteorología.

La meteorología se encarga del estudio de las condiciones del tiempo y el estado atmosférico, por lo tanto, las variables meteorológicas sufren de cambios espontáneos antes, durante y después del proceso de combustión o incendio, e influyen directamente en el comportamiento del mismo. (Bomberos de Granollers, 2011) Existen muchos factores meteorológicos relacionados con el fenómeno del fuego, pero los que influyen en su comportamiento de manera sobresaliente son:

- Temperatura.
- Humedad relativa.
- Dirección y velocidad del viento.
- Precipitación.
- Estabilidad atmosférica

Cabe recalcar que de los factores mencionados anteriormente solo la temperatura y la humedad relativa presentan cambios extremos debido a la producción de fuego y no solo afectan en su comportamiento, ya que una leve brisa o una gran ráfaga de aire, pueden alterar los valores de la dirección y velocidad del viento sin la necesidad de que exista fuego en el ambiente, de igual manera la precipitación es un fenómeno atmosférico que puede o no presentarse en el instante que se origina un incendio, y la estabilidad atmosférica depende en su mayoría de las masas de aire, por lo que las mismas causas de un cambio en la velocidad del viento, producen alteraciones en este factor meteorológico.

En un estudio realizado en el año 2006 por miembros del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias de México, que consistió de la realización de quemas prescritas en bosques del Estado de Chihuahua, para evaluar el comportamiento de los incendios forestales, se evidenció la relación que tiene la humedad relativa (HR) al momento de producirse un siniestro, ya que, al presentarse una HR mayor a 48% en el lugar en donde se iba a producir la quema controlada de la vegetación, el incendio no pudo iniciarse con facilidad y el valor de HR descendió a menos de 20% después de un minuto de producirse el incendio. (Rosas, Flores, Meléndez, & Cabrera, 2006)

Por otra parte, experimentos realizados en bosques de Chile, dieron como resultado que la temperatura del ambiente aumenta alrededor de 20°C en tiempos menores a un minuto tras haberse iniciado un siniestro (González, 2014), siendo este un valor considerable y que puede ser de ayuda en la detección temprana de incendios forestales.

2.3.2. Topografía.

Los factores topográficos permanecen constantes ante el inicio de una combustión, y se relacionan únicamente con el comportamiento del incendio, ya que pueden contribuir a la expansión o extinción del mismo. (Bomberos de Granollers, 2011) Los siguientes son los elementos topográficos relacionados con el comportamiento del siniestro:

- Rugosidad del terreno.
- Posición respecto a la pendiente.
- Pendiente de la ladera.
- Altura.
- Orientación.

2.3.3. Combustibles.

Sin la existencia de combustibles que se consuman durante un incendio, sería imposible que se origine una combustión, por lo tanto, es más que obvio que los combustibles afecten el comportamiento del fuego, y éstas son las características primordiales:

- Tamaño y forma.
- Carga de combustible.

- Compactación.
- Contenido químico.
- Continuidad horizontal y vertical.

Estas características de los combustibles se alteran en el tiempo y en el espacio, aunque las alteraciones ocurren muy lentamente, y para poder ser medidas sería necesario un contacto directo con el incendio. (Bomberos de Granollers, 2011)

2.4. Incendios Forestales.

Un incendio forestal puede definirse como una combustión no controlada, que puede originarse por causas espontáneas o deliberadas propagándose libremente por la vegetación, y ocasiona efectos negativos en la flora y fauna del ecosistema, esto conlleva a un cambio en el microclima del sector afectado y puede tener impactos en la economía, debido a que los siniestros pueden alcanzar zonas rurales que se abastecen de productos madereros o sean altamente turísticos, otro riesgo importante es el que suelen tener las granjas y haciendas de las áreas aledañas al incendio, ya que las construcciones (galpones, corrales, viviendas) pueden ser devastadas parcial y totalmente. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Argentina, 2016)

2.4.1. Factores ambientales.

Una vez conocidos los factores que intervienen en la producción del fuego y los parámetros que dictan el comportamiento de un incendio, se puede obtener una tabla que especifique las variables ambientales que se alteran en el momento en el que una combustión se origina.

Tabla 1. Factores ambientales relacionados con el fuego.

FACTORES AMBIENTALES	RELACIÓN CON EL FUEGO	EFEECTO EN SU NATURALEZA
Temperatura	Triángulo del fuego (calor). Triángulo del comportamiento del fuego (meteorología).	La temperatura en el ambiente incrementa sus valores en 20°C/min aproximadamente cuando se produce fuego, debido al incremento del calor en el ambiente.
Humedad relativa	Triángulo del comportamiento del fuego (meteorología).	Este parámetro tiende a disminuir significativamente, ya que, el aumento del calor es inversamente proporcional a la cantidad de vapor de agua.
Oxígeno	Triángulo del fuego (comburente).	El oxígeno va disminuyendo paulatinamente mientras el combustible se consume.
Dióxido de carbono	Opuesto al comburente.	La combustión ocasiona que las partes por millón de CO ₂ en el ambiente pasen de ser de 360ppm a 1000ppm en menos de 2 minutos.
Estabilidad atmosférica	Triángulo del comportamiento del fuego (meteorología).	Las masas de aire que se encuentran en el sector del incendio aumentan su temperatura, y las masas de aire que están por encima elevan su velocidad.
Gases atmosféricos	Opuestos al comburente.	Los diferentes gases presentes en la atmósfera varían escasamente durante el proceso de combustión.
Vegetación	Triángulo del fuego y triángulo del comportamiento del fuego (combustible).	La vegetación es consumida por el fuego hasta que éste sea detenido.

Fuente: adaptado de (Bomberos de Granollers, 2011)

2.4.2. Factores no ambientales.

Se deben considerar algunos parámetros que no corresponden a factores ambientales, ya que, pueden ser determinantes al momento de detectar un incendio de manera rápida y oportuna, logrando disminuir los efectos negativos del siniestro. A continuación, se presenta una tabla explicativa con éstos parámetros.

Tabla 2. Factores no ambientales relacionados con el fuego.

FACTORES NO AMBIENTALES	RELACIÓN CON EL FUEGO	EFFECTO EN SU NATURALEZA
Radiación infrarroja	Luz que se produce en una combustión.	Al producirse luz existen cambios relevantes en los rangos de longitud de onda del espectro.
Humo	Resultante de la combustión de combustible.	Se origina sólo si existe fuego, de tal manera que pasa de ser un elemento inexistente en el ambiente a un factor determinante en la detección de incendios.
Presencia del ser humano	El ser humano tiene la capacidad de iniciar un incendio.	Si no existe presencia de seres humanos se descarta la posibilidad de un fuego provocado.

Fuente: adaptado de (Bomberos de Granollers, 2011)

2.5. Selección de Parámetros a Sensar.

Los factores ambientales y no ambientales que serán censados y ayudarán a obtener alertas tempranas de incendios forestales, fueron seleccionados a través de una metodología de tres puntos de aprobación que siguen un orden específico, los cuales son:

- a. Alteraciones significativas en sus valores promedio, al momento de producirse un incendio forestal.

- b. Facilidad de medición en sus cambios de naturaleza.
- c. Disponibilidad de dispositivos electrónicos (sensores) que sean capaces de realizar mediciones de los factores ambientales y no ambientales seleccionados.

Con la información presentada en las Tablas 1 y 2, la metodología antes descrita puede desarrollarse con facilidad, lo que permite realizar una breve explicación del porque cada factor ambiental o no ambiental fue seleccionado o descartado.

2.5.1. Parámetros Descartados.

2.5.1.1. Oxígeno.

El oxígeno representa una quinta parte de la totalidad de la atmósfera, por lo que se encuentra relativamente en abundancia, es uno de los tres integrantes del triángulo del fuego, pero a pesar de esto no presenta cambios considerables ante el inicio de un siniestro y solo va reduciendo su volumen paulatinamente, de tal manera que no sería de gran ayuda para la detección rápida de un incendio.

2.5.1.2. Estabilidad atmosférica.

Este es un parámetro de difícil medición, ya que se deben considerar los diferentes niveles atmosféricos y no solo el nivel en el que se produce el fuego. Además, se necesita de grandes masas de aire para provocar un cambio significativo en sus valores, lo que significa que el incendio ya debe estar propagado en grandes áreas boscosas, lo que lo descarta como una variable a tomar en cuenta en una detección oportuna de un siniestro.

2.5.1.3. Gases atmosféricos.

Al igual que el oxígeno el resto de gases atmosféricos, a excepción del dióxido de carbono, no presentan variaciones abruptas en sus valores promedio en el instante que el fuego se produce, haciendo a éste parámetro un descarte obvio en la detección temprana de incendios forestales.

2.5.1.4. Vegetación.

La vegetación, en la mayoría de las veces, es el combustible principal en el desarrollo de una combustión forestal, pero no existen sensores que permitan la medición del volumen de vegetación, que sirva de combustible, existente y como éste volumen va disminuyendo conforme el incendio avanza.

2.5.1.5. Presencia del ser humano.

La mayoría de sensores de presencia responden ante movimientos físicos o cambios de temperatura, lo que significa que si un animal se encuentra en el área de monitoreo del sensor, éste se alertará de igual manera que lo hará si se tratase de un ser humano. Ante la inexistencia de sensores que sean capaces de diferenciar entre seres humanos y animales, se procede a descartar este parámetro.

2.5.2. Parámetros seleccionados.

2.5.2.1. Temperatura.

Este factor ambiental si presenta cambios abruptos ante la producción de un incendio, inclusive puede ser determinante antes de que el fuego se produzca, ya que se relaciona directamente con el calor el cual es uno de los elementos del triángulo del fuego, y ante un aumento considerable de sus valores promedio, se puede llegar a concluir que una combustión está pronta a producirse o ya se produjo, además es de fácil medición y hay una gran cantidad de sensores que permiten realizar sondeos a tiempo real de sus valores.

2.5.2.2. Humedad relativa.

Otro de los factores ambientales determinantes en el comportamiento del fuego es la humedad relativa, la cual varía considerablemente en el instante en que se produce un incendio, debido a que es inversamente proporcional a la temperatura, y de igual manera que su opuesto la humedad relativa puede ser sensada fácilmente por varios sensores existentes en el mercado.

2.5.2.3. Dióxido de carbono.

A diferencia de los otros gases atmosféricos, el dióxido de carbono (CO₂) presenta cambios significativos en sus valores habituales como se señaló anteriormente en el título 2.2. Fenómeno del Fuego, específicamente en la sección en la que se describe al Comburente. Sabiendo esto, se establece que las variaciones de dióxido de carbono en el ambiente ayudan a una breve detección de incendio forestal.

2.5.2.4. Radiación infrarroja.

La luz producida por el fuego genera una ionización de gases provocando un patrón en ultravioleta, de ésta manera se consigue medir el espectro infrarrojo resultante y detectar de forma casi instantánea (depende del tiempo de respuesta del sensor) una combustión.

2.5.2.5. Humo.

Este factor no ambiental es seleccionado debido a que solo se origina ante la producción de fuego y que puede ser detectado por sensores presentes en el mercado, por lo tanto, ante una mínima presencia de humo se puede concluir que un incendio se ha iniciado.

2.6. Hardware Libre.

Un estudio realizado por freedomdefined.org en colaboración con varios autores y organizaciones relacionados con la temática, definen al hardware libre como:

Hardware de Fuentes Abiertas es aquel hardware cuyo diseño se hace disponible públicamente para que cualquier persona lo pueda estudiar, modificar, distribuir, materializar y vender, tanto el original como otros objetos basados en ese diseño. Las fuentes del hardware (entendidas como los ficheros fuente) habrán de estar disponibles en un formato apropiado para poder realizar modificaciones sobre ellas. Idealmente, el hardware de fuentes abiertas utiliza componentes y materiales de alta disponibilidad, procesos estandarizados, infraestructuras abiertas, contenidos sin restricciones, y herramientas de fuentes abiertas de cara a maximizar la habilidad de los individuos para materializar y usar el hardware. El hardware de fuentes abiertas

da libertad de controlar la tecnología y al mismo tiempo compartir conocimientos y estimular la comercialización por medio del intercambio abierto de diseños. (freedomdefined.org, 2015)

En la tabla 3 podemos observar los criterios que debe seguir el hardware libre para poder cumplir con las características y objetivos señalados anteriormente.

Tabla 3. Criterios del Hardware Libre

CRITERIOS DEL HARDWARE LIBRE	
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Documentación	Se deben incluir ficheros de diseño editables y manipulables en la liberación del hardware y permitir la modificación y redistribución de los mismos.
Alcance	Específica de manera clara que parte del diseño se libera bajo la licencia.
Programas informáticos necesarios	Existe la posibilidad de crear un paquete de software para que el hardware cumpla sus funciones básicas, o que el paquete informático sea liberado bajo una licencia aprobada por la OSI (Open Source License).
Obras derivadas	Se permiten modificaciones, obras derivadas y la distribución bajo los mismos términos de la licencia original.
Libre redistribución	La licencia no restringe a nadie de la venta o distribución de la documentación del proyecto.
Atribución	Se requiere que los documentos derivados y notificaciones de derechos de copia asociados con los dispositivos, sean atribuidos a los autores al momento de distribuir los ficheros de diseño.
No discriminación a personas o grupos	La licencia no puede discriminar ninguna persona o grupo de personas.

No discriminación a campos de aplicación	La licencia no puede restringir a nadie de hacer uso del trabajo en un campo específico de aplicación.
Distribución de la licencia	Los derechos proporcionados por la licencia deberán ser aplicados a todos aquellos a los que sea redistribuido el trabajo sin la necesidad de ejecutar una licencia adicional.
La licencia no será específica a un producto	Los derechos proporcionados por la licencia no dependen de que el trabajo licenciado sea parte de un producto determinado.
Sin restricción a otro hardware o software	La licencia no deberá colocar restricciones a elementos añadidos a la obra con el trabajo licenciado, pero no derivados de él.
Licencia neutra en términos tecnológicos	Ninguna de las cláusulas de la licencia dependerá de una tecnología específica, componente, material o estilo de interface o uso de la misma.

Fuente: adaptado de <http://freedomdefined.org/OSHW/translations/es>

2.6.1. Mundo Arduino.

Arduino se compone de dos partes principales: la placa Arduino, que es la pieza de hardware en donde se ensamblan los prototipos o proyectos; y el IDE (Integrated Development Environment) de Arduino, que es el software que se ejecuta en el computador para crear sketches (programa de computador), los cuales se cargan a la placa y le dicen que hacer. (Banzi, 2011)

La placa Arduino contiene un microcontrolador el cual es un mini computador que permite el procesado de la información y la ejecución de las tareas programadas, además posee todos los componentes requeridos para que el microcontrolador se comuniquen con el computador y con los diferentes pines de entrada y salida. El IDE de Arduino es un programa especial que se ejecuta en un computador y permite la realización de sketches para la placa Arduino, en un lenguaje simple

basado en Processing, el cual se traduce en un lenguaje de programación C al momento de cargarlo a la placa. (Banzi, 2011)

El ciclo de programación de Arduino sigue los siguientes pasos:

- Conectar la placa Arduino en un puerto USB del computador.
- Escribir un sketch que permita realizar funciones o actividades a la placa.
- Cargar el sketch a la placa a través de la conexión USB y esperar a que la placa se reinicie.
- La placa ejecuta el sketch que fue programado y cargado.

Actualmente existen más de 17 plataformas Arduino, las cuales se encuentran clasificadas en 4 grandes grupos, siendo éstos: Nivel de Entrada, Características Mejoradas, Internet de las Cosas y Wearable. En la tabla 4 se describen dos placas que están marcando tendencia en cada uno de sus grupos:

Tabla 4. Plataformas Arduino

RESUMEN DE PLATAFORMAS ARDUINO		
GRUPO	PLACA	DESCRIPCIÓN
	Arduino UNO	Posee un microcontrolador ATmega328P, tiene 14 pines digitales de entrada/salida (6 PWM), 6 entradas analógicas, un oscilador de 16 MHz, conexión USB y un adaptador AC-DC.
Nivel de Entrada	Arduino Leonardo	Basado en un microcontrolador ATmega32u4, cuenta con 20 pines digitales de entrada/salida (7 PWM), 7 entradas analógicas, un oscilador de 16 MHz, conexión USB y un adaptador AC-DC.
	Arduino Mega	Contiene un microcontrolador ATmega2560, 54 pines digitales de entrada/salida (15 PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART, un oscilador de cristal de 16 MHz, conexión USB y un adaptador AC-DC.
Características Mejoradas	Arduino Zero	Es una extensión de 32 bits simple y potente de la plataforma Arduino UNO, amplía la familia proporcionando un mayor rendimiento, permitiendo una variedad de oportunidades de proyectos para dispositivos, y actúa como una gran herramienta educativa para aprender sobre el desarrollo de aplicaciones de 32 bits.
Internet de las Cosas	Arduino Yún	Es una placa de microcontroladores basado en el ATmega32u4 y el Atheros AR9331, el procesador Atheros soporta una distribución Linux basada en OpenWrt llamada Linino OS, la placa incorpora soporte Ethernet y WiFi, puerto USB-A, ranura para tarjetas micro-SD, 20 pines de entrada / salida digital (7 PWM), 12 entradas analógicas, un oscilador de 16 MHz, una conexión micro USB y un adaptador AC-DC.
	Arduino Ethernet	Basado en el ATmega328, tiene 14 pines digitales de entrada/salida (los pines 10, 11, 12 y 13 están reservadas para la conexión con el módulo Ethernet y no deben utilizarse de otra manera.), 6 entradas analógicas, un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión RJ45, un

		conector de alimentación, una cabecera ICSP, una Interfaz Ethernet de Wiznet y un botón de reinicio.
Wearable	Arduino Gemma	Es un microcontrolador hecho por Adafruit basado en el ATtiny85, tiene 3 pines digitales de entrada / salida (2 PWM), 1 entrada analógica, un oscilador de 8 MHz, una conexión micro USB, un conector JST para una batería de 3.7V y un botón de reinicio.
	LilyPad Arduino USB	Basado en un microcontrolador ATmega32u4, posee 9 pines digitales de entrada / salida (4 PWM), 4 entradas analógicas, un oscilador de 8 MHz, una conexión micro USB, un conector JST para una batería LiPo de 3.7V y un botón de reinicio.

Fuente: adaptado de <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>

Sabiendo que para la realización de este proyecto se necesita de una plataforma con suficientes pines PWM, que permitan controlar sensores de rápida respuesta, alta fiabilidad, estabilidad y precisión en ambientes ruidosos, es factible la utilización de una placa de características mejoradas, siendo ésta la placa Arduino Mega 2560 debido a que cuenta con 15 pines PWM y un potente microcontrolador ATmega2560.

2.6.1.1. Plataforma Arduino Mega 2560 R3.



Ilustración 4. Arduino mega 2560 R3

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

La placa Arduino Mega 2560 R3 está basada en el microcontrolador Atmega2560, dispone de 54 pines digitales que pueden ser de entrada o salida, 15 de éstos son PWM, 16 entradas analógicas, 4 puertos de serie de hardware UARTs, un oscilador con frecuencia de 16MHz, conexión USB, conector de alimentación y un botón de reinicio. Todos los shields y módulos de la serie Arduino son compatibles con ésta plataforma, en la tabla 5 se pueden observar las especificaciones técnicas del Mega 2560 R3. (Arduino, 2016)

Tabla 5. Especificaciones técnicas de la placa Arduino mega 2560 R3

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje operativo	5 Voltios
Voltaje recomendado de entrada	7 a 12 Voltios
Voltaje límite de entrada	6-20 Voltios
Pines entrada/salida digitales	54 (15 con salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Corriente directa por cada pin entrada/salida	20 mili Amperios
Memoria flash	256KB (8KB usados para el arranque)
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Velocidad de reloj	16MHz
Longitud	101.52 milímetros
Ancho	53.3 milímetros
Peso	37 gramos

Fuente: adaptado de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

2.7. Sensores.

Los sensores son un tipo de hardware que mediante la monitorización de un área específica detectan cambios físicos en diferentes variables, por ejemplo: temperatura o humedad, obteniendo una respuesta medible, generalmente eléctrica, la cual es enviada a un controlador para que sea procesada y utilizada de acuerdo a los requerimientos del sistema implementado. (Martínez, Meré, de Pisón Ascacíbar, Marcos, & Elías, 2009)

2.7.1. Clasificación de los sensores.

Según Ramón Pallás Areny en su libro “Sensores y Acondicionadores de Señal”, existe una gran cantidad de sensores disponibles para las diferentes magnitudes físicas, por lo tanto, se debe considerar clasificarlos para obtener un conocimiento adecuado de los mismos. La tabla 6 presenta la clasificación de los sensores y sus respectivos ejemplos.

Tabla 6. Clasificación de los sensores

CLASIFICACIÓN DE LOS SENSORES		
PARÁMETRO	TIPOS	EJEMPLOS
Aporte de energía.	Moduladores: necesitan una fuente de alimentación externa para la señal de salida.	Termistor.
	Generadores: la señal de salida se alimenta directamente de la señal de entrada.	Termopar.
Señal de salida.	Analógicos: la señal de salida varía de forma continua y la información se encuentra en la amplitud.	Potenciómetro.
	Digitales: en la salida se obtiene un número finito de valores entre un máximo y un mínimo (señal de salida discreta).	Codificador de posición.
Modo de operación.	De deflexión: la variable medible produce un cambio o efecto físico.	Acelerómetro de deflexión.
	De comparación: se aplica un efecto opuesto al de la magnitud que se mide, para evitar la deflexión.	Servo acelerómetro.

Fuente: adaptado de "Sensores y Acondicionadores de Señal" de Ramón Pallás Areny

2.7.2. Sensores aplicables al proyecto.

Considerando los parámetros a sensar, se debe realizar una selección de diferentes sensores, compatibles con hardware libre, para cada parámetro. Esta selección se basa en la disponibilidad de los sensores en el mercado ecuatoriano, debido a que la importación de los mismos puede llevar demasiado tiempo, lo que significaría un retraso considerable en el desarrollo de éste trabajo de grado. Además, existe el riesgo de que los sensores sufran desperfectos y ante la indisponibilidad de repuestos en el mercado local, el proyecto se vería estancado hasta la adquisición de los repuestos respectivos.

Para la selección de los sensores se necesita realizar visitas a las páginas web de varias tiendas electrónicas, para constatar cuales y cuantos sensores tienen en stock. Otro método considerable es la navegación por los diferentes portales de ventas que ofrecen servicios en el país, ya que algunos vendedores no cuentan con páginas web. Se considera el precio de los sensores para que sean incluidos en el benchmark, debido a que uno de los criterios de evaluación es el precio de adquisición de cada sensor. En la tabla 7 se encuentran los sensores seleccionados respecto a cada parámetro a sensar, y en base a éstos sensores se efectuará el benchmark.

Tabla 7. Sensores disponibles en el mercado ecuatoriano.

PARAMÉTROS	SENSORES	DISPONIBILIDAD
Temperatura y humedad relativa.	DHT11. DHT21. DHT22.	Los tres sensores se encuentran disponibles en varias ciudades del país, la más cercana es Quito (DHT11 también en Ibarra).
Dióxido de carbono.	MG-811. MQ135.	Guayaquil. Cuenca.
Radiación infrarroja.	YG1006. SFH 213.	Quito. Quito.
Humo.	MQ2. MQ4.	Quito. Quito.

Fuente: adaptado de <http://www.mercadolibre.com.ec/>

Capítulo 3. Metodología.

El capítulo 3 contiene el análisis comparativo desarrollado para la selección de sensores con las mejores prestaciones, para esto se hace uso de las hojas de datos (datasheets) de cada sensor, enfatizando en las características de fiabilidad, estabilidad, tiempo de respuesta y precisión. La disponibilidad y el precio de los sensores son otras de las características que influyen en la selección de cada sensor a usarse en una WSN que recolecta datos, con la finalidad de proporcionar alerta temprana ante incendios forestales.

3.1. Proceso de benchmark.

Para la realización del benchmark, en primer lugar, se deben establecer los parámetros a sensar, los cuales fueron seleccionados en la sección 2.5 del capítulo 2, de esta manera se obtiene el tipo de sensores que van a ser utilizados, los cuales se dividen en cuatro áreas que son:

- Temperatura y humedad relativa.
- Dióxido de carbono.
- Radiación infrarroja.
- Humo.

Conociendo las variables ambientales y no ambientales que serán sensadas, se realiza una lista de los sensores que son capaces de detectar sus cambios de naturaleza, como se indicó en la sección 2.7.2 del capítulo 2, los sensores fueron seleccionados basándose en la disponibilidad y precio de estos en el mercado ecuatoriano, además de que presenten compatibilidad con hardware libre.

Una vez que se tiene la lista de sensores, se procede a la descripción detallada de cada uno de ellos, esto con la finalidad de comparar sus características y seleccionar el mejor para cada variable ambiental y no ambiental. El análisis comparativo se lo presenta en una tabla informativa, en la que se encuentran los criterios de evaluación que fueron establecidos previamente, estos describen cuatro características técnicas de cada sensor las cuales son: la fiabilidad, la estabilidad, la precisión y el tiempo de respuesta, y dos variables de mercado que son: la disponibilidad y el precio de adquisición.

Con los seis criterios de evaluación siendo comparados en la tabla informativa, se puede realizar la selección del sensor que brinde las mejores prestaciones, de esta manera se concluye con el proceso de benchmark. Cabe recalcar que este proceso puede ser utilizado para comparar cualquier tipo de sensor, una vez que las variables a sensar han sido establecidas.

3.2. Sensores de Temperatura y Humedad Relativa.

Debido a que se pueden encontrar sensores capaces de medir la temperatura y la humedad relativa al mismo tiempo, se optó por unir estos dos parámetros en un mismo sensor con la finalidad de obtener un ahorro económico en el desarrollo del proyecto, ya que el precio de los sensores es uno de los factores principales en el análisis comparativo.

En el mercado ecuatoriano hay disponibilidad de sensores de la familia DHT, los cuales son fabricados por Aosong (Guangzhou) Electronics Co., Ltd., se caracterizan por su bajo precio de adquisición y su compatibilidad con cualquiera tipo de hardware libre, por lo tanto, han sido seleccionados para el desarrollo del benchmark en el parámetro de temperatura y humedad relativa.

Los sensores de la familia DHT están compuestos por sensores resistivos, uno de humedad y un NTC, y un microcontrolador integrado de 8 bits que proporciona una señal de salida digital con alta fiabilidad, excelente estabilidad a largo plazo, gran calidad y rápidos tiempos de respuesta. Utiliza un protocolo de comunicación 1 wire (a través de un solo hilo), lo que facilita la integración con la placa de control y su señal tiene un alcance de hasta 20 metros. (AOSONG, 2013)

3.2.1. DHT11.

Este sensor está encapsulado en plástico y sobresalen sus 4 pines en hilera, como se observa en la ilustración 5, tiene un precio de \$5.90 dólares y una de las ventajas que presenta es que puede encontrarse en la ciudad de Ibarra en distintas tiendas de electrónica.

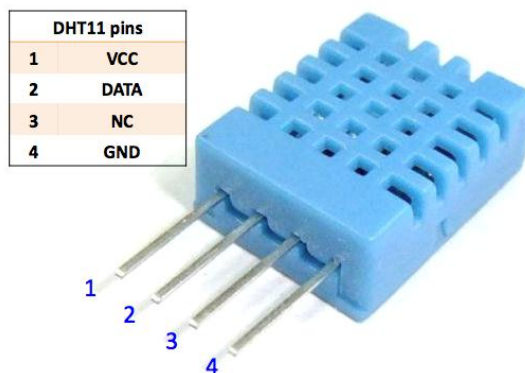


Ilustración 5 Sensor DHT11

Fuente: <http://www.omniblug.com/sensor-temperatura-humedad-DHT11-DHT22.html>

El sensor DHT11 puede medir temperatura y humedad relativa con una señal de salida digital y en números enteros, para una distancia no mayor a 20 metros, en la tabla 8 se pueden observar sus especificaciones técnicas y en la ilustración 6 la conexión típica con un microcontrolador.

Tabla 8 Especificaciones técnicas del sensor DHT11.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Voltaje operativo.	De 3V a 5.5V
Corriente de operación.	De 0.5mA a 2.5mA
Frecuencia máxima de muestreo.	1Hz
Rango de medición.	Humedad: 20-90% Temperatura: 0-50°C
Margen de error.	Humedad: $\pm 5\%$ Temperatura: $\pm 2^\circ\text{C}$
Resolución.	Humedad: 1% Temperatura: 1°C
Tiempo de respuesta.	Humedad: 6-15 segundos Temperatura: 6-30 segundos
Estabilidad.	Humedad: $\pm 1\%$ /año Temperatura: $\pm 1^\circ\text{C}$ /año
Fiabilidad.	Alta

Fuente: adaptado del datasheet del sensor DHT11.

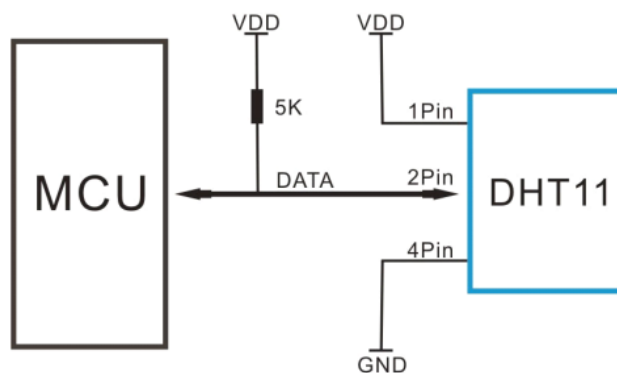


Ilustración 6 Conexión característica del sensor DHT11

Fuente: datasheet del sensor DHT11.

3.2.2. DHT21.

Al igual que el sensor DHT11, el DHT21 viene encapsulado en plástico, con la diferencia que éste posee 3 cables que sobresalen de su estructura (véase ilustración 7), los cuales fueron pensados para mayor comodidad en la manipulación del sensor. El precio es de \$12.00 dólares y puede ser adquirido en la ciudad de Quito.

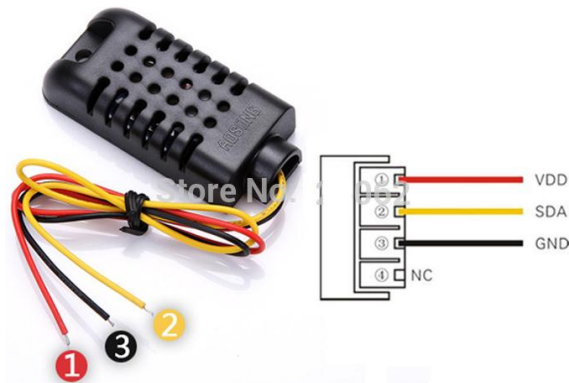


Ilustración 7 Sensor DHT21

Fuente: <http://www.dientubachviet.vn/447-dht21am2301.html>

El sensor DHT21 realiza mediciones dentro de un rango de 20 metros, con una salida digital que se visualiza en números decimales. En la tabla 9 se detallan sus características más importantes y en la ilustración 8 su conexión a un microcontrolador.

Tabla 9 Especificaciones técnicas del sensor DHT21.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Voltaje operativo.	De 3V a 5.2V
Corriente de operación.	De 0.5mA a 2.1mA
Frecuencia máxima de muestreo.	0.5Hz
Rango de medición.	Humedad: 0-100% Temperatura: -40°C a 80°C
Margen de error.	Humedad: ±3% Temperatura: ±1°C
Resolución.	Humedad: 0.1% Temperatura: 0.1°C
Tiempo de respuesta.	Humedad: <6 segundos Temperatura: <10 segundos
Estabilidad.	Humedad: ±0.5%/año Temperatura: ±0.5°C/año
Fiabilidad.	Alta

Fuente: adaptado del datasheet del sensor DHT21.

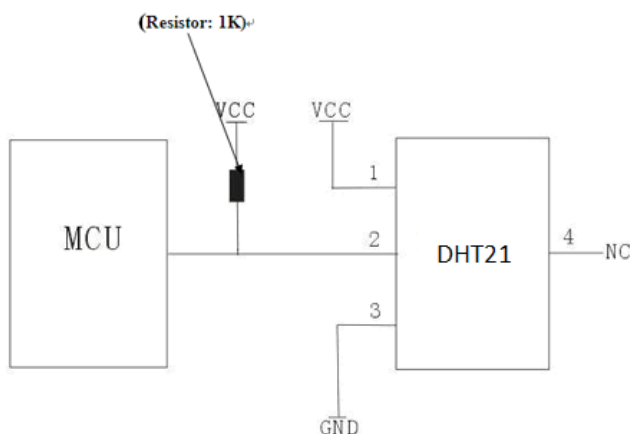


Ilustración 8 Conexión característica del sensor DHT21

Fuente: datasheet del sensor DHT21.

3.2.3. DHT22.

En la ilustración 9 se muestra que el sensor DHT22 tiene una configuración de 4 pines en hilera y al igual que sus antecesores está encapsulado en plástico. Puede ser adquirido por \$14.00 dólares en tiendas de electrónica de la ciudad de Quito.

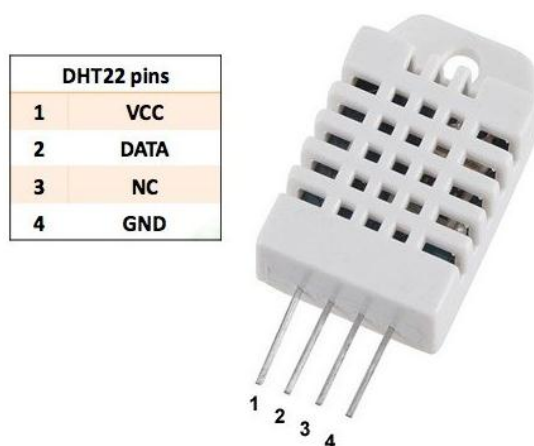


Ilustración 9 Sensor DHT22

Fuente: <http://www.naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-humedad-relativa-y-temperatura-dht22.html>

Este sensor posee una salida digital que se muestra en números decimales y puede obtener mediciones en un área de hasta 100 metros, superando ampliamente a los sensores descritos anteriormente, la tabla 10 especifica sus características técnicas y en la ilustración 10 se presenta su conexión típica a un microcontrolador.

Tabla 10 Especificaciones técnicas del sensor DHT22.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Voltaje operativo.	De 3.3V a 5.5V
Corriente de operación.	De 1mA a 1.5mA
Frecuencia máxima de muestreo.	0.5Hz
Rango de medición.	Humedad: 0-100% Temperatura: -40°C a 80°C
Margen de error.	Humedad: $\pm 2\%$ Temperatura: $\pm 0.5^\circ\text{C}$
Resolución.	Humedad: 0.1% Temperatura: 0.1°C
Tiempo de respuesta.	Humedad: <5 segundos Temperatura: <10 segundos
Estabilidad.	Humedad: $\pm 0.5\%$ /año Temperatura: $\pm 0.5^\circ\text{C}$ /año
Fiabilidad.	Alta

Fuente: adaptado del datasheet del sensor DHT22.

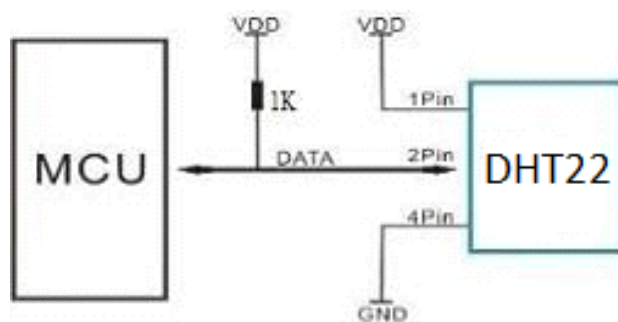


Ilustración 10 Conexión característica del sensor DHT22

Fuente: datasheet del sensor DHT22.

3.2.4. Selección del sensor.

Para efectuar la selección del sensor adecuado, se procede a la realización de una tabla comparativa que contenga las características antes mencionadas, basándose en las especificaciones técnicas descritas anteriormente y en el precio de los dispositivos, el cual se obtuvo de las diferentes páginas web de tiendas electrónicas y de portales de venta tales como: Mercado Libre y OLX, los precios no incluyen los costos de envío.

Tabla 11 Análisis comparativo de los sensores de temperatura y humedad relativa.

SENSOR	DHT11	DHT21	DHT22
PARAMETROS	DESCRIPCIÓN		
Fiabilidad.	Alta	Alta	Alta
Estabilidad.	Humedad: $\pm 1\%$ /año	Humedad: $\pm 0.5\%$ /año	Humedad: $\pm 0.5\%$ /año
	Temperatura: $\pm 1^\circ\text{C}$ /año	Temperatura: $\pm 0.5^\circ\text{C}$ /año	Temperatura: $\pm 0.5^\circ\text{C}$ /año
Tiempo de respuesta.	Humedad: 6-15 segundos	Humedad: <6 segundos	Humedad: <5 segundos
	Temperatura: 6-30 segundos	Temperatura: <10 segundos	Temperatura: <10 segundos
Precisión.	Humedad: 95%	Humedad: 97%	Humedad: 98%
	Temperatura: 90%	Temperatura: 99.17%	Temperatura: 99.58%
Precio.	\$5.90	\$12.00	\$14.00
Disponibilidad.	Quito	Quito	Quito

Fuente: desarrollo del proyecto

A pesar de que el sensor DHT11 tiene un precio muy accesible, sus tiempos de respuesta altos y su precisión baja hacen que sea descartado. Los sensores DHT21 y DHT22 son muy similares en casi todas las características, pero el DHT22 supera en precisión y tiempo de respuesta

al DHT21 y el precio varía en tan solo 2 dólares, por lo tanto, el sensor de temperatura y humedad relativa con las mejores prestaciones para una WSN de recolección de datos es el DHT22.

3.3. Sensores de Dióxido de Carbono.

En el mercado local e internacional no existe gran cantidad de sensores de dióxido de carbono compatibles con hardware libre, sin embargo, se logró encontrar dos sensores que permiten la medición de este gas en nuestro país, los cuales son el MG-811 y el MQ135.

3.3.1. MG-811.

El sensor MG-811 tiene una capa electrolítica cubierta por una malla de acero que permite detectar el dióxido de carbono en el ambiente, su configuración es de 6 pines distribuidos circularmente pero generalmente se lo encuentra montado a una placa comercial o módulo (véase ilustración 11). Su precio es de \$34.50 dólares y se encuentra disponible en la ciudad de Guayaquil.



Ilustración 11 Sensor MG-811 montado en una placa comercial (breakout board)

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/p-detail/f08406-co2-carbon-dioxide-sensor-module-mg811-voltage-0-2v-voltage-output-1913135987.html>

La señal de salida del MG-811 es análoga (puede ser digital si se encuentra montado en una placa comercial) y se obtiene de un mapeo entre 30mV y 50mV, lo que es equivalente a 350-10000 partes por millón de CO₂ en el aire. En la tabla 12 se observan sus especificaciones técnicas y en la ilustración 12 la conexión del sensor a una placa Arduino.

Tabla 12 Especificaciones técnicas del sensor MG-811.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Voltaje operativo.	<5.5V
Corriente de operación.	200mA
Disipación de potencia.	1200mW
Temperatura de operación.	-20°C a 50°C
Humedad de operación.	<65%
Temperatura de almacenamiento.	-20°C a 70°C
Rango de medición.	350-10000ppm de CO ₂
Tiempo de respuesta.	<5 segundos
Estabilidad.	No calculada
Fiabilidad.	Alta

Fuente: adaptado del datasheet del sensor MG-811.

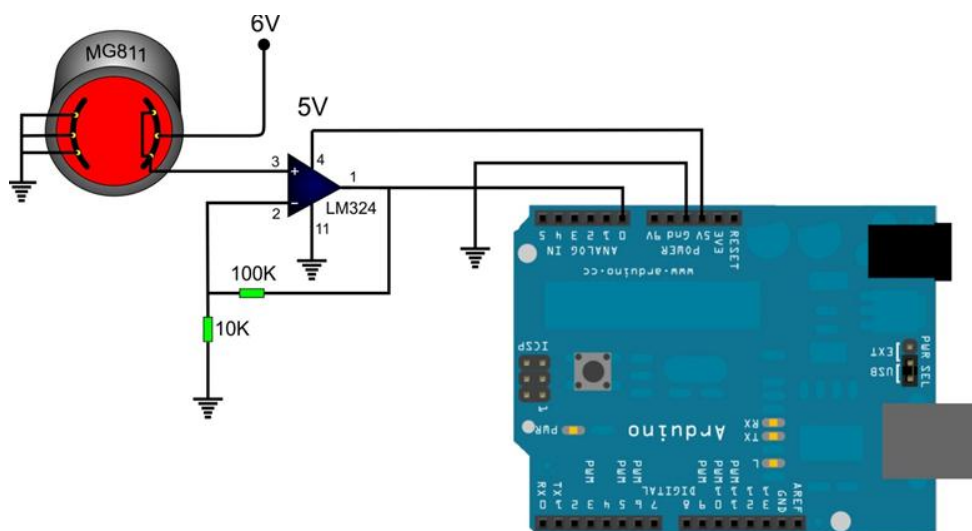


Ilustración 12 Conexión del sensor MG-811 a una placa Arduino

Fuente: <https://www.cooking-hacks.com/forum/viewtopic.php?f=28&t=6167>

3.3.2. MQ135.

El sensor MQ135 tiene una capa de óxido de estaño recubierta por una malla de gasa de acero inoxidable, que le permiten detectar varios gases contaminantes en el ambiente y puede ser calibrado para obtener medidas de dióxido de carbono en el aire. Al igual que el MG-811, el MQ135 tiene 6 pines y como se observa en la ilustración 13 se encuentra conectado a un módulo para mayor comodidad en su utilización. Puede ser adquirido en tiendas de electrónica de la ciudad de Cuenca a un precio de \$6.50 dólares.



Ilustración 13 Sensor MQ135 montado en una placa comercial (breakout board)

Fuente: <http://www.waveshare.com/mq-135-gas-sensor.htm>

El sensor MQ135 posee una resistencia que varía según las partes por millón de CO₂ que se encuentran en el aire, el rango es de 30KΩ a 200KΩ y realizando un mapeo de éstos valores se tiene señales de salida análoga o digital al conectarse a un módulo. La tabla 13 contiene las características más importantes del sensor MQ135 y la conexión a una placa Arduino se observa en la ilustración 14.

Tabla 13 Especificaciones técnicas del sensor MQ135.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Voltaje operativo.	De 2.5V a 5V
Corriente de operación.	160mA
Disipación de potencia.	<900mW
Temperatura de operación.	-10°C a 45°C
Humedad de operación.	<65%
Temperatura de almacenamiento.	-20°C a 70°C
Rango de medición.	10-10000ppm de CO2
Margen de error	±100ppm
Tiempo de respuesta.	<10 segundos
Estabilidad.	No calculada
Fiabilidad.	Alta

Fuente: adaptado del datasheet del sensor MQ135.

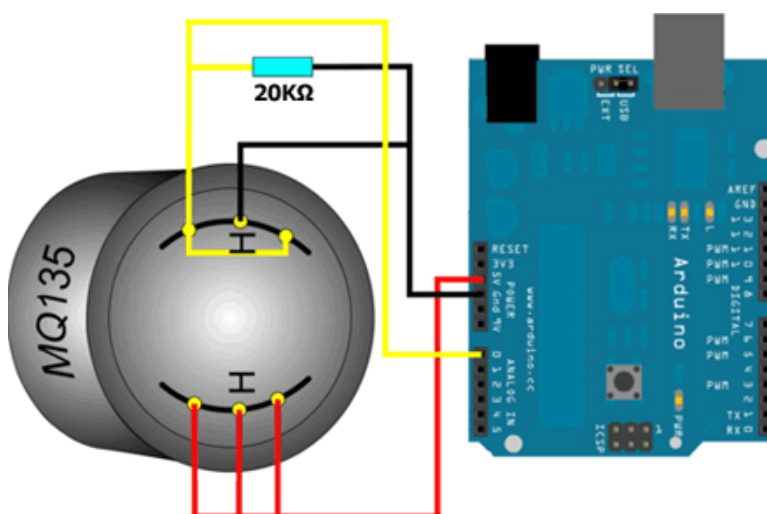


Ilustración 14 Conexión del sensor MQ135 a una placa Arduino

Fuente: <https://www.vistronica.com/sensores/sensor-de-control-de-calidad-de-aire-mq-135-detail.html>

3.3.3. Selección del sensor.

El análisis comparativo de los sensores de dióxido de carbono necesita considerar otra característica, debido a que la estabilidad de los dispositivos no ha sido calculada, por lo tanto, el rango de medición es el parámetro elegido para sustituir a la estabilidad.

Tabla 14 Análisis comparativo de los sensores de dióxido de carbono.

SENSOR	MG811	MQ135
PARAMETROS	DESCRIPCIÓN	
Fiabilidad.	Alta	Alta
Rango de Medición.	350-10000ppm de CO ₂	10-10000ppm de CO ₂
Tiempo de respuesta.	<5 segundos	<10 segundos
Precisión.	No calculada	99%
Precio.	\$34.50	\$6.50
Disponibilidad.	Guayaquil	Quito

Fuente: desarrollo del proyecto

Todos los parámetros considerados para el benchmark de los sensores de dióxido de carbono se diferencian notablemente, pero uno de los factores más influyentes no ha sido calculado en el MG-811, el cual es la precisión. Además, el sensor MQ135 presenta un mayor rango de medición y el precio de adquisición es casi 6 veces menor que el del MG-811, dicho esto, el sensor MQ135 es el seleccionado para una WSN de recolección de datos.

3.4. Sensores de Radiación Infrarroja.

Los valores de radiación infrarroja pueden ser detectados por fotodiodos, ya que estos dispositivos son sensibles a la luz visible e infrarroja. Existe gran variedad de fotodiodos en el mercado ecuatoriano, pero únicamente dos se encuentran montados en una breakout board lo cual facilita su utilización en una placa de hardware libre o cualquier microcontrolador, dichos fotodiodos son el YG1006 y el SFH 213.

3.4.1. YG1006.

El sensor YG1006 está compuesto por una unión bipolar NPN de Silicio y tiene una configuración de 2 pines. Montado en una placa comercial tiene un valor de adquisición de \$4.59 dólares en la ciudad de Quito.

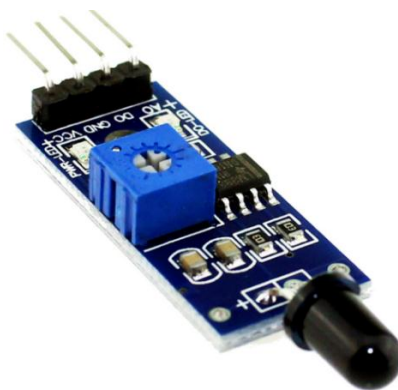


Ilustración 15 Sensor YG1006 montado en una placa comercial (breakout board)
Fuente: https://www.aliexpress.com/price/electronic-flame-sensor_price.html

Este fotodiodo se caracteriza porque al ser conectado a una placa comercial toma el nombre de sensor de flama y mediante sus salidas de señal analógica o digital puede advertir de la presencia de llamas a una distancia de 1.5 metros. En la tabla 15 y la ilustración 16 se pueden observar sus especificaciones técnicas y su conexión a una placa Arduino, respectivamente.

Tabla 15 Especificaciones técnicas del sensor YG1006

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Voltaje operativo.	5V
Corriente de operación.	20mA
Disipación de potencia.	75mW
Temperatura de operación.	-25°C a 85°C
Humedad de operación.	<85%
Temperatura de almacenamiento.	-40°C a 85°C
Rango de medición espectral.	760-1100 nanómetros
Precisión	90%
Tiempo de respuesta.	15 micro segundos
Estabilidad.	1000 horas consecutivas hasta el primer fallo
Fiabilidad.	Alta

Fuente: adaptado del datasheet del sensor YG1006.

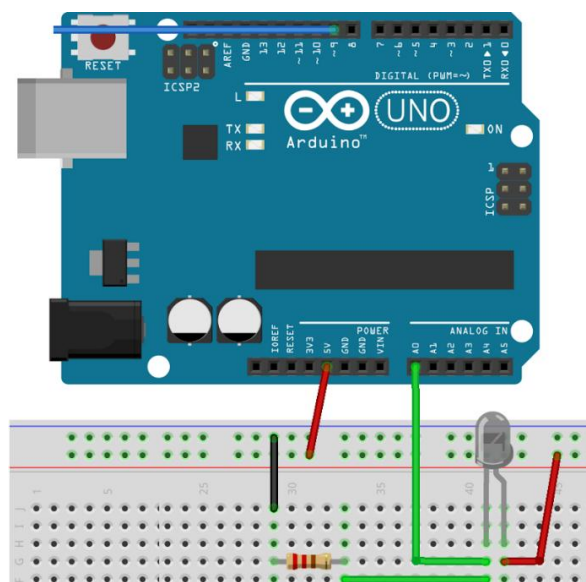


Ilustración 16 Conexión del sensor YG1006 a una placa Arduino

Fuente: <http://elcajondeardu.blogspot.com/2015/05/tutorial-alarma-de-fuego-con-sensor-de.html>

3.4.2. SFH 213.

El sensor SFH 213 tiene una composición de 3 capas, siendo las externas tipo P y tipo N separadas por un semiconductor intrínseco, esto se conoce como PIN de silicio, su configuración es de 2 pines y con el montaje a un módulo se lo encuentra en la ciudad de Quito a un precio de \$5.00 dólares.

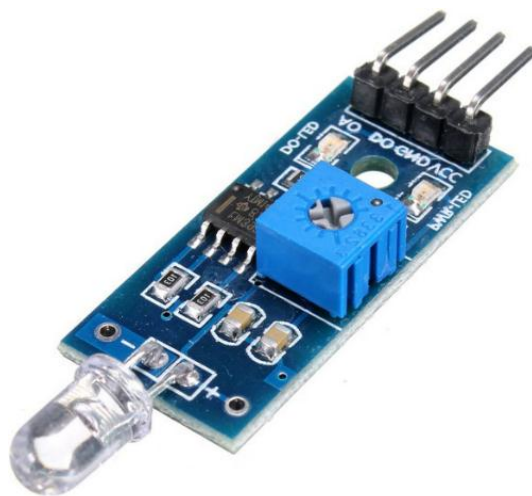


Ilustración 17 Sensor SFH 213 montado en una placa comercial (breakout board)

Fuente: <http://www.banggood.com/es/4Pin-Photodiode-Sensor-Module-Detection-Module-For-Arduino-p-969265.html>

Una vez que el fotodiodo SFH 213 en conectado a una placa comercial, pasa a conocerse como módulo sensor de luz, ya que detecta cambios en el espectro visible al igual que en el infrarrojo a distancias de 1 metro, tiene salidas de señal analógica y digital, sus características están detalladas en la tabla 16 y la conexión con una placa Arduino se observa en la ilustración 18.

3.4.3. Selección del sensor.

El análisis comparativo para los sensores de radiación infrarroja se lo detalla en la tabla 17, en donde se comparan las especificaciones técnicas seleccionadas para el benchmark. El precio de adquisición de los módulos se obtuvo de las páginas de tiendas electrónicas del País, de portales de ventas online y ninguno incluye los costos de envío.

Tabla 17 Análisis comparativo de los sensores de radiación infrarroja.

SENSOR	YG1006	SFH 213
PARAMETROS	DESCRIPCIÓN	
Fiabilidad.	Alta	Media
Estabilidad.	1000 horas consecutivas hasta el primer fallo	No calculada
Tiempo de respuesta.	15 micro segundos	5 nano segundos
Precisión.	90%	65%
Precio.	\$4.59	\$5.00
Disponibilidad.	Quito	Quito

Fuente: desarrollo del proyecto

El sensor SFH 213 tiene una ventaja considerable en el tiempo de respuesta, pero su precisión es demasiado baja, su fiabilidad es media y su estabilidad no ha sido calculada, por lo tanto, el sensor YG1006 es la mejor elección para una WSN de recolección de datos, ya que cumple con todos los parámetros establecidos en el benchmark y tiene la ventaja de estar fabricado para la detección de llamas.

3.5. Sensores de Humo.

Al igual que con los sensores de dióxido de carbono, los sensores de humo son escasos tanto en el mercado local como en el internacional, por lo que ha surgido la necesidad de adaptar sensores capaces de detectar la presencia de varios gases nocivos para el ser humano en sensores de humo, estos sensores son el MQ2 y el MQ4.

3.5.1. MQ2.

El sensor MQ2 utiliza una capa de óxido de estaño como material sensible al humo y esta capa es cubierta por una malla de acero inoxidable para su protección, tiene una configuración de 6 pines distribuidos circularmente, aunque se lo puede encontrar montado a una breakout board (véase ilustración 19). Puede ser adquirido en la ciudad de Quito a un precio de \$8.00 dólares.



Ilustración 19 Sensor MQ2 montado en una placa comercial (breakout board)

Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/MQ-2-Gas-Sensor-Module-LPG-propane-hydrogen-detection-MQ2-for-Arduino-STM32/2039211585.html>

Para obtener sus señales de salida, las cuales pueden ser análogas o digitales, se hace uso de una resistencia variable en los rangos de $3K\Omega$ a $30K\Omega$, el resultado son mediciones de entre 300 y 10000 partes por millón de humo en el aire. Sus especificaciones técnicas se encuentran en la tabla 18 y para la conexión a una placa Arduino véase la ilustración 20.

Tabla 18 Especificaciones técnicas del sensor MQ2.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Voltaje operativo.	5V
Corriente de operación.	160mA
Disipación de potencia.	800mW
Temperatura de operación.	-20°C a 50°C
Humedad de operación.	<95%
Temperatura de almacenamiento.	-20°C a 70°C
Rango de medición.	300-10000 ppm de humo
Precisión	95%
Tiempo de respuesta.	<10 segundos
Estabilidad.	No calculada
Fiabilidad.	Alta

Fuente: adaptado del datasheet del sensor MQ2.

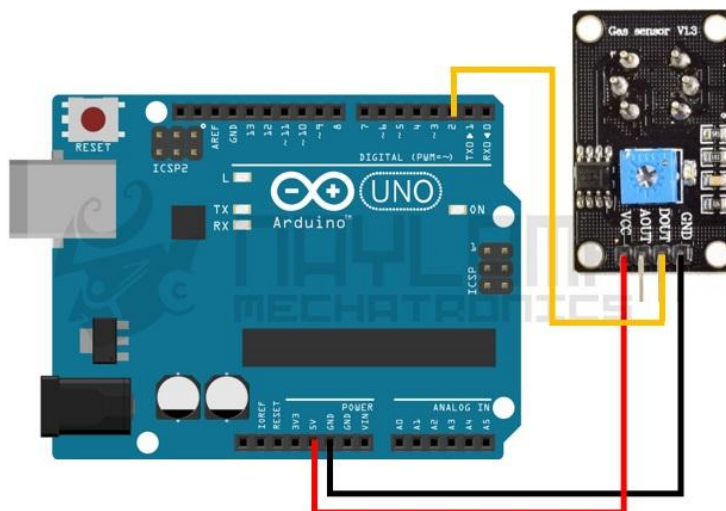


Ilustración 20 Conexión del módulo sensor MQ2 a una placa Arduino

Fuente: <http://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-de-gas-mq2/>

3.5.2. MQ4.

Al igual que el sensor MQ2, el sensor MQ4 utiliza una capa de óxido de estaño para la detección de algunos gases como el monóxido de carbono, el cual es el principal componente del humo, la cual está cubierta por una malla de acero inoxidable para su protección, su configuración es de 6 pines distribuidos circularmente, y como se puede observar en la ilustración 21 se lo puede encontrar montado a una breakout board. Se lo puede adquirir en la ciudad de Quito a un precio de \$7.00 dólares.

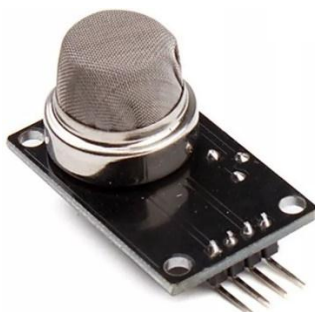


Ilustración 21 Sensor MQ4 montado en una placa comercial (breakout board)

Fuente: http://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-411003378-mgsystem-modulo-sensor-de-gas-mq-4-ideal-arduino-pic-etc-_JM

El sensor MQ4 utiliza una resistencia variable de $10K\Omega$ a $60K\Omega$ que se puede calibrar para la detección de monóxido de carbono CO entre 200 y 10000 partes por millón (el monóxido de carbono es uno de los principales componentes del humo), su señal de salida puede ser digital o analógica, sus características principales se encuentran descritas en la tabla 19 y su conexión a una placa Arduino se observa en la ilustración 22.

Tabla 19 Especificaciones técnicas del sensor MQ4.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Voltaje operativo.	5V
Corriente de operación.	150mA
Disipación de potencia.	750mW
Temperatura de operación.	-10°C a 50°C
Humedad de operación.	<95%
Temperatura de almacenamiento.	-20°C a 70°C
Rango de medición.	200-10000 ppm de CO
Precisión	95%
Tiempo de respuesta.	<10 segundos
Estabilidad.	No calculada
Fiabilidad.	Alta

Fuente: adaptado del datasheet del sensor MQ4.

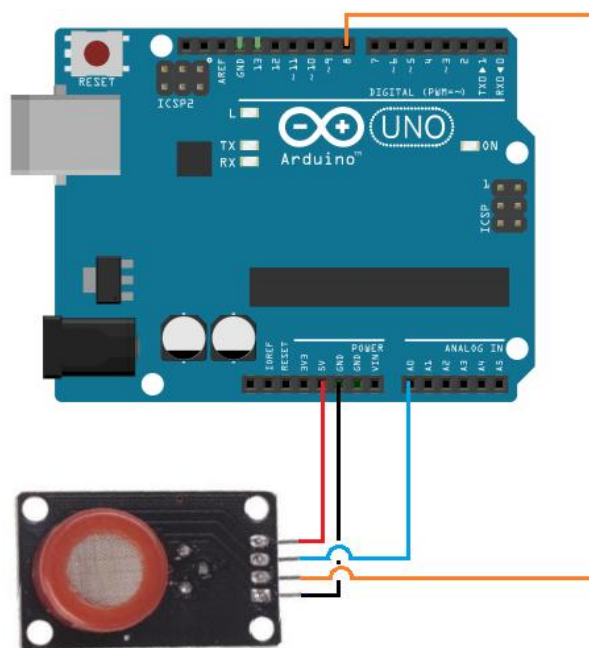


Ilustración 22 Conexión del módulo sensor MQ4 a una placa Arduino

Fuente: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/MQ-4-methane-sensor-circuit-with-arduino.php>

3.5.3. Selección del sensor.

Debido a que la estabilidad de los sensores MQ2 y MQ4 no ha sido calculada, se considera el rango de medición como criterio de evaluación para sustituir a la estabilidad. Para obtener los precios de adquisición, se visitó diferentes portales web de ventas, así como también las páginas web de tiendas electrónicas del país.

Tabla 20 Análisis comparativo de los sensores de humo.

SENSOR	MQ2	MQ4
PARAMETROS	DESCRIPCIÓN	
Fiabilidad.	Alta	Alta
Rango de Medición.	300-10000ppm de humo	200-10000ppm de CO
Tiempo de respuesta.	<10 segundos	<10 segundos
Precisión.	95%	95%
Precio.	\$8.00	\$7.00
Disponibilidad.	Quito	Quito

Fuente: desarrollo del proyecto

Como se puede observar en la tabla 20, todos los criterios de evaluación son muy similares en ambos sensores, existiendo una leve diferencia tanto en el rango de medición como en el precio, la cual puede llegar a ser despreciable. Por lo tanto, el factor que repercute directamente en la selección del sensor, es la sensibilidad que tiene cada uno de ellos al humo, es decir, el sensor MQ2 está fabricado exclusivamente para la detección de este factor, y el sensor MQ4 puede detectarlo mediante la presencia de monóxido de carbono en el aire, por lo que su precisión no sería del 95% para la detección de humo sino para la detección de CO, así que existe un riesgo en que la detección no sea del todo precisa. De esta manera se puede concluir con que el sensor MQ2

ofrece las mejores prestaciones para una pronta detección de humo en el aire, producto de un incendio forestal.

Para finalizar con la realización del benchmark de sensores, se presenta una tabla resumida con los sensores elegidos para sensar la temperatura y humedad relativa, dióxido de carbono, radiación infrarroja y humo (véase tabla 21).

Tabla 21 Sensores seleccionados para la aplicación del proyecto.

SENSOR	DHT22	MQ135	YG1006	MQ2
PARAMETROS	DESCRIPCIÓN			
Fiabilidad.	Alta	Alta	Alta	Alta
Estabilidad.	Humedad: $\pm 0.5\%$ /año Temp: $\pm 0.5^\circ\text{C}$ /año	No calculada	1000 horas	No calculada
Tiempo de respuesta.	Humedad: <5s Temp: <10s	<10s	15 μs	<10s
Precisión.	Humedad: 98% Temp: 99.58%	99%	90%	95%
Precio.	\$14.00	\$6.50	\$4.59	\$8.00
Disponibilidad.	Quito	Cuenca	Quito	Quito

Fuente: desarrollo del proyecto.

Capítulo 4. Pruebas de Funcionamiento.

En el presente capítulo se realizan pruebas individuales a cada sensor en escenarios controlados y los resultados obtenidos ayudan al desarrollo de un sistema multisensor de detección de incendios, el cual está formado por la interconexión de todos los sensores seleccionados en el benchmark y otros dispositivos electrónicos que permitan obtener alertas de incendios forestales en un entorno de análisis controlado.

4.1. Pruebas Iniciales con Sistemas de Detección Individuales.

Las pruebas para los sistemas de detección individuales se las realizan a modo de ensayo de laboratorio, debido a que se establecen escenarios controlados con la finalidad de conocer cómo reacciona cada sensor ante dichas pruebas. Se tendrán cuatro sistemas de detección individuales, dado a que en la realización del benchmark (capítulo 3) se seleccionaron a los cuatro sensores con las mejores prestaciones para un sistema de alerta temprana de detección de incendios forestales.

Se debe aclarar que la plataforma embebida que controlará a los sensores, es una placa Arduino Mega 2560 R3 y será parte de los componentes de cada sistema de detección individual. Además, el IDE de Arduino será el software en el que se programarán todos los códigos fuente para el correcto funcionamiento de cada sensor y de todos los componentes de los sistemas de detección.

4.1.1. Sistema de detección de temperatura y humedad.

4.1.1.1. Componentes.

Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22. Este sensor de alta fiabilidad y rápidos tiempos de respuesta, es el encargado de realizar las mediciones de las variables ambientales para este sistema de detección individual, todas sus características ya fueron expuestas en el capítulo 3 específicamente en la tabla 10.

Diodo LED (Light-Emitting Diode). Es un componente pasivo capaz de emitir luz cuando se encuentra polarizado directamente, debido a que los electrones pueden recombinarse con los huecos en el dispositivo y producir fotones. Las ventajas principales de los diodos led son el bajo consumo de energía, ya que no producen calor, y su larga vida útil lo que permite un ahorro significativo en la adquisición de componentes electrónicos. (IngenieríaElectrónica.Org, 2015) En la ilustración 23 se puede observar su simbología y en la ilustración 24 se presentan sus componentes.

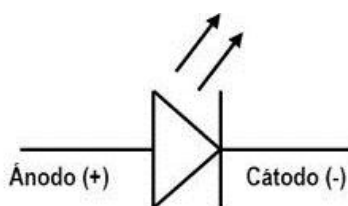


Ilustración 23 Simbología del diodo LED

Fuente: <http://ingenieriaelectronica.org/definicion-y-caracteristicas-de-led-diodo-emisor-de-luz/>

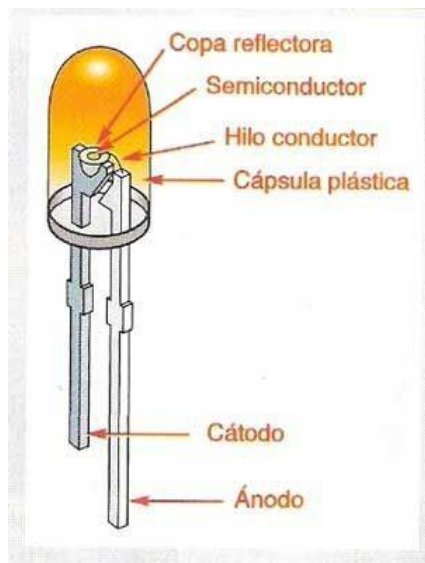


Ilustración 24 Componentes del diodo LED

Fuente: <http://ingenieriaelectronica.org/definicion-y-caracteristicas-de-led-diodo-emisor-de-luz/>

Resistor (resistencia). Es un componente electrónico que no posee polaridad y permite introducir una resistencia eléctrica específica entre dos puntos de un circuito eléctrico, limitando la corriente eléctrica para establecer un valor de voltaje o tensión determinado. (Alloza, 2014)

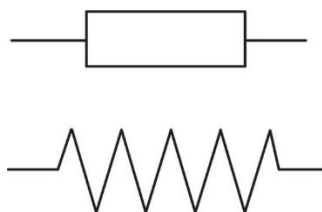


Ilustración 25 Simbología del resistor.

Fuente: <http://diymakers.es/resistencia/>

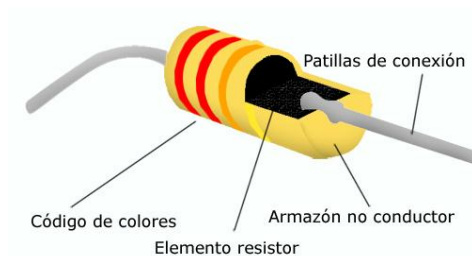


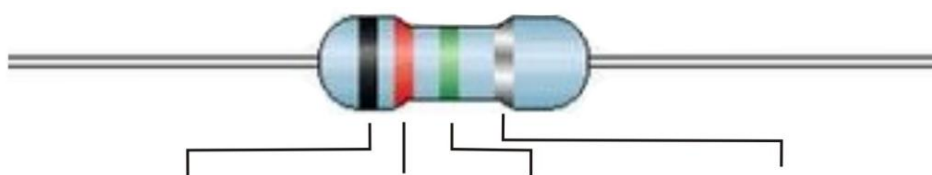
Ilustración 26 Componentes del resistor.

Fuente: <http://freddyfernandolobo.blogspot.com/p/proyectos-de-electronica.html>

Las características fundamentales de los resistores son:

- Valor nominal: es el valor resistivo que presenta la resistencia.
- Tolerancia: es el margen de error que tiene el resistor sobre su valor nominal.
- Código de colores: se encuentra impreso en el encapsulado de la resistencia y permite distinguir visualmente su valor nominal.

En la ilustración 27 se puede observar el código de colores de los resistores de cuatro bandas, que son los más comunes en el mercado y los que son utilizados en este trabajo de titulación.



Color	1ra. Banda	2da. Banda	3ra. Banda Multiplicador	Tolerancia %
Negro	0	0	x1	
Cafe	1	1	x10	
Rojo	2	2	x100	2%
Naranja	3	3	x1000	
Amarillo	4	4	x10000	
Verde	5	5	x100000	
Azul	6	6	x1000000	
Violeta	7	7	x10000000	
Gris	8	8	x100000000	
Blanco	9	9	x1000000000	
				Dorado 5%
				Plata 10%

Ilustración 27 Código de colores de los resistores.

Fuente: <http://www.blogginred.com/2013/05/codigo-de-colores-condensadores.html>

Donde:

V = voltaje (5V)

I = intensidad de corriente eléctrica (20mA)

R = valor nominal del resistor

Por lo tanto:

$$R = \frac{5V}{20mA} = 250\Omega$$

Debido a que no se pueden encontrar resistencias de cuatro bandas con un valor nominal de 250 ohmios, se utiliza el valor más aproximado que es de 220 ohmios.

El sensor DHT22 es capaz de tomar muestras de temperatura y humedad relativa continuamente, y en el caso de que los valores de dichas variables ambientales se salgan del umbral establecido, los diodos LED se encenderán para proporcionar una alerta temprana. En la tabla 22 se presentan los valores establecidos para la temperatura y humedad relativa.

Tabla 22 Valores establecidos para el sistema de detección.

VARIABLE AMBIENTAL	VALORES NORMALES	VALORES RIESGOSOS
Temperatura	10°C a 40°C	>40°C
Humedad relativa	>30%	<30%

Fuente: desarrollo del proyecto.

4.1.1.4. Escenarios de prueba.

La comprobación del correcto funcionamiento de éste sistema de detección individual, se la realiza con un escenario de prueba (véase ilustración 29), en el que se varía la temperatura con un secador de cabello, debido a que este dispositivo permite aumentar y disminuir la temperatura de manera fácil y rápida, de la misma forma que la temperatura tiene cambios en sus valores, también lo tendrá la humedad relativa, y al realizar las pruebas se observará cual variable produce primero la alerta temprana.

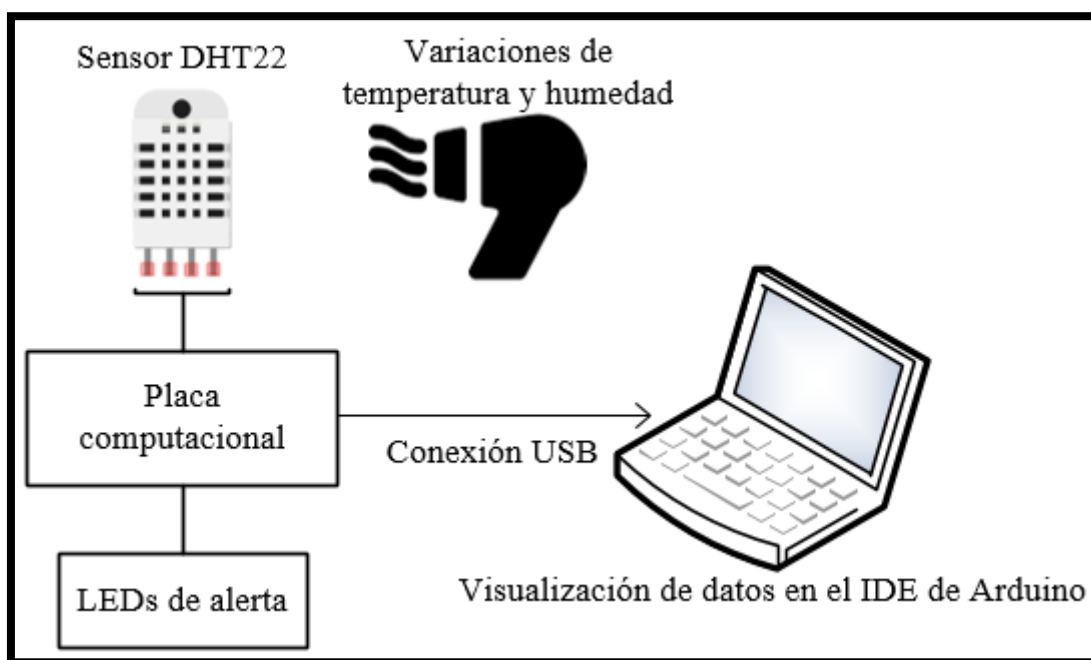
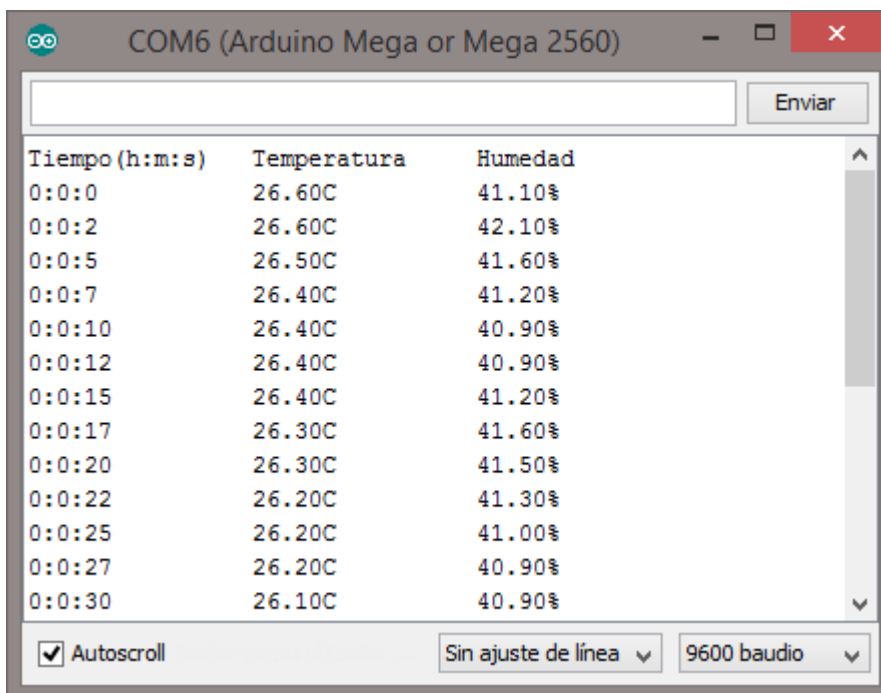


Ilustración 29 Escenario de prueba para el sistema de detección de temperatura y humedad relativa

4.1.1.5. Resultados obtenidos.

En primer lugar, se obtienen los valores de temperatura y humedad relativa del ambiente en condiciones normales, los cuales muestran variaciones de 0.50°C y 1.20% respectivamente,

como se observa en las ilustraciones 30 y 31. Cabe recalcar que las pruebas se las realizó en exteriores.



COM6 (Arduino Mega or Mega 2560)

Tiempo (h:m:s)	Temperatura	Humedad
0:0:0	26.60C	41.10%
0:0:2	26.60C	42.10%
0:0:5	26.50C	41.60%
0:0:7	26.40C	41.20%
0:0:10	26.40C	40.90%
0:0:12	26.40C	40.90%
0:0:15	26.40C	41.20%
0:0:17	26.30C	41.60%
0:0:20	26.30C	41.50%
0:0:22	26.20C	41.30%
0:0:25	26.20C	41.00%
0:0:27	26.20C	40.90%
0:0:30	26.10C	40.90%

Autoscroll Sin ajuste de línea 9600 baudio

Ilustración 30 Temperatura y humedad relativa en condiciones normales

Fuente: IDE de Arduino.

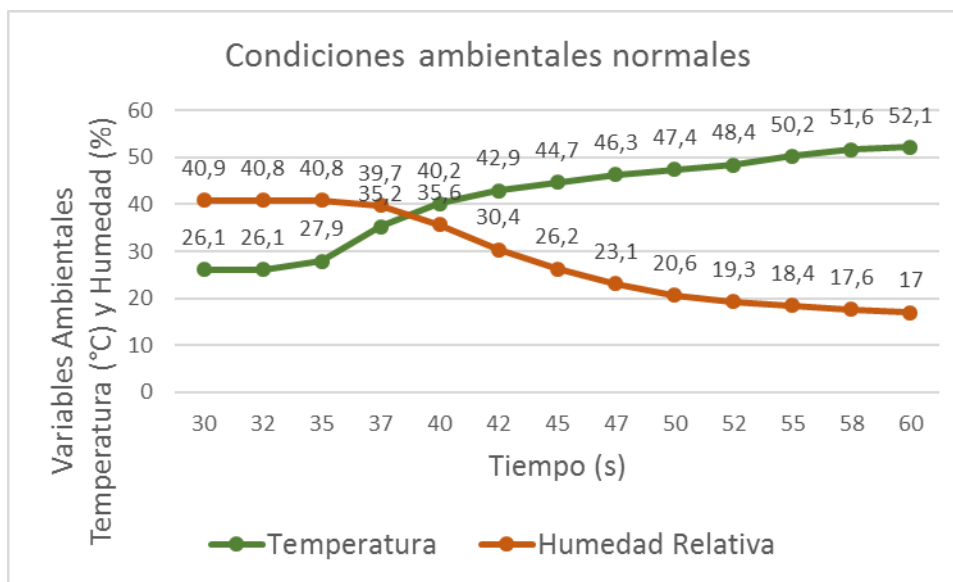
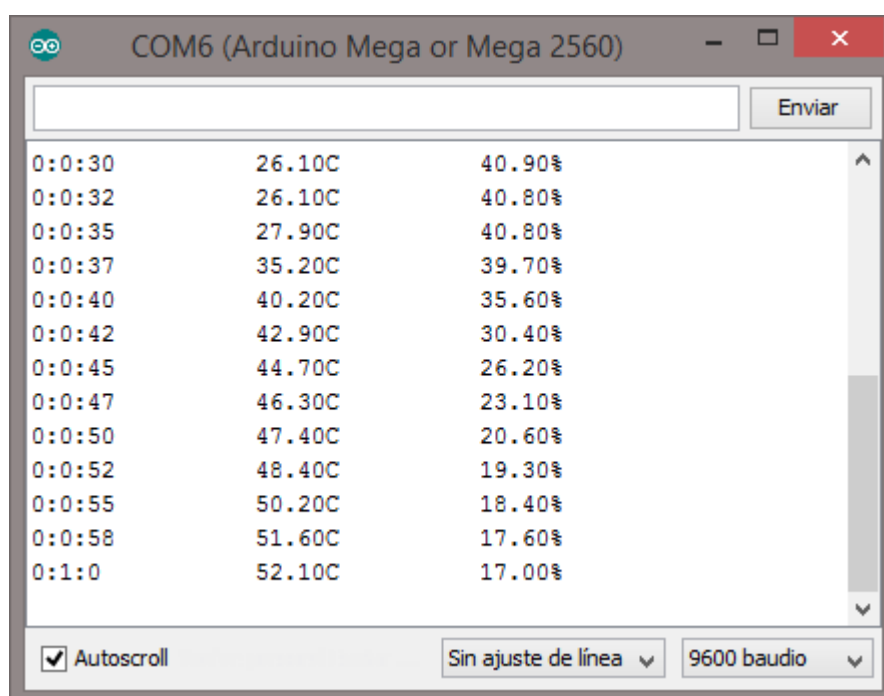


Ilustración 31 Tendencias en los valores de temperatura y humedad relativa en condiciones normales

Luego de que transcurren 30 segundos, se enciende el secador de cabello direccionándolo hacia el sensor. En la ilustración 32 se puede observar que la temperatura es el primer factor en sobrepasar su valor umbral, haciéndolo a los 10 segundos y llegando a un valor máximo de 52.10°C hasta que el secador de cabello es apagado. Por su parte la humedad relativa tarda 15 segundos en salirse de su valor umbral y descende a 17.00% hasta el final de la prueba que es de 30 segundos.



Time	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)
0:0:30	26.10C	40.90%
0:0:32	26.10C	40.80%
0:0:35	27.90C	40.80%
0:0:37	35.20C	39.70%
0:0:40	40.20C	35.60%
0:0:42	42.90C	30.40%
0:0:45	44.70C	26.20%
0:0:47	46.30C	23.10%
0:0:50	47.40C	20.60%
0:0:52	48.40C	19.30%
0:0:55	50.20C	18.40%
0:0:58	51.60C	17.60%
0:1:0	52.10C	17.00%

Ilustración 32. Temperatura y humedad relativa con el secador de cabello encendido.
Fuente: IDE de Arduino.

En el tiempo que dura el experimento para este sistema de detección individual, los valores de temperatura y humedad relativa varían en 26°C y 23.9% respectivamente (véase ilustración 33), estos cambios abruptos son el resultado de las variaciones ambientales que se pueden producir en un incendio forestal, por lo tanto, el sensor DHT22 es capaz de brindar alertas tempranas ante un siniestro.

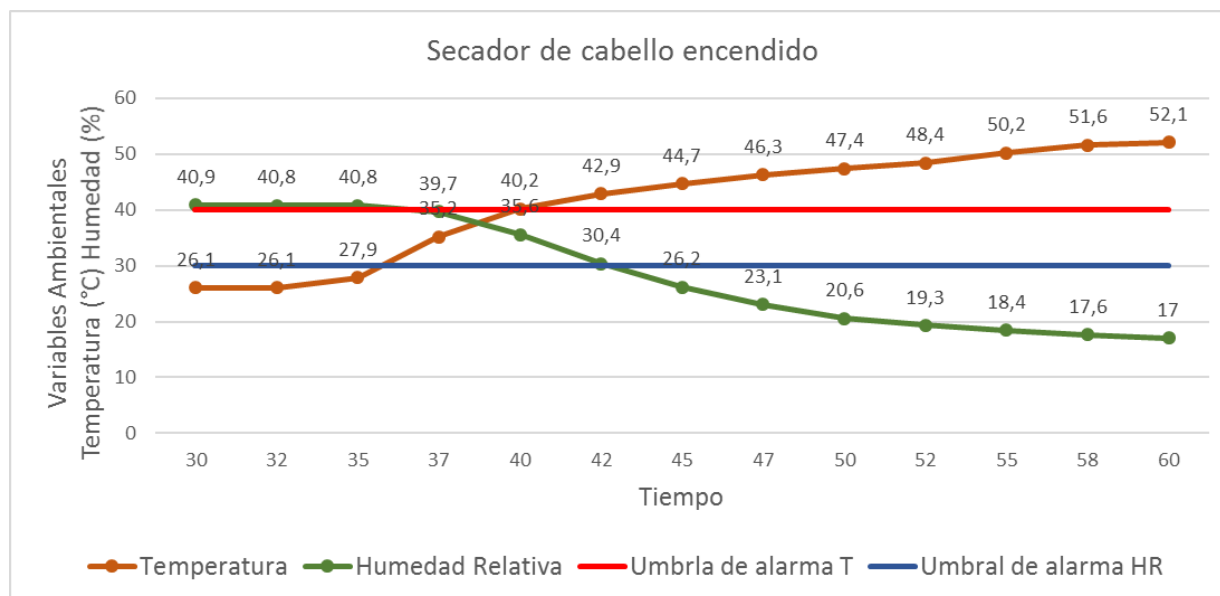


Ilustración 33 Tendencias en los valores de temperatura y humedad relativa durante la prueba.

4.1.2. Sistema de detección de dióxido de carbono.

4.1.2.1. Componentes.

Sensor de dióxido de carbono MQ135. Este sensor es el encargado de tomar las muestras de CO₂ en el ambiente para brindar alertas en el caso de ser necesario, todas sus especificaciones técnicas se encuentran detalladas en la tabla 13 en el capítulo 3.

Diodo LED (Light-Emitting Diode). Para este sistema de detección individual se hace uso de un diodo LED de color verde.

Resistor (resistencia). Dado a que se utiliza un solo diodo LED, se necesita una resistencia de 220 ohmios para su correcto funcionamiento.

4.1.2.2. Diagrama de conexión del sistema.

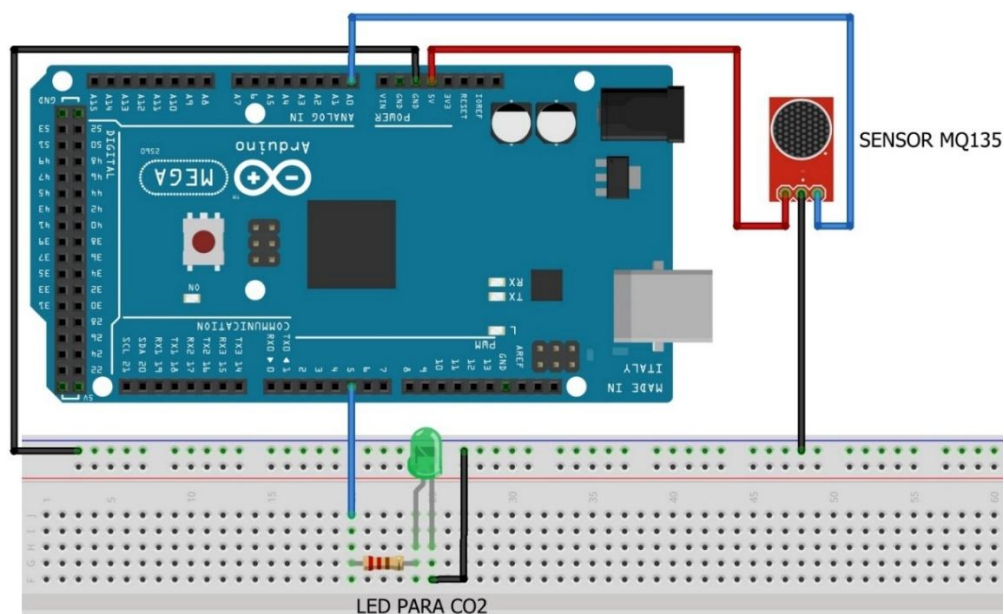


Ilustración 34 Esquema de conexión del sistema de detección de CO₂.

4.1.2.3. Explicación del funcionamiento.

El sensor de dióxido de carbono MQ135 necesita de 5 a 10 minutos para calibrarse al ambiente y estabilizar sus mediciones de dióxido de carbono, terminada la calibración estará tomando los valores de la concentración de CO₂ en el ambiente cada 10 segundos y en el caso que las mediciones tomadas excedan el valor de umbral propuesto, el diodo LED verde se encenderá para brindar una alerta temprana.

Al aire libre las concentraciones normales de dióxido de carbono están alrededor de 360ppm (OMS, 2004), por lo que un incremento desmesurado en ese valor promedio significaría el posible inicio de un incendio. Este sistema de detección empezará a brindar alertas cuando las medidas de CO₂ superen las 1000ppm.

4.1.2.4. Escenarios de prueba.

Para detectar cambios en los valores de dióxido de carbono se plantean tres escenarios de prueba, utilizando un recipiente cerrado para dos de los casos. En primer lugar, se utiliza una vela encendida dentro de un recipiente cerrado, la cual consumirá el oxígeno y producirá CO₂. Seguido de esto se procede a abrir el recipiente, sin apagar la vela, y observar si el sensor es capaz de detectar variaciones en el dióxido de carbono al aire libre. Para finalizar se retira la vela y se vuelve a cerrar el recipiente, dejando un pequeño agujero por el cual ingresará el aliento de una persona para que las concentraciones de CO₂ aumenten. En la ilustración 35 se muestra un esquema del escenario de pruebas.

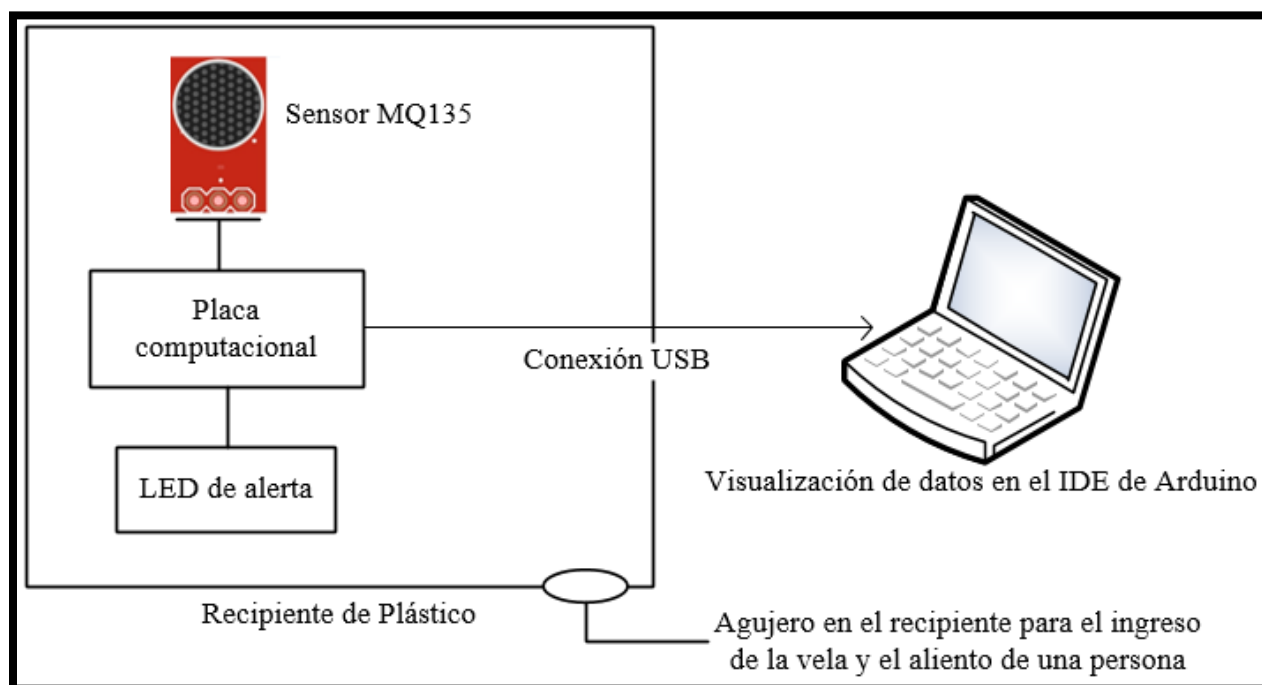


Ilustración 35 Escenario de prueba para el sistema de detección de dióxido de carbono.

4.1.2.5. Resultados obtenidos.

La primera parte de la prueba es la estabilización del sensor MQ135 a los valores ambientales normales, para esto se toma un lapso de tiempo de 5 minutos y como se observa en las ilustraciones 36 y 37, los valores de CO₂ se estabilizan en 325ppm. El recipiente permanece abierto en esta parte de la prueba.

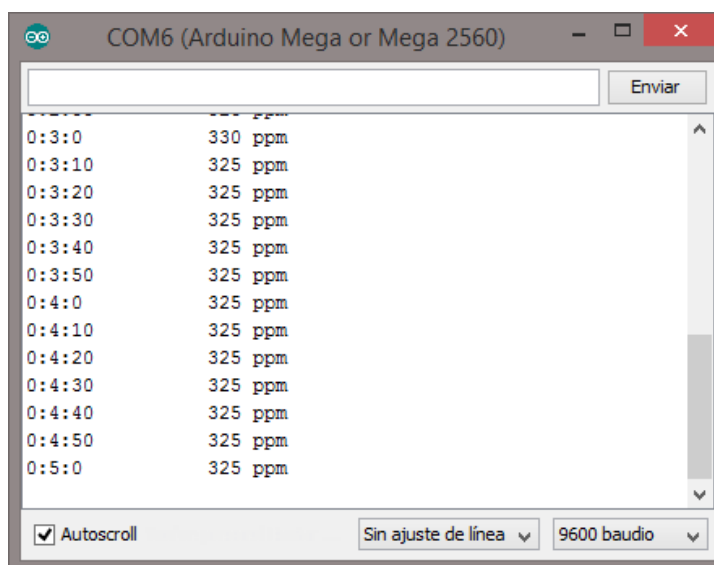


Ilustración 36 Dióxido de carbono en condiciones normales y con el recipiente abierto
Fuente: IDE de Arduino.

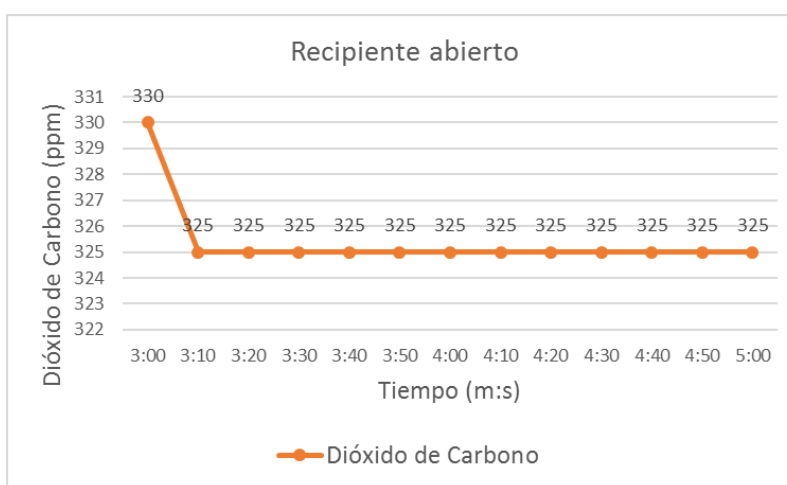


Ilustración 37 Tendencias en los valores de dióxido de carbono con el recipiente abierto.

Una vez que se termina la estabilización se procede a cerrar el recipiente y a monitorear los valores de CO₂ en esas condiciones, luego de 2 minutos las mediciones de dióxido de carbono ascienden a 630ppm y se estabilizan (véase ilustración 38).

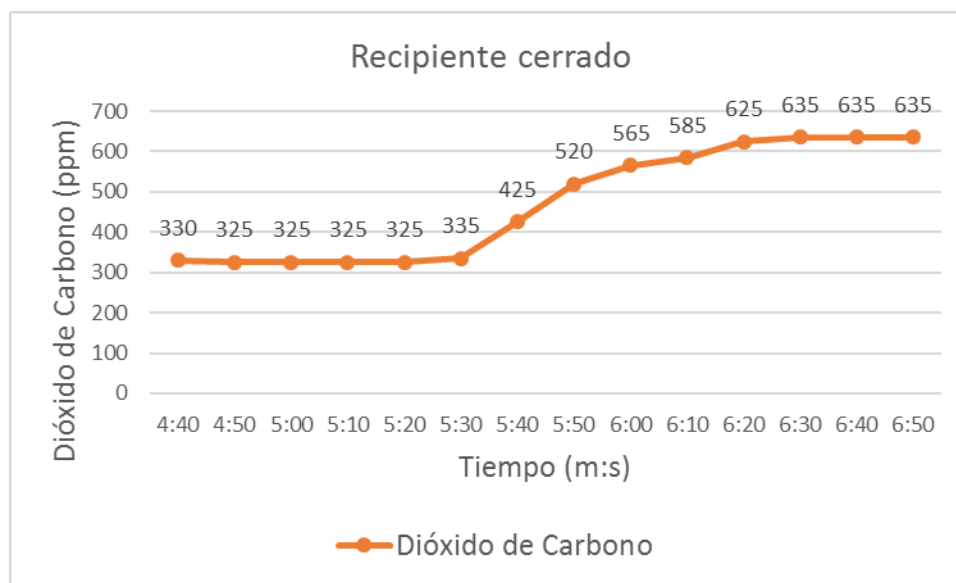


Ilustración 38 Tendencias en los valores de dióxido de carbono con el recipiente cerrado.

En el minuto 7 y con el recipiente cerrado se enciende una vela y se la inserta en el recipiente por un agujero previamente realizado. La ilustración 39 muestra el aumento en el valor del CO₂, el cual llega a un pico de 2090ppm antes de que la vela se apague por la falta de oxígeno en el recipiente, todo esto en un tiempo de 1 minuto y 10 segundos. Después de que la vela se apagó el valor del CO₂ se estabilizó en 1430ppm, siendo este un valor que supera al umbral previamente establecido de 1000ppm, por lo que la alarma sigue encendida.

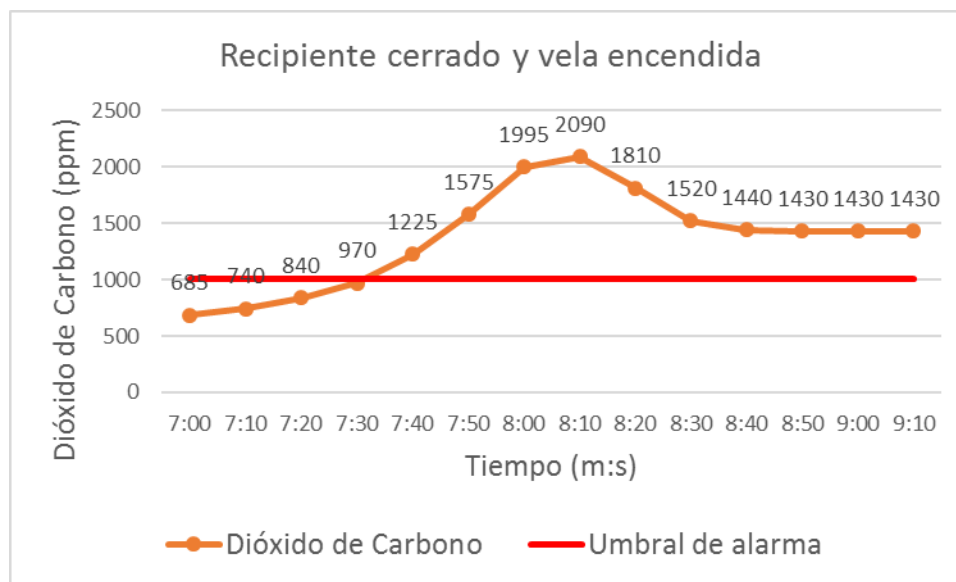


Ilustración 39 Tendencias en los valores de dióxido de carbono con el recipiente cerrado y la vela encendida.

Para la segunda prueba se abre el recipiente y se enciende la vela para observar los cambios que se presentan en el dióxido de carbono, y como se puede observar en la ilustración 40, los valores del CO₂ fluctúan entre 820ppm y 1425ppm, todo esto con la vela en una posición cercana al sensor y en un tiempo de 1 minuto con 20 segundos. En el minuto 10 con 30 segundos la vela es apagada y el recipiente cerrado nuevamente para proceder con la última prueba.

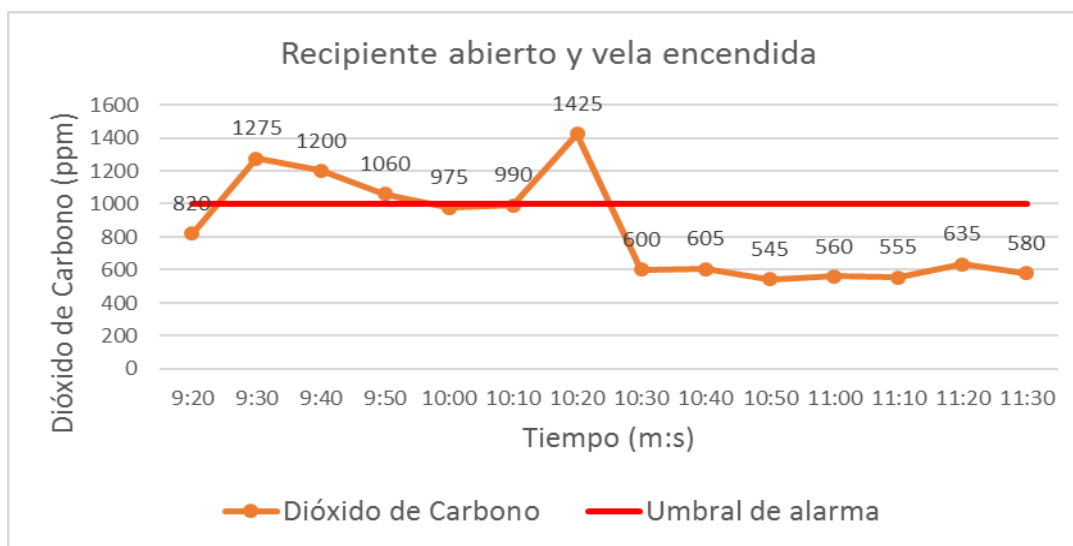


Ilustración 40 Tendencias en los valores de dióxido de carbono con el recipiente abierto y la vela encendida.

En la última prueba se pretende elevar el valor del dióxido de carbono con el aliento de una persona, el cual ingresa al recipiente por el mismo agujero que ingresó la vela. En la ilustración 41 se observa que el valor umbral es sobrepasado al cabo de 2 minutos y 20 segundos, pero no llega a superar las 1060ppm.

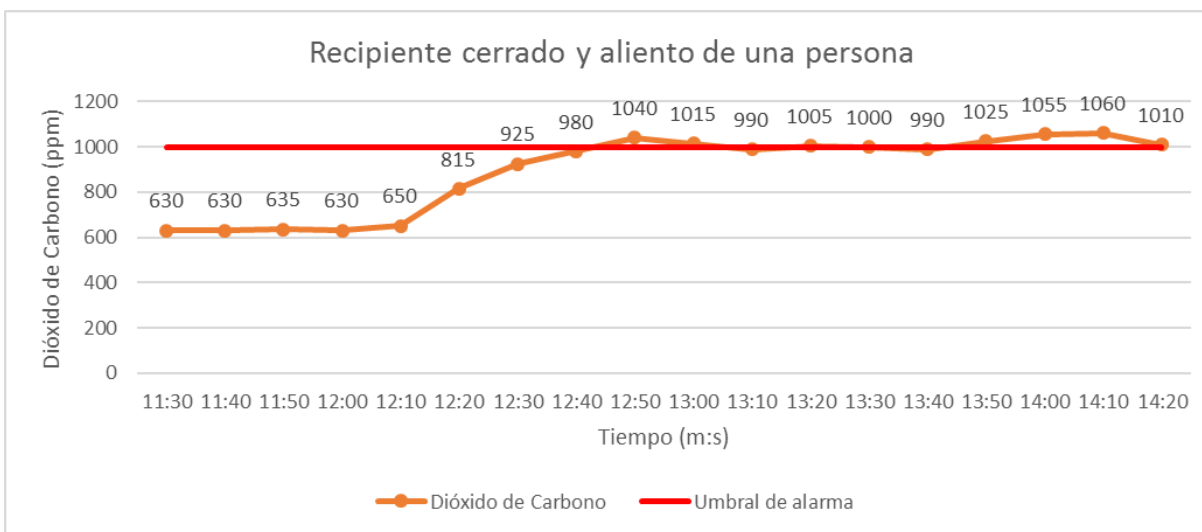


Ilustración 41 Tendencias en los valores de dióxido de carbono con el recipiente cerrado y el aliento de una persona.

Con la realización de estas pruebas, se puede concluir que si un incendio es iniciado los valores de dióxido de carbono se elevan considerablemente en tiempos menores a 1 minuto, siempre y cuando el fuego este cercano al sensor MQ135. Además, se puede diferenciar entre las alteraciones provocadas por las llamas y el aliento de una persona en el dióxido de carbono del ambiente, ya que con el aliento el valor de CO₂ llega a un pico de 1060ppm y con el fuego a 1425ppm, por lo tanto, el sensor MQ135 puede brindar alertas tempranas ante un incendio forestal.

4.1.3. Sistema de detección de radiación infrarroja.

4.1.3.1. Componentes.

Sensor de radiación infrarroja YG1006. Conocido comúnmente como sensor de flama, posibilita la detección de fuego a una distancia no mayor a 1.5 metros, por lo tanto, brinda alertas el momento en que una combustión se ha iniciado. En la tabla 15 que se encuentra en el capítulo 3 se detallan todas sus especificaciones técnicas.

Zumbador. Es un dispositivo electrónico que transforma la electricidad en sonido (transductor electroacústico) produciendo un zumbido continuo hasta que su alimentación de corriente sea interrumpida. Está compuesto por un electroimán y una lámina metálica de acero la cual vibra cuando la corriente pasa por el electroimán y así se produce el sonido. (Alloza, 2014)

En la ilustración 42 se observa su simbología, y en la ilustración 43 se puede apreciar un zumbador de 5 Voltios de las dos formas que se lo encuentra en el mercado.

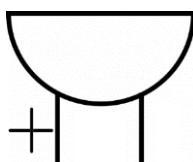


Ilustración 42 Simbología del zumbador.
Fuente: <http://es.vector.me/browse/9320>



Ilustración 43 Zumbador de 5 Voltios.
Fuente: <http://www.instructables.com/id/How-to-use-a-Buzzer-Arduino-Tutorial/>

4.1.3.2. Diagrama de conexión del sistema.

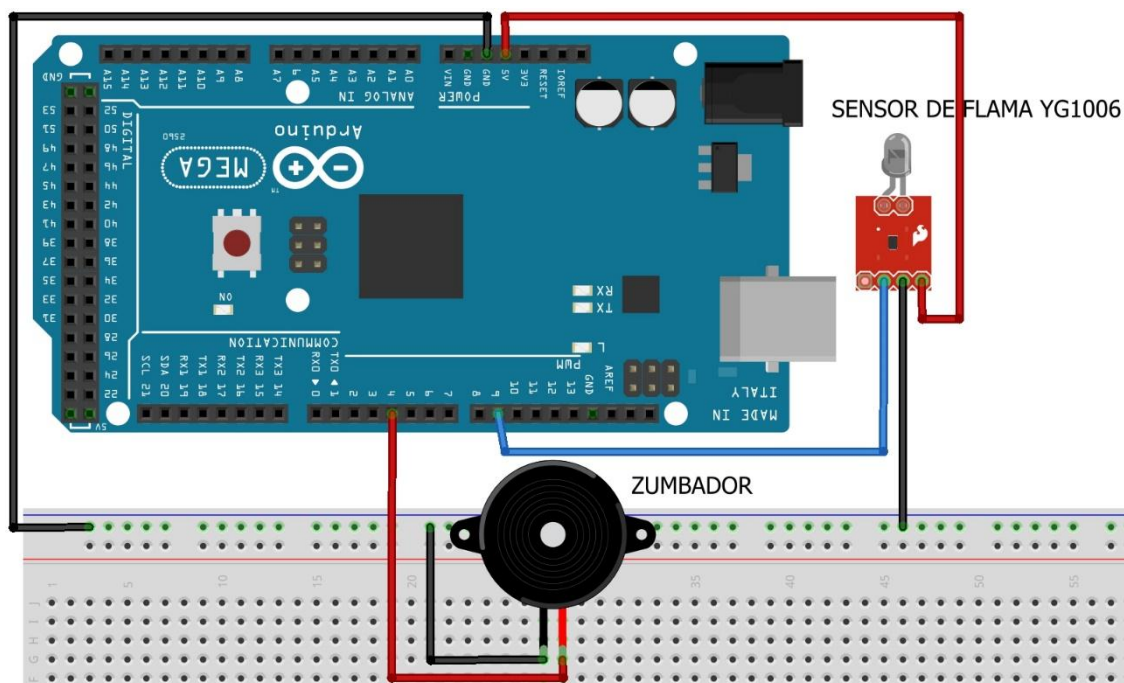


Ilustración 44 Esquema de conexión del sistema de detección de radiación infrarroja.

4.1.3.3. Explicación del funcionamiento.

El tiempo de respuesta del sensor YG1006 es de 15 micro segundos, lo que significa que en el instante que una llama se produzca ésta será detectada inmediatamente, para generar una alerta el zumbador se activará inmediatamente y se detendrá cuando el fuego se haya extinguido. Cabe recalcar que cuando el sensor YG1006 se encuentra montado en una breakout board, está calibrado para detectar la luz infrarroja producida por las llamas, por lo tanto, no es necesario establecer valores de umbral para este sistema de detección.

4.1.3.4. Escenarios de prueba.

Para éste sistema de detección individual solo se plantea un escenario de prueba (véase ilustración 45), en el cual se producirá fuego a diferentes distancias del sensor, con el objetivo de determinar cuál es el alcance máximo del sensor de flama. Las llamas serán producidas por una vela y por un incendio controlado de retazos de tela humedecida con thinner.

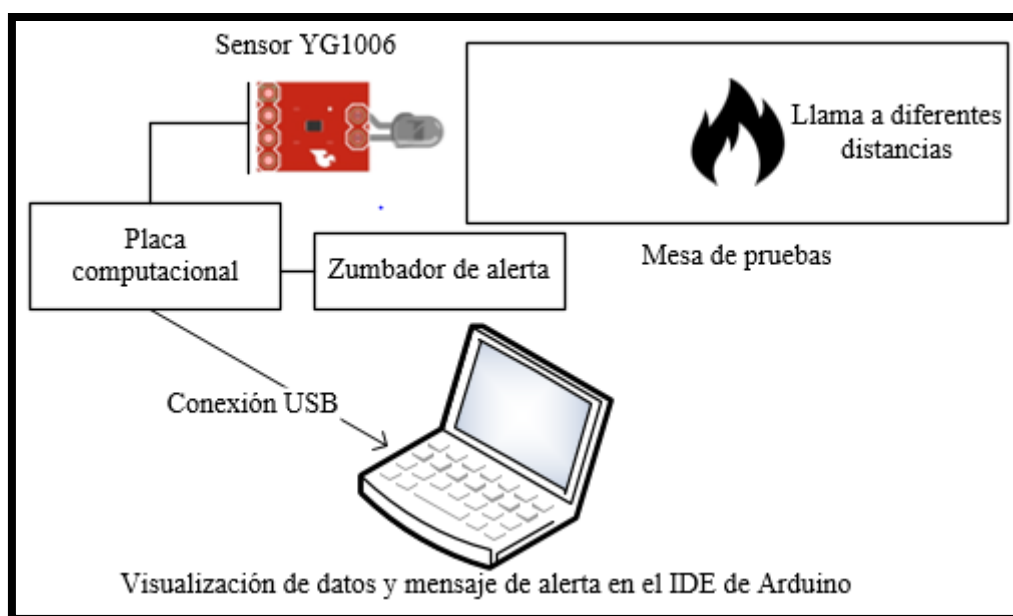


Ilustración 45 Escenario de prueba para el sistema de detección de radiación infrarroja.

4.1.3.5. Resultados obtenidos.

Para las pruebas con el sensor YG1006, se utilizó una mesa en la que se dibujó separaciones de 30 centímetros (véase ilustración 46), de esta manera el fuego puede posicionarse de fácil manera a diferentes distancias del sensor.

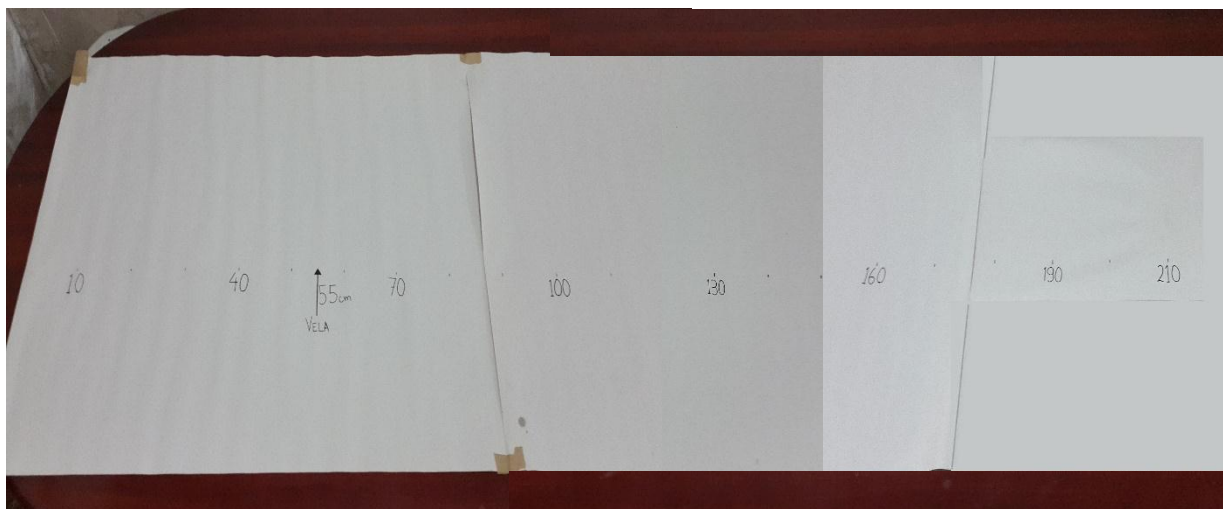


Ilustración 46 Mesa de pruebas.

Fuente: Desarrollo del proyecto.

En primer lugar, se determina el alcance del sensor ante una llama pequeña producida por una vela, teniendo como resultado un máximo de 55cm de alcance. Como puede observarse en la ilustración 47, la alerta de fuego se produce inmediatamente corroborando el rápido tiempo de respuesta del sensor y en la ilustración 48 se muestran las distancias en las que hubo alerta

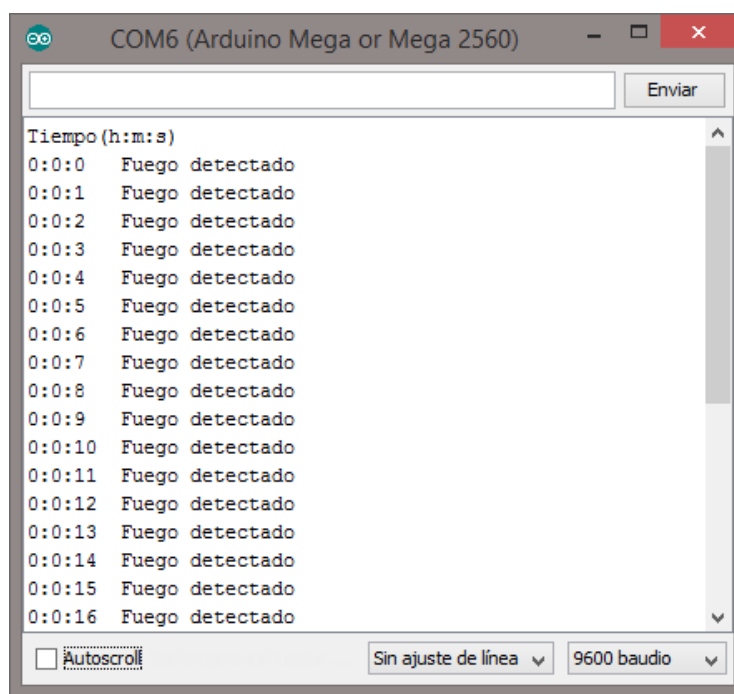


Ilustración 47 Llama de una vela a 55cm del sensor.

Fuente: IDE de Arduino.

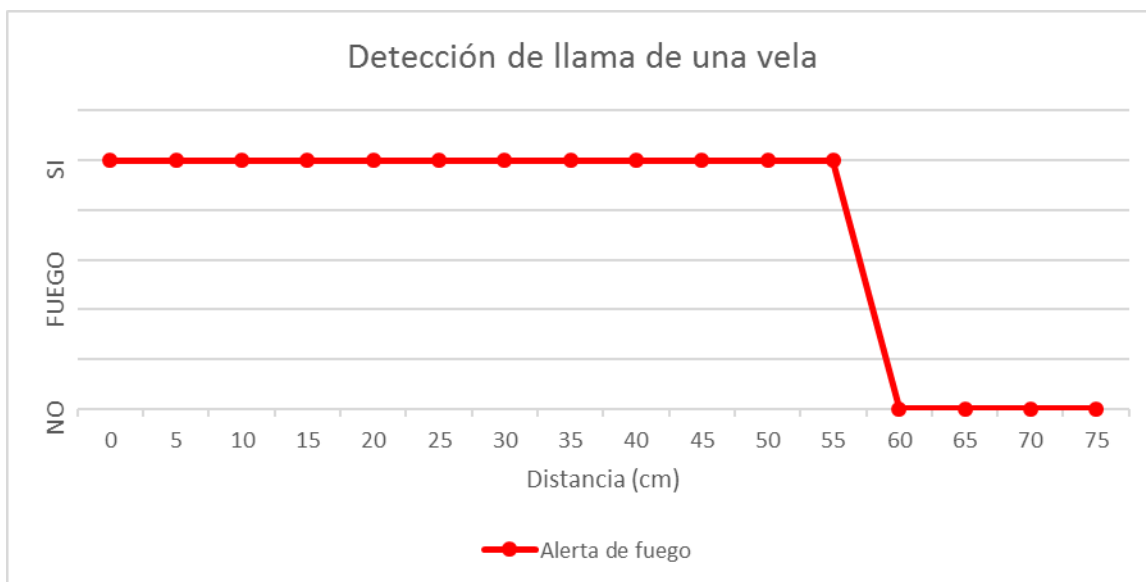
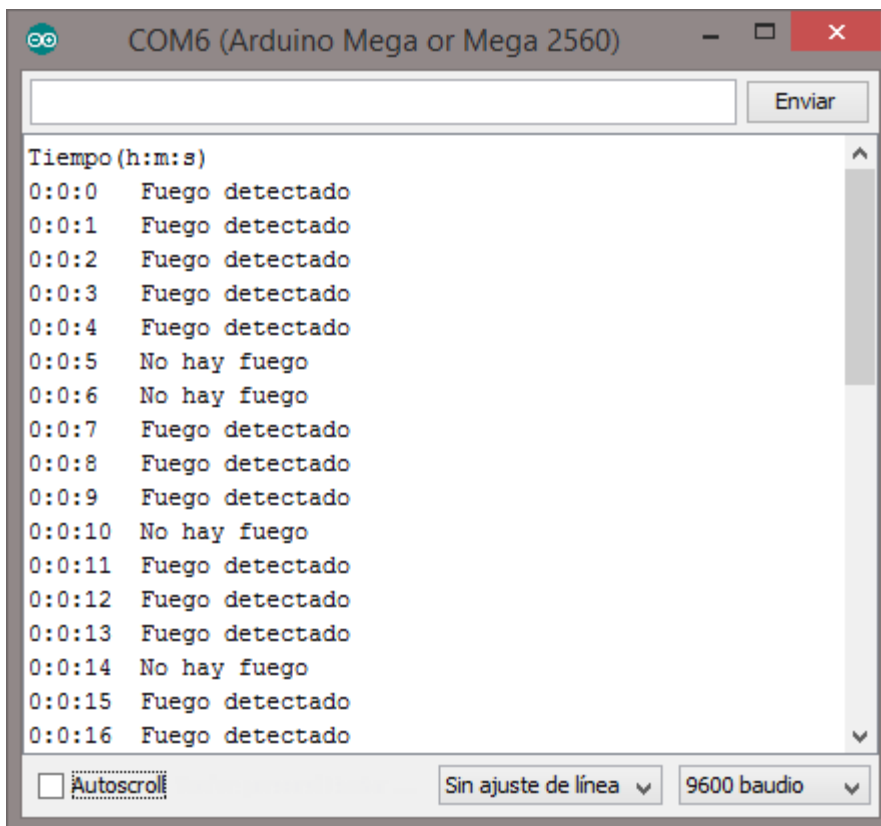


Ilustración 48 Distancias a las que se detectó la llama de una vela.

La segunda prueba se la realizó con una llama de tamaño mediano, utilizando retazos de tela humedecida en thinner y colocados en un recipiente incombustible de 7.5cm de diámetro. El fuego resultante pudo ser detectado hasta una distancia máxima de 220cm, siendo esta longitud cuatro veces mayor a la de la primera prueba, lo que significa que si las llamas son de mayor tamaño el sensor podrá detectarlas a mayores distancias, esto debido a que las señales infrarrojas resultantes en un incendio de mayores magnitudes son más intensas. La ilustración 49 nos muestra el tiempo de respuesta del sensor y se puede notar que hay intervalos de tiempo en los que el fuego no es detectado, debido al tamaño de la llama y a la gran separación que existe entre la misma y el sensor. En la ilustración 50 se observan las distancias en las que las llamas producidas, tanto por la vela y por los retazos de tela, fueron detectadas, donde se aprecia una diferencia entre ambas distancias.



*Ilustración 49 Llama de retazos de tela a 220cm del sensor.
Fuente: IDE de Arduino.*

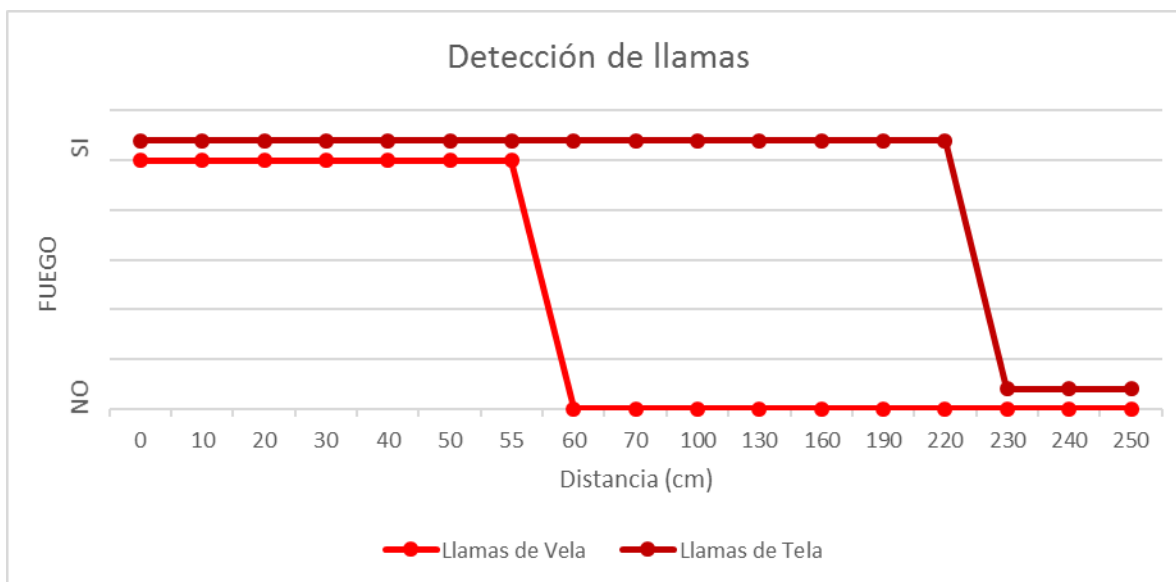


Ilustración 50 Diferencia en la detección de llamas.

4.1.4. Sistema de detección de humo.

4.1.4.1. Componentes

Sensor de humo MQ2. Con la detección de humo en el ambiente proporcionada por éste sensor, se puede generar una alarma de incendio temprana y eficaz. Sus características más importantes están detalladas en el capítulo 3, precisamente en la tabla 18.

Diodo LED (Light-Emitting Diode). Un diodo LED de color naranja se utiliza para generar la alerta en este sistema de detección individual.

Resistor (resistencia). Dado a que se utiliza un solo diodo LED, se necesita una resistencia de 220 ohmios para su correcto funcionamiento.

4.1.4.2. Diagrama de conexión del sistema.

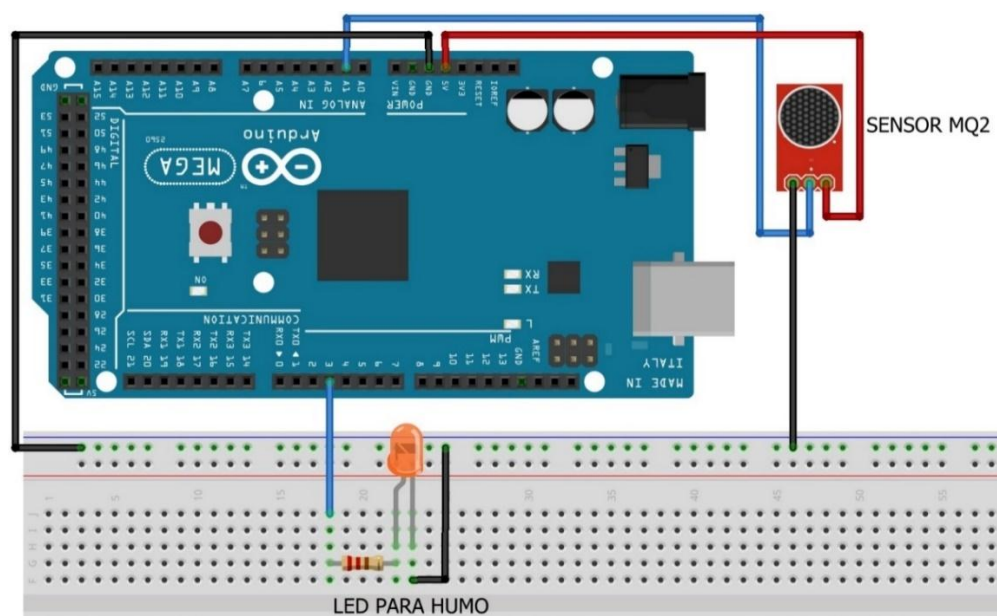


Ilustración 51 Esquema de conexión del sistema de detección de humo.

4.1.4.3. Explicación del funcionamiento.

El humo se produce cuando un combustible no se quema completamente y en el caso de un incendio forestal la vegetación es el combustible. Cuando las llamas empiecen a consumir a la vegetación, el humo resultante podrá ser detectado por el sensor MQ2 y de manera inmediata se encenderá el diodo LED naranja, para producir una alarma de incendio.

4.1.4.4. Escenarios de prueba.

La detección de humo se la realizará con dos escenarios de prueba, los cuales pueden presentarse en un incendio forestal, estos son:

- Combustión de vegetación seca.
- Combustión de vegetación húmeda.

En ambos casos la combustión se la realizará al aire libre y se plantea determinar los tiempos de respuesta del sensor. Para la quema de la vegetación se utiliza un recipiente cilíndrico de metal de 13cm de diámetro y 16cm de altura, con la finalidad de obtener una emanación de humo constante y en una sola dirección. En la ilustración 52 se puede observar el esquema planteado para el escenario de prueba del sensor MQ2.

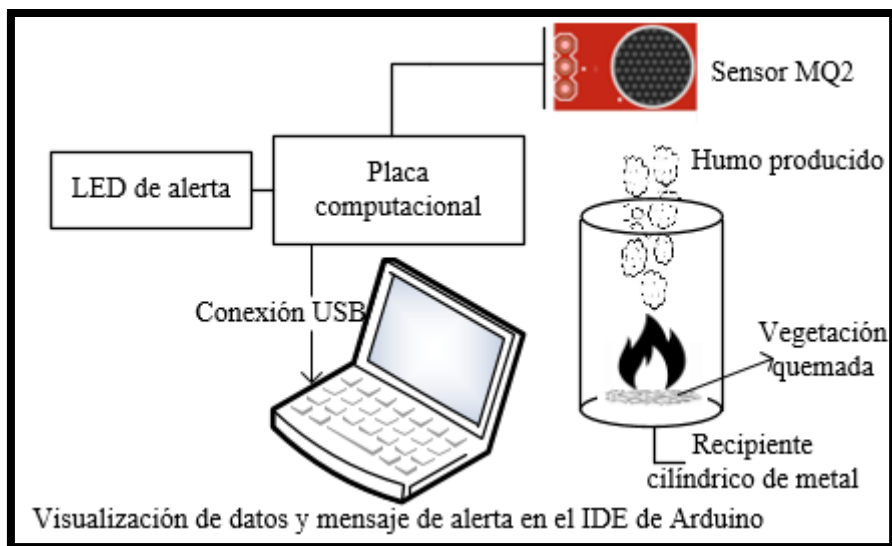


Ilustración 52 Escenario de prueba para el sistema de detección de humo.

4.1.4.5. Resultados obtenidos.

Para las dos pruebas se utilizaron hojas de distintos tipos de plantas como helecho, chilca, anamú y guayabilla, ya que un bosque está poblado de variadas especies de flora que pueden incendiarse.

El sensor de gas MQ2 se lo ubicó de manera perpendicular a la boca del recipiente a una distancia de 10cm, con el objetivo de que tenga contacto directo con el humo producido por la quema de las hojas.

En la ilustración 53 se observa el tiempo de respuesta del sensor ante el humo ocasionado por las hojas secas, el cual es de 3 segundos, siendo éste un tiempo aceptable para generar alertas tempranas.

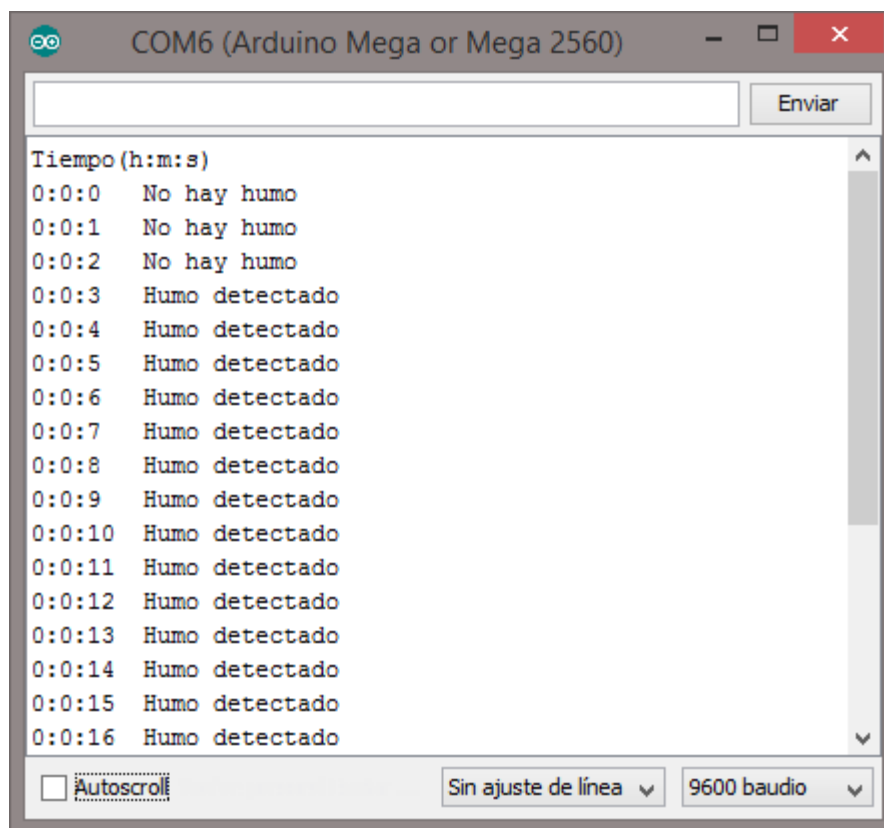


Ilustración 53 Tiempo de respuesta para el humo producido por hojas secas.
Fuente: IDE de Arduino.

La segunda prueba fue con hojas húmedas las cuales son difíciles de quemar, pero producen mucho más humo que las hojas secas, dando como resultado una respuesta inmediata del sensor (véase ilustración 54) y el encendido del led de alerta naranja.

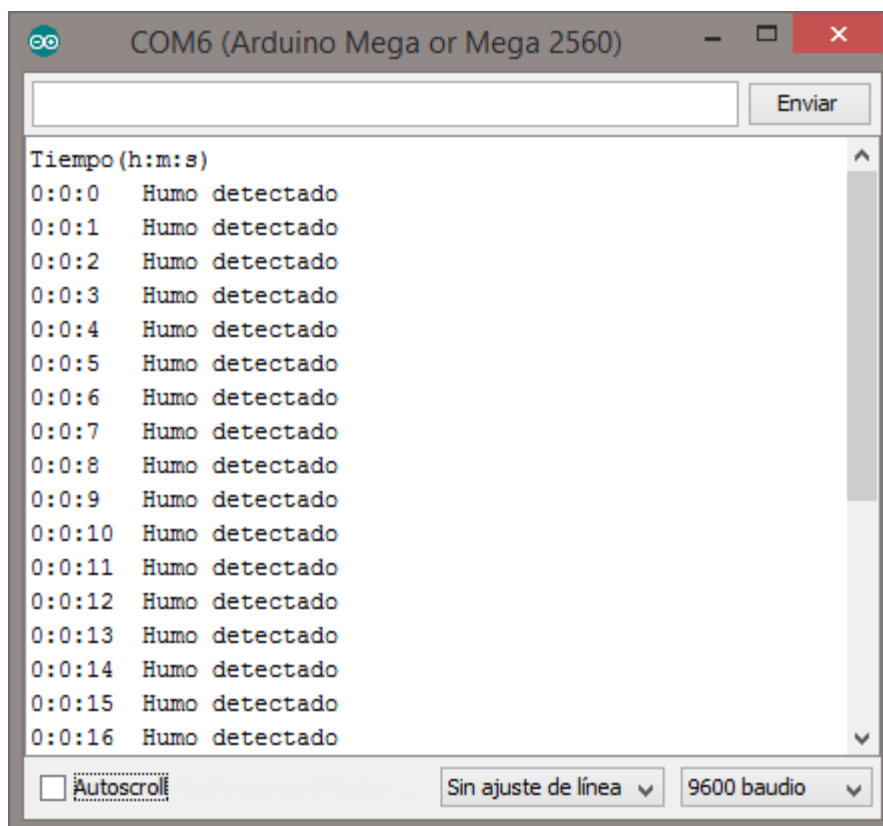


Ilustración 54 Tiempo de respuesta para el humo producido por hojas húmedas.
Fuente: IDE de Arduino.

En la ilustración 55 se muestra una comparativa entre la quema de hojas secas y hojas húmedas, y se pueden apreciar los tiempos de respuesta para cada caso.

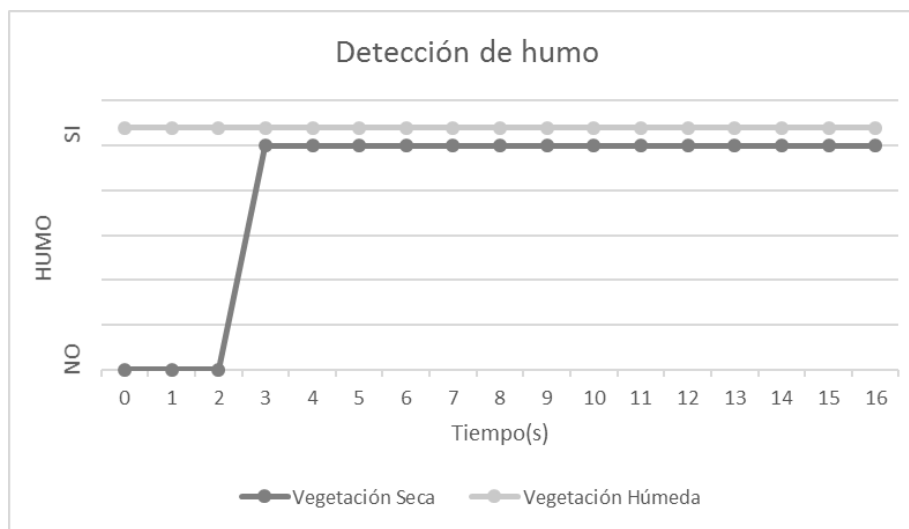


Ilustración 55 Detección de humo en la quema de los dos tipos de vegetación.

4.2. Pruebas Finales con el Sistema de Detección Multisensor.

Este sistema consta de la unión de todos los sistemas de detección individuales (subsistemas) descritos y evaluados anteriormente, lo que permite monitorear todos los factores ambientales y no ambientales relacionados con un incendio.

4.2.1. Equipamiento del sistema.

En la tabla 23 se encuentran descritos todos los componentes que forman parte del sistema, siendo estos necesarios para la alimentación, monitoreo, conexiones, proporcionar alertas y control del mismo.

Tabla 23 Componentes del sistema de detección multisensor.

CANTIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
1	Arduino Mega 2560 R3.	Plataforma embebida que permite el control de todos los componentes.
1	Sensor DHT22.	Monitoreo de la temperatura y humedad relativa del ambiente.
1	Sensor MQ135.	Monitoreo de las partes por millón del dióxido de carbono en el aire.
1	Sensor YG1006.	Detección de llamas.
1	Sensor MQ2.	Detección de humo.
4	Leds de alta luminosidad.	Proporcionar alertas.
1	Led de alta luminosidad.	Notificación de encendido del sistema.
1	Zumbador.	Proporcionar alertas.
5	Resistores.	Protección para los leds.
1	Cable USB-A a USB-B.	Conexión de la placa Arduino con la PC para la alimentación del sistema.
1	Protoboard.	Montaje de los componentes.
-	Cable para protoboar.	Conexión de los componentes.
1	Cautín y estaño.	Soldadura de algunos componentes.
1	Recipiente de plástico.	Protección de los componentes.
1	Computador.	Edición del programa de control, recepción de datos y alimentación del sistema.
SOFTWARE		
-	IDE de Arduino.	Programación de la placa Arduino.
-	Fritzing.	Diseño del circuito y diagrama de conexiones.
-	Excel.	Diseño de gráficos de tendencias.
-	Visio Profesional	Esquemas de los escenarios de pruebas.

Fuente: desarrollo del proyecto.

4.2.2. Diagrama de conexión del sistema.

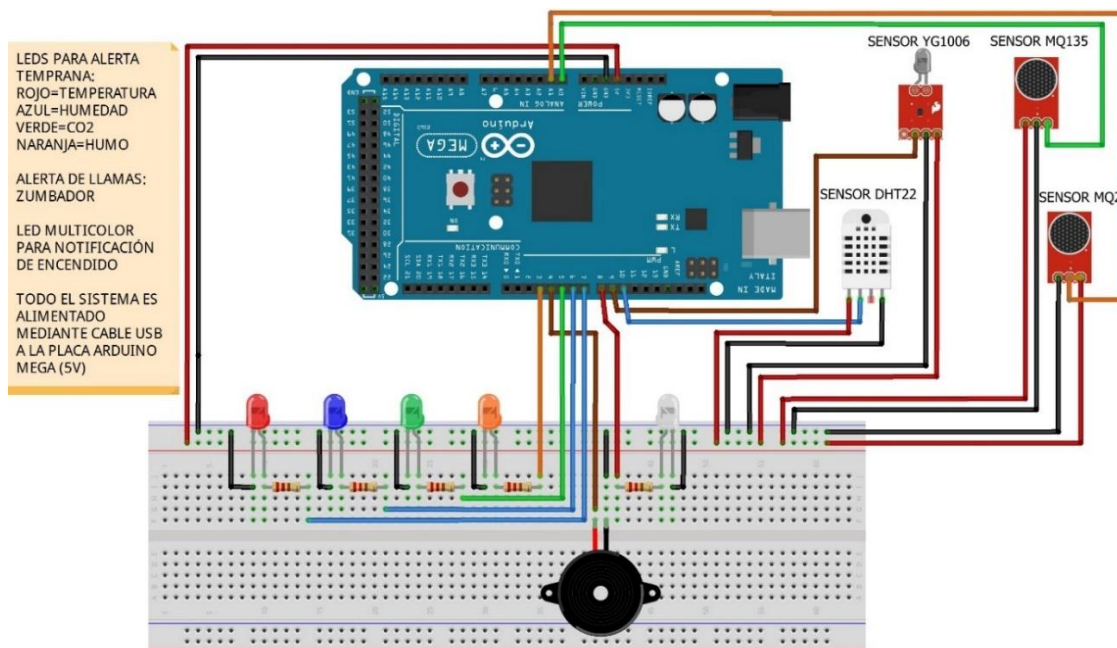


Ilustración 56 Esquema de conexión del sistema de detección multisensor.

Tal y como se muestra en la ilustración 56, se tiene dos sensores conectados a pines digitales de la placa Arduino Mega 2560 R3 y dos sensores conectados a entradas analógicas del mismo. Los leds y el zumbador que proporcionarán las alertas se conectan a pines digitales de la placa Arduino y todo el sistema tiene un código de colores que minimiza los errores de conexión, el cual se detalla a continuación:

- Color rojo: alimentación de voltaje (5V) y encendido del sistema.
- Color negro: conexión a tierra.
- Color azul: subsistema de detección de temperatura y humedad relativa.
- Color verde: subsistema de detección de dióxido de carbono.
- Color marrón: subsistema de detección de radiación infrarroja (llamas).
- Color naranja: subsistema de detección de humo.

4.2.3. Explicación del funcionamiento.

El objetivo del sistema multisensor es proporcionar alertas tempranas ante un incendio forestal, por lo cual se han seleccionado las variables ambientales y no ambientales que, al ser monitoreadas y detectadas, permiten obtener dichas alertas. En la tabla 24 se explica el funcionamiento de cada subsistema.

Tabla 24 descripción del funcionamiento de cada subsistema.

SUBSISTEMA	FUNCIONAMIENTO	ALERTA
Temperatura y humedad relativa.	El sensor de temperatura y humedad relativa DHT22, monitorea el ambiente a su alrededor a tiempo real y envía de manera digital los datos obtenidos a la placa Arduino.	Si cualquiera de las variables que se monitorean se salen del umbral establecido, se encenderán los leds rojo o azul, dependiendo del caso, para proporcionar una alerta. Se puede dar un seguimiento de los valores obtenidos por el sensor a través del monitor serial del IDE de Arduino.
Dióxido de carbono.	El sensor de dióxido de carbono MQ135 necesita de 5 a 10 minutos para calibrarse, luego de esto monitorea el aire a su alrededor continuamente y sus datos se obtienen de manera analógica en la placa Arduino.	La cantidad de CO2 en el aire puede ser visualizada en el monitor serial del IDE de Arduino y si dicha cantidad supera las 1000ppm, el led verde se encenderá a motivo de alerta.
Radiación infrarroja.	El sensor de radiación infrarroja YG1006 se encarga de detectar las llamas que produce un incendio, y si este es el caso envía un dato digital a la placa Arduino.	Si se recibe el dato de la presencia de fuego, el zumbador empezará a pitar intermitentemente para brindar una alarma y en el monitor serial del IDE de Arduino se visualizará un mensaje de alerta.
Humo.	El sensor de humo MQ2 estará en constante monitoreo del humo en el ambiente, enviando datos analógicos a la placa Arduino Mega.	En el caso de que el sensor envíe la alerta de humo, el led naranja se encenderá y un mensaje de alerta se mostrará en el monitor serial del IDE de Arduino.

Fuente: desarrollo del proyecto.

Para el encendido del sistema se hace uso de la comunicación serial que puede recibir la placa Arduino Mega 2560 R3, siendo la letra “E” para encender y la letra “A” para apagar, un led multicolor servirá de notificación. Una vez que el sistema se enciende, todos los subsistemas empiezan a trabajar de la manera descrita anteriormente.

Con la finalidad de ocultar toda la circuitería y proteger el sistema, los componentes son colocados en un recipiente de plástico, en el cual se realizan agujeros que permiten a los sensores, a los leds y al zumbador quedar a la vista, para que el monitoreo, la detección y las alertas puedan ser efectuadas correctamente. En las ilustraciones 57 y 58 se observa el prototipo completo del sistema de detección multisensor.

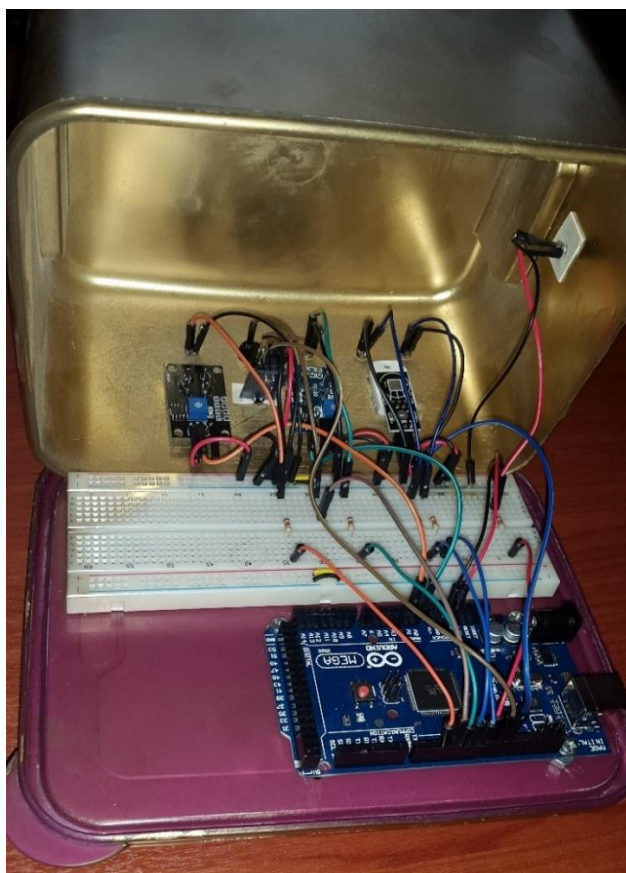


Ilustración 57 Vista interior del prototipo.
Fuente: desarrollo del proyecto.



Ilustración 58 Vista exterior del prototipo.
Fuente: desarrollo del proyecto

4.2.4. Entorno de análisis.

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema multisensor se efectúa un incendio controlado, teniendo como combustible vegetación húmeda, vegetación seca y algunas ramas de árboles, todo esto dentro de un espacio de un metro cuadrado, que por motivos de seguridad es cerrado perimetralmente, tal y como se observa en la ilustración 59.



Ilustración 59 Espacio cerrado para la realización de la prueba.
Fuente: desarrollo del proyecto.

Un esquema del entorno de análisis se muestra en la ilustración 60, en la que se describe la posición de los elementos utilizados para efectuar la prueba.

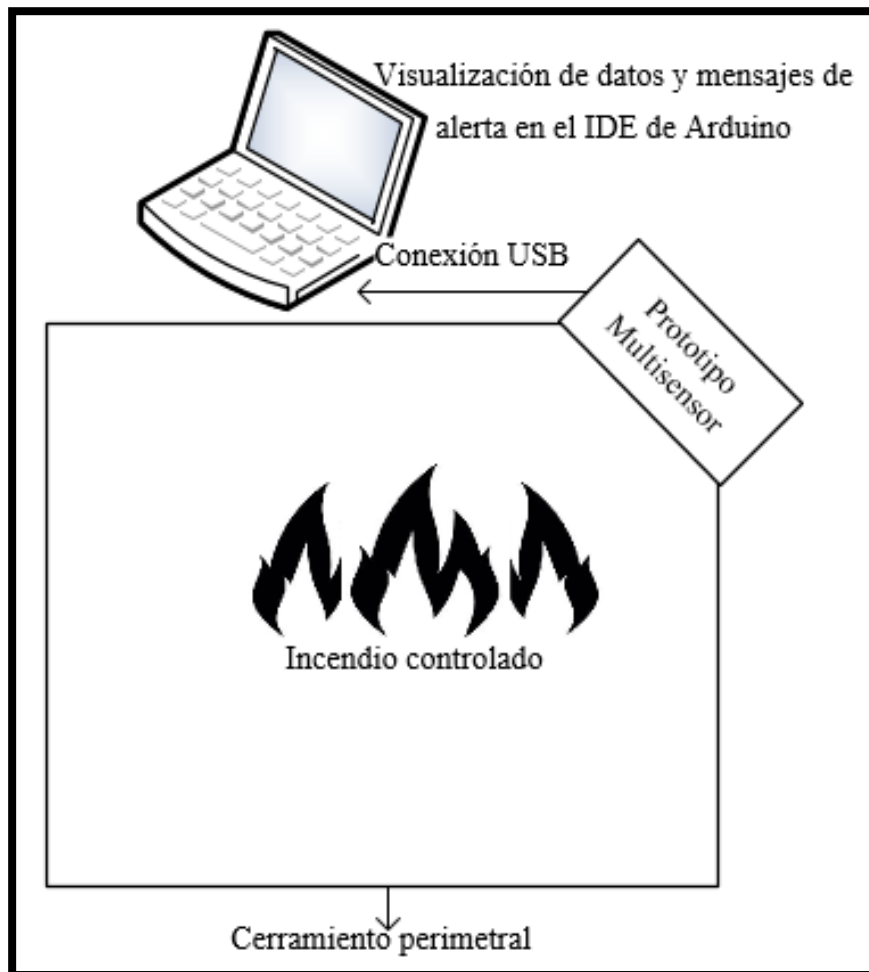


Ilustración 60 Esquema del entorno de análisis para las pruebas con el sistema multisensor

Las condiciones ambientales para la prueba son calurosas y secas, con la finalidad de que todos los sensores produzcan sus alarmas respectivas, y el prototipo del sistema multisensor se ubica por encima del cerramiento perimetral del entorno de análisis (véase ilustración 61).



Ilustración 61 Ubicación del prototipo en el espacio cerrado.
Fuente: desarrollo del proyecto.

Lo que se espera obtener de ésta prueba es que el sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 informe que el ambiente es más caluroso y seco de lo normal, alertando de un posible incendio. Luego de esto el incendio es iniciado y el sensor de radiación infrarroja YG1006 lo detecta automáticamente y brinda la alerta respectiva. A continuación, el sensor MQ2 advierte la presencia de humo, lo que podría significar que es un incendio no controlado, y para finalizar el sensor de dióxido de carbono MQ135, proporciona los valores de CO₂ en el aire y si estos son elevados, puede ser muy riesgoso acercarse a combatir el siniestro sin máscaras de protección y tanques de oxígeno.

4.2.5. Resultados obtenidos.

Como ya se explicó anteriormente, el sensor de dióxido de carbono MQ135 necesita de 5 a 10 minutos para calibrarse al entorno, y como puede notarse en la ilustración 62, después de pasados 5 minutos las mediciones de CO2 en el aire son de entre 460 y 620ppm, lo que significa que los valores de dióxido de carbono están levemente por encima del promedio que es de 360ppm. Otro dato importante que nos muestra la ilustración 61, es que la temperatura es alta y la humedad está muy baja, lo que equivale a que es un entorno caluroso y seco.

Time	Temperature (C)	Humidity (%)	CO2 (ppm)	Fire Status	Smoke Status
0:5:0	32.10C	19.60%	530 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:5:1	32.00C	19.60%	530 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:5:2	32.00C	19.50%	530 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:5:4	32.00C	19.50%	510 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:5:5	32.00C	19.50%	520 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:5:6	32.00C	19.70%	510 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:5:7	31.80C	19.20%	490 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:5:8	31.50C	19.20%	480 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:5:9	31.40C	19.30%	480 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:5:10	31.50C	19.30%	490 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:5:11	31.50C	19.40%	480 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:5:12	31.30C	19.30%	470 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:5:13	31.30C	19.20%	460 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:5:14	31.30C	19.30%	460 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:5:15	31.30C	19.30%	470 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:5:16	31.40C	19.40%	590 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:5:17	31.40C	19.50%	620 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:5:18	31.40C	19.60%	610 ppm	No hay fuego	No hay humo

Ilustración 62 Calibración del sensor MQ135.

Fuente: IDE de Arduino.

También se incluyen dos gráficos de líneas de tendencia, en los cuales se representan gráficamente los valores que presentan las variables ambientales durante el proceso de calibración del sensor MQ135.

En la ilustración 63, se puede notar que los valores de temperatura están por debajo del umbral de alerta, ya que son menores a 40°C, por el contrario, la humedad relativa se encuentra por debajo del 30%, lo que significa que está fuera de los rangos normales de HR en el ambiente. La ilustración 64 muestra los valores del CO₂ en el ambiente, y se comprueba que no superan el valor riesgoso de 1000ppm.

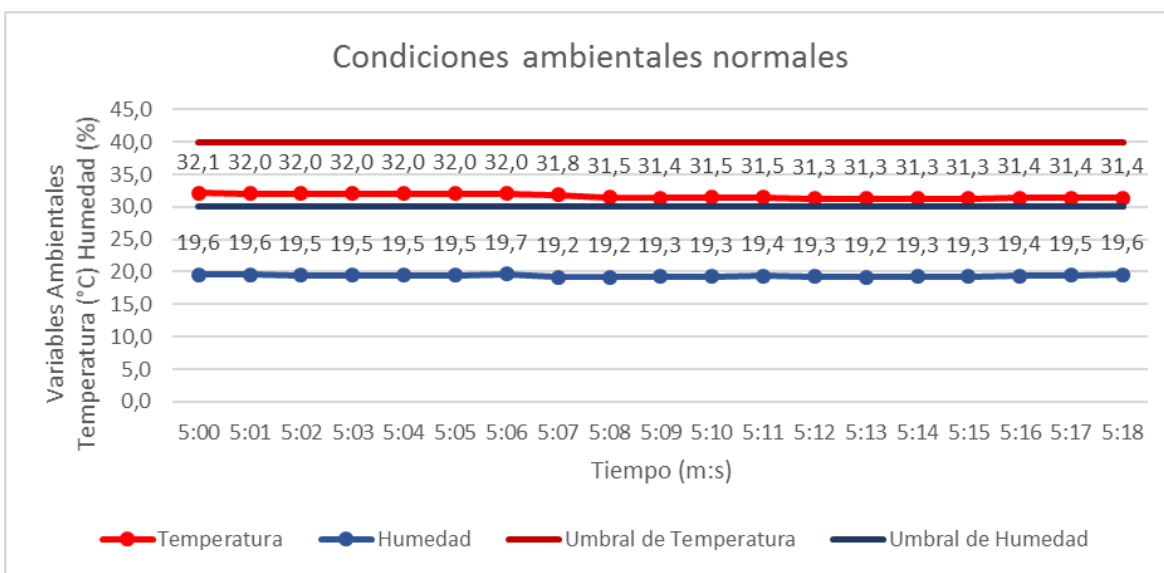


Ilustración 63 Temperatura y humedad relativa en condiciones ambientales normales.

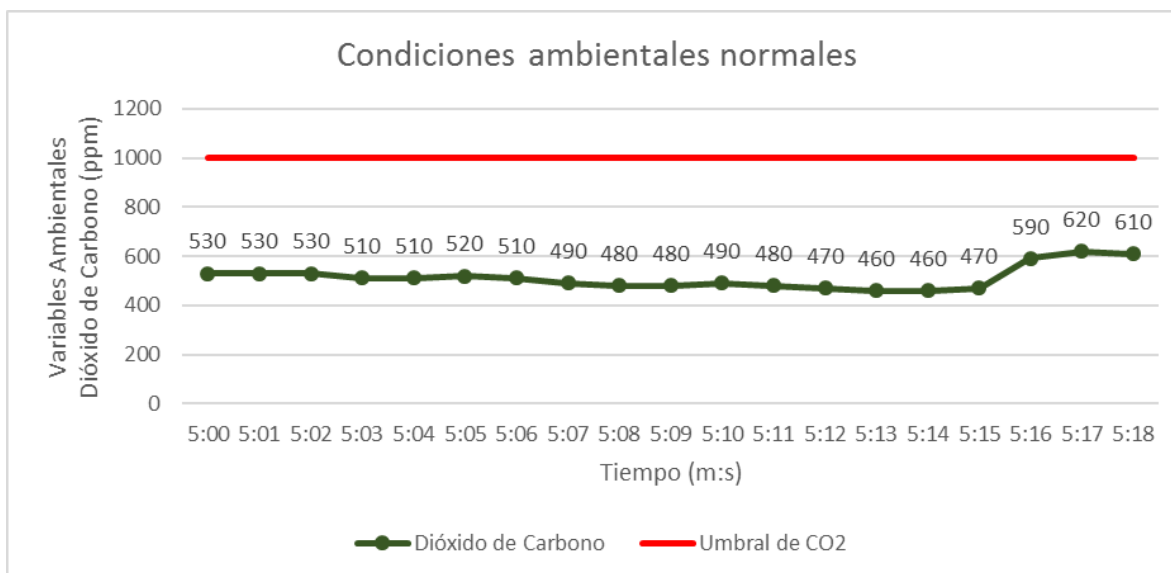
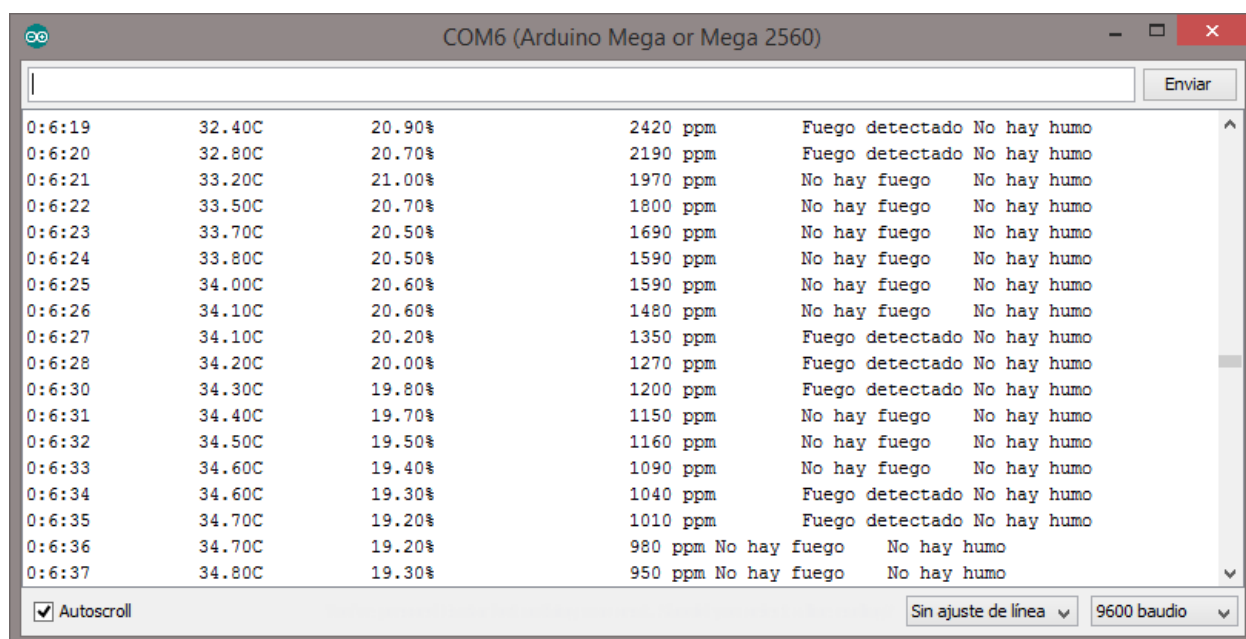


Ilustración 64 Dióxido de carbono en condiciones ambientales normales.

El incendio controlado de vegetación seca, húmeda y ramas de árboles, se inició en el minuto 6:19 provocando un leve incremento de 3.40°C en 18 segundos en la temperatura, un gran aumento en el CO2 del aire de 610ppm a 2420ppm (véase ilustración 66) y la alarma de “Fuego detectado” se activó, todo esto se observa en la ilustración 65. En la ilustración 67 se aprecia una imagen del incendio controlado que se inició dentro del espacio cerrado, con el prototipo del sistema multisensor en la esquina superior derecha.



Time	Temperature (°C)	Humidity (%)	CO2 (ppm)	Fire Status	Smoke Status
0:6:19	32.40C	20.90%	2420 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:6:20	32.80C	20.70%	2190 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:6:21	33.20C	21.00%	1970 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:6:22	33.50C	20.70%	1800 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:6:23	33.70C	20.50%	1690 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:6:24	33.80C	20.50%	1590 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:6:25	34.00C	20.60%	1590 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:6:26	34.10C	20.60%	1480 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:6:27	34.10C	20.20%	1350 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:6:28	34.20C	20.00%	1270 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:6:30	34.30C	19.80%	1200 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:6:31	34.40C	19.70%	1150 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:6:32	34.50C	19.50%	1160 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:6:33	34.60C	19.40%	1090 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:6:34	34.60C	19.30%	1040 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:6:35	34.70C	19.20%	1010 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:6:36	34.70C	19.20%	980 ppm	No hay fuego	No hay humo
0:6:37	34.80C	19.30%	950 ppm	No hay fuego	No hay humo

Ilustración 65 Inicio del incendio forestal.

Fuente: IDE de Arduino.

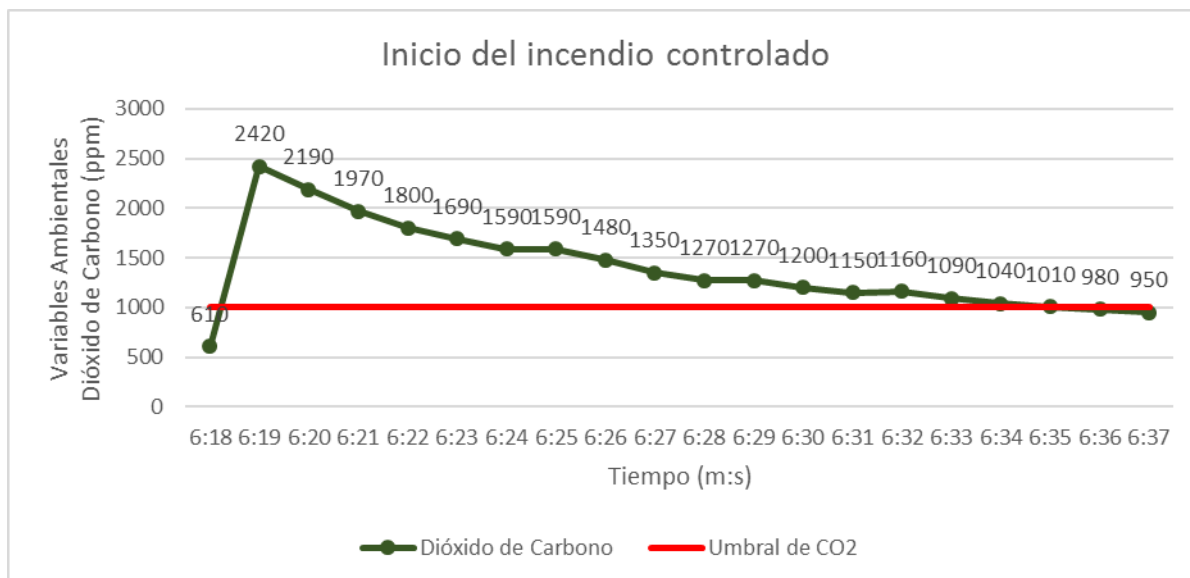


Ilustración 66 Variaciones en los valores de CO2 ante el inicio del incendio.



Ilustración 67 Incendio controlado dentro del espacio cerrado.

Debido a las condiciones del viento, el humo pudo ser detectado 57 segundos después de que se originó el incendio, y las alertas de “Humo detectado” y “No hay humo” varían gracias a las direcciones cambiantes del viento que acercan y alejan el humo del sensor MQ2 (véase ilustración 68 y 69).

COM6 (Arduino Mega or Mega 2560)

Enviar

0:7:16	32.90C	18.40%	4170 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:7:17	32.80C	18.20%	3230 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:7:18	32.70C	18.00%	3080 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:7:19	32.60C	17.90%	3440 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:7:20	32.50C	17.90%	4970 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:7:21	32.50C	18.00%	4610 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:7:22	32.50C	18.10%	3890 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:7:23	32.80C	18.00%	3540 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:7:24	33.00C	18.40%	2970 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:7:25	33.30C	18.20%	2680 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:7:26	33.40C	18.10%	3380 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:7:27	33.70C	20.20%	3270 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:7:28	34.00C	21.40%	3980 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:7:29	34.60C	25.30%	3270 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:7:30	35.20C	25.90%	3160 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:7:31	35.50C	25.70%	3490 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:7:32	35.90C	26.20%	4060 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:7:33	36.20C	30.70%	3420 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:7:34	36.50C	30.30%	3430 ppm	Fuego detectado	No hay humo

Autoscroll Sin ajuste de línea 9600 baudio

Ilustración 68 Detección de humo.
Fuente: IDE de Arduino.

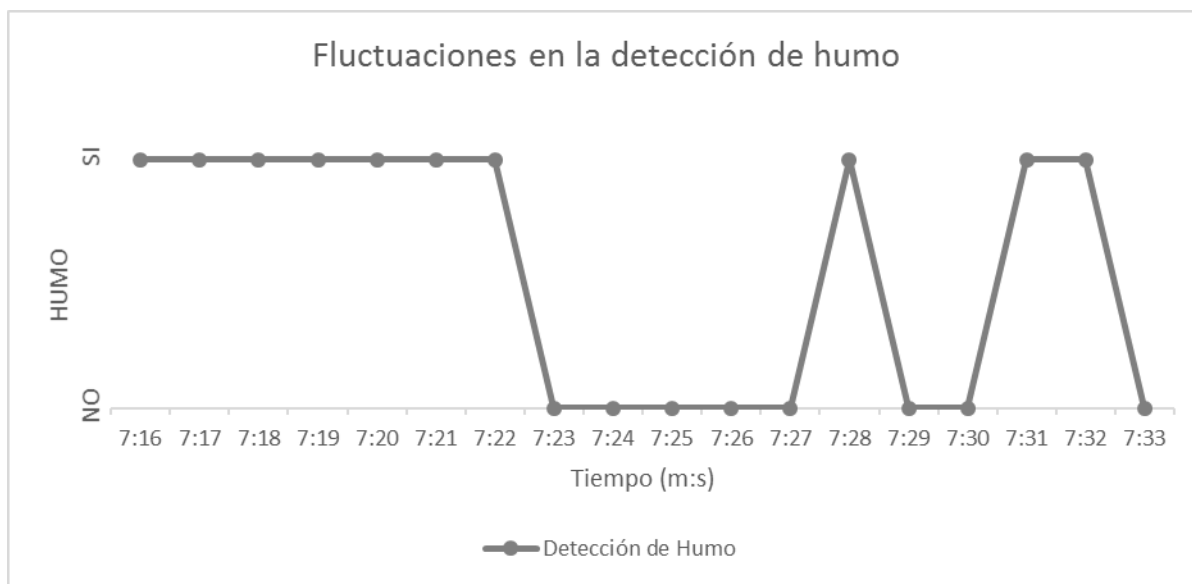


Ilustración 69 Fluctuaciones en la detección de humo.

En la ilustración 70 se muestra el pico de temperatura que se presentó en el desarrollo de la prueba, el cual es de 62.10°C y se produjo a los 8:03 minutos.

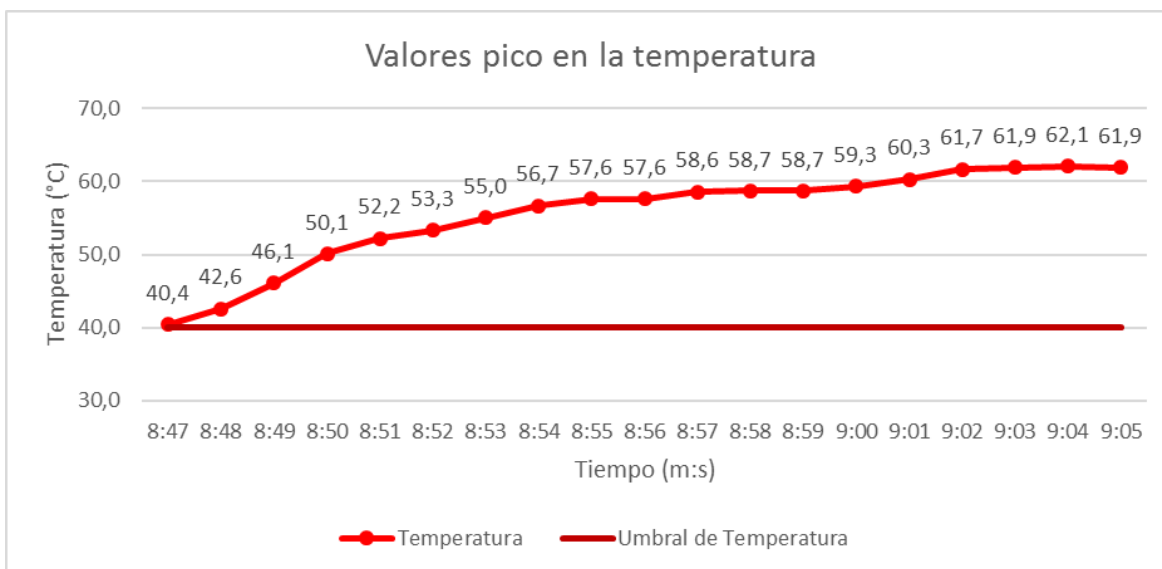


Ilustración 70 Valores pico en la Temperatura.

La humedad relativa del ambiente llegó a bajar hasta 7.10%, siendo este su valor más bajo a lo largo de toda la prueba, en la ilustración 71 se puede notar que esto sucedió a los 8:47 minutos.

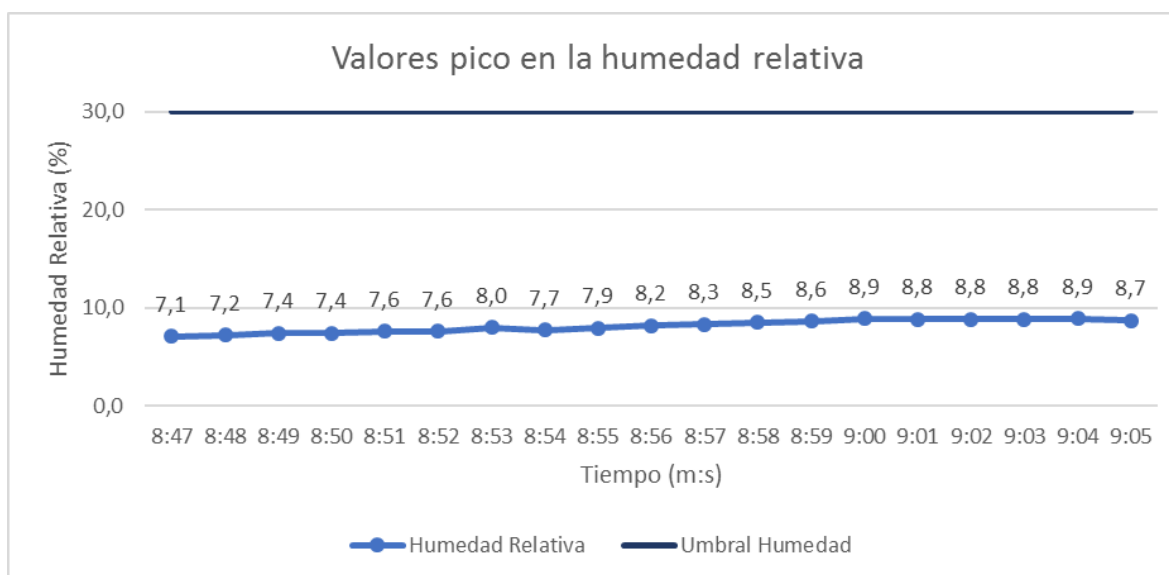


Ilustración 71 Valores más bajos en la humedad relativa.

Los valores de dióxido de carbono en el aire fueron muy inestables, debido a las ráfagas de viento que se presentaron en el desarrollo de la prueba, pero siempre estuvieron por encima del umbral establecido de 1000ppm, y llegaron a un pico de 4970ppm en el minuto 7:20 (véase ilustración 72). Este valor excesivo de partes por millón de CO₂ en el aire puede provocar asfixia en las personas que se acerquen a sofocar el fuego, ya sean bomberos, policías o voluntarios, con este sistema lo que se quiere, además de detectar rápidamente un incendio, es prevenir posibles daños en la salud de las personas que pretenden apagar los incendios forestales.

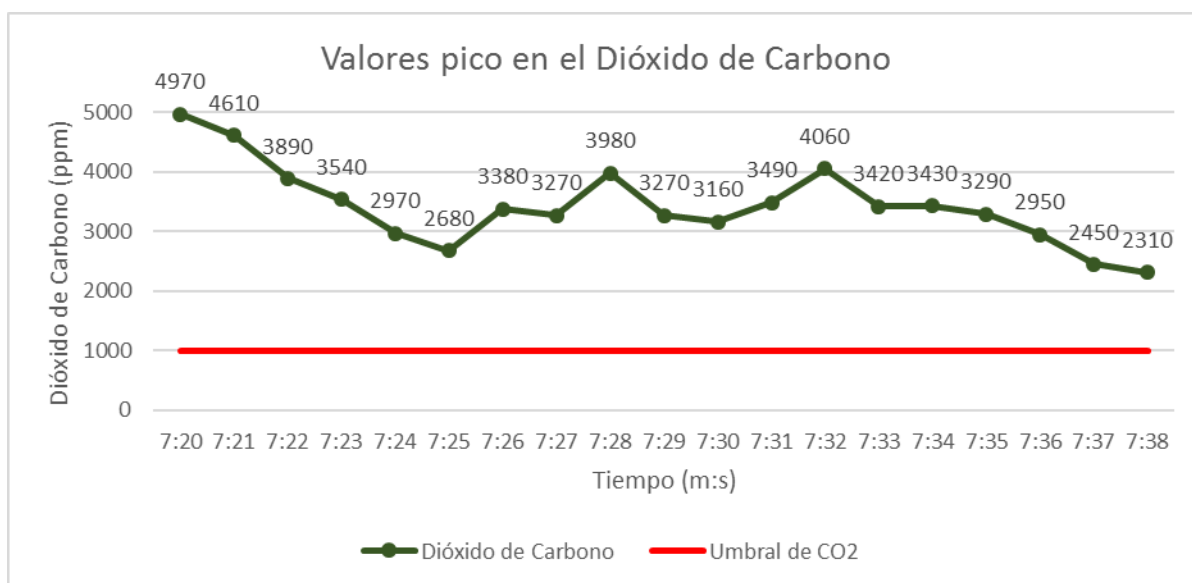


Ilustración 72 Valores pico del CO₂ en ppm.

En las ilustraciones 73 y 74 se pueden observar a todas las variables ambientales y no ambientales, fuera de sus valores promedio y proporcionando alertas, todo esto durante el desarrollo de un incendio controlado que tuvo una duración de 3:16 minutos. Con estos datos se puede desarrollar un plan de acción para detener lo antes posible el fuego, previniendo riesgos en la salud de las personas encargadas de hacerlo y en un tiempo que posibilite evitar grandes daños en las zonas boscosas.

Timestamp	Temperature (C)	Humidity (%)	CO2 (ppm)	Fuego	Humo
0:9:14	46.50C	10.30%	4450 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:9:15	46.50C	10.20%	4290 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:9:16	46.20C	10.20%	4230 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:9:17	45.80C	9.80%	4370 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:9:18	45.90C	10.00%	3590 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:9:19	45.80C	10.00%	3550 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:9:20	45.70C	9.90%	2840 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:9:22	45.30C	9.80%	2690 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:9:23	45.00C	9.70%	3300 ppm	Fuego detectado	No hay humo
0:9:24	45.00C	9.90%	3920 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:9:25	45.00C	10.10%	4120 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:9:26	45.00C	10.50%	3810 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:9:27	45.00C	10.70%	3790 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:9:28	45.00C	11.10%	4250 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:9:29	45.00C	12.10%	4880 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:9:30	45.60C	14.90%	3920 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:9:31	45.80C	13.80%	4210 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:9:32	46.40C	16.60%	4460 ppm	Fuego detectado	Humo detectado
0:9:33	48.60C	22.20%	3800 ppm	Fuego detectado	Humo detectado

Ilustración 73 Sensores alertando un incendio forestal.

Fuente: IDE de Arduino.



Ilustración 74 Prototipo del sistema multisensor alertando de un incendio.

Fuente: desarrollo del proyecto.

En el minuto 9:35 el fuego se extinguió, lo que puede comprobarse en la alerta de “No hay fuego” proporcionada por el sensor YG1006, el humo dejó de detectarse por parte del sensor MQ2

y los valores de temperatura, humedad relativa y dióxido de carbono empezaron a normalizarse paulatinamente, siendo las partes por millón de CO₂ en el aire las que más tardaron en llegar a sus valores promedio, 420 ppm luego de 1:21 minutos. Todo esto puede observarse en las ilustraciones 75, 76 y 77.

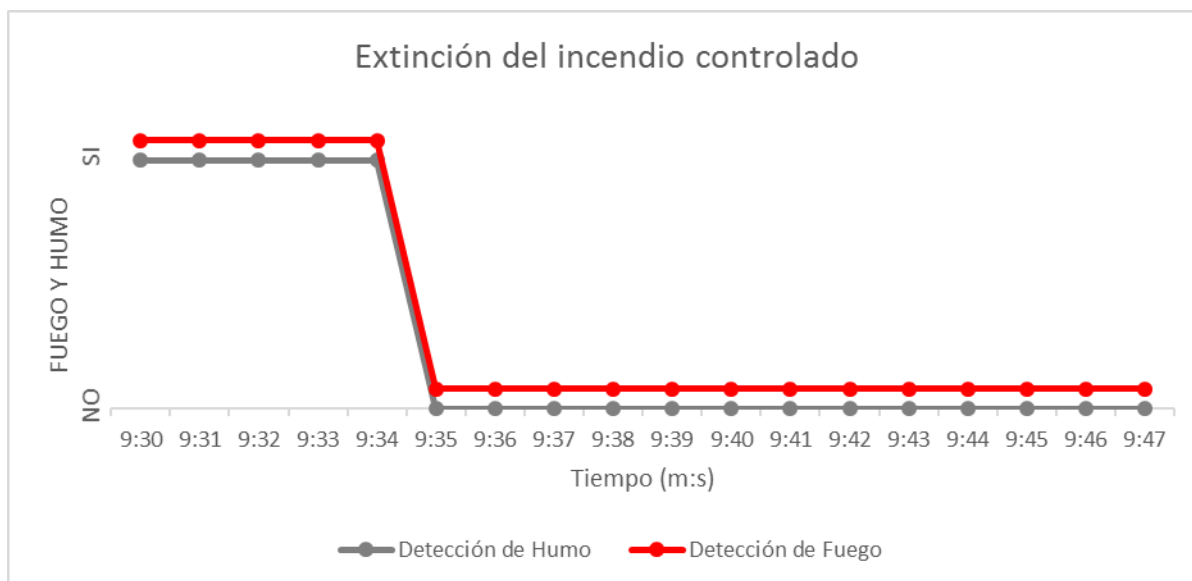


Ilustración 75 Extinción del incendio controlado.

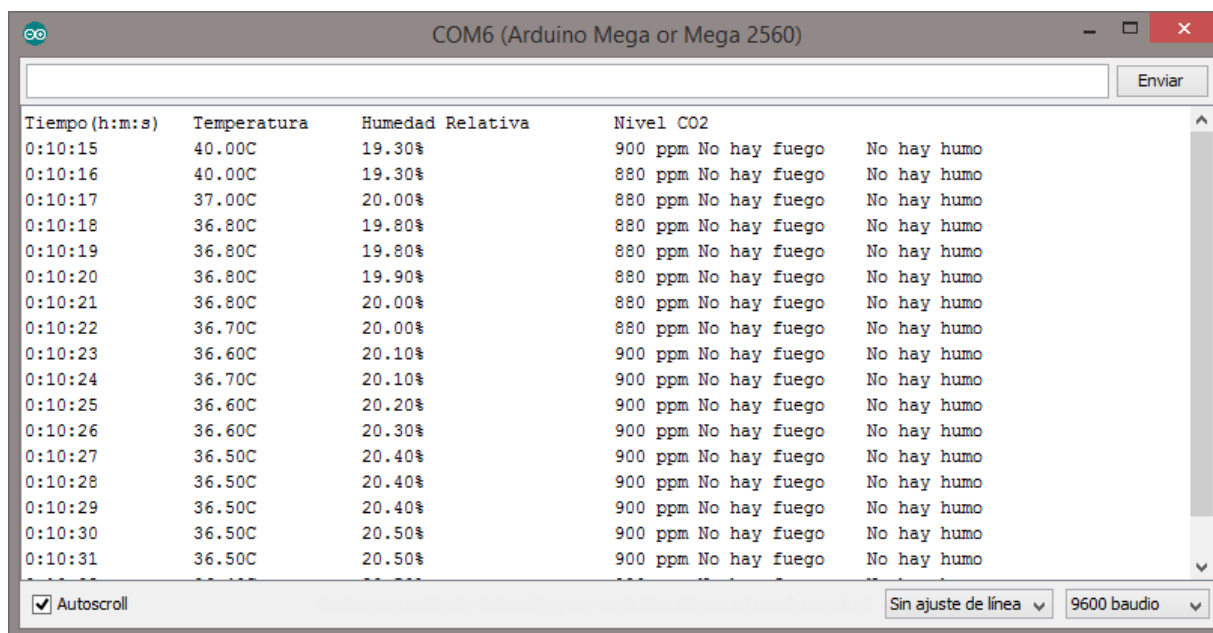


Ilustración 76 Valores de temperatura y humedad relativa normales.

Fuente: IDE de Arduino.

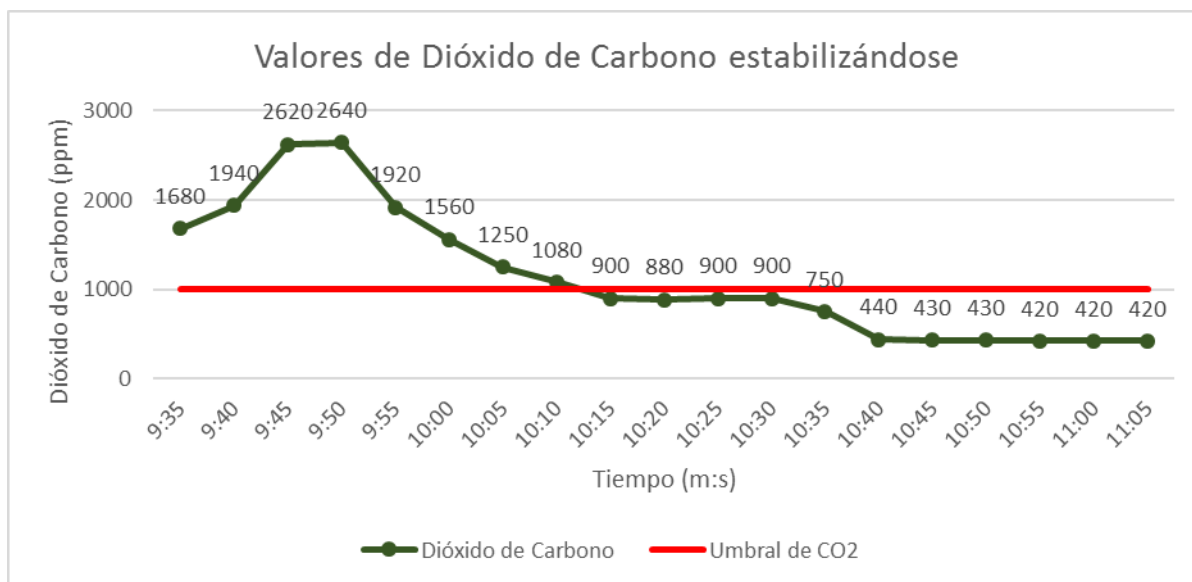


Ilustración 77 Valores de CO2 estabilizándose.

La realización del ensayo de laboratorio antes presentado, permite determinar que los sensores seleccionados en el benchmark son las mejores opciones para brindar alertas ante incendios forestales.

Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones.

5.1. Conclusiones.

Se realizó un benchmark de sensores eficaz, que posibilitó la selección de los dispositivos electrónicos óptimos capaces de contribuir en el desarrollo de un sistema de alerta temprana de incendios forestales.

La investigación bibliográfica realizada, acerca de las variables ambientales y no ambientales que se relacionan con un incendio forestal, dio como resultado que se debe monitorizar los siguientes factores: temperatura, humedad relativa, dióxido de carbono, radiación infrarroja y humo, todo esto basado en una metodología de tres puntos de aprobación planteada en el desarrollo del proyecto.

La ejecución del benchmark permitió seleccionar los sensores con las mejores prestaciones, basándose en las características de fiabilidad, estabilidad, tiempo de respuesta, precisión, disponibilidad y precio en el mercado, concluyendo con que el sensor de temperatura y humedad relativa DHT22, el sensor de dióxido de carbono MQ135, el sensor de radiación infrarroja YG1006 y el sensor de humo MQ2, son las mejores opciones en el caso de la implementación de un sistema de alerta de incendios forestales.

Las pruebas iniciales con los sistemas de detección individuales, permitieron obtener el alcance de los sensores y tiempos de respuesta tentativos ante posibles incendios forestales. La temperatura y humedad relativa sobrepasaron sus umbrales de riesgo a los 10 y 15 segundos respectivamente, todo esto detectado por el sensor DHT22. Los niveles de CO₂ monitoreados por

el sensor MQ135 alcanzaron valores riesgosos a los 30 segundos aproximadamente. El sensor MQ2 es capaz de detectar el humo de vegetación verde inmediatamente y el humo de vegetación seca a los 3 segundos, a una distancia de 10cm. En caso de que las llamas sean pequeñas el alcance máximo del sensor YG1006 es de 220cm, al aumentar el volumen de las llamas su alcance podría ser mayor.

El ensayo de laboratorio realizado en el capítulo 4 permitió comprobar que los sensores elegidos son los mejores para el caso de estudio, ya que se pudo obtener mediciones en tiempo real y alertas de incendio, tal y como se planteó al inicio del capítulo, pudiendo establecer que las pruebas de funcionamiento fueron un éxito.

5.2. Recomendaciones.

Para las investigaciones bibliográficas que se realicen, se debe tomar en cuenta sitios web oficiales, libros, artículos científicos e informes realizados por expertos en el tema, de tal manera que los resultados obtenidos sean comprobables, de confianza y minimicen los errores.

Todo trabajo debe seguir una o más metodologías que faciliten su ejecución, y en caso de que no haya metodologías relacionadas con el proyecto, se debe realizar una, tal es el caso de este proyecto de titulación.

La utilización de hardware y software libre es de ayuda en la realización de proyectos electrónicos, debido a su uso gratuito, sin límites de tiempo y sin restricciones, además de permitir la creación de nuevos sistemas basados en trabajos previamente realizados.

En el diseño de circuitos electrónicos que tengan varios subsistemas funcionando al mismo tiempo, se recomienda la utilización de un código de colores en las conexiones, de tal manera que los errores de conexión sean detectados con mayor facilidad, y se tenga una visualización más amigable con el usuario u operador del sistema.

Debido a que la placa Arduino Mega 2560 y los sensores serán ubicados a la intemperie, se recomienda la fabricación de un prototipo que proteja toda la circuitería, del ambiente hostil que pueda presentarse.

Al trabajar con dispositivos electrónicos sensibles y materiales inflamables, se recomienda la utilización de guantes y gafas industriales para una mejor manipulación de los elementos mencionados y como protección ante posibles quemaduras.

Referencias.

- Alloza, J. M. (2014). *Montaje de componentes y periféricos microinformáticos. IFCT0108*. Antequera: IC Editorial.
- AOSONG. (2013). *Aosong (Guangzhou) Electronics Co., Ltd.* Obtenido de <http://www.aosong.com/en/products/index.asp>
- Arduino. (2016). *Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- Banzi, M. (2011). *Getting Started with Arduino*. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc.
- Blanco, J., García, D., Castellnou, M., Molina, D., Grillo, F., & Pous, E. (2008). *Curso Básico de Incendios Forestales*. Lérida: Universitat de Lleida.
- Bomberos de Granollers. (Mayo de 2011). *Bombers de Granollers Visita d'escoles al parc*. Obtenido de http://bombersgranollers.org/documentacio/incendio_forestal/CIF01_texto&imagenes_CAST_Intro.pdf
- CCM Benchmark Group. (Junio de 2014). *CCM - Online Community*. Obtenido de <http://es.ccm.net/faq/9457-benchmark-definicion>
- Consejo de Federaciones de Bomberos de Argentina. (2006). *Consejo Nacional Bomberos Argentina*. Obtenido de http://scoutsanpatricio.com.ar/libros/bomberos_03.pdf

Diario La Hora. (21 de Enero de 2002). *LA HORA*. Obtenido de <http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1000049231/->

1/Guayabillas_es_bosque_protector_de_Ibarra.html#.Vz4oi_kX3IU

Erazo, J., & Hervás, C. (20 de Octubre de 2014). *Revista Científica Maskana*. Obtenido de <http://www.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/532>

freedomdefined.org. (10 de Agosto de 2015). *Definition of Free Cultural Works*. Obtenido de <http://freedomdefined.org/OSHW/translations/es>

Gobierno Nacional del Ecuador. (2013). *buenvivir.gob.ec*. Obtenido de [http://www.buenvivir.gob.ec/objetivo-7.-garantizar-los-derechos-de-la-naturaleza-y-](http://www.buenvivir.gob.ec/objetivo-7.-garantizar-los-derechos-de-la-naturaleza-y-promover-la-sostenibilidad-ambiental-territorial-y-global)

[promover-la-sostenibilidad-ambiental-territorial-y-global](http://www.buenvivir.gob.ec/objetivo-7.-garantizar-los-derechos-de-la-naturaleza-y-promover-la-sostenibilidad-ambiental-territorial-y-global)

González, J. (2014). *Tesis Electrónicas de la Universidad Austral de Chile*. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/bmfcig643m/doc/bmfcig643m.pdf>

IngenieríaElectrónica.Org. (8 de Agosto de 2015). *INGENIERIAELECTRONICA.ORG*. Obtenido de <http://ingenieriaelectronica.org/definicion-y-caracteristicas-de-led-diodo-emisor-de-luz/>

Martínez, R. F., Meré, J. O., de Pisón Ascacíbar, F. J., Marcos, A. G., & Elías, F. A. (2009). *Redes Inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica*. Publicaciones Universidad de la Rioja.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Argentina. (16 de Junio de 2016). *MAyDS Argentina*. Obtenido de <http://ambiente.gob.ar/servicio-nacional-de-manejo-del-fuego/incendios-forestales/>

OMS. (2004). *GUÍAS PARA LA CALIDAD DEL AIRE*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Real Academia Española. (Enero de 2017). *Diccionario de la lengua española / Real Academia Española*. Obtenido de <http://www.rae.es/ayuda/diccionario-de-la-lengua-espanola>

Rosas, O., Flores, J., Meléndez, M., & Cabrera, R. (2006). EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO BAJO DIFERENTES CONDICIONES AMBIENTALES EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA A PARTIR DE LA APLICACIÓN DE QUEMAS PRESCRITAS. *Scientia CUCBA*, 7.

Secretaría de Gestión de Riesgos. (2015). *Secretaría de Gestión de Riesgos / Ecuador*. Obtenido de <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/>

Glosario de Términos y Acrónimos.

AC-DC (Alternating Current-Direct Current). Regulación de la corriente alterna en corriente continua.

Adafruit. Es una empresa de hardware de código abierto fundada en 2005 y con base en la ciudad de Nueva York, Estados Unidos.

Antropogénico. Se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas.

Batería LiPo. Son un tipo de batería recargable que suelen utilizar los sistemas eléctricos de radiocontrol.

CO₂. Fórmula química del dióxido de carbono.

Datasheet (Hoja de especificaciones). Es un documento que resume el rendimiento y otras características técnicas de un producto.

Diodo. Válvula electrónica de dos electrodos que solo deja pasar la corriente en un sentido.

EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory). ROM programable y borrrable eléctricamente, es un tipo de memoria ROM que puede ser programada, borrada y reprogramada eléctricamente.

Electroimán. Imán artificial que consta de un núcleo de hierro dulce rodeado por una bobina por la que pasa una corriente eléctrica.

Electrolítica. Proceso utilizado para la descomposición mediante corriente eléctrica de sustancias ionizadas denominadas electrolitos.

Estabilidad. Propiedad de un cuerpo de mantenerse en equilibrio estable o de volver a dicho estado tras sufrir una perturbación.

Fiabilidad. Probabilidad de que un sistema, aparato o dispositivo cumpla una determinada función bajo ciertas condiciones durante un tiempo determinado.

Ficheros fuente. Es un conjunto de líneas de texto de un programa informático con los pasos que debe seguir la computadora para ejecutar dicho programa

Firmware. Es un programa informático que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo.

Fluctuación. Diferencia entre el valor instantáneo de una cantidad fluctuante y su valor normal.

ICSP (In-Circuit Serial Programming). Programación serial en circuito, es la habilidad de algunos dispositivos lógicos programables, microcontroladores y otros circuitos electrónicos, de ser programados mientras están instalados en un sistema completo.

JST (Japan Solderless Terminal). Es un conector eléctrico fabricado por J.S.T. Mfg Co. (terminal sin soldadura de Japón).

KB (Kilo Bytes). Unidad de almacenamiento de información.

Linino OS. Es un tipo de software libre que utilizan las placas Arduino de características avanzadas.

Linux. Tipo de Software libre y código abierto, su código fuente puede ser utilizado, modificado y redistribuido libremente por cualquiera bajo los términos de la GPL (Licencia Pública General de GNU,) y otra serie de licencias libres.

Memoria flash. Permite la lectura y escritura de múltiples posiciones de memoria en la misma operación.

NASA (National Aeronautics and Space Administration). Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, agencia estadounidense encargada del programa espacial civil.

NTC (Negative Temperature Coefficient). Coeficiente de temperatura negativo, es un tipo de termistor.

OMS. Siglas de la Organización Mundial de la Salud.

Open Source License. Es un tipo de licencia para software de computadora y otros productos que permite obtener el código fuente de manera gratuita.

OpenWrt. Es un firmware basado en una distribución de Linux empotrada en dispositivos tales como routers personales.

Plataforma embebida. Es un sistema de computación diseñado para realizar una o algunas funciones dedicadas en tiempo real.

PNBV. Siglas para Plan Nacional del Buen Vivir.

Polaridad. Propiedad que tienen los agentes físicos de acumularse en los polos de un cuerpo y de polarizarse.

Potenciómetro. Resistencia regulable en un circuito eléctrico.

PPM (Partes Por Millón). Es una unidad de medida con la que se mide la concentración de determinada sustancia.

Processing. Es un libro de sketch de software flexible y un lenguaje para aprender a codificar en el contexto de las artes visuales.

Prototipo. Ejemplar original o primer molde en que se fabrica una figura u otra cosa.

PWM (Pulse-Width Modulation). Modulación por ancho de pulsos.

RJ45. Es una interfaz física comúnmente utilizada para conectar redes de computadoras.

Sitio web. Conjunto de páginas web agrupadas bajo un mismo dominio de internet.

Sketch. Se denomina Sketch a una parte de código fuente listo para abrir con el entorno de desarrollo integrado de Arduino.

SRAM (Static Random Access Memory). Memoria estática de acceso aleatorio, basada en semiconductores, capaz de mantener los datos, mientras siga alimentada, sin necesidad de circuito de refresco.

Substrato. Molécula resultante de un fenómeno físico o químico.

Termistor. Dispositivo que disminuye su resistencia eléctrica cuando aumenta la temperatura.

Termopar. Dispositivo para medir temperaturas, mediante las fuerzas electromotrices originadas por el calor en las soldaduras de dos metales distintos.

UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter). Transmisor-Receptor Asíncrono Universal, es el dispositivo que controla los puertos y dispositivos serie.

USB (Universal Serial Bus). Es un bus estándar industrial que define los cables, conectores y protocolos usados en un bus para conectar, comunicar y proveer de alimentación eléctrica entre computadoras, periféricos y dispositivos electrónicos

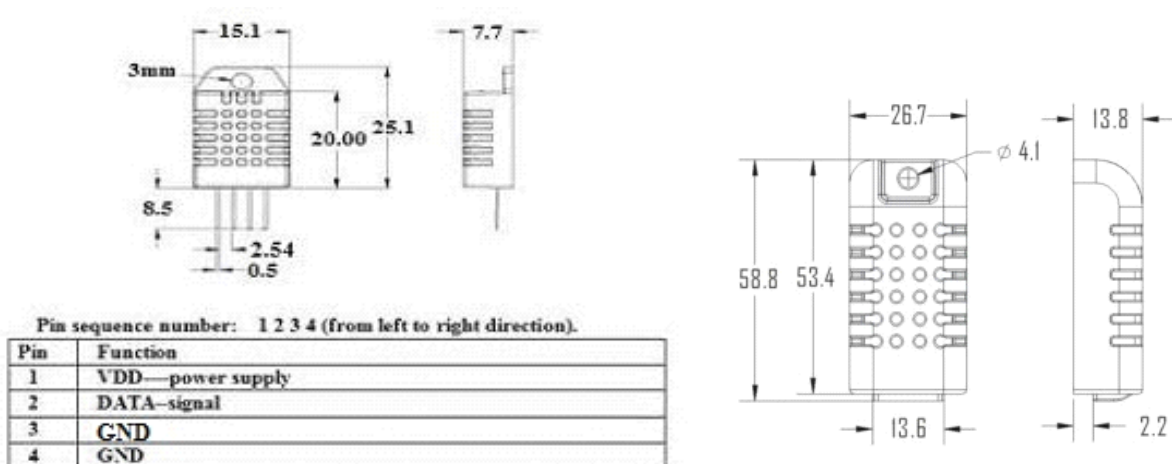
WSN (Wireless Sensor Network). Red de Sensores Inalámbricos, son sensores autónomos distribuidos espacialmente para monitorear condiciones físicas o ambientales tales como temperatura, sonido, presión, etc. y para pasar cooperativamente sus datos a través de la red a una ubicación principal.

Anexos.

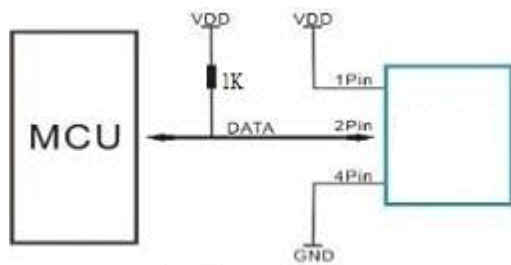
Anexo A. Hoja de Datos del Sensor DHT22 (AM2302).

AM2302 capacitive humidity sensing digital temperature and humidity module is one that contains the compound has been calibrated digital signal output of the temperature and humidity sensors. Application of a dedicated digital modules collection technology and the temperature and humidity sensing technology, to ensure that the product has high reliability and excellent long-term stability. The sensor includes a capacitive sensor wet components and a high-precision temperature measurement devices, and connected with a high-performance 8-bit microcontroller. The product has excellent quality, fast response, strong anti-jamming capability, and high cost. Each sensor is extremely accurate humidity calibration chamber calibration. The form of procedures, the calibration coefficients stored in the microcontroller, the sensor within the processing of the heartbeat to call these calibration coefficients. Standard single-bus interface, system integration quick and easy. Small size, low power consumption, signal transmission distance up to 20 meters, making it the best choice of all kinds of applications and even the most demanding applications. Products for the 3-lead (single-bus interface) connection convenience. Special packages according to user needs.

Dimensions: (unit---mm)



Electrical connection diagram:



Sensor performance

Relative humidity

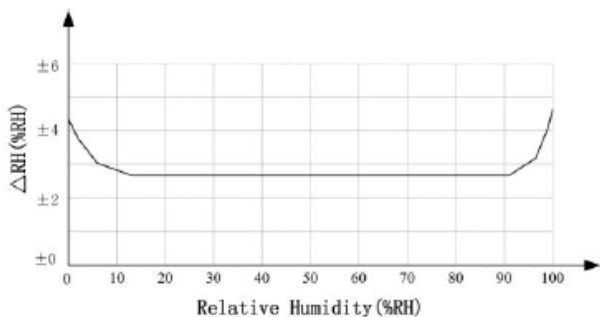
AM2302 Relative humidity performance table

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution			0.1		%RH
Range		0		99.9	%RH
Accuracy ^[1]	25°C		± 2		%RH
Repeatability			± 0.3		%RH
Exchange	Completely interchangeable				
Response ^[2]	1/e(63%)		<5		S
Sluggish			<0.3		%RH
Drift ^[3]	Typical		<0.5		%RH/yr

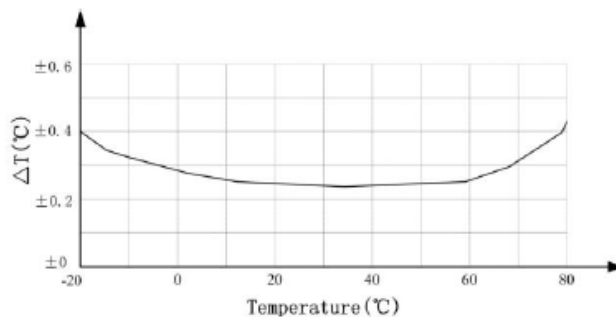
Temperature

AM2302 Relative temperature performance

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution			0.1		°C
			16		bit
Accuracy			± 0.5	± 1	°C
Range		-40		80	°C
Repeat			± 0.2		°C
Exchange	Completely interchangeable				
Response	1/e(63%)		<10		S
Drift			± 0.3		°C/yr



At 25°C The error of relative humidity

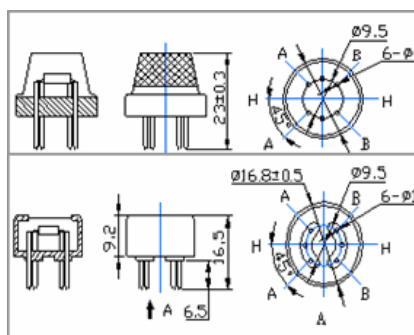


The maximum temperature error

Anexo B. Hoja de Datos del Sensor MQ135.

Sensitive material of MQ135 gas sensor is SnO_2 , which with lower conductivity in clean air. When the target combustible gas exist, The sensor's conductivity is more higher along with the gas concentration rising. Please use simple electrocircuit, Convert change of conductivity to correspond output signal of gas concentration. MQ135 gas sensor has high sensitivity to Ammonia, Sulfide and Benze steam, also sensitive to smoke and other harmful gases. It is with low cost and suitable for different application.

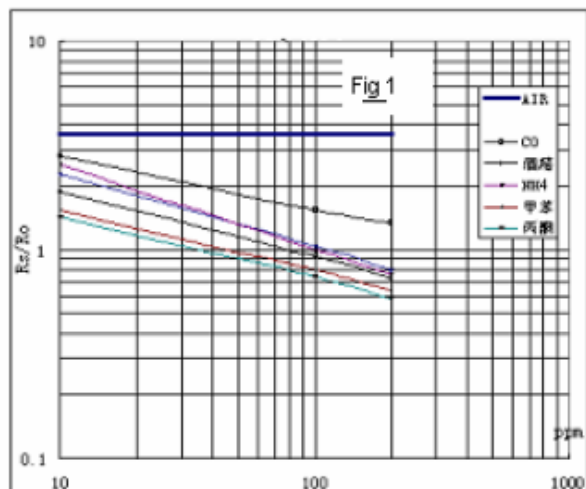
Configuration:



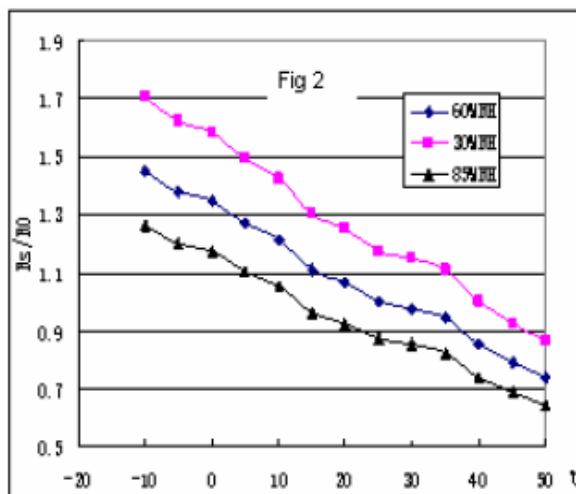
Technical Data:

Model No.		MQ135	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Bakelite (Black Bakelite)	
Detection Gas		Ammonia, Sulfide, Benze steam	
Concentration		10-10000ppm (Ammonia, Benze, Hydrogen)	
Circuit	Loop Voltage	V_o	$\leq 24V$ DC
	Heater Voltage	V_H	$5.0V \pm 0.2V$ AC or DC
	Load Resistance	R_L	Adjustable
Character	Heater Resistance	R_H	$31\Omega \pm 3\Omega$ (Room Tem.)
	Heater consumption	P_H	$\leq 900mW$
	Sensing Resistance	R_s	$2K\Omega - 20K\Omega$ (in 100ppm NH_3)
	Sensitivity	S	$R_s(\text{in air})/R_s(100\text{ppm } \text{NH}_3) \geq 5$
	Slope	α	$\leq 0.6 (R_{100\text{ppm}}/R_{50\text{ppm } \text{NH}_3})$
Condition	Tem. Humidity	$20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}; 65\% \pm 5\% \text{RH}$	
	Standard test circuit	$V_c: 5.0V \pm 0.1V;$ $V_H: 5.0V \pm 0.1V$	
	Preheat time	Over 48 hours	

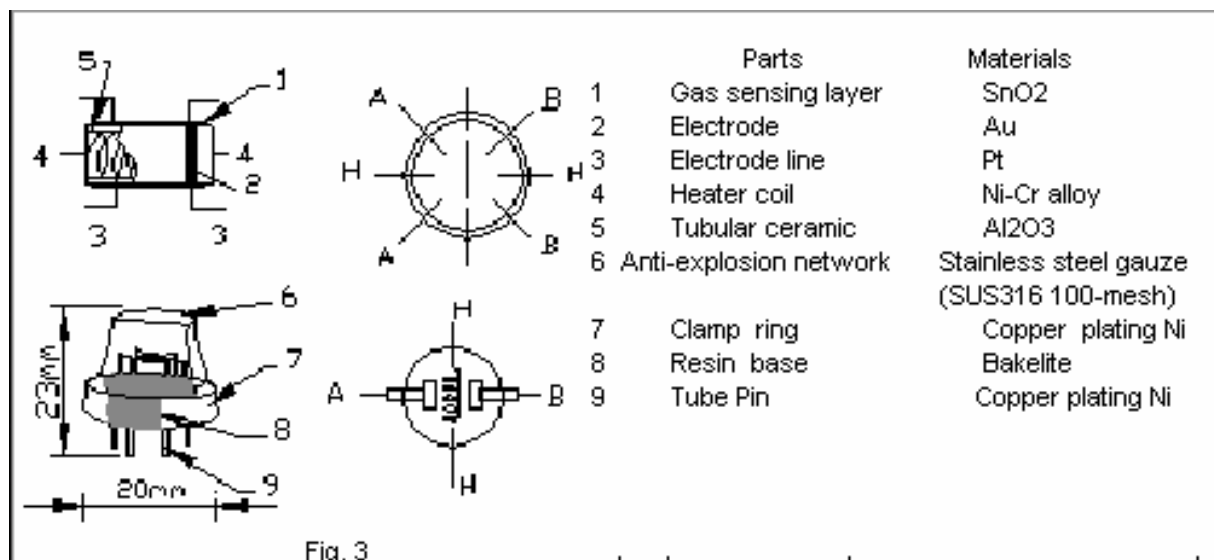
Sensitivity Characteristics



Influence of Temperature/Humidity



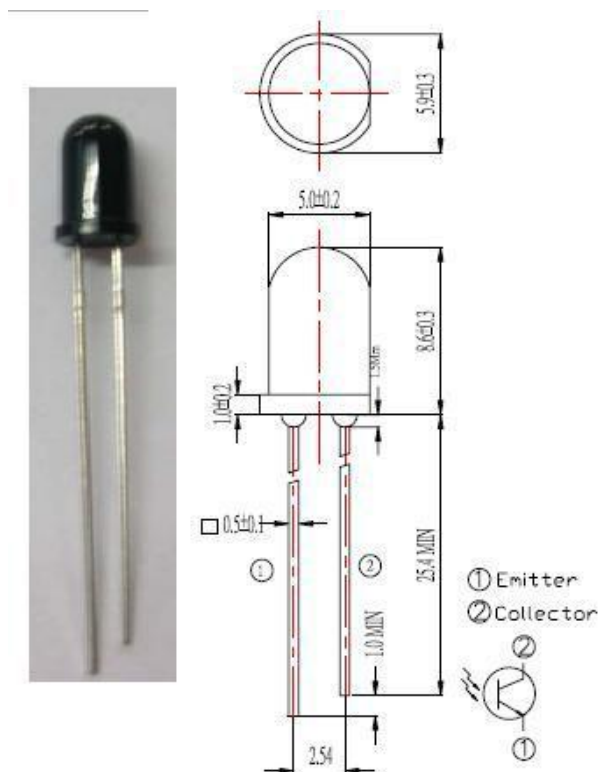
Structure and configuration:



Anexo C. Hoja de Datos del Sensor YG1006.

YG1006 is a high speed and high sensitive NPN silicon phototransistor in a standard 5mm package. Due to its black epoxy the device is sensitive to infrared radiation.

Package Dimensions



Parameter	Symbol	rating	units
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	30	V
Emitter-Collector-Voltage	V_{ECO}	5	V
Collector Current	I_c	20	mA
Operating Temperature	T_{opr}	-25~+85°C	°C
Storage Temperature	T_{stg}	-40+85°C	°C
Lead Soldering Temperature	T_{sol}	260	°C
Power Dissipation at (or below) 25°C FreeAir Temperature	P_c	75	mW

Electro-Optical Characteristics ($T_a=25^\circ\text{C}$)

Technical Data:

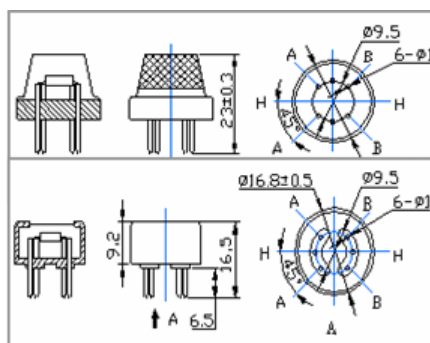
Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
Collector-Emitter Breakdown Voltage	BV_{CEO}	$I_c=100\mu A$ $E_e=0mW/C m^2$	30	---	---	V
Emitter-Collector Saturation Voltage	BV_{ECO}	$I_E=100\mu A$ $E_e=0mW/C m^2$	5	---	---	V
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_c=2mA$ $E_e=1mW/C m^2$	---	---	0.4	V
Rise Time	t_r	$V_{CE}=5V$ $I_c=1mA$ $R_L=1000\Omega$	---	15	---	μS
Fall Time	t_f		---	15	---	
Collector Dark Current	I_{CEO}	$E_e=0mW/C m^2$ $V_{CE}=20V$	---	---	100	nA
On State Collector Current	$I_c(on)$	$E_e=1mW/C m^2$ $V_{CE}=5V$	1.77	---	7.07	mA
Wavelength of Peak Sensitivity	λ_P	---	---	940	---	nm
Rang of Spectral Bandwidth	$\lambda_{0.5}$	---	---	760-1100	---	nm

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit	Test Condition
					$V_{CE}=5V$ $E_e=1mW/C m^2$
J	$I_c(on)$	1.77	3.61	mA	
K		2.67	5.07		
L		4.18	7.07		

Anexo D. Hoja de Datos del Sensor MQ2.

Sensitive material of MQ-2 gas sensor is SnO_2 , which with lower conductivity in clean air. When the target combustible gas exist, The sensor's conductivity is more higher along with the gas concentration rising. Please use simple electrocircuit, Convert change of conductivity to correspond output signal of gas concentration. MQ-2 gas sensor has high sensitivity to LPG, Propane and Hydrogen, also could be used to Methane and other combustible steam, it is with low cost and suitable for different application.

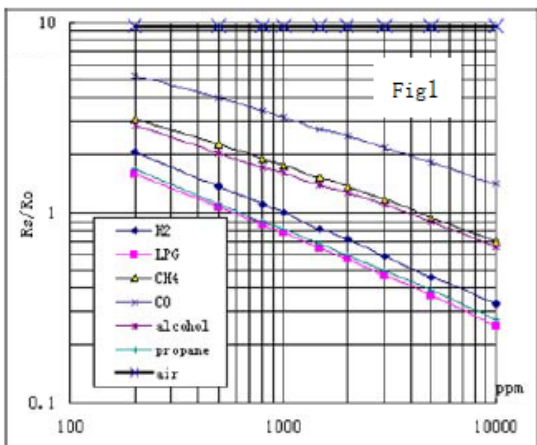
Configuration:



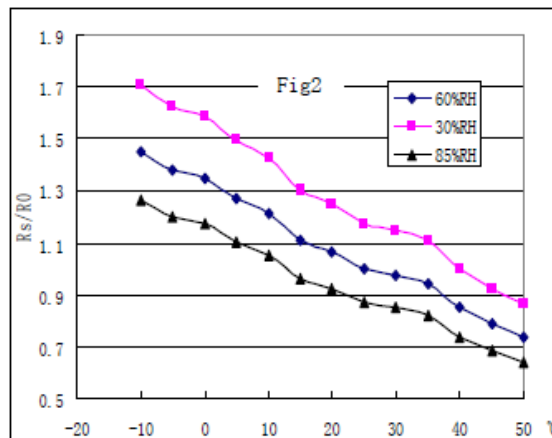
Technical Data:

Model No.		MQ-2	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Bakelite (Black Bakelite)	
Detection Gas		Combustible gas and smoke	
Concentration		300-10000ppm (Combustible gas)	
Circuit	Loop Voltage	V_c	$\leq 24V$ DC
	Heater Voltage	V_H	$5.0V \pm 0.2V$ AC or DC
	Load Resistance	R_L	Adjustable
Character	Heater Resistance	R_H	$31\Omega \pm 3\Omega$ (Room Tem.)
	Heater consumption	P_H	$\leq 900mW$
	Sensing Resistance	R_s	$2K\Omega - 20K\Omega$ (in 2000ppm C_2H_6)
	Sensitivity	S	$R_s(\text{in air})/R_s(1000ppm \text{ isobutane}) \geq 5$
	Slope	α	$\leq 0.6(R_{5000ppm}/R_{3000ppm} CH_4)$
Condition	Tem. Humidity	$20^\circ C \pm 2^\circ C$; $65\% \pm 5\% RH$	
	Standard test circuit	$V_c: 5.0V \pm 0.1V$; $V_H: 5.0V \pm 0.1V$	
	Preheat time	Over 48 hours	

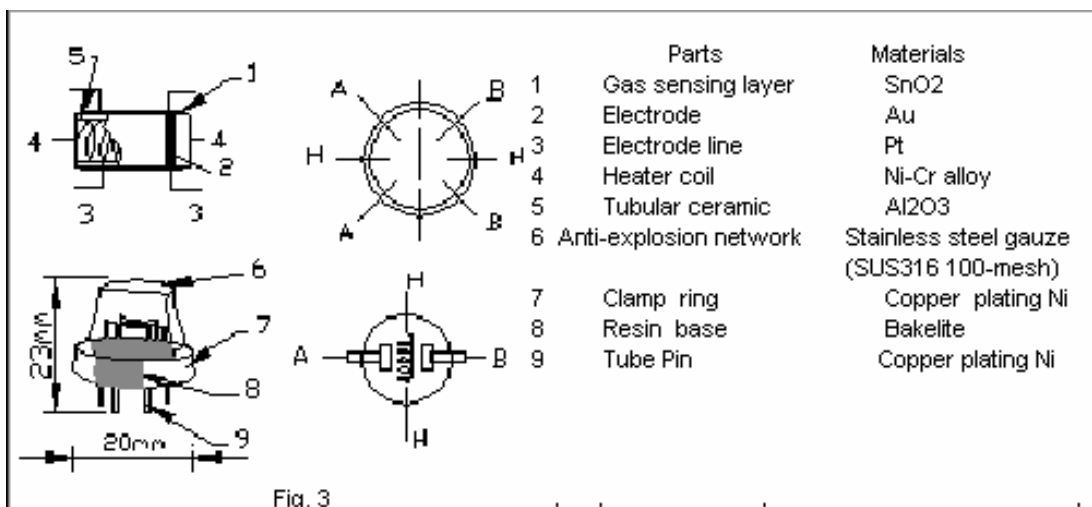
Sensitivity Characteristics



Influence of Temperature/Humidity



Structure and configuration



Anexo E. Código del Sistema de Detección Individual de Temperatura y Humedad Relativa.

```

1  #include <Time.h>           //Librería para el tiempo
2  #include <DHT.h>           //Librería de Los sensores DHT
3  #define DHTPIN 8           //Pin digital del sensor DHT22
4  #define DHTTYPE DHT22     //selección del sensor DHT22 dentro de La librería
5  DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);  //Asignación del Pin y el Sensor a una variable dht
6  //////////////////////////////////////////////////////////////////PINES DIGITALES ASIGNADOS A LOS LEDS DE ALERTA////////////////////////////////////
7  const int ledTemp = 7, ledHumed = 6;
8
9  void setup()
10 {
11   Serial.begin(9600);       //Inicialización del puerto serial a 9600 baudios
12   setTime(00,00,00,1,1,2017); //Seteo del reloj en 0 horas, 0 minutos, 0 segundos y en la fecha actual
13   //////////////////////////////////////////////////////////////////Imprime el encabezado de La tabla de monitoreo en el monitor serial////////////////////////////////////
14   Serial.print("Tiempo(h:m:s)\tTemperatura\tHumedad");
15   Serial.println();        //Imprime un salto de línea
16 //////////////////////////////////////////////////////////////////PINES DEFINIDOS COMO SALIDA////////////////////////////////////
17   pinMode(ledTemp, OUTPUT);
18   pinMode(ledHume, OUTPUT);
19 }
20
21 //////////////////////////////////////////////////////////////////MÉTODO PARA VISUALIZACIÓN DEL TIEMPO////////////////////////////////////
22 void Tiempo(){
23   time_t t = now();         //Creación de una variable que obtenga Los valores del reloj
24   Serial.print(hour(t));    //Imprime el valor de La hora
25   Serial.print(+ ":");     //Imprime una separación entre horas y minutos
26   Serial.print(minute(t)); //Imprime el valor de Los minutos
27   Serial.print(":");       //Imprime una separación entre minutos y segundos
28   Serial.print(second(t)); //Imprime el valor de Los segundos
29 }
30
31 //////////////////////////////////////////////////////////////////MÉTODO PARA MONITOREO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA////////////////////////////////////
32 void Temperatura(){
33   dht.begin();              //Inicializa La variable dht para que el sensor DHT22 empiece con el monitoreo
34   float Temperatura = dht.readTemperature(); //Asigna el valor de La temperatura del ambiente a La variable "Temperatura"
35   float Humedad = dht.readHumidity();        //Asigna el valor de La humedad relativa del ambiente a La variable "Humedad"
36   Serial.print("\t");                       //Imprime tabulaciones para ordenar La tabla del monitor serial
37   Serial.print(Temperatura);                 //Imprime el valor de La temperatura
38   Serial.print("C");                         //Imprime La letra "C", sigla de Centígrados
39   Serial.print("\t\t");                     //Imprime tabulaciones para ordenar La tabla del monitor serial
40   Serial.print(Humedad);                    //Imprime el valor de La humedad relativa
41   Serial.print("%");                        //Imprime el símbolo de porcentaje
42   if(Temperatura > 40)                       //Condición para Lanzar La alerta de temperatura alta, mayor a 40°C
43     digitalWrite(ledTemp, HIGH);            //Encendido del led de alerta rojo
44   else                                       //Contradicción a La condición antes planteada
45     digitalWrite(ledTemp, LOW);             //Apagado del led de alerta rojo
46   if(Humedad < 30)                           //Condición para Lanzar La alerta de humedad baja, menor a 30%
47     digitalWrite(ledHumed, HIGH);          //Encendido del led de alerta azul
48   else                                       //Contradicción a La condición antes planteada
49     digitalWrite(ledHumed, LOW);           //Apagado del led de alerta azul
50 }
51
52 void loop()
53 {
54   Tiempo();                                  //Se llama al método de visualización del tiempo
55   Temperatura();                             //Se llama al método de monitoreo de La temperatura y humedad relativa
56   delay(2000);                               //Intervalo de tiempo de 2 segundos
57 }

```

Anexo F. Código del Sistema de Detección Individual de Dióxido de Carbono.

```

1  #include <Time.h>           //Librería para el tiempo
2  float CO2Sensor = 0;      //Entrada analógica del sensor MQ135
3  const int ledCO2=5;      //Pin asignado para el Led de alerta
4
5  void setup()
6  {
7      Serial.begin(9600);    //Inicialización del puerto serial a 9600 baudios
8      setTime(00,00,00,1,1,2017); //Seteo del reloj en 0 horas, 0 minutos, 0 segundos y en la fecha actual
9      //Imprime el encabezado de la tabla de monitoreo en el monitor serial/////
10     Serial.println("Tiempo(h:m:s)\tNivel CO2");
11     pinMode(ledCO2,OUTPUT); //Pin definido como salida
12 }
13
14 //////////////////////////////////////////////////MÉTODO PARA VISUALIZACIÓN DEL TIEMPO////////////////////////////////////
15 void Tiempo(){
16     time_t t = now();      //Creación de una variable que obtenga los valores del reloj
17     Serial.print(hour(t)); //Imprime el valor de la hora
18     Serial.print(" :");   //Imprime una separación entre horas y minutos
19     Serial.print(minute(t)); //Imprime el valor de los minutos
20     Serial.print(":");    //Imprime una separación entre minutos y segundos
21     Serial.print(second(t)); //Imprime el valor de los segundos
22 }
23
24 //////////////////////////////////////////////////MÉTODO PARA MONITOREO DE DIÓXIDO DE CARBONO////////////////////////////////////
25 void Carbono(){
26     CO2Sensor = analogRead(0); //Lectura de la entrada analógica del sensor MQ135
27     int CO2 = CO2Sensor*10;     //Asigna el valor del dióxido de carbono en el aire a la variable CO2
28     Serial.print("\t\t\t");   //Imprime tabulaciones para ordenar la tabla del monitor serial
29     Serial.print(CO2, DEC);    //Imprime el valor del CO2 en numeración decimal
30     Serial.print(" ppm");     //Imprime la abreviatura de partes por millón "ppm"
31     if(CO2 >= 1000)          //Condición para lanzar la alerta de niveles de CO2 altos, mayor a 1000ppm
32         digitalWrite(ledCO2,HIGH); //Encendido del led de alerta verde
33     else                      //Contradicción a la condición antes planteada
34         digitalWrite(ledCO2,LOW); //Apagado del led de alerta verde
35 }
36
37 void loop()
38 {
39     Tiempo();                 //Se llama al método de visualización del tiempo
40     Carbono();                //Se llama al método de monitoreo de niveles de CO2 en el aire
41     delay(10000);            //Intervalo de tiempo de 10 segundos
42 }

```

Anexo G. Código del Sistema de Detección Individual de Radiación Infrarroja.

```

1 #include <Time.h> //Librería para el tiempo
2 int FlamaSensor = 9; //Entrada digital del sensor YG1006
3 const int buzzer = 4; //Pin asignado para el buzzer de alerta
4
5 void setup()
6 {
7     Serial.begin(9600); //Inicialización del puerto serial a 9600 baudios
8     setTime(00,00,00,1,1,2017); //Seteo del reloj en 0 horas, 0 minutos, 0 segundos y en la fecha actual
9     //Imprime el encabezado de la tabla de monitoreo en el monitor serial
10    Serial.println("Tiempo(h:m:s)");
11    pinMode(FlamaSensor, INPUT); //Pin definido como entrada
12    pinMode(buzzer, OUTPUT); //Pin definido como salida
13 }
14
15 //MÉTODO PARA VISUALIZACIÓN DEL TIEMPO
16 void Tiempo(){
17     time_t t = now(); //Creación de una variable que obtenga los valores del reloj
18     Serial.print(hour(t)); //Imprime el valor de la hora
19     Serial.print(":"); //Imprime una separación entre horas y minutos
20     Serial.print(minute(t)); //Imprime el valor de los minutos
21     Serial.print(":"); //Imprime una separación entre minutos y segundos
22     Serial.print(second(t)); //Imprime el valor de los segundos
23 }
24
25 //MÉTODO PARA DETECCIÓN DE LLAMAS
26 void Fuego(){
27     FlamaSensor = digitalRead(9); //Lectura de la entrada digital del sensor YG1006
28     float flama = FlamaSensor; //Asigna el valor para la detección de llamas a la variable flama
29     if(flama == 1){ //Condición para la detección de llamas (1 = sin llamas, 0 = presencia de llamas)
30         Serial.print("\tNo hay fuego"); //Imprime un mensaje informativo
31         digitalWrite(buzzer, LOW); //Apagado del zumbador de alerta
32         delay(250); //Intervalo de tiempo de 250 milisegundos
33     }
34     else{ //Contradicción a la condición antes planteada
35         digitalWrite(buzzer, HIGH); //Encendido del zumbador de alerta
36         delay(250); //Intervalo de tiempo de 250 milisegundos para efecto intermitente del sensor
37         digitalWrite(buzzer, LOW); //Apagado del zumbador de alerta
38         Serial.print("\tFuego detectado"); //Imprime un mensaje de alerta
39     }
40 }
41
42 void loop()
43 {
44     Tiempo(); //Se llama al método de visualización del tiempo
45     Fuego(); //Se llama al método de detección de llamas
46     delay(250); //Intervalo de tiempo de 250 milisegundos
47 }

```

Anexo H. Código del Sistema de Detección Individual de Humo.

```

1 #include <Time.h> //Librería para el tiempo
2 float HumoSensor = 1; //Entrada analógica del sensor MQ2
3 const int ledHumo = 4; //Pin asignado para el led de alerta
4 void setup()
5 {
6     Serial.begin(9600); //Inicialización del puerto serial a 9600 baudios
7     setTime(00,00,00,1,1,2017); //Seteo del reloj en 0 horas, 0 minutos, 0 segundos y en la fecha actual
8     //Imprime el encabezado de la tabla de monitoreo en el monitor serial/////
9     Serial.println("Tiempo(h:m:s)");
10    pinMode(ledHumo, OUTPUT); //Pin definido como salida
11    pinMode(HumoSensor, INPUT); //Pin definido como entrada
12 }
13
14 //MÉTODO PARA VISUALIZACIÓN DEL TIEMPO/////
15 void Tiempo(){
16     time_t t = now(); //Creación de una variable que obtenga los valores del reloj
17     Serial.print(hour(t)); //Imprime el valor de la hora
18     Serial.print(" "); //Imprime una separación entre horas y minutos
19     Serial.print(minute(t)); //Imprime el valor de los minutos
20     Serial.print(":"); //Imprime una separación entre minutos y segundos
21     Serial.print(second(t)); //Imprime el valor de los segundos
22 }
23
24 //MÉTODO PARA DETECCIÓN DE HUMO/////
25 void Humo(){
26     HumoSensor = analogRead(1); //Lectura de la entrada analógica del sensor MQ2
27     float humo = HumoSensor; //Asigna el valor del humo presente en el ambiente a la variable humo
28     if (humo < 400){ //Condición para la detección de humo en el ambiente (menor a 400ppm no hay humo)
29         Serial.println("\tNo hay humo"); //Imprime un mensaje informativo
30         digitalWrite(ledHumo, LOW); //Apagado del led de alerta naranja
31     }
32     else{ //Contradicción a la condición antes planteada
33         digitalWrite(ledHumo, HIGH); //Encendido del led de alerta naranja
34         Serial.println("\tHumo detectado");//Imprime un mensaje de alerta
35     }
36 }
37
38 void loop()
39 {
40     Tiempo(); //Se llama al método de visualización del tiempo
41     Humo(); //Se llama al método de detección de humo
42     delay(1000); //Intervalo de tiempo de 1 segundo
43 }

```


Anexo I. Código del Sistema de Detección Multisensor.

Código Sistema multisensor.ino

```

1  #include <Time.h>           //Librería para el tiempo
2  #include <DHT.h>           //Librería de los sensores DHT
3  #define DHTPIN 10          //Pin digital del sensor DHT22
4  #define DHTTYPE DHT22     //Selección del sensor DHT22 dentro de la librería
5  DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); //Asignación del pin y el sensor a una variable dht
6  float CO2Sensor = 0;      //Entrada analógica del sensor MQ135
7  int FlamaSensor = 9;      //Entrada digital del sensor YG1006
8  float HumoSensor = 1;     //Entrada analógica del sensor MQ2
9  char info;                //Variable para controlar el encendido y apagado del sistema
10 int on = 0;               //Variable para controlar el encendido y apagado del sistema
11 //////////////////////////////////////////////////PINES DIGITALES ASIGNADOS A LOS LEDS DE ALERTA////////////////////////////////////
12 const int ledTemp = 7, ledHumed = 6, ledCO2 = 5, buzzer = 4, ledHumo = 3;
13
14 void setup()
15 {
16   Serial.begin(9600);       //Iniciación del puerto serial a 9600 baudios
17   setTime(00,00,00,1,1,2017); //Seteo del reloj en 0 horas, 0 minutos, 0 segundos y en la fecha actual
18   //Imprime el encabezado de la tabla de monitoreo en el monitor serial/////
19   Serial.println("Tiempo(h:m:s)\tTemperatura\tHumedad Relativa\tNivel CO2");
20   //////////////////////////////////////////////////PINES DEFINIDOS COMO ENTRADA////////////////////////////////////
21   pinMode(CO2Sensor, INPUT);
22   pinMode(FlamaSensor, INPUT);
23   pinMode(HumoSensor, INPUT);
24   //////////////////////////////////////////////////PINES DEFINIDOS COMO SALIDA////////////////////////////////////
25   pinMode(ledTemp, OUTPUT);
26   pinMode(ledHumed, OUTPUT);
27   pinMode(ledCO2, OUTPUT);
28   pinMode(buzzer, OUTPUT);
29   pinMode(ledHumo, OUTPUT);
30   pinMode(8, OUTPUT);       //Led de notificación de encendido y apagado
31 }
32
33 //////////////////////////////////////////////////MÉTODO PARA VISUALIZACIÓN DEL TIEMPO////////////////////////////////////
34 void Tiempo(){
35   time_t t = now();         //Creación de una variable que obtenga los valores del reloj
36   Serial.print(hour(t));    //Imprime el valor de la hora
37   Serial.print(" :");      //Imprime una separación entre horas y minutos
38   Serial.print(minute(t));  //Imprime el valor de los minutos
39   Serial.print(" :");      //Imprime una separación entre minutos y segundos
40   Serial.print(second(t));  //Imprime el valor de los segundos
41 }
42
43 //////////////////////////////////////////////////MÉTODO PARA MONITOREO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA////////////////////////////////////
44 void Temperatura(){
45   dht.begin();              //Inicializa la variable dht para que el sensor DHT22 empiece con el monitoreo
46   float Temperatura = dht.readTemperature(); //Asigna el valor de la temperatura del ambiente a la variable "Temperatura"
47   float Humedad = dht.readHumidity();        //Asigna el valor de la humedad relativa del ambiente a la variable "Humedad"
48   Serial.print("\t\t"); //Imprime tabulaciones para ordenar la tabla del monitor serial
49   Serial.print(Temperatura); //Imprime el valor de la temperatura
50   Serial.print("C");        //Imprime la letra "C", sigla de Centígrados
51   Serial.print("\t\t");     //Imprime tabulaciones para ordenar la tabla del monitor serial
52   Serial.print(Humedad);    //Imprime el valor de la humedad relativa
53   Serial.print("%");        //Imprime el símbolo de porcentaje
54   if(Temperatura > 40)      //Condición para lanzar la alerta de temperatura alta, mayor a 40°C
55     digitalWrite(ledTemp, HIGH); //Encendido del led de alerta rojo
56   else                      //Contradicción a la condición antes planteada
57     digitalWrite(ledTemp, LOW);  //Apagado del led de alerta rojo
58   if(Humedad < 30)         //Condición para lanzar la alerta de humedad baja, menor a 30%
59     digitalWrite(ledHumed, HIGH); //Encendido del led de alerta azul
60   else                      //Contradicción a la condición antes planteada
61     digitalWrite(ledHumed, LOW);  //Apagado del led de alerta azul
62 }
63
64 //////////////////////////////////////////////////MÉTODO PARA MONITOREO DE DIÓXIDO DE CARBONO////////////////////////////////////
65 void Carbono(){
66   CO2Sensor = analogRead(0); //Lectura de la entrada analógica del sensor MQ135
67   int CO2 = CO2Sensor*10;     //Asigna el valor del dióxido de carbono en el aire a la variable CO2
68   Serial.print("\t\t\t"); //Imprime tabulaciones para ordenar la tabla del monitor serial
69   Serial.print(CO2, DEC);     //Imprime el valor del CO2 en numeración decimal
70   Serial.print(" ppm");      //Imprime la abreviatura de partes por millón "ppm"
71   if(CO2 >= 1000)           //Condición para lanzar la alerta de niveles de CO2 altos, mayor a 1000ppm
72     digitalWrite(ledCO2, HIGH); //Encendido del led de alerta verde
73   else                      //Contradicción a la condición antes planteada
74     digitalWrite(ledCO2, LOW);  //Apagado del led de alerta verde
75 }

```

```

76
77 //////////////////////////////////////////////////MÉTODO PARA DETECCIÓN DE LLAMAS//////////////////////////////////////
78 void Fuego(){
79   FlamaSensor = digitalRead(9);           //Lectura de La entrada digital del sensor YG1006
80   float flama = FlamaSensor;             //Asigna el valor para La detección de Llamas a La variable flama
81   if(flama == 1){                         //Condición para La detección de Llamas (1 = sin Llamas, 0 = presencia de Llamas)
82     Serial.print("\tNo hay fuego");       //Imprime un mensaje informativo
83     digitalWrite(buzzer, LOW);           //Apagado del zumbador de alerta
84     delay(250);                           //Intervalo de tiempo de 250 milisegundos
85   }
86   else{                                    //Contradicción a La condición antes planteada
87     digitalWrite(buzzer, HIGH);          //Encendido del zumbador de alerta
88     delay(250);                           //Intervalo de tiempo de 250 milisegundos para efecto intermitente del sensor
89     digitalWrite(buzzer, LOW);           //Apagado del zumbador de alerta
90     Serial.print("\tFuego detectado");   //Imprime un mensaje de alerta
91   }
92 }
93
94 //////////////////////////////////////////////////MÉTODO PARA DETECCIÓN DE HUMO//////////////////////////////////////
95 void Humo(){
96   HumoSensor = analogRead(1);           //Lectura de La entrada analógica del sensor MQ2
97   float humo = HumoSensor;              //Asigna el valor del humo presente en el ambiente a La variable humo
98   if (humo < 400){                        //Condición para La detección de humo en el ambiente (menor a 400ppm no hay humo)
99     Serial.println("\tNo hay humo");     //Imprime un mensaje informativo
100    digitalWrite(ledHumo, LOW);          //Apagado del Led de alerta naranja
101  }
102  else{                                    //Contradicción a La condición antes planteada
103    digitalWrite(ledHumo, HIGH);         //Encendido del led de alerta naranja
104    Serial.println("\tHumo detectado");   //Imprime un mensaje de alerta
105  }
106 }
107
108 void loop()
109 {
110   if(Serial.available()>0){              //Habilitar La comunicación serial para Leer datos
111     info=Serial.read();                  //Asigna los datos seriales leídos a La variable "info"
112     if(info=='E')                        //Condición para el encendido del sistema, recibir La Letra "E"
113       on=1;                               //Variable "on" procede a encender el sistema
114     if(info=='A')                        //Condición para el apagado del sistema, recibir La Letra "A"
115       on=0;                               //Variable "on" procede a apagar el sistema
116   }
117   if(on==1){
118     digitalWrite(8, HIGH);               //Encendido del led de notificación (color blanco)
119     Tiempo();                             //Se llama al método de visualización del tiempo
120     Temperatura();                       //Se llama al método de monitoreo de La temperatura y humedad relativa
121     Carbono();                           //Se llama al método de monitoreo de niveles de CO2 en el aire
122     Fuego();                             //Se llama al método de detección de Llamas
123     Humo();                              //Se llama al método de detección de humo
124     delay(250);                          //Intervalo de tiempo de 250 milisegundos
125   }
126   if(on==0){
127     setTime(00,00,00,1,1,2017);          //Reseteo del reloj
128     digitalWrite(8, LOW);                 //Apagado del led de notificación (color blanco)
129     digitalWrite(ledTemp, LOW);          //Apagado del led de alerta rojo
130     digitalWrite(ledHumed, LOW);         //Apagado del led de alerta azul
131     digitalWrite(ledCO2, LOW);           //Apagado del led de alerta verde
132     digitalWrite(buzzer, LOW);           //Apagado del zumbador de alerta
133     digitalWrite(ledHumo, LOW);          //Apagado del led de alerta naranja
134   }
135 }

```