

**DISEÑO DE SISTEMA DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE AIRE EN ESPACIO CON
FUENTES FIJAS**

**JUAN CARLOS BOTERO BUSTAMANTE
ARCESIO BUSTAMANTE SÁNCHEZ
LUIS ALBEIRO CASTRILLON MADRID**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA EN SISTEMAS ELECTROMECAÓNICOS
MEDELLÍN**

2022

**DISEÑO DE SISTEMA DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE AIRE EN ESPACIO CON
FUENTES FIJAS**

**JUAN CARLOS BOTERO BUSTAMANTE
ARCESIO BUSTAMANTE SÁNCHEZ
LUIS ALBEIRO CASTRILLON MADRID**

Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogos en Sistemas Electromecánicos

Asesor técnico

Carlos Alberto Valencia Hernández

Magister en Automatización y Control Industrial

Asesor metodológico

Karen Lemmel Vélez

Magister en Automatización y Control Industrial

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA EN SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS
MEDELLÍN**

2022

Contenido

Resumen.....	2
Abstract.....	1
Glosario.....	2
Introducción.....	3
1. Planteamiento del problema.....	4
1.2 Formulación.....	6
2. Justificación.....	7
3. Objetivos.....	10
3.1 Objetivo general.....	10
3.2 Objetivos específicos.....	10
4. Marco teórico.....	11
5. Metodología.....	15
5.1 Tipo de proyecto.....	15
5.2 Método.....	16
5.2.1 Fase 1.....	16
5.2.2 Fase 2.....	16
5.2.3 Fase 3.....	16
5.2.4 Fase 4.....	16
5.2.5 Fase 5.....	16
5.2.6 Fase 6.....	17
5.3 Instrumentos de recolección de información.....	17
5.3.1 Fuentes primarias.....	17
5.3.2 Fuentes secundarias.....	17
6. Resultados.....	18
6.1 Caracterización de los sensores y componentes electrónicos.....	18
6.1.1 Familia de sensores MQ.....	18
6.1.1.1 MQ-7.....	18
6.1.1.2 MQ-135.....	19
6.1.2 Arduino.....	20
6.1.2.1 Arduino Uno.....	20

6.1.2.2	Shields para Arduino.....	21
6.1.2.3	Librerías	21
6.1.3	Módulo MicroSD Car	22
6.2	Sistema de adquisición de datos.....	22
6.3	Resultados del sistema	26
7.	Conclusiones.....	30
8.	Recomendaciones	31

Lista de figuras

2 Diagrama de fuentes de contaminación 2016 a 2019.....	10
4.1 Diagrama de fuentes de contaminación en el año 2015	12
4.2.1.1 MQ-7 sensibilidad.....	14
4.2.1.2 MQ-135 sensibilidad.....	15
4.3.1 Arduino Uno.....	16
6.2 Shield para Arduino.....	22
6.2 Conexión de dispositivo.....	23
6.2 Diseño 3D del chasis.....	24
6.2 Estructura del dispositivo.....	24
6.2 Frente del dispositivo.....	25
6.2 Diagrama de control.....	26
6.3 Grafica de resultados.....	28
6.3 Toma de datos.....	28

Lista de tablas

6.1 comparativa MQ	21
6.3 Resultados medición	28

Resumen

DISEÑO DE SISTEMA DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE AIRE EN ESPACIO CON FUENTES FIJAS

JUAN CARLOS BOTERO BUSTAMANTE

ARCESIO BUSTAMANTE SÁNCHEZ

LUIS ALBEIRO CASTRILLON MADRID

Se realizó un dispositivo capaz de medir la contaminación emitida por una fuente fija. Este dispositivo capta señales tanto de CO como de NO_x, NH₃ y otros tipos de gases contaminantes que son perjudiciales para la salud humana. La intención con esto es medir fuentes fijas como chimeneas, contaminación en ambientes exteriores e interiores, casas, laboratorios y demás áreas donde aplique la medición de gases contaminantes. Este estudio se realizó utilizando dos sensores, un Arduino Uno y un módulo microSD que permita almacenar y posteriormente visualizar los datos a través de Excel u otra aplicación semejante. Al poner en prueba el dispositivo se encontró una autonomía de 2h con batería cuadrada de 9V, además, tras medir con este dispositivo en una chimenea, se encontró el crecimiento en partículas por millón en gases como óxidos nítricos, amoníaco, y una permanencia constante durante 1 hora. En cuanto a la variable de CO, su crecimiento fue mínimo y al poco tiempo también se estableció a sus valores iniciales. Durante este proyecto se pudo apreciar la importancia de la caracterización de los sensores, es una parte fundamental para entender cómo funciona y la señal de salida entender lo que transmite. El dispositivo es portable, económico y versátil, permite conectarse ya sea a una alimentación externa o ser alimentado por baterías, para este caso, adaptándose a las mediciones a altas distancias.

Palabras claves: Arduino, chimenea, contaminación, medición, sensores.

Abstract

A device capable of measuring the pollution emitted by a fixed source was developed. This device captures signals of CO, NO_x, NH₃ and other types of polluting gases that are harmful to human health. The intention with this is to measure stationary sources such as chimneys, pollution in outdoor and indoor environments, homes, laboratories, and other areas where the measurement of polluting gases applies. This device was made using two sensors, an Arduino Uno and a microSD module that allows to store and later visualize the data through Excel or other similar application. When testing the device, an autonomy of 2h with a 9V square battery was found, in addition, after measuring with this device in a chimney, it was found the growth in particles per million in gases such as nitrogen oxides, ammonia, and a constant permanence for 1 hour. As for the CO variable, its growth was minimal and after a short time it was also established at its initial values. During this project it was possible to appreciate the importance of the characterization of the sensors, it is a fundamental part to understand how it works and the output signal to understand what it transmits. The device is portable, economical, and versatile, can be connected either to an external power supply or be powered by batteries, in this case, adapting to high distance measurements.

Keywords: Arduino, chimney, pollution, measurement, sensors.

Glosario

Arduino: placa de prototipado y desarrollo electrónico.

Chimenea industrial: Sistema de evacuación de gases provenientes de calderas, hornos, estufas, entre otros.

CO: gas incoloro e inodoro letal para el ser humano.

Contaminación: elementos físicos y químicos presentes en el aire, agua y tierra que afectan la salud de seres vivos y los ecosistemas.

MicroSD: dispositivo que permite almacenar grandes cantidades de datos. Sus principales características son su reducido tamaño, portabilidad, externo y extraíble.

Sensor: dispositivo sensible a magnitudes físicas y químicas.

Introducción

En Medellín hay necesidad de controlar las emisiones de gases contaminantes, se ha visto, durante los últimos años, un incremento de partículas perjudiciales para la salud en el aire que respiramos día a día, estos producidos por fuentes fijas y móviles.

La industria genera un total del 19% de la contaminación en el aire en la ciudad. Está comprobado científicamente que la contaminación del aire puede producir enfermedades cardiovasculares, respiratorias y hasta cáncer. Este proyecto propone la creación de un dispositivo capaz de medir y almacenar datos de la contaminación emitida por una chimenea en una fuente fija usando Arduino Uno como sistema de adquisición de datos y posteriormente realizando el almacenamiento de estos en una microSD, además, para este caso estudio, el dispositivo es capaz de detectar gases como monóxido de carbono (CO), familia de gases como óxido nítrico (NO), y dióxido de nitrógeno (NO₂) y amoníaco (NH₃) producidas por esta chimenea.

Este trabajo se divide en seis capítulos, en el primero se plantea el problema a tratar, en el segundo se justifica el porqué de esta investigación, en el tercero se detallan los objetivos, luego, en el capítulo cuarto se aborda el marco teórico, en el capítulo cinco se aborda la metodología y por último en el capítulo sexto se muestran los resultados.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

El aire, tal como se define en la Resolución 601 del Ministerio del Ambiente de 2006, que establece normas de calidad del aire o niveles de emisión en Colombia, es “el fluido que forma la atmósfera terrestre, constituido por una mezcla de gases cuya composición normal es de al menos 20 % de oxígeno, 77% de nitrógeno y diferentes proporciones de gas inerte y vapor de agua (en volumen) (Sostenible, 2012). Estos gases en la atmósfera permiten la vida en la Tierra por la presencia de oxígeno en ella, que permite respirar al ser humano. El dióxido de carbono que es necesario para la fotosíntesis y para promover más características de la vida en la Tierra (Méndez et al., 2009). Asimismo, la tierra consta de 80 kilómetros y contiene compuestos como: N₂, O₂, CO₂ y gases nobles como He, Ne, Kr, Xe y Rn. Naturalmente, existen iones y radicales libres, así como compuestos de azufre, halógenos e incluso metales en forma de aerosoles, dependiendo de los fenómenos y cambios ambientales que puedan ocurrir en la Tierra.

En este sentido, en este contexto, la calidad puede definirse como la condición de conformidad a normas que describen el estado de algo y la posibilidad de compararlo. Tomando en consideración todo lo anterior, el concepto de “calidad del aire” se refiere a una condición en la que la atmósfera mantiene la composición adecuada entre los gases que la componen, de modo que se mantenga la sustentabilidad de la vida humana y natural. Esta "calidad" del aire se mide según los estándares internacionales y nacionales que determinan los niveles más altos de las condiciones del aire en un área determinada según el tipo de contaminante.

Este proyecto de diseño de calidad del aire nace de un análisis del entorno en el que se desarrolla la industria en general en el Valle de Aburra, por lo que tiene afectaciones con los procesos industriales a la contaminación debido a la cantidad de industrias asentadas en la zona

que producen gran cantidad de gas y partículas que son lanzadas al medio ambiente por chimeneas y campanas industriales.

Algunas industrias actualmente no cuentan con los procesos adecuados, produciendo así emisiones descontroladas de CO, CO₂ y otros procesos contaminantes. La contaminación en la ciudad de Medellín es catalogada en dos tipos, las fuentes artificiales y las naturales, a su vez, las fuentes artificiales se dividen en móviles y fijas; las fuentes móviles hacen referencia a autos, camiones, barcos, etc. Las fuentes fijas, hacen referencia a la industria la cual aporta un 19% al porcentaje anual de contaminación (Delgado, 2019).

Con base en lo anterior, se puede decir que el sector industrial afecta en gran proporción y, como se mencionó anteriormente y de acuerdo a lo evidenciado dentro de la empresa, esto puede deberse a que las empresas en ocasiones descuidan el mantenimiento en las plantas de proceso o simplemente las máquinas que allí se utilizan ya están en funcionamiento desde hace varios años, lo que afecta la calidad del aire con sus emisiones, que en la actualidad amenaza no solo la calidad del aire y la contaminación del medio ambiente, sino que también puede traer consigo graves problemas en la población a nivel de salud (Gaviria et al., 2012a) (Gaviria et al., 2012a). Esta situación debe movilizar a toda la comunidad en la creación de estrategias que mitiguen esta contingencia ambiental, desde acciones que articulen procesos, especialmente en el sector industrial que se ve involucrado en este proceso investigativo, para buscar alternativas con entidades gubernamentales que orienten la generación de hechos que favorezcan una mejor calidad del aire en la ciudad.

De igual forma, es necesario aclarar que de acuerdo al observatorio de políticas públicas, estas acciones se encuentran reguladas en una ley que se estableció en 1993, donde se expidió la Ley 99, esta se encargó de exigir a las autoridades ambientales que regulen y regulen el proceso, en fin, esta ley tiene 24 años de vigencia, sin embargo es perceptible que si bien se han realizado acciones a través de estas, aún se deben generar nuevas medidas que ayuden a mejorar la calidad del aire y no solo esto sino la calidad de vida de muchas personas. Quienes pueden estar viéndose afectados en mayor proporción por enfermedades de base que éstas pueden estar empeorándolas.

La exposición a niveles altos de contaminación en el aire puede ser causante de una variedad de enfermedades como: aumentar el riesgo de infecciones respiratorias, enfermedades cardíacas, accidentes cerebrovasculares y cáncer de pulmón, que afectan a una mayor proporción de la población vulnerable, niños, adultos mayores y mujeres.

1.2 Formulación

¿Es posible diseñar un dispositivo de bajo costo que permita la medición de la calidad del aire de las industrias asentadas en el Valle de Aburra?

2. Justificación

La contaminación del aire es una preocupación clave para la Organización Mundial de la Salud (OMS). En su 68ª Asamblea Mundial de la Salud, en mayo de 2019, la OMS adoptó la resolución "Abordar los efectos de la contaminación del aire en la salud". Reconoció la contaminación atmosférica como una cuestión prioritaria para la salud pública, que se encuentra entre las amenazas ambientales mundiales más importantes para la salud. La OMS estima que cada año mueren 3,7 millones de personas por exposición al aire contaminado en las zonas urbanas. Aproximadamente el 80% de estas muertes se deben a enfermedades cardíacas y accidentes cerebrovasculares químicos; 14% a enfermedad pulmonar obstructiva crónica o infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores; y 6% a cáncer de pulmón. Los contaminantes atmosféricos más saludables son las partículas (PM), especialmente las PM con un diámetro de 10 micras o menos (PM₁₀; PM_{2.5}), que puede penetrar y alojarse profundamente dentro de los pulmones.

Este proyecto de diseño de un sistema de medición de calidad del aire se realiza viendo la necesidad de la empresa en la que trabajo actualmente y no es una necesidad latente solo en esta empresa, sino en muchas más, ya que es un problema generalizado. y que hoy en día no se realizan correctamente los procesos para ayudar a la calidad del aire y reducir la contaminación en la zona metropolitana de la ciudad de Medellín, pues a pesar de que existen leyes que “regulan” que todas las políticas y normas se cumplan a cabalidad y también están las normas de control de emisiones de gases al ambiente, este es un tema que tiene muchas posibilidades de trabajo, como el del Ministerio Sobre Medio Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial Resolución Número (909) 5 De Junio De 2008 República De Colombia Por la cual se establecen las normas y estándares para la emisión admisible de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. Teniendo en cuenta las limitaciones de este proyecto, se hará énfasis únicamente en el diseño de estrategias que favorezcan una mejor calidad del aire y que mitiguen la emisión de gases al ambiente provenientes del sector industrial.

Los procesos que se llevan a cabo en estas empresas producen una emisión de gases

totalmente nocivos para el medio ambiente, siendo el CO₂ la sustancia que más contribuye al efecto invernadero, es decir, absorbe gran parte de la radiación solar incidente, reteniéndola cerca de la superficie terrestre y produciendo un calentamiento progresivo de la misma. Este proyecto busca seguir apoyando el proceso para ayudar al medio ambiente, ya que como se mencionó en los apartados anteriores, esta empresa apoya al medio ambiente y precisamente a partir del reciclaje se generan cosas, pero se utilizan los daños que provoca la liberación de gases con CO₂ y otros combustibles. De allí surge la importancia de crear alternativas de solución a este problema, se propone que a través de la creación de un sistema que mida la calidad del aire evacuado al ambiente. Para ello, organismos como el Ministerio del Medio Ambiente de Colombia, que son los encargados de regular y normalizar las emisiones permisibles de fuentes fijas en las plantas de procesamiento de este material, según Minambiente, artículo 1 del decreto 3570, el Ministerio de Ambiente:

Es el rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y definir las políticas y normas a las que se rigen la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, aprovechamiento y aprovechamiento sustentable. De los recursos naturales renovables y del medio ambiente de la nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, sin perjuicio de las funciones asignadas a otros sectores. (P.1)

Por lo tanto, esta es una necesidad que se hace evidente, agobia al planeta, pues con el calentamiento global las emisiones de Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, entre otras partículas dañinas para la capa de ozono, la cual se encarga de minimizar el sobrecalentamiento. Global, sumándose a esto el problema con el que se tiene un enfrentamiento diario y es precisamente en la industria para el control de dichos contaminantes.

La evidencia científica indica que la acción rápida y generalizada para reducir los SCLP tiene el potencial de disminuir significativamente la tasa de calentamiento global, ofreciendo una de las pocas vías para lograr impactos climáticos a corto plazo. Los valores medios anuales de PM10 en la mayoría de los sitios medidos en ALC son significativamente más altos que el WHO-AQG. Además, los países han tardado en incorporar las directrices de la OMS-AQG en las reglamentaciones a nivel nacional y en el establecimiento de redes para la vigilancia de la calidad del aire. Sin embargo, la Asamblea De las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Asamblea Mundial de la Salud piden que se tomen medidas sobre la contaminación atmosférica

son cada vez más conscientes del problema y de las resoluciones.

La contaminación del aire, especialmente los SLCP, imponen un alto costo en términos de mala salud y muertes prematuras en ALC. Se necesita más conocimiento de sus fuentes, transferencia atmosférica, impactos y efectividad de las medidas correctivas. Otra prioridad clave es crear conciencia sobre los efectos directos e indirectos de los SCLP en la salud tanto entre los tomadores de decisiones como entre la población en general.

Trayendo a colación las cifras presentadas en Medellín sobre la marcha de los años 2016-2020, entonces se reflejará lo antes mencionado, estos datos se muestran en la figura 1:

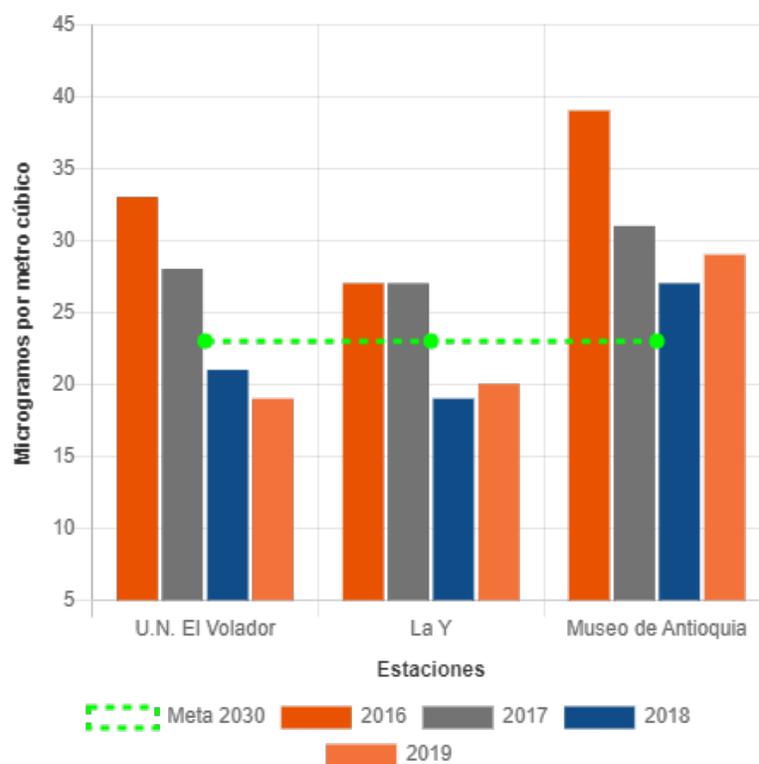


Figura 1. Diagrama de fuentes de contaminación 2016 a 2019

Fuente: adaptado de Vamos, (2020).

De acuerdo con estas cifras y la información presentada de la anterior tabla, todo material particulado con un diámetro menor a 2.5 micras o menor es uno de los contaminantes más dañinos para la salud humana debido a la capacidad de traspasar la barrera pulmonar, ingresar por el sistema sanguíneo y aumentar la posibilidad de desarrollo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias (Vamos, 2020).

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de medición de la calidad del aire en espacios con fuentes fijas.

3.2 Objetivos específicos

Caracterizar los sensores de calidad de aire

Diseñar un sistema de adquisición de datos

Probar el sistema en un ambiente controlado

4. Marco teórico

La contaminación es una problemática de la sociedad contemporánea, en diferentes oportunidades escuchamos hablar de esta, ya sea en noticias, periódicos, en redes sociales, entre otras. Las causas de esta problemática son: el crecimiento de la población, el crecimiento de la industria, la extracción de materia prima, el uso de gases con efecto invernadero, entre otras (Ballesteros & Aristizabal, 2007). La contaminación trae consigo el incremento de enfermedades respiratorias en los seres humanos; como el incremento del asma, el deterioro pulmonar y enfermedades respiratorias en niños y adolescentes (Romero Placeres et al., 2006).

Los efectos respiratorios más agudos causados por la contaminación son ocasionados por partículas PM2.5, óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxido de azufre (SO2) (Vidal-Daza & Pérez-Vidal, 2018). En el Valle de Aburra la industria emitió el 18% de la contaminación en el Area Metropolitana, equivalente 334 toneladas, siendo el sector textil el más contaminante con un total de 147 toneladas (Gaviria et al., 2012b). Con estos datos podemos apreciar que existe una necesidad a la hora de utilizar la tecnología para el control y monitoreo de la contaminación, ya sea en fuentes fijas o móviles. En la figura 2 se aprecian los porcentajes de contaminación en el año 2015 emitidos tanto por fuentes fijas como por fuentes móviles.

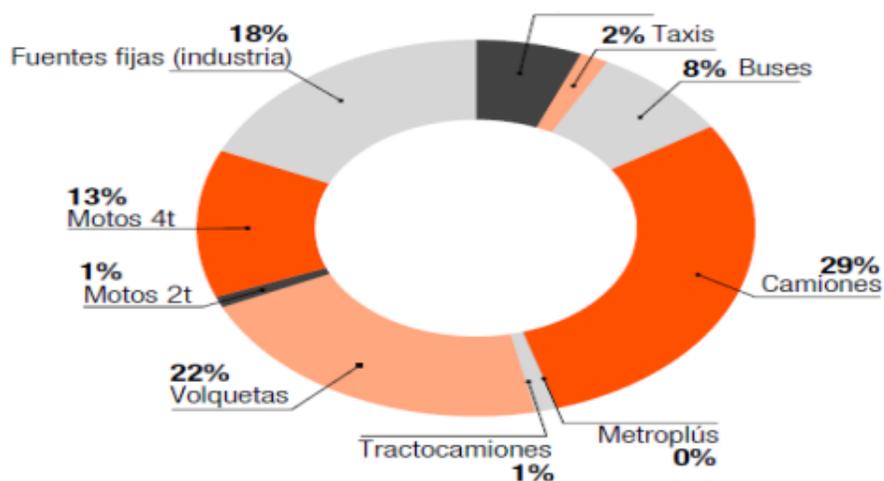


Figura 2. Diagrama de fuentes de contaminación en el año 2015

Fuente: adaptado de Gaviria et al. (2012).

Es importante mencionar que el sector industrial hace uso de combustibles que hacen mucho daño al medio ambiente, como los destinados a la generación de electricidad, químicos o refinerías, y que aquí se menciona solo una minoría de todo el sector industrial. hoy en día opera en la ciudad, debemos considerar que son plantas necesarias para la producción de elementos fundamentales para la vida diaria, sin embargo, a veces se exageran con el uso de productos nocivos, dando un claro ejemplo de esto, se podría hablar de un sector de la industria que hoy en día tiene un gran impacto y es la petrolera, se puede notar que en esta se nota la enorme huella de carbono que deja, sin mencionar todos los recursos naturales que también utiliza este proceso.

Asimismo, la contaminación del planeta es algo que hoy día escuchamos mencionar en varias ocasiones, pues debido a muchos factores el ambiente ha sufrido bastantes afectaciones, como bien se sabe el ser humano le ha hecho un daño grande al planeta y esto se hace cada vez más evidente, ya que principalmente el crecimiento de la población ha generado afectaciones severas en la contaminación ambiental, pues con el fin de subsistencia se emplean técnicas que afectan al planeta, por la creación de la materia prima, son cantidades de factores los que influyen allí, el crecimiento de la población, el combustible empleado por los carros, la tala de árboles, la industria en la creación de la materia prima, el mal uso de los elementos que son considerados “basura” que en realidad pueden ser reutilizados en otras cosas. De acuerdo con Reyna (1999): Los problemas del medio ambiente son generalmente involuntarios, pero causados por una organización inadecuada de los asuntos económicos y públicos. Se piensa que la tecnología no ha sido bien utilizada para resolverlos. Se hace necesaria la intervención gubernamental para prohibir los comportamientos que deterioran el entorno; disminuir los vertidos hacia el ambiente. (P.4)

Teniendo en cuenta esto es evidente que el planeta necesita un respiro y de gente que haga uso de acciones que puedan ayudar a salvarlo, como bien se menciona es necesaria la presencia de entes gubernamentales pero no es suficiente, pues desde las empresas creadoras de la mayor parte de la economía Colombiana también pueden emplearse acciones que lleven a una mejora

de esta problemática, se puede ver como muchas de estas empresas generan contaminación en la creación de sus materias primas, Rey (1999), habla acerca de la contaminación por parte del sector industrial:

Durante la producción, uso y disposición final de, prácticamente, cualquier bien y servicio se emiten al ecosistema global materiales y energía. Muchos de ellos son capaces de dañar irreversiblemente los mecanismos de la naturaleza para regenerar el biosistema y sustentar la vida. (P.5)

Lo anterior es algo que realmente genera preocupación, sin embargo, aún se está a tiempo para llevar a cabo acciones para que esto no pase más, de acuerdo con lo mencionado por Rey, la solución al problema está en manos de todos y allí el sector industrial cuenta con una gran responsabilidad, en la actualidad se habla de un asunto global sobre el cual se está trabajando, dentro de este trabajo a nivel local y nacional se habla principalmente de preservar y cuidar la salud, logrando acuerdos, en los cuales se propone la modificación del desarrollo sustentable o sostenible, lo cual implica según Rey (1999) la idea de crecimiento económico limitado a través del constante aumento en la producción y consumo de bienes y servicios, en tanto que, en el segundo, el crecimiento económico y el consecuente bienestar social deben lograrse sin deteriorar el entorno y evitando la irracional explotación de los recursos naturales del planeta. (P.8)

Es considerable no dejar de lado el tema de las industrias que se viene mencionando anteriormente, ya que Minecofinanzas(2019) plantea que toda empresa afecta al medio ambiente a través de sus actividades o creación de productos y en este aspecto no se hace referencia solo a la explotación de los recursos naturales, sino a la eliminación de recursos, que surgen fruto de la creación de sus productos y que terminan afectando la calidad del aire, la contaminación de ríos y mares, estos aunque unos afectan en gran proporción que otros, afectan y contaminan.

La actividad industrial de diversos tipos que se desarrolla en el país constituye una importante fuente de contaminación, debido a que sus desechos o residuos industriales líquidos (riles), o sólidos (rises), son evacuados directa o indirectamente al medio ambiente terrestre y aéreo, en algunos casos sin ningún tipo de tratamiento, o en otros con tratamientos deficientes o insuficientes, ocasionando con ello consecuencias o daños graves al ámbito. (P.1)

Por consiguiente, se hace relevante el firme propósito por parte del sector industrial, desde este anteproyecto se generan aportes que brindan posibles soluciones y si es algo que se hace en

conjunto por un bien común, con seguridad las empresas no tendrán mayores afectaciones y se haría un aporte grande al planeta y sobre todo al aire de la ciudad de Medellín.

Un ejemplo claro de esto es un país como Estados Unidos, en SHAREAMERICA (2015) se habla de un gobierno desde el presidente Obama, el cual decidió implementar acciones enfocadas en el sector industrial, tales como: reducir las emisiones de dióxido de carbono, rediseñaron ciudades con la finalidad de que sean más ecológicas, invirtieron dinero en energías limpias y que generen menor contaminación en el país, dentro de las grandes empresas se generó conciencia de la importancia de un buen cuidado de los recursos y desde ellas mismas se proponen acciones al interior de las empresas que generan un bien común a nivel de medio ambiente, se hizo de la tecnología para realizar la captura de la mayor parte de Carbono por medio de equipos que sepultan estas materias contaminantes y que purifican el aire.

5. Metodología

5.1 Tipo de proyecto

Los resultados del proyecto son más específicos que los objetivos del proyecto. Son los productos tangibles que el proyecto de grado genera para alcanzar dichos objetivos y debe evidenciar todas las especificaciones y detalles técnicos de la solución propuesta, es lo que el estudiante realizó y deben describirse de forma concreta y en términos verificables. El presente estudio se realizará a través de un estudio descriptivo y transversal.

Este es un estudio descriptivo con un enfoque cuantitativo, ya que se recopilarán datos o componentes sobre diferentes aspectos del personal de la organización que se estudiará y se realizará un análisis y medición de estos. "La investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y características importantes de cualquier fenómeno que se analiza" (Hernández, Fernández y Baptista, 2003, p 119). Será descriptivo porque permitirá diseñar un sistema de medición de la calidad del aire en espacios con fuentes fijas de la ciudad de Medellín ocasionado principalmente por el sector industrial.

Los estudios descriptivos miden de manera bastante independiente los conceptos o variables a los que se refieren y se centran en medir con la mayor precisión posible (Hernández, 2003). Asimismo, el estudio tiene un enfoque cuantitativo, ya que es necesario poder analizar los resultados de las encuestas que se aplicarán al personal.

"El enfoque cuantitativo utiliza la recopilación y el análisis de datos para responder preguntas de investigación y probar hipótesis hechas anteriormente, se basa en la medición numérica, el conteo y, a menudo, en el uso de estadísticas para establecer con precisión patrones de comportamiento en una población" (Hernández, Fernández y Baptista, 2003, p.5).

A través del diseño de la investigación, se obtendrá toda la información necesaria y requerida para aceptar o rechazar la hipótesis. Los diseños de investigación transversales recopilan datos en un solo momento, en una sola vez. Su propósito es describir variables y

analizar su incidencia e interrelación en un momento dado (Hernández, 2003). Será transversal porque el estudio de las variables se realizará en un momento dado, reduciendo el tiempo, durante el primer semestre de 2022, tiempo en el que se estudiará la variable en una sola oportunidad.

5.2 Método

El proyecto se desarrolló en 6 fases las cuales son:

5.2.1 Fase 1. En este primer momento se analizó el estado actual de los ductos de extracción del horno verificando su extracción y medidas de emisiones de gases, para dar y diagnóstico de lo que se requiere para mejorar la capacidad de extracción de este.

5.2.2 Fase 2. Aquí se estableció cuáles son los requisitos de operación del ducto es decir lo permitido por los entes de control para emitir estos gases, con la idea de determinar en qué estado está la compañía, para llevar el equipo a norma o mejorar por encima de lo establecido, teniendo en cuenta los parámetros de operación.

5.2.3 Fase 3. Con el departamento de diseño de la compañía, se miraron los planos actuales de los ductos de estación para analizar, sus dimensiones y en que se puede mejorar el sistema, si es necesario cambiar el posicionamiento de dicho ducto para que los gases emitidos no se dispersen dentro de la compañía y minimizar el impacto a las zonas aledañas.

5.2.4 Fase 4. Este va de la mano del tercero, ya que realizó un estudio de los planos del equipo para llegar a un diagnóstico más asertivo de lo que realmente es necesario construir en este horno así garantizando el éxito del proyecto al fabricar el filtro con el diseño más asertivo donde las emisiones realmente si se reduzcan.

5.2.5 Fase 5. Por medio del MEF se evaluaron fueron los puntos más críticos para intervenir en el horno y los momentos de la operación de este, donde más emisiones se produzcan y es decir los momentos del proceso donde más elementos con polímero se intervienen.

5.2.6 Fase 6. En este momento se tomaron las bases para la creación del sistema de medición de la calidad del aire y un manual o instructivo de la operación de este, como debe de ser su mantenimiento preventivo y preparativo, garantizando el buen uso y funcionamiento de este dispositivo.

5.3 Instrumentos de recolección de información

5.3.1 Fuentes primarias.

Datos tomados con el medidor.

5.3.2 Fuentes secundarias.

Las fuentes secundarias fueron investigaciones universitarias, trabajos de grado y páginas web especialistas en estos temas.

6. Resultados

6.1 Caracterización de los sensores y componentes electrónicos

Los sensores son dispositivos capaces de detectar una magnitud física como puede ser temperatura, presión, velocidad, etc. (Areny, 2005). Para este proyecto nos centraremos en los sensores capaces de medir la contaminación en el aire.

6.1.1 Familia de sensores MQ. Los sensores MQ son una clase de sensores químicos los cuales internamente están constituidos por un óxido metálico los cuales al estar en presencia de gas provoca un movimiento de electrones (Nagy et al., 2020). Para este proceso el elemento debe calentarse a una temperatura mínima, por lo cual internamente posee una resistencia como elemento calefactor. Una de las características propias de estos dispositivos es su bajo costo, bajo consumo energético y la simplicidad para ser implementado en proyectos, estos dispositivos suelen ser los usados en sistemas que no requieran una resolución muy alta en medición de gases. Existen dentro de esta familia diferentes referencias las cuales permiten medir una amplia gama de gases, entre ellas están: MQ-2, MQ-7, MQ-9, MQ-135, MQ-303A, entre otros (Amado et al., 2020). El funcionamiento voltaje general para estos sensores es de 5V.

6.1.1.1 MQ-7. El sensor MQ-7 es capaz de medir CO en un rango de 20 ppm a 2000ppm en condiciones de temperatura estándar. La sensibilidad de este sensor depende de la pureza del aire, por lo cual también es capaz de detectar otras sustancias en el aire como son: H₂ (dihidrógeno), LPG (Gas licuado de petróleo), CH₄ (Metano) y alcohol (Sai et al., 2019). En la siguiente figura podemos apreciar la curva de sensibilidad del dispositivo. En la figura 3, se pueden apreciar los niveles de medición del sensor MQ-7 y la sensibilidad frente a los gases como CO, H₂, LPG, CH₄ y alcohol.

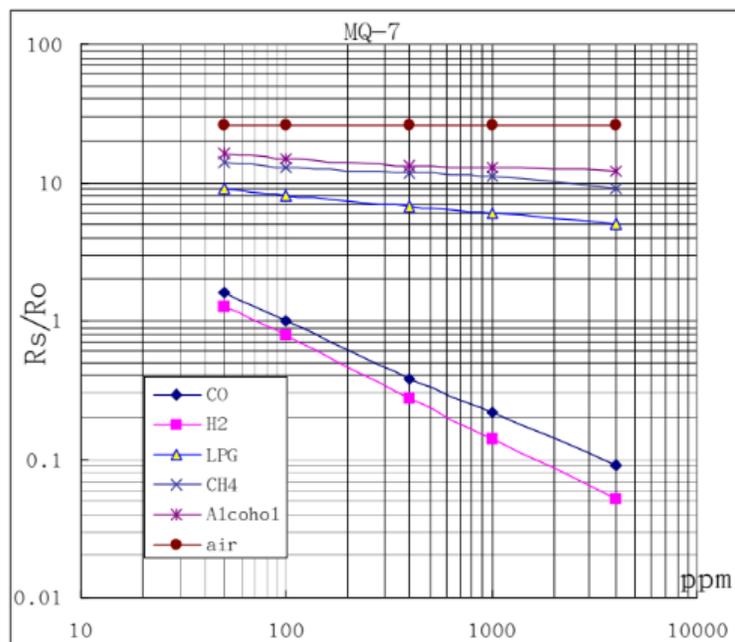


Figura 3. MQ-7 sensibilidad

Fuente: adaptado de (HANWEI ELECTRONICS CO, n.d.-a)

6.1.1.2 MQ-135. Sensor de la familia MQ capaz de detectar NH_3 , alcohol, humo y CO_2 , sus principales características son una rápida respuesta y alta sensibilidad, bajo costo, estable y de larga duración (Benavides et al., 2020; HANWEI ELECTRONICS CO, n.d.-b). Similar al sensor anterior, este también posee una curva de detección de gases. Cabe resaltar que la detección de NH_3 es entre 10 ppm y 300 ppm a una temperatura de 20°C . Como podemos apreciar en la figura 4, el MQ135 es capaz de detectar CO_2 , CO, alcohol, acetona, NH_4 y tolueno.

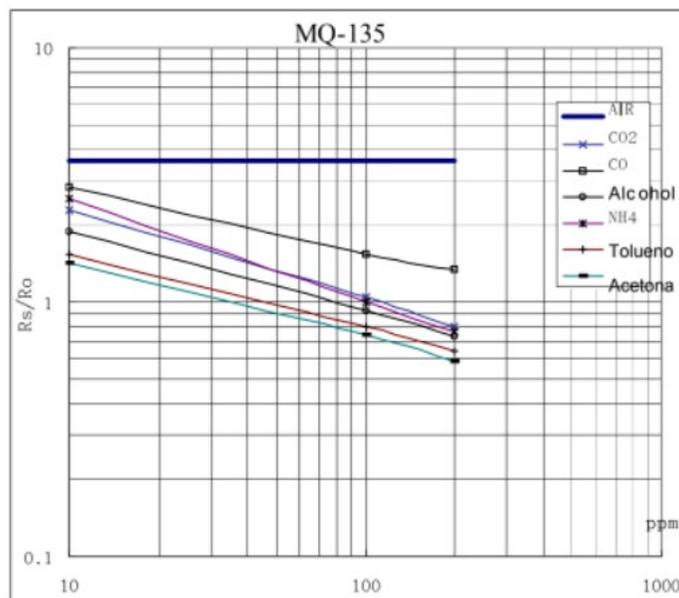


Figura 4. MQ-135 sensibilidad

Fuente: adaptado de HANWEI ELECTRONICS CO (n.d.-b).

6.1.2 Arduino

Arduino es una plataforma para hacer prototipado electrónico de código abierto, fácil de usar, pensado para personas de múltiples áreas disciplinares con deseos de crear objetos interactivos (Herrador, 2009). Arduino creó una serie de tarjetas de fácil uso y con diferentes características donde cada una varía según la necesidad del usuario. Dentro del repertorio se encuentra: el Arduino Uno, Mega, Nano, Micro, LilyPad, entre otros. Generalmente los Arduinos traen pines especializados como PWM (Modulo por ancho de pulso), entradas y salidas digitales, entradas analógicas, en algunos casos salidas analógicas, comunicación I2C, comunicación UART, SPI, entre otras funciones adaptables (Goilav & Geoffrey, 2016).

Una de las características más relevantes que trae Arduino es su amplia comunidad y la posibilidad de utilizar librerías para facilitar la creación de proyectos.

6.1.2.1 Arduino Uno

Arduino Uno es un microcontrolador el cual integra el chip Atmega328. Este dispositivo

posee 14 pines de entradas y salidas de los cuales 6 se pueden utilizar como PWM, 6 entradas analógicas, un oscilador de 16MHz, una memoria RAM de 2 KB por un precio aproximado de 24 dólares (Arduino, 2018; Bawa & Patil, 2013). Esta placa de Arduino puede ser alimentada por una fuente de 5V, pero su máxima alimentación a través del jack es de 12V. El Arduino uno posee 5 pines analógicos y 13 digitales, cuenta con 6 pines PWM como se puede apreciar en la siguiente figura.

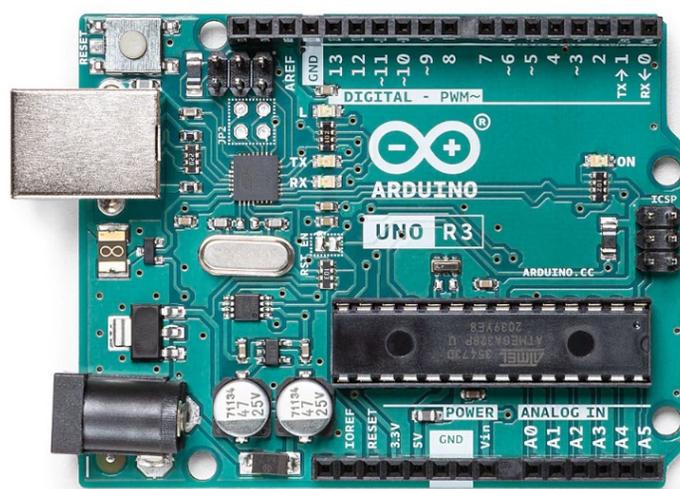


Figura 5. Arduino Uno

Fuente: adaptado de Arduino, (2018).

6.1.2.2 Shields para Arduino

Al ser Arduino un dispositivo de prototipado rápido existen Shields o tarjetas las cuales se agregan a través de sus conectores facilitando el uso de este dispositivo, las más conocidas son módulos de Ethernet, módulos de conexión fácil para sensores, o extensiones para conectar diferentes dispositivos.

6.1.2.3 Librerías

Las librerías son códigos escritos en el mismo lenguaje de programación que facilitan el uso de dispositivos, ya sean sensores, módulos, pantallas, etc. Existen muchas librerías ya sean desarrolladas por Arduino o por terceros. La facilidad de utilizar librerías es la de llamar funciones que permitan evaluar un proceso con mayor rapidez y facilidad. Por ejemplo, la

librería SoftwareSerial que permite la comunicación en serie con otros dispositivos.

6.1.3 Módulo MicroSD Car

Modulo capaz de adaptar una tarjeta microSD o en su defecto una SD siendo capaz de leer, escribir, borrar la información que esta tenga, para este caso será utilizada con microcontrolador como lo es Arduino. Este dispositivo se controla a través del protocolo de comunicación SPI y se alimenta a un voltaje de 5V con un consumo típico de 80mA.

Tras realizado el análisis, se pudo concluir que los sensores más pertinentes para este proyecto son el MQ-7 y el MQ-135. También se puede optar por el sensor MQ-9, pero este está más enfocado a detectar grandes cantidades de LPG. En la tabla 1 se comparan las características más importantes de los sensores MQ-135, MQ-135, MQ-9 y MQ-7.

Tabla 1

Comparativa MQ

Referencia	Variable	Rango de medición	Precio (COP)	Datasheet
MQ-7	CO	20 ppm -2000 ppm	\$ 10.948,00	Link
MQ-9	CO	10 ppm -1000 ppm	\$ 10.591,00	Link
MQ-131	NO _x , NH ₃	No especifica	\$ 75.565,00	Link
MQ-135	NO _x , NH ₃	10ppm - 300ppm	\$ 7.854,00	Link

6.2 Sistema de adquisición de datos

Se diseñó e implementó un sistema de adquisición de datos basado en Arduino Uno y un módulo microSD para almacenar la información recolectada por los diferentes sensores. Para mayor facilidad de conexión entre los sensores y el Arduino Uno, se utilizó una tarjeta de prototipado rápido la cual permite soldar los conectores directamente a placa mejorando la seguridad entre las conexiones. Ver figura 6.

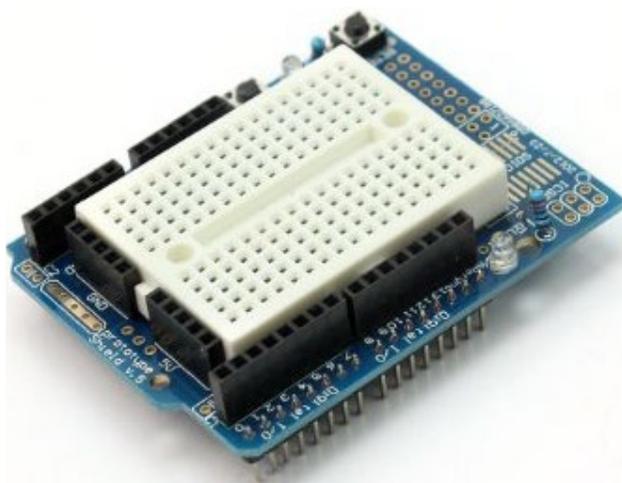


Figura 6. Shield para Arduino Uno

Fuente: adaptado de Didácticas Electrónicas, (n.d.)

La siguiente imagen muestra la conexión de los sensores y el módulo microSD a Arduino.

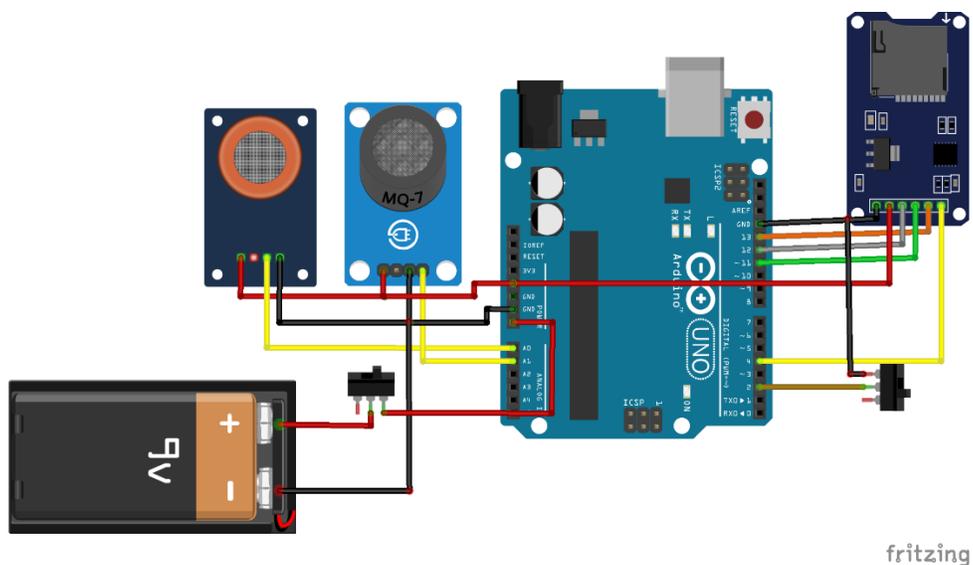


Figura 7. Conexión de dispositivo

El Arduino es alimentado por una batería cuadrada de 9V la cual tiene en serie un switch que permite controlar el encendido y apagado del sistema. Además, se utilizó un interruptor de seguridad para la toma de datos, este está conectado al pin 2 de Arduino en

configuración de pull-up (Arduino integra la conexión electrónica, lo que facilita el hardware del dispositivo); Este interruptor resulta de controlar cuando tomar muestras ya que no es necesario estar muestreando los datos constantemente. El sensor Azul oscuro corresponde al MQ-135.

El diseño del chasis se realizó mediante un software de diseño 3D, luego se imprimió y ensambló como se verá en las siguientes figuras.

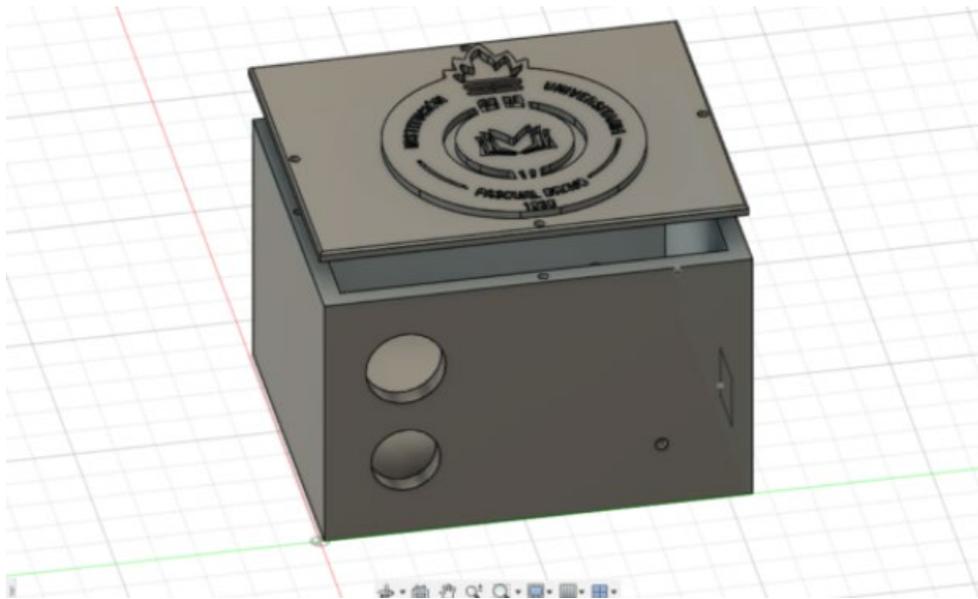


Figura 8. Diseño 3D del chasis



Figura 9. Estructura interna del dispositivo



Figura 10. Frente dispositivo.

El dispositivo toma muestras cada 2 minutos para luego ser almacenadas en la microSD. Las muestras que toma son un promedio de 10 muestras. Para identificar a qué dato pertenece la muestra, estas son separadas por “,” que además la última muestra crea un

salto de línea. Antes de iniciar el proceso el dispositivo calibra el sensor MQ-7, verifica la lectura del archivo .txt el cual será donde se almacenará la información, para posterior a eso imprimir “Ppm, CO” que corresponde al orden de muestras tomados por los sensores. La siguiente figura muestra con detalle el proceso realizado por el dispositivo.

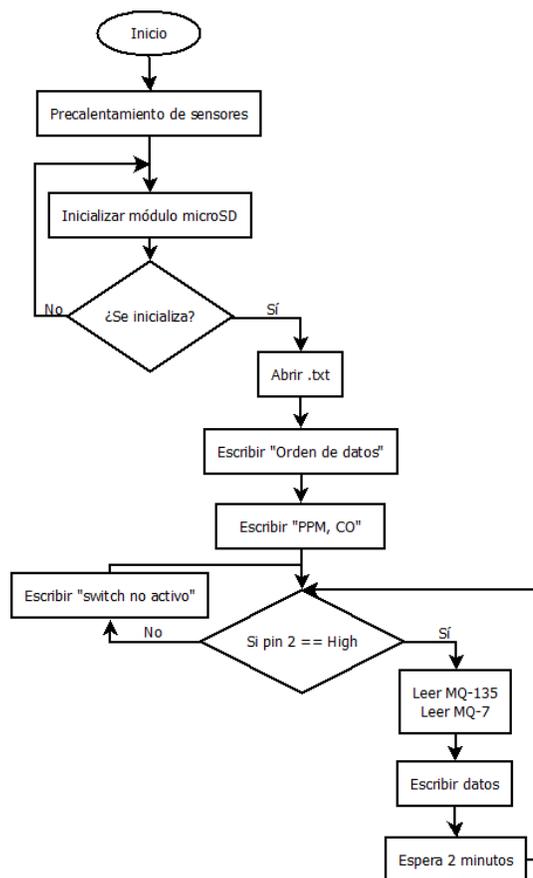


Figura 11. Diagrama de control

6.3 Resultados del sistema

Se realizaron pruebas de campo en la chimenea y como resultado se obtuvo la siguiente base de datos mostrada en la tabla 2:

Tabla 2

Resultados medición

Hora	PPM	CO	Hora	PPM	CO
13:10	0,35	0,84	14:42	3,23	3,21
13:12	0,3	0,76	14:44	3,06	2,95
13:14	0,27	4,17	14:46	2,85	2,77
13:16	0,27	3,71	14:48	2,63	2,63
13:18	0,24	3,47	14:50	2,47	2,51
13:20	0,24	3,63	14:52	2,45	2,42
13:22	0,24	3,38	14:54	2,34	2,32
13:24	0,23	3,33	14:56	2,38	2,31
13:26	0,23	3,28	14:58	2,35	2,24
13:28	0,22	3,06	15:00	2,22	2,26
13:30	0,22	3,34	15:02	2,12	2,23
13:32	0,22	3,27	15:04	2,02	2,17
13:34	0,22	2,77	15:06	1,94	2,1
13:36	0,22	2,66	15:08	1,89	2,06
13:38	0,20	2,63	15:10	1,82	2,02
13:40	0,20	2,71	15:12	1,80	1,98
13:42	0,20	2,77	15:14	1,75	1,93
13:44	0,20	2,71	15:16	1,71	1,92
13:46	0,20	2,68	15:18	1,73	1,9
13:48	0,20	2,65	15:20	3,60	1,87
13:50	0,19	2,63	15:22	2,93	1,96
13:52	0,19	2,63	15:24	3,21	3,99
13:54	0,19	2,6	15:26	2,29	3,42
13:56	0,20	2,63	15:28	2,03	3,88
13:58	0,21	2,6	15:30	2,02	3
14:00	0,21	2,68	15:32	1,87	2,61
14:02	0,21	2,68	15:34	2,03	2,39
14:04	0,22	2,79	15:36	2,07	2,28
14:06	0,23	2,79	15:38	2,09	2,32
14:08	0,23	2,85	15:40	1,99	2,32
14:10	0,25	2,97	15:42	1,99	2,28
14:12	0,24	2,94	15:44	1,98	2,23
14:14	0,24	3,36	15:46	1,91	2,2
14:16	0,24	3,04	15:48	1,87	2,17
14:18	0,24	3	15:50	1,85	2,14
14:20	0,24	2,98	15:52	1,78	2,12
14:22	0,24	3,03	15:54	1,79	2,11
14:24	0,24	3,03	15:56	1,76	2,09
14:26	0,24	3,03	15:58	1,69	2,06
14:28	0,23	3,02	16:00	1,69	2,05
14:30	0,34	3	16:02	1,82	2
14:32	5,86	2,91	16:04	1,77	2
14:34	5,04	3,88	16:06	1,68	2,11
14:36	5,25	4,55	16:08	1,63	2,15
14:38	4,27	4,01	16:10	1,60	2,04

Estos resultados fueron tomados en un intervalo de aproximadamente 2 horas y corresponden a la medición de PPM de CO y de la contaminación del aire. La figura 12 muestra estos valores a través del tiempo.

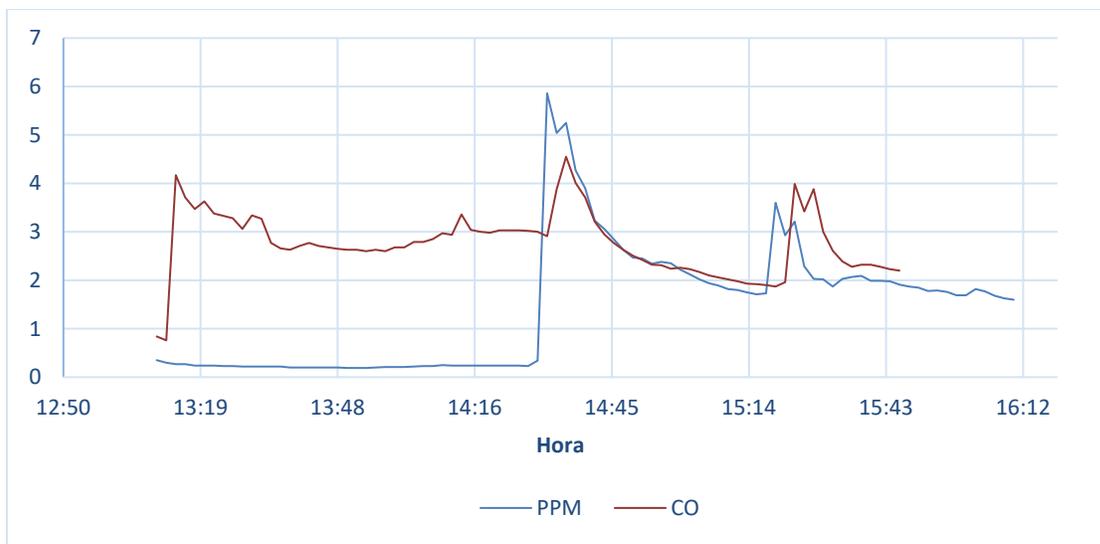


Figura 12. PMM-CO VS TIEMPO

El dispositivo fue puesto en una chimenea de forma horizontal con los sensores apuntando ortogonalmente hacia la dirección del humo procedente de la chimenea, la parte mecánica se adherido con pegamento para una segura fijación a la superficie como se puede apreciar en la figura 13. Para esta prueba se suministró energía mediante un batería debido las condiciones de altitud en las que se encontraba la chimenea; tras instalar el prototipo, se verifico que el switch de seguridad estuviera en la posición de toma de datos para posterior encender el dispositivo y proceder a la toma de muestras.



Figura 13. Toma de datos.

Como se aprecia en las graficas los valores de CO son muy constantes con respecto a los valores tomados con el sensor MQ135, este valor obtenido por este dispositivo representa la calidad del aire por lo cual, un dato mayor puede representar un problema de salud para las personas. Por su parte el CO se mantiene a niveles medianos.

7. Conclusiones

Durante la caracterización de los sensores se apreció la importancia de la ficha técnica para la implementación de estos dispositivos; los sensores MQ son dispositivos muy similares pero que cambian drásticamente la sensibilidad según la necesidad, pero queda claro en las gráficas de las fichas técnicas que siguen detectando diferentes gases, pero su sensibilidad es menor.

El dispositivo cumplió la expectativa de medir los gases contaminantes para fuentes fijas, se puede alimentar a través de una fuente constante de voltaje o una batería para lugares que no cuentan con acceso a electricidad.

Este prototipo es capaz de almacenar datos para posteriormente ser visualizados. La duración del dispositivo autónomo conectado a una batería cuadrada de 9V es aproximadamente de 2 horas.

El prototipo puede ser aplicado a diferentes casos de estudio con diferentes fuentes fijas, presenta un bajo costo en fabricación y una fácil implementación a la hora de ser utilizado. Puede ser aplicado en diferentes casos estudios donde sean diferentes fuentes fijas las requeridas a analizar.

8. Recomendaciones

Se recomienda para futuros trabajos realizar pruebas en otros tipos de ambientes controlados, además de tomar pruebas por un mayor tiempo.

Para un mejor funcionamiento de los sensores, se recomienda instalar un sensor de temperatura ya que la medición de los sensores MQ es dependiendo a temperatura ambiente.

Se puede implementar baterías de litio para un mejor rendimiento y mayor autonomía.

Referencias

- Amado, Y. R. C., Urquiza, M. A. C., & Valencia, J. A. R. (2020). Calibración y estandarización de mediciones de calidad del aire usando sensores MQ. *Respuestas*, 25(1), 8.
- Arduino. (2018). *ARDUINO UNO REV3*. Recuperado De: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- Areny, R. P. (2005). *Sensores y acondicionadores de señal 4a*. Marcombo.
- Bawa, D., & Patil, C. Y. (2013). Fuzzy control based solar tracker using Arduino Uno. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 2(12), 179–187.
- Benavides, B., Ibáñez, C., & Cardona, M. (2020). *Medidor de gases contaminantes para vehículos*. Institución Universitaria Pascual Bravo.
- Delgado, C. (2019, July 22). *5 datos que no sabías sobre la contaminación del aire en Medellín*. Divulgación Científica UPB. <https://www.upb.edu.co/es/central-blogs/divulgacion-cientifica/contaminacion-aire-medellin>
- Didácticas Electrónicas. (n.d.). *Shield prototipado mini board*. Retrieved May 14, 2022, from <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/prototipado/shield-prototipado/shield-prototipado-mini-board-arduino-proto-tarjetas-shield-de-protoshield-para-prototipado-prototype-detail>
- Gaviria, C. F., Muñoz, J. C., & González, G. J. (2012a). Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos: un caso de estudio para el centro de Medellín. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 30(3), 316–327.
- Gaviria, C. F., Muñoz, J. C., & González, G. J. (2012b). Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos: un caso de estudio para el centro de Medellín. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 30(3), 316–327.
- Goilav, N., & Geoffrey, L. O. I. (2016). *Arduino: Aprender a desarrollar para crear objetos inteligentes*. Ediciones ENI.
- HANWEI ELECTRONICS CO. (n.d.-a). *TECHNICAL DATA MQ-7 GAS SENSOR*.
- HANWEI ELECTRONICS CO. (n.d.-b). *TECHNICAL DATA MQ-135 GAS SENSOR*.
- Hernández, F. (2003). *Tipos de Investigación*. McGraw Hill. México.
- Herrador, R. E. (2009). *Guía de usuario de Arduino*.
- Méndez, J. P., Ramírez, C. A. G., Gutiérrez, A. D. R., & García, F. P. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29–44.
- Nagy, A. S., Polanco Risquet, A., Martínez de la Cotera, O. L., & Carralero Ibargollen, O. (2020). Medición simultánea de gases con sensores MQ. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 41(1), 34–43.
- Sai, K. B. K., Subbareddy, S. R., & Luhach, A. K. (2019). IOT based air quality monitoring system using MQ135 and MQ7 with machine learning analysis. *Scalable Computing: Practice and Experience*, 20(4), 599–606.
- Sostenible, D. (2012). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Recuperado de: <https://bit.ly/2VJx00t>*.
- Vamos, M. C. (2020). Informe de calidad de vida de Medellín 2016-2019. *Recuperado Desde: https://www.medellincomovamos.org/system/files/2020-09/Docuprivados/MCV%20Documento_20_2016-2019*.

Vidal-Daza, O. A., & Pérez-Vidal, A. (2018). Estimación de la dispersión de contaminantes Atmosféricos emitidos por una industria papelera mediante el modelo Aermol. *Ingeniería*, 23(1), 31–47.

