MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AIRE COMO CONTRIBUCIÓN EN EL EMPODERAMIENTO DE LA COMUNIDAD DE SAMACÁ EN LA TOMA DE DECISIONES PARA LA DISMINUCIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PLATAFORMA DE MONITOREO DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AIRE EN EL MUNICIPIO DE SAMACÁ

PRESENTADO POR:

ELIANA MANUELA CASTEBLANCO GÓMEZ.
SEBASTIÁN DAVID MARTÍNEZ SOSA.

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, SECCIONAL TUNJA.
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA.
TUNJA
2021

MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AIRE COMO CONTRIBUCIÓN EN EL EMPODERAMIENTO DE LA COMUNIDAD DE SAMACÁ EN LA TOMA DE DECISIONES PARA LA DISMINUCIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PLATAFORMA DE MONITOREO DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AIRE EN EL MUNICIPIO DE SAMACÁ

PRESENTADO POR:
ELIANA MANUELA CASTEBLANCO GÓMEZ
SEBASTIÁN DAVID MARTÍNEZ SOSA

TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS

DOCENTES TUTORES
CESAR MAURICIO GALARZA BOGOTÁ
PABLO ANDRÉS ÁLVAREZ CAMARGO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TUNJA
2021

Las ideas presentadas en este trabajo son de responsabilidad exclusiva de los autores, no es la opinión de la Universidad Santo Tomás o de la Facultad de Ingeniería Electrónica.

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del director

_____

Firma del codirector

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

Tunja, Noviembre de 2021

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres y hermanos por su apoyo, compañía y sus consejos, a Lares y mis sobrinos por motivarme a dar cada día lo mejor de mí y a mis abuelos, por último, a cada persona que está pasando por un mal momento, cada día es una oportunidad para comenzar de nuevo.

Eliana Manuela Casteblanco Gómez.

Dedico este trabajo a mi mamá y mi tía por el apoyo, cariño y buenos consejos, a mis hermanas por estar a mi lado en cada uno de mis pasos, a mi abuela que me guía desde el cielo y a mi abuelo por ser parte fundamental de mi vida.

Sebastián David Martínez Sosa.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a Dios por guiarnos siempre en la realización de nuestros proyectos, darnos salud, y fortaleza para poder realizar cada una de nuestras metas.

Gracias a nuestros padres por brindarnos la oportunidad de realizar nuestros estudios superiores, cumplir nuestras metas y estar siempre para nosotros; a nuestros hermanos y hermanas por darnos el apoyo en todo momento a lo largo de este camino, a nuestras mascotas por su compañía en las noches de desvelo.

Agradecemos de igual manera a nuestro director de tesis, el ingeniero César Mauricio Galarzá Bogotá por la confianza en nosotros y la ayuda recibida para el desarrollo del proyecto, así mismo a nuestro codirector el ingeniero Pablo Andrés Álvarez Camargo por su guía y apoyo.

Agradecemos a los docentes que nos han enseñado desde el principio de nuestra enseñanza a dar lo mejor de nosotros, por el aprendizaje brindado, guiándonos con respeto.

A la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja por las herramientas y las enseñanzas para dejar al país mejores profesionales y el apoyo para la realización de este proyecto.

Para finalizar, queremos agradecer a nuestros amigos, familiares y personas que con su compañía y apoyo, pusieron un granito de arena para culminar esta etapa con éxito.

Tabla de Contenido

1 INTRODUCCIÓN 1

2 JUSTIFICACIÓN 3

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 4

3.1 Formulación de Pregunta: 4

3.2 Definición del Problema 4

3.3 Delimitación del Problema: 5

3.3.1 Delimitación Espacial: 5

3.3.2 Delimitación Temporal: 5

3.3.3 Delimitación Temática: 6

4 OBJETIVOS 7

4.1 Objetivo General: 7

4.2 Objetivos Específicos: 7

5 MARCO TEÓRICO 8

5.1 Marco Conceptual: 8

5.1.1 Localización (Asis Samacá, 2017): 8

5.1.2 Actividad Minera (ICMM, 2021): 8

5.1.3 Extracción de Carbón (AMBIENTUM, 2021): 9

5.1.4 Radiación Solar en Samacá (IDEAM 2014): 9

5.2 Referencial: 9

5.2.1 Clasificación Valores ICA (IDEAM, 2010): 9

5.2.2 Escalas de Monitoreo de calidad de aire (IDEAM, 2010): 11

5.2.3 Calidad de Aire (Carder, 2020): 11

5.2.4 Grados de Protección IP para aparatos eléctricos y electrónicos (Ingemecanica, 2021): 12

5.2.5 Minería en Samacá (Buitrago Betancourt, J. D. 2020): 13

5.2.6 Comunicación Inalámbrica (Feandalucia, 2009): 13
5.2.7 Telefonía Celular (Orange, 2021): 14
5.2.8 Comunicaciones Móviles (CRCCol, 2019): 14
5.2.9 Protocolos de Comunicación (Protocolos de Comunicaciones, 2004): 15
5.2.10 Protocolo UART (Smeplro, 2019): 15
5.2.11 Protocolo I2C (Smelpro, 2019): 15
5.2.12 Sistema de Energía Solar (Metropol.gov.co, 2012): 15
5.2.13 Baterías (Ingeniería Mecafenix, 2019): 16
5.3 Marco Histórico: 17
5.3.1 Sistemas de medición (Ptolomeo, 2017): 17
5.3.2 Sistemas de monitoreo de calidad del aire (IDEAM, 2020): 17
5.4 Marco Legal: 18
5.4.1 Normatividad de la minería en Colombia (Agencia Nacional de Minería, 2018). 18
5.4.2 Normativa Calidad del Aire en Colombia (SIAC, 2021) 18
5.4.3 Normativa Emisiones Atmosféricas (Ministerio de ambiente, 2021) 19
6 DISEÑO METODOLÓGICO 20
6.1 Fase 1. Indagación de normativas 20
6.2 Fase 2. Definición de parámetros 20
6.3 Fase 3. Análisis de Variables 20
6.4 Fase 4. Selección de Componentes 21
6.5 Fase 5. Diseño e implementación del equipo de monitoreo 21
7 DISEÑO ELECTRÓNICO E IMPLEMENTACIÓN 22
7.1 Hardware 22
7.1.1 Arduino 22

7.1.2 Raspberry Pi3 B+ 23
7.1.3 CJMCU-6814 24
7.1.4 CCS 811 26
7.1.5 AIR QUALITY GROVE SENSOR 28
7.1.6 OZONE 2 CLICK 30
7.1.7 HPMA115S0-XXX 32
7.1.8 DGS-SO2 968-038 33
7.1.9 Conversor de nivel BOB-12009 35
7.1.10 Módulo LTE EC21-AUX 35
7.1.11 ARGON FAN HAT 36
7.1.12 Antena GSM 5DBI 37
7.1.13 Sistema de alimentación 38
7.1.14 Circuitos impresos 39
7.1.15 Protección del Sistema 42
7.2 Software 42
7.2.1 Interfaz gráfica 49
7.2.2 Página web Initial State IoT 57
7.2.3 Implementación Unidad Principal 58
8 Resultados 60
8.1 Porcentaje de error 60
8.2 Pruebas de funcionamiento en la USTA Tunja 61
8.3 Envió de datos a página web 63
8.4 Alimentación del Sistema 64
9 Otros Aportes 66
9.1 Presupuesto 66

10 Conclusiones 68
11. Recomendaciones 69
11 Estrategias de Divulgación 70
11.1 V Encuentro Internacional de Investigación Universitaria (ENIIU 2021) 70
11.2 II Versión Concurso de Prototipos de Desarrollo Tecnológico e Invenciones 2021 70
11.2.1 Reconocimiento Recibido 70
11.3 Congreso Internacional de Ingeniería 2021- III CIDIFAM y VI CIICT 70
11.4 II International Conference on Machine Learning & Applied Network Techonologies – ICMLANT 2021 70
12 Bibliografía 71
13 ANEXOS 73

Listas especiales

Lista de tablas

Tabla 1. Escalas de monitoreo de Sistema de Monitoreo de Calidad de Aire. Fuente:Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la calidad de Aire, 2010, pag 14. 11
Tabla 2. Frecuencias en (MHz) de los estándares de comunicación según los 3 operadores de telefonía principales en Colombia. Fuente: Revista Smarthpone, realizando adaptación por los autores. 15
Tabla 3. Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire. Fuente: Corpoboyacá. 19
Tabla 4. Características Arduino Nano. Fuente: Autores 23
Tabla 5. Características Raspberry Pi 3 B+. Fuente: Autores 23
Tabla 6. Caracteristicas Sensor CJMCU-6814. Fuente: Autores. 25
Tabla 7. Caracteristicas Sensor CCS 811. Fuente: Autores. 26
Tabla 8. Caracteristicas Sensor AIR QUALITY GROVE. Fuente: Autores. 28
Tabla 9. Características Sensor ozone 2 click. Fuente: Autores 30
Tabla 10. Caracteristicas Sensor HPMA115S0-XXX . Fuente: Autores 32
Tabla 11. Caracteristicas Sensor DGS-S02-968-038. Fuente: Autores 34
Tabla 12. Características Módulo Conexión tipo mini PCI compatible con redes 2G, 3G y 4G LTE. Fuente: Autores 36
Tabla 13. Características ventilador ARGON FAN HAT para raspberry. Fuente: Autores. 36
Tabla 15.Características Antena GSM-5DBI. Fuente: Autores. 37
Tabla 16. Tabla de presupuesto real del proyecto. Fuente: Autores 66
Tabla 17. Cronograma de actividades. Fuente: Autores 67

Lista de figuras

Figura 1. Zonas Mineras del Municipio de Samacá. Fuente: Esquema de ordenamiento Territorial Samacá (Samacá, 2000) 4
Figura 2. Tabla de Corte del ICA Fuente: Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad de Aire del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (MAVDT, 2010 Pág. 134). 5
Figura 3. Ubicación del Municipio de Samacá en el país y en el departamento. Fuente: Asís 2015 8
Figura 4. Mapa de Radiación en Boyacá según Atlas De Radiación Solar, Ultravioleta Y Ozono De Colombia. Fuente: IDEAM 9
Figura 5. Rangos de clasificación de los valores del ICA, de acuerdo al color asignado. Fuente:Índice de Calidad de Aire (ICA), IDEAM, 2012. 10
Figura 6. Concentración promedio (ug/m3) intramural de partículas respirables en suspensión, en municipios mineros de Boyacá. Fuente: Evaluación de condiciones ambientales: aire, agua y suelos en áreas de actividad minera en Boyacá, Colombia 12
Figura 7. Participación del departamento de Boyacá en la explotación nacional de coque. Fuente: Elaborado por Jeffer Buitrago, Minería, comercio internacional e impactos ambientales en el páramo El Rabanal de Samacá, Boyacá. 13
Figura 8. Fases del diseño metodológico del Proyecto. Fuente: Autores. 20
Figura 9. Visualización Arduino Nano Fuente: Ardobot. 22
Figura 10. Visualización Raspberry Pi 3 B+ Fuente: Xataka 23
Figura 11. Visualización Sensor CJMCU-6814. Fuente: Mikroelectron. 24
Figura 12. Diagrama de conexión sensor CJMCU-6814. 25
Figura 13. Código en arduino, sensor CJMCU-6814. Fuente: Autores. 25
Figura 14. Visualización Sensor CCS 811. Fuente: Sandorobotics 26
Figura 15. Diagrama de conexión sensor CCS 811. Fuente: Autores. 27
Figura 16. Código en arduino, sensor CCS 811. Fuente: Autores. 27
Figura 17. Visualización Sensor Air Quality Grove. Fuente: RS Online 28
Figura 18. Diagrama de conexión sensor AIR QUALITY GROVE. Fuente: Autores. 29
Figura 19. Código en arduino, AIR QUALITY GROVE. Fuente: Autores. 29
Figura 20. Visualización Sensor Ozone 2 Click. Fuente: TME Electronic 30

Figura 21. Diagrama de conexión sensor ozone 2 click. Fuente: Autores. 31
Figura 22. Código en arduino, ozone 2 click. Fuente: Autores. 31
Figura 23. Visualización Sensor HPMA115S0-XXX . Fuente: I+D Electronica 32
Figura 24. Diagrama de conexión sensor HPMA115S0-XXX. Fuente: Autores. 33
Figura 25. Código en arduino, HPMA115S0-XXX. Fuente: Autores..... 33
Figura 26. Visualización Sensor DGS-SO2 968-038. Fuente: SPEC SENSORS 33
27. Diagrama de conexión sensor DGS-SO2 968-038. Fuente: Autores. 34
Figura 28. Visualización del conversor de nivel BOB-12009. Fuente: Sigma Electrónica 35
Figura 29. Visualización módulo conexión tipo mini PCI. Fuente: Sigma Electrónica. 35
Figura 30. Visualización ventilador ARGON FAN HAT. Fuente: Sigma Electrónica. 36
Figura 31. Visualización antena GSM 5DBI. Fuente: Sigma Electrónica 37
Figura 32. Visualización de los paneles solares usados para alimentar el sistema de la estación de monitoreo. Fuente: Autores 38
Figura 33. Diagrama de conexión de los sensores al arduino. Fuente: Autores 39
Figura 34. Visualización superior del diseño de la PCB, realizada en EasyEDA. Fuente: Autores..... 40
Figura 35. Visualización posterior del diseño de la PCB, realizada en EasyEDA. Fuente: Autores..... 40
Figura 36. Visualización de la pcb conectada a los dispositivos electrónicos (sensores, arduino, raspberry). Fuente: Autores. 40
Figura 37. Diseño de conexión del sistema de alimentación, realizada en el software Proteus (Isis). Fuente: Autores 41
Figura 38. Diseño PCB del Sistema de alimentación realizada en el en el software Proteus (Ares). Fuente: Autores. 41
Figura 39. Circuito impreso del sistema de alimentación. Fuente: Autores. 41
Figura 40. Visualización de la caja de protección IP65 cerrada. Fuente:Autores 42
Figura 41. Diagrama de flujo general de la trasferencia de datos del sistema. Fuente: Autores..... 43
Figura 42. Diagrama de flujo programa adquisición de datos en sensores. Fuente: Autores. 44
Figura 43. Diagrama de flujo para el sensor CJMCU-6814. Fuente: Autores 45

Figura 44. Diagrama de flujo para el sensor CCS 811. Fuente: Autores 45
Figura 45. Diagrama de flujo para el sensor Air Quality Grove. Fuente: Autores 46
Figura 46. Diagrama de flujo para el sensor Ozone 2 Click. Fuente: Autores 47
Figura 47. Diagrama de flujo para el sensor HPMA115S0-XXX. Fuente: Autores 48
Figura 48. Recolección de datos de todos los sensores, haciendo llamado al void loop para cada sensor. Fuente: Autores. 49
Figura 49. Datos obtenidos por los sensores, al ser recolectados en conjunto para su envío a la interfaz gráfica. Fuente: Autores. 49
Figura 50. Diagrama de flujo programa principal de la raspberry. Fuente: Autores 50
Figura 51. Diagrama de flujo de conexión a la página web IOT. Fuente: Autores. 51
Figura 52. Diagrama de flujo obtención de promedio de datos. Fuente: Autores 52
Figura 53. Diagrama de flujo de función StartReading. Fuente: Autores. 54
Figura 54. Diagrama de flujo función addModule (Interfaz). Fuente: Autores 55
Figura 55. Diagrama de flujo asignación de colores. Fuente: Autores. 56
Figura 56. Diagrama de flujo para la función “salir”. Fuente: Autores 56
Figura 57. Visualización de la interfaz gráfica elaborada en lenguaje de programación Python en raspberry, datos tomados en el campus de la USTA, Tunja Fuente: Autores 57
Figura 58. Visualización de envió de datos a la página web Initial State IoT, datos tomados en tiempo real en el campus de la USTA, Tunja. Fuente: Autores. 58
Figura 59. Vista interna de la caja de componentes electrónicos, detalle de conexión. Fuente: Autores. 59
Figura 60. Visualización de los parámetros de medición de contaminación del ICA, prueba realizada en la USTA, Tunja. Fuente: Autores. 60
Figura 61. Visualización del dato obtenido por el parámetro medido de calidad de aire. Fuente: Autores. 60
Figura 62. Equipo puesto en sombrillas del edificio Giordano Bruno de la USTA Tunja, realizando pruebas. Fuente. Autores. 61
Figura 63. Equipo con caja cerrada puesto en sombrillas del edificio Giordano Bruno de la USTA Tunja realizando pruebas. Fuente: Autores. 61
Figura 64. Realización de pruebas de campo en espacio abierto, ubicado al lado de la estación meteorológica de la USTA Tunja. Fuente: Autores. 62

Figura 65. Visualización del 100% de señal de cobertura al usar dos antenas GSM 5DBI. Fuente: Autores..... 63
Figura 66. Visualización historial de datos en página web Initial State IoT. Fuente: Autores 64
Figura 67. Baterías conectadas por medio de pcb al cable de alimentación de la raspberry. Fuente: Autores..... 65

GLOSARIO

A

Aire

es el fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla

C

Calidad del aire

La calidad del aire se refiere a la presencia en mayor o menor medida de contaminantes en la atmósfera que puedan ser nocivos para la salud humana, para el medio ambiente en su conjunto y para otros bienes de cualquier naturaleza.

Contaminación Atmosférica

es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

E

estación meteorológica

Se entiende como Estación Meteorológica el sitio donde se hacen observaciones y mediciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos usando instrumentos apropiados, con el fin de establecer el comportamiento atmosférico en las diferentes zonas de un territorio.

P

Plataforma

Una plataforma virtual es un sistema que permite la ejecución de diversas aplicaciones bajo un mismo entorno, dando a los usuarios la posibilidad de acceder a ellas a través de Internet.

S

Sensor

Un sensor es un dispositivo que está capacitado para detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia. Estos aparatos pueden transformar las magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas

Software

Software es un conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas que permiten ejecutar distintas tareas en una computadora.

T

Temperatura

La temperatura es una magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general.

Resumen

En el municipio de Samacá se registra un alto índice de contaminación ambiental producto de las actividades antrópicas presentes en la región, uno de los principales focos contaminantes es la minería, la cual afecta notablemente los recursos naturales de la región, contaminando aire, agua y suelos, lo cual repercute en la salud de los habitantes Samaquenses, sumado a esto, actualmente el municipio no cuenta con una estación de monitoreo de calidad de aire que identifique los parámetros y los clasifique en rangos de contaminación.

Por la razón anterior se busca la manera de implementar una estación de monitoreo en el municipio de Samacá, que permita a los habitantes conocer la condición de calidad de aire que pueda afectar la salud humana y el bienestar de la población, así nace la propuesta de trabajo de grado que plantea el presente documento, para conocer los parámetros que se deben medir para determinar el índice de calidad del aire, se encuentra una tabla propuesta por el ICA (Índice de Calidad del Aire) la cual mide parámetros de calidad de aire tales como el Ozono Troposférico (O3), Material Particulado (PM), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO2), Dióxido de Nitrógeno (NO2), según el ICA, este tiene una medida adimensional, en una escala de 0 a 500, clasificando sus valores en un rango de color para facilitar su interpretación, con colores como el verde, el amarillo, el naranja, rojo, purpura y marrón.

A raíz de los impactos ambientales producidos por los focos de contaminación en la región y la manera en que dichos impactos repercuten en la salud de la comunidad, se implementa un algoritmo que permite la adquisición y procesamiento de datos obtenidos por sensores para obtener la información de la condición del aire y así poder comparar los datos con la tabla anteriormente mencionada para conocer los parámetros de calidad de aire del municipio e identificar en que categoría se encuentran, entre buena, moderada, dañina a la salud para grupos sensibles, dañina a la salud, muy dañina a la salud y peligrosa.

Prólogo

La presente tesis de grado lleva por nombre el título “Diseño e implementación de plataforma de monitoreo de parámetros de calidad de aire en el municipio de Samacá” el cual hace parte de un proyecto de investigación aprobado por la unidad de investigación de la Universidad Santo Tomás, FODEIN, denominado “Monitoreo y evaluación de los parámetros de calidad agua y del aire como contribución en el empoderamiento de la comunidad de Samacá en la toma de decisiones para la disminución del riesgo ambiental”.

El desarrollo de la implementación de la estación de monitoreo, busca recolectar la información de los parámetros de calidad de aire, señalando el grado de pureza o contaminación atmosférica en el municipio de Samacá.

Este proyecto investigativo nos ha permitido tener la oportunidad de buscar herramientas innovadoras para dar solución a problemáticas presentes en el país, aprendiendo además sobre los procesos de coquización y las actividades antrópicas, en pro de identificar variables que afectan poblaciones y al medio ambiente, así poder implementar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera.

1 INTRODUCCIÓN

El municipio de Samacá es reconocido por sus actividades mineras y ser una región de altas actividades antrópicas, estas actividades se caracterizan por ser altamente contaminantes en los recursos naturales, como el agua dulce y el aire, causando repercusiones en la salud de la población, este municipio actualmente no cuenta con una estación de monitoreo que permita a la población tener conocimiento del nivel de pureza o contaminación atmosférica, así como reconocer el impacto que tienen dichas actividades en el ecosistema.

El primer paso para dar inicio al desarrollo del presente proyecto, fue realizar una indagación de la documentación de la gestión ambiental realizada por entidades como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) sobre el Índice de Calidad del Aire (ICA), encontrando así una tabla donde se establecen los parámetros para conocer los niveles de contaminación del aire, los valores del ICA se presentan en una escala de 0 a 500, siendo una unidad adimensional, agrupados en 6 rangos de categoría de condición del aire, de la siguiente manera, Buena, color verde (ICA de 0 a 50), Moderada, color amarillo (ICA de 51 a 100), Dañina a la salud para grupos sensibles, color naranja (ICA de 101 a 150), Dañina a la salud, color rojo (ICA de 151 a 200), Muy dañina a la salud, color purpura (ICA de 201 a 300) y finalmente, Peligrosa, color marrón (ICA de 301 a 500), valores determinados por parámetros como, el Ozono Troposférico (O3), Material Particulado (PM) menor a 2,5 micrómetros, Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO2), Dióxido de Nitrógeno (NO2) (IDEAM, 2010)

Luego de esto se realiza la adquisición de sensores y dispositivos que suplan las necesidades de implementación, adquiriendo sensores que cumplan con la medición y adquisición de variables que permitan conocer los parámetros previamente mencionados, se realizó una de prueba de sensores por medio de arduino nano V3 para la adquisición de datos, mirando que los datos recolectados se obtuvieran en partes por millón para poder ser comparados por la información ilustrada por el ICA.

El siguiente paso es entonces realizar la programación en arduino nano V3 que permita la adquisición en conjunto de los datos de todos los sensores, ejecutando una comunicación serial entre el arduino nano V3 y la interfaz gráfica de la raspberry Pi 3B+, donde por medio

de programación en Python se realiza la recolección de datos obtenidos los cuales posteriormente se envían a una página web (Initial State IoT), para la visualización de la información recolectada en tiempo real, en esta interfaz se leen los datos obtenidos por los sensores por tramas para su visualización y así poder ser comparados con la información contenida en el ICA.

Para el envío de datos se implementa un módulo LTE, para que el sistema tenga internet banda ancha, a modo de modem el cual se conecta a la raspberry permitiendo el envío de datos en tiempo real a la interfaz gráfica y a la página Initial State IoT,

Se realiza también el diseño de la PCB en el programa llamado EasyEDA donde posteriormente se ubican los elementos utilizados para ser acoplados en la caja de la estación de monitoreo, y así poder realizar las pruebas de campo, realizadas inicialmente en la sede campus de la USTA Tunja, seguido de esto, se realizan pruebas en el municipio de Samacá.

Para la alimentación del sistema de monitoreo se necesita una tensión de 5V, para energizar y dar funcionamiento a la raspberry Pi 3b+, para esto, se implementa energía fotovoltaica por medio de paneles solares y baterías de tipo Li-Po para la carga y alimentación de la estación de monitoreo.

Se espera que este sistema permita a la comunidad Samaquense tomar consciencia de los impactos generados por las actividades antrópicas de la región, así como incentivar a la implementación de más sistemas de monitoreo para evaluar los parámetros de calidad de aire en otros municipios de Colombia.

2 JUSTIFICACIÓN

La minería del carbón y la producción de coque son eje fundamental de la economía del municipio de Samacá [CMGRD de Samacá], dichas actividades, conocidas como "Antrópicas" están directamente relacionadas con el aumento de la contaminación ambiental, debido a la quema de combustibles fósiles, la extracción y procesamiento de carbón. Estos constantes niveles de contaminación repercuten en los ecosistemas y la salud pública de los habitantes del municipio y comunidades aledañas.

La cercanía de los campesinos a las zonas mineras es motivo de preocupación, por esta razón el municipio de Samacá ha sido foco de estudios sobre el impacto medioambiental que genera la minería de carbón y su repercusión en los problemas de salud de sus habitantes, siendo el caso de las consecuencias que deja el polvillo de carbón para la salud.

Uno de dichos estudios corresponde al denominado "Impactos Ambientales de la Minería de Carbón y su Relación con los Problemas de Salud de la Población del Municipio de Samacá (Boyacá), Según Reportes ASIS 2005-2011." Donde se reporta el incremento de enfermedades pulmonares, infecciones respiratorias y otras enfermedades asociadas a la contaminación ambiental.

La implementación de estaciones de monitoreo de parámetros medioambientales, es de ayuda para la toma de decisiones por parte de las autoridades y comunidad en general para contrarrestar los efectos nocivos para la comunidad.

Debido a esto, se formula el desarrollo de una estación de monitoreo en tiempo real de la calidad del aire, basado en sensores de medición y una plataforma de procesamiento de los datos recolectados, en donde se encuentre la información obtenida de los parámetros de calidad de aire, permitiendo que esta información sea útil para la toma de decisiones sobre las medidas de mitigación ambiental o planes de manejo ambiental que pueda implementar el municipio de Samacá.

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 Formulación de Pregunta:

- ¿Cómo se validan los datos provenientes de un Sistema de Monitoreo de Calidad del aire?
- ¿Qué es un inventario de emisiones y cómo se elabora?

3.2 Definición del Problema

El municipio de Samacá en Boyacá, al ser una zona de actividades antrópicas (zona de explotación minera (carbón y coque) y de uso de suelo mixto), genera graves impactos en el medio ambiente, siendo afectada la calidad del aire en la región. Este municipio no cuenta con una estación de monitoreo que permita recolectar datos con información de la calidad del aire presente, ni una plataforma la cual sirva como sitio de consulta.

Fuentes de emisión dispersa se localizan en los municipios de Corrales, Firavitoba, Moniquirá, Nobsa, Paipa, Panqueba, Paz del Río, Samacá, Santa Rosa de Viterbo, Socha, Socotá, Sogamoso, Sutamarchán, Tibasosa, Tópaga, Zetaquirá y Tunja debido a la transformación de minerales y centros de acopio principalmente de carbón y coque. (Corpoboyacá, 2016)

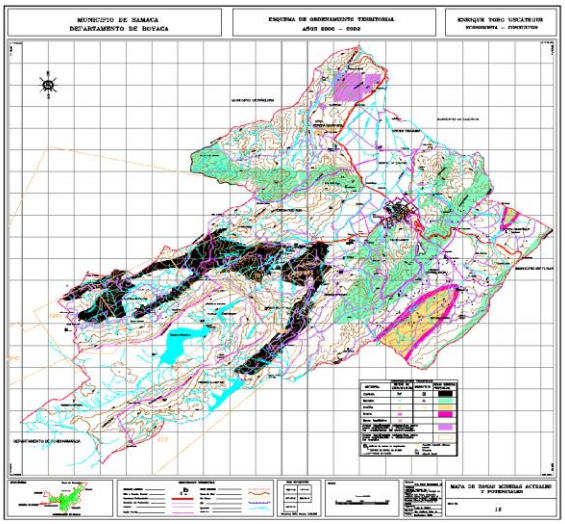


Figura 1. Zonas Mineras del Municipio de Samacá.

Fuente: Esquema de ordenamiento Territorial Samacá (Samacá, 2000)

"Según el Índice de Calidad del Aire (ICA) es una unidad de medida adimensional, en una escala de 0 a 500. Los rangos en los que se clasifican los valores del ICA tienen un color asignado para facilitar su interpretación." (Minambiente, 2010)

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	O_3 8h ppm	O_3 1h Ppm (1)	PM_{10} 24h $\mu g/m^3$	$PM_{2.5}$ 24h $\mu g/m^3$	CO 8h ppm	SO_2 24h ppm	NO_2 1h ppm
0 - 50	Verde	Buena	0,000 0,059	-	0 54	0,0 15,4	0,0 4,4	0,000 0,034	(2)
51-100	Amarillo	Moderada	0,060 0,075	-	55 154	15,5 40,4	4,5 9,4	0,035 0,144	(2)
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	0,076 0,095	0,125 0,164	155 254	40,5 65,4	9,5 12,4	0,145 0,224	(2)
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	0,096 0,115	0,165 0,204	255 354	65,5 150,4	12,5 15,4	0,225 0,304	(2)
201 - 300	Púrpura	Muy Dañina a la salud	0,116 0,374 (0,155 0,404) (4)	0,205 0,404	355 424	150,5 250,4	15,5 30,4	0,305 0,604	0,65 1,24
301-400	Marrón	Peligrosa	(3)	0,405 0,504	425 504	250,5 350,4	30,5 40,4	0,605 0,804	1,25 1,64
401-500	Marrón	Peligrosa	(3)	0,505 0,604	505 604	350,5 500,4	40,5 50,4	0,805 1,004	1,65 2,04

Figura 2. Tabla de Corte del ICA

Fuente: Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad de Aire del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (MAVDT, 2010 Pág. 134).

3.3 Delimitación del Problema:

3.3.1 Delimitación Espacial:

La estación de monitoreo del proyecto se tiene prevista en los municipios de Tunja y de Samacá ubicado en el departamento de Boyacá. Se plantea realizar pruebas en el campus avenida universitaria de la Universidad Santo Tomás, Tunja y en Samacá. El punto será asignado según se acuerde con la comunidad.

3.3.2 Delimitación Temporal:

El tiempo previsto para el desarrollo del proyecto corresponde a seis meses, iniciando en el mes de Febrero y terminando en el mes de Noviembre del presente año (2021)

3.3.3 Delimitación Temática:

El presente proyecto se basa en el diseño e implementación de una estación de monitoreo de calidad de aire, buscando posibles alteraciones en el mismo, producto de las actividades antrópicas del municipio, haciendo uso del sistema de energía implementado en etapas anteriores de la ejecución del proyecto "Monitoreo y evaluación de los parámetros de calidad agua y del aire como contribución en el empoderamiento de la comunidad de Samacá en la toma de decisiones para la disminución del riesgo ambiental." aprobado por FODEIN.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo General:

Monitorear los parámetros de calidad del aire en el Valle de Samacá en tiempo real.

4.2 Objetivos Específicos:

• Identificar los parámetros de calidad del aire en el Valle de Samacá para la evaluación del riesgo ambiental, como las principales fuentes de contaminación.

• Desarrollar un equipo de monitoreo de la calidad del aire, basado en sensores para la medición y procesamiento de datos en tiempo real y que permita el envío de los datos a una plataforma de almacenamiento de información.

• Generar herramientas de visualización que permitan a la comunidad de Samacá conocer en tiempo real la calidad del aire.

5 MARCO TEÓRICO

5.1 Marco Conceptual:

5.1.1 Localización (Asis Samacá, 2017):

El municipio de Samacá está ubicado en la Provincia Centro, Tunja como capital del Departamento, clasificado en categoría 6, cuyo código del DANE es 15646. Tiene una extensión de 172,90 km2; el perímetro urbano se encuentra a 2.665 m.s.n.m. con una distancia de 32 kilómetros de Tunja y 159 km de Bogotá. Limita al norte con Sáchica, Sora y Cucaita, al sur con Guachetá, Venta quemada y Ráquira, al oriente con Tunja, Cucaita y Venta quemada, al occidente con Ráquira. Su extensión total comprende 172.9 km2; el área urbana comprende 1.2 km2, y área rural 171.7 km2, con 2.660 msnm en cabecera municipal.

Figura 3. Ubicación del Municipio de Samacá en el país y en el departamento.

Fuente: Asís 2015

5.1.2 Actividad Minera (ICMM, 2021):

La minería de superficie implica la eliminación (decapado) de la vegetación de la superficie, la tierra y, si fuera necesario, las capas de lecho de roca para alcanzar los yacimientos mineros que se encuentran debajo. La minería subterránea consiste en excavar túneles o pozos en el suelo para alcanzar yacimientos minerales profundamente enterrados.

5.1.3 Extracción de Carbón (AMBIENTUM, 2021):

El carbón se extrae mediante la apertura de dos tipos de minas: de superficie, que se encuentran al descubierto, y subterráneas. La mayoría de las explotaciones al descubierto están a 15 metros de la superficie de la Tierra mientras que las explotaciones subterráneas se hallan normalmente a cientos de metros bajo tierra. Las explotaciones de carbón al descubierto requieren maquinaria pesada para extraer la montera o terreno de recubrimiento de la veta de carbón. La tierra extraída se coloca en grandes montones, lo que puede originar serios problemas medioambientales.

5.1.4 Radiación Solar en Samacá (IDEAM 2014):

La radiación solar que se presenta en el municipio de Samacá se encuentra en un valor promedio de 4,5 – 5,0 Kwh/m^2.

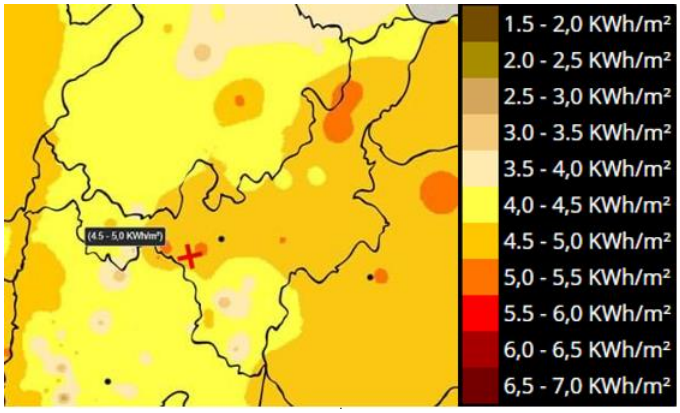


Figura 4. Mapa de Radiación en Boyacá según Atlas De Radiación Solar, Ultravioleta Y Ozono De Colombia.

Fuente: IDEAM

5.2 Referencial:

5.2.1 Clasificación Valores ICA (IDEAM, 2010):

Los valores del ICA se ubican en una escala adimensional de 0 a 500, que han sido agrupados en 6 rangos que guardan estrecha relación con la amenaza que, a la salud humana, representan dichos niveles de contaminación del aire. Para facilitar su interpretación cada uno de estos rangos ha sido asociado a un color que sirve de alerta.

Los niveles de contaminación del aire reflejados por cada uno de los rangos del ICA determinan un conjunto de acciones preventivas que se recomienda sean tenidas en cuenta por la población.

Rangos *ICA*	Colores
$0 \leq ICA \leq 50$	Verde
$51 \leq ICA \leq 100$	Amarillo
$101 \leq ICA \leq 150$	Anaranjado
$151 \leq ICA \leq 200$	Rojo
$201 \leq ICA \leq 300$	Morado
$301 \leq ICA \leq 500$	Marrón (usualmente no es necesario mostrarlo)

Figura 5. Rangos de clasificación de los valores del ICA, de acuerdo al color asignado. Fuente:Índice de Calidad de Aire (ICA), IDEAM, 2012.

El indicador se calcula a partir de las mediciones de concentración de los contaminantes monitoreados en los SVCA, y los puntos de corte prestablecidos para cada uno de los contaminantes, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$ICA_{Pjt} = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} \left(C_{Pjt} - BP_{Lo}\right) + I_{Lo} \qquad (1)$$

Donde:

- ICA_{Pjt} Es el Índice de calidad del aire para el contaminante P de una estación de monitoreo de la calidad del aire j durante el período de tiempo t, el cual corresponde al período de exposición previsto en la norma para cada uno de los contaminantes que se está midiendo.
- C_{Pjt} Es la concentración del contaminante P medida en la estación de monitoreo de la calidad del aire j durante el período de tiempo t, el cual corresponde al período de exposición previsto en la norma para cada uno de los contaminantes que se está midiendo.

- BP_{HI} Es el punto de corte mayor o igual a la concentración del contaminante P medida.
- BP_{Lo} Es el punto de corte menor o igual a la concentración del contaminante P medida.
- I_{Hi} Es el valor del ICA correspondiente al punto de corte BP_{Hi}.
- I_{Lo} Es el valor del ICA correspondiente al punto de corte BP_{Lo}.

5.2.2 Escalas de Monitoreo de calidad de aire (IDEAM, 2010):

Las escalas que a continuación se presentan se desarrollan con base en la literatura internacional.

Tabla 1. Escalas de monitoreo de Sistema de Monitoreo de Calidad de Aire.
Fuente:Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la calidad de Aire, 2010, pag 14.

ESCALA	DESCRIPCIÓN	ESCALA
MICRO	Típica de áreas como cañones urbanos y correderos de tráfico donde el público puede estar expuesto a altas concentraciones de contaminantes provenientes de las emisiones de fuentes móviles o fuentes puntuales. Responde a estudios puntuales de un grupo de fuentes y receptores específicos y/o estudios epidemiológicos. Las mediciones tomadas a esta escala no deben tomarse como representativas de un área mayor.	2m - 100 m
MEDIA	Representa concentraciones típicas de zonas limitadas en un área urbana	100 m - 0.5 Km
VECINDARIO	Las mediciones en esta categoría pueden representar las condiciones en un área específica al interior de un área urbana.	0.5 Km - 3 Km
URBANA	Condiciones de un área urbana.	3 Km - 20 Km
REGIONAL	Áreas rurales o conjunto de áreas urbanas y rurales. Incluye la interacción de varias jurisdicciones de diferentes autoridades ambientales.	Más de 20 Km hasta el área total de la jurisdicción
NACIONAL	Estudio del país. Incluye la integración de varios SVCA y jurisdicciones de diferentes autoridades ambientales.	Todo el país

5.2.3 Calidad de Aire (Carder, 2020):

La calidad del aire se refiere a la presencia en mayor o menor medida de contaminantes en la atmósfera que puedan ser nocivos para la salud humana, para el medio ambiente en su

conjunto y para otros bienes de cualquier naturaleza. Se establecen índices de calidad del aire que proporcionan valores indicativos del estado de la atmósfera respecto a un contaminante en particular o a un conjunto de ellos. Estos valores se refieren a una escala definida a partir de conocimientos científicos sobre los niveles de los distintos contaminantes que pueden resultar nocivos para la salud humana, el medio ambiente, etc.

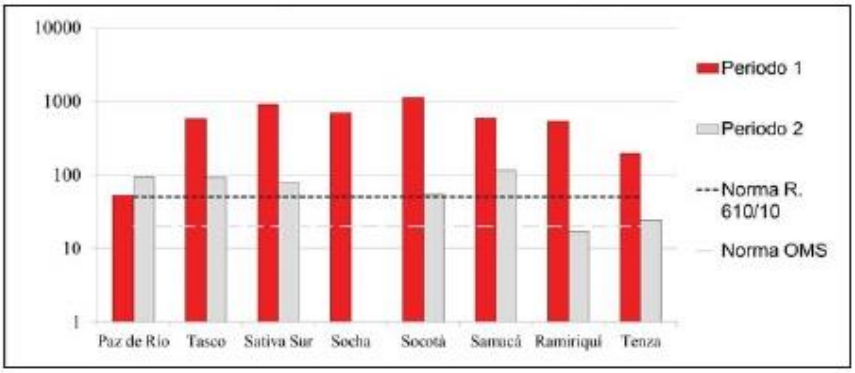


Figura 6. Concentración promedio (ug/m3) intramural de partículas respirables en suspensión, en municipios mineros de Boyacá.

Fuente: Evaluación de condiciones ambientales: aire, agua y suelos en áreas de actividad minera en Boyacá, Colombia

5.2.4 Grados de Protección IP para aparatos eléctricos y electrónicos (Ingemecanica, 2021):

El grado de protección IP hace referencia a la norma europea EN 60529, equivalente a la norma internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional CEI 60529 "Grados de Protección" (en inglés, IEC - International Electrotechnical Comisión - 60529 Degrees of Protection), y es un sistema de codificación para indicar los grados de protección proporcionado por la envolvente de los aparatos contra el acceso a las partes peligrosas, contra la penetración de cuerpos sólidos extraños y contra la penetración de agua a su interior, además de ofrecer información adicional referente a dicha protección.

Este Código IP está formado por las letras "IP" (del inglés: Ingress Protection) seguidas de dos cifras numéricas, que son independientes una de otra.

Adicionalmente, y de manera sólo opcional, para proporcionar información suplementaria sobre el grado de protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas, puede

complementarse el código IP con una letra colocada inmediatamente después de las dos cifras características.

5.2.5 Minería en Samacá (Buitrago Betancourt, J. D. 2020):

La explotación del carbón mineral y su transformación en coque constituyen las principales actividades económicas del municipio de Samacá. Allí tienen sede varias empresas de capital nacional y extranjero, así como también cooperativas y sociedades comerciales.

Tal como aparece mencionado en el Estudio sobre el estado actual del macizo del páramo de Rabanal (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca et al., 2008) y en el Plan de Desarrollo Samacá 2016-2019 (Alcaldía Municipal de Samacá, 2016), este ecosistema ha estado sometido a largos procesos de intervención humana desde épocas precolombinas y sigue siendo un área donde se ejerce una fuerte presión.

Figura 7. Participación del departamento de Boyacá en la explotación nacional de coque. Fuente: Elaborado por Jeffer Buitrago, Minería, comercio internacional e impactos ambientales en el páramo El Rabanal de Samacá, Boyacá.

5.2.6 Comunicación Inalámbrica (Feandalucia, 2009):

Se refiere al tipo de comunicación en el cual no son requeridos ningunos conectores físicos o tangibles, es decir, que la comunicación inalámbrica se realiza sin cables, o mejor, sin alambres. Bajo esta condición, la comunicación inalámbrica se realiza mediante ondas de radio. Existen varias tecnologías inalámbricas que aplican las ondas de radio para comunicar dispositivos.

5.2.7 Telefonía Celular (Orange, 2021):

Las comunicaciones móviles siguen el principio general de la telefonía: Conectar dos usuarios remotos a través del equipo de red de un operador responsable de la gestión del servicio. Sin embargo, a diferencia de los teléfonos fijos, en la red móvil no existen pares de cobre ni fibra óptica, y las transmisiones de radio constituyen el enlace final. El teléfono móvil del usuario comunica a través del aire con una antena, que a su vez comunica con la central del operador. Ésta encamina la comunicación hacia la parte correspondiente en la red fija o a través de otras antenas.

5.2.8 Comunicaciones Móviles (CRCCol, 2019):

Las redes móviles a nivel mundial están en constante proceso de modernización, llegando al punto de realizar múltiples conexiones entre varios dispositivos con altas velocidades, las más comunes que se encuentran son la GSM, GPRS, UMTS y LTE.

GSM: Se trata del protocolo más común de la tecnología 2G, ya que fue desarrollado para todas las regiones del mundo. Su funcionamiento se basa en canales lógicos que permiten tanto la transmisión de voz como de datos, y trabaja sobre distintas bandas de frecuencia como 900, 1800 y 1900 MHz.

GPRS: Este protocolo desarrolla una tecnología más avanzada denominada 2.5G, debido a que incorpora la conmutación por paquetes, que a diferencia de la conmutación por circuitos que ofrecía GSM, permite liberar las frecuencias cuando no se está enviando ningún dato; esta ventaja disminuye la saturación de la red, y permite el abaratamiento de tarifas, la comunicación terminal-computador y la simplificación para el proceso de migración a la tecnología 3G.

UMTS: La tecnología UMTS permitió alternar varias redes durante la conexión sin perder la comunicación. Así mismo, soportó nuevos servicios bajo el protocolo IP gracias a su elevada tasa de transmisión de datos. Esta interfaz de radio también fue conocida como UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access) logrando conseguir altas velocidades de transmisión de manera confiable.

LTE: Es la interfaz radioeléctrica que permite alta tasa de transferencia de datos que soporta hasta 100 Mbit/s de bajada y 50 Mbit/s de subida y a diferencia de las redes 2G y 3G las

cuales utilizan técnicas de conmutación de circuito para la voz, LTE utiliza la técnica de conmutación por paquetes IP para voz, con la tecnología VoLTE16 que mejora la calidad del audio y optimiza el tiempo de establecimiento de la llamada.

Tabla 2. Frecuencias en (MHz) de los estándares de comunicación según los 3 operadores de telefonía principales en Colombia. Fuente: Revista Smarthpone, realizando adaptación por los autores.

REDES CELULARES EN COLOMBIA				COMPATIBILIDAD POR OPERADOR		
GENERACIÓN	TIPO DE RED	BANDA	FRECUENCIA (MHz)	CLARO	MOVISTAR	TIGO
2G	GSM, GPRS, EDGE	5 2	850 1900	X	X	 X
3G	UMTS, WCDMA, HSDPA, HSPA+	5 2	850 1900	X	X	 X
4G	LTE	4 7 38	1700 Y 2100 2600 2600	X	X	X

5.2.9 Protocolos de Comunicación (Protocolos de Comunicaciones, 2004):

Un protocolo de comunicaciones es un conjunto de normas que están obligadas a cumplir todas las máquinas y programas que intervienen en una comunicación de datos entre ordenadores sin las cuales la comunicación resultaría caótica y por tanto imposible.

5.2.10 Protocolo UART (Smeplro, 2019):

Las siglas significan Asynchronous Receiver-Transmitter, o Transmisor-Receptor Asíncrono Universal en español. Es asíncrono, lo que quiere decir que no hay un sistema de reloj que controle él envió de los bits. Dependemos de un Tx y un Rx, estos deben tener en común la velocidad de transmisión y la longitud del dato.

5.2.11 Protocolo I2C (Smelpro, 2019):

Este protocolo es síncrono, lo que significa que hay un reloj controlando el flujo de datos. También permite conectar más de un receptor a diferencia del UART. El equipo que controla a los demás es denominado maestro (master) y un receptor es llamado esclavo (slave). Cada receptor tendrá una dirección, también llamada dirección de esclavo.

5.2.12 Sistema de Energía Solar (Metropol.gov.co, 2012):

Un panel solar es un dispositivo que convierte la energía proveniente del sol -Radiación electromagnética- en energía eléctrica. Las celdas fotosensibles que lo componen están

fabricadas a partir de silicio cristalino, material que por sus propiedades físicas y estructurales es idóneo para la liberación de electrones y la generación de corriente eléctrica. La variabilidad de la cobertura de las nubes y la rotación del planeta tierra alrededor del sol, hacen que la radiación solar no sea constante. Por esta razón el voltaje generado por el panel solar es muy variable.

5.2.13 Baterías (Ingeniería Mecafenix, 2019):

El funcionamiento de una batería se basa en una reacción electro-química llamada Redox (reducción – oxidación). Esta reacción a simples palabras trata de un intercambio de electrones entre dos polos, provocando un cambio en los estados de oxidación de los materiales.

Los dos polos están sumergidos en una solución electrolítica y cada uno reacciona de diferente forma:

- Mientras que el ánodo o polo negativo reacciona en forma de oxidación (se oxida) debido a la liberación de electrones.
- El cátodo o polo positivo sufre una reducción de oxidación (se reduce) debido a la ganancia de electrones.

Las más baterías recargables más comunes son:

Plomo – Ácido Este tipo de batería por lo regular está compuesto por seis celdas conectadas en serie lo que equivale a un aproximado de 12v y se utiliza principalmente en la automoción como batería de arranque de motores, ya sea en automóviles, molinetes, hélices de proa, etc.

Níquel Si bien, prácticamente no sufren de auto descarga, tienen efecto memoria, lo cual reduce la capacidad de las mismas. Comúnmente se usan para cámaras fotográficas.

Litio Estas baterías son las de mayor rendimiento, ya que siendo comparadas con las de plomo pueden generar 6 veces más energía utilizando el mismo tamaño de batería. Estas son utilizadas en los dispositivos electrónicos de uso constante como lo son las tablas, los portátiles, smartphones. Debido a su rendimiento, sus dimensiones y su peso.)

5.3 Marco Histórico:

5.3.1 Sistemas de medición (Ptolomeo, 2017):

La evaluación y definición de los sistemas de medición consiste en determinar la capacidad y estabilidad de los sistemas de medición por medio de estudios de estabilidad, repetitividad, reproducibilidad, linealidad y exactitud.

Un sistema de medición es la colección de operaciones, procedimientos, instrumentos de medición y otro equipo, software y personal definido para signar un número a la característica que está siendo medida.

5.3.2 Sistemas de monitoreo de calidad del aire (IDEAM, 2020):

La norma de calidad del aire ambiente, Resolución 2254 de 2017 establece los niveles máximos permisibles de contaminantes criterio: material particulado (PM10 y PM2.5), dióxido de azufre (SO2), dióxido de nitrógeno (NO2), ozono troposférico (O3) y monóxido de carbono (CO).

Para conocer el estado de la calidad del aire, las Autoridades Ambientales han instalado y puesto en operación Sistemas de Vigilancia –SVCA según lo definido en el Protocolo Para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire por el Ministerio de Ambiente.

El número de SVCA ha venido aumentado en los últimos años: de acuerdo con la información recopilada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM mediante el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire - SISAIRE, en 2018 operaron a nivel nacional 27 SVCA, conformados por 203 estaciones de monitoreo de las cuales 169 fueron fijas y 34 indicativas.

La cobertura espacial de los sistemas de vigilancia en 2018 abarcó 22 departamentos y 83 municipios, cubriendo las regiones Andina, Caribe, Pacífico y Orinoquía. La información de los contaminantes atmosféricos es reportada por las Corporaciones Autónomas Regionales y las Autoridades Ambientales de los grandes centros urbanos en el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE.

De acuerdo con el histórico de registros de los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire que operan en Colombia, los contaminantes con mayor problemática son el material particulado inferior a 2.5 micras, PM2,5 y el inferior a 10 micras, PM10.

Colombia, consciente del desafío de esta problemática, ha decidido vincularse a la campaña mundial "Respira la vida" de la Organización Mundial de la Salud y la Coalición del Clima y Aire Limpio para la reducción de contaminantes climáticos de vida corta (CCAC), con el propósito de crear estrategias para fortalecer el monitoreo de la calidad de aire y la generación de información para mantener informada a la ciudadanía, conectar las ciudades para el intercambio de experiencias exitosas, acelerar soluciones frente al cambio climático y la calidad de aire, así como empoderar a los individuos sobre los efectos de la calidad de aire en la salud y en las soluciones que como ciudadanos podemos aportar a la solución de la problemática.

5.4 Marco Legal:

5.4.1 Normatividad de la minería en Colombia (Agencia Nacional de Minería, 2018).

Cualquier persona natural o jurídica de carácter nacional o extranjero puede realizar actividades mineras [48], pero es necesario cumplir con ciertas condiciones que garanticen la legalidad de las mismas. Inicialmente, la persona (o empresa), debe contar con el Registro Único Tributario (RUT) que identifique la actividad económica a la que se dedica. Además, si la persona es de carácter extranjero, debe registrarse en el Banco de la República de Colombia. Posteriormente, para el ejercicio de la actividad minera, es requerido haber recibido un título minero, otorgado por la Agencia Nacional de Minería (ANM) e inscrito en el Registro Minero Nacional.

Ambientalmente existen áreas excluidas de la minería, así como otras que, para ser intervenidas por entidades mineras, se requiere adicionalmente cumplir con la aprobación de Licencias Ambientales (ANLA) o por la Corporación Autónoma Regional respectiva (ej. Corpoboyacá) para la exploración de la zona de interés y con licencia ambiental para su explotación, otorgada por la Agencia Nacional

5.4.2 Normativa Calidad del Aire en Colombia (SIAC, 2021)

La norma de calidad del aire ambiente, Resolución 2254 de 2017 establece los niveles máximos permisibles de contaminantes criterio: material particulado (PM10 y PM2.5), dióxido de azufre (SO2), dióxido de nitrógeno (NO2), ozono troposférico (O3) y monóxido de carbono (CO).

Tabla 3. Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire. Fuente: Corpoboyacá.

Contaminante	Nivel Máximo Permisible (µg/m³)	Tiempo de Exposición
PM_{10}	50	Anual
	100	24 Horas
$PM_{2.5}$	25	Anual
	50	24 Horas
SO_2	50	24 Horas
	100	1 Hora
NO_2	60	Anual
	200	1 Hora
O_3	100	8 Horas
CO	5.000	8 Horas
	35.000	1 Hora

5.4.3 Normativa Emisiones Atmosféricas (Ministerio de ambiente, 2021)

El decreto 948 de 1995 contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire, de alcance general y aplicable en todo el territorio nacional, mediante el cual se establecen las normas y principios generales para la protección atmosférica, tiene por objeto definir el marco de las acciones y los mecanismos administrativos de que disponen las autoridades ambientales para mejorar y preservar la calidad del aire, y evitar y reducir el deterioro del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana ocasionados por la emisión de contaminantes químicos y físicos al aire.

6 DISEÑO METODOLÓGICO

El presente proyecto tiene una investigación de tipo aplicada, debido a que se emplea para el abordaje de un problema específico, en este caso para ser más precisos, a una investigación aplicada científica, buscando medir determinadas variables por medio del monitoreo del aire.

De esta manera el proyecto cuenta con 6 fases, como se aprecia en la figura ilustrada a continuación.

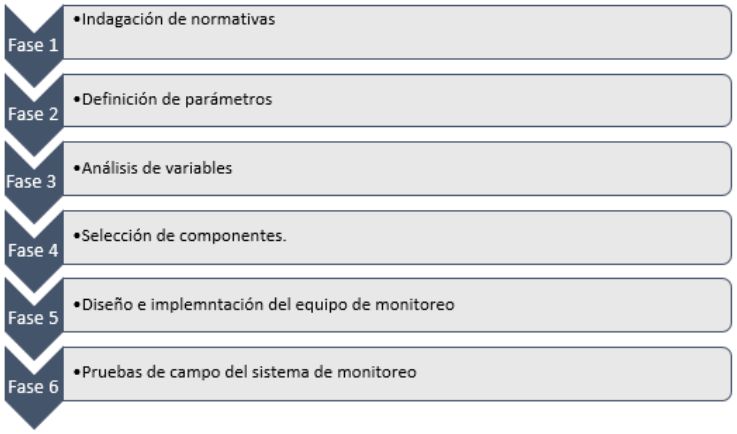


Figura 8. Fases del diseño metodológico del Proyecto.

Fuente: Autores.

6.1 Fase 1. Indagación de normativas

En esta primera fase del desarrollo del proyecto, se realizan búsquedas en entidades como el IDEAM, el ICA y Corpochivor a manera de consulta de la normativa presente sobre la calidad del aire, para ser implementada en el Samacá, así mismo, se indaga sobre estaciones de monitoreo similares presentes en el país e investigaciones pertinentes alrededor del tema de la contaminación ambiental, como las actividades antrópicas.

6.2 Fase 2. Definición de parámetros

Esta fase del proyecto, va ligada al primer objetivo específico planteado, donde se busca identificar y definir los parámetros de calidad de aire presente en el municipio de Samacá, observando sus principales fuentes de contaminación y cómo estas afectan el ambiente.

6.3 Fase 3. Análisis de Variables

Esta fase del proyecto va de la mano con la fase anterior, analizando las variables a tener en cuenta, como la temperatura, ozono, dióxido de carbono, monóxido de carbono, entre otros.

6.4 Fase 4. Selección de Componentes

Esta fase del proyecto, va de la mano con la Fase 3. Y el segundo objetivo específico, donde se debe tener en cuenta el análisis de las variables para la selección de los sensores y demás componentes a implementar para la ejecución de la estación meteorológica y procesamiento de datos.

6.5 Fase 5. Diseño e implementación del equipo de monitoreo

Esta fase del proyecto, corresponde al segundo y tercer objetivo específico previamente mencionado, donde haciendo uso a los componentes previamente seleccionados, se da inicio a la implementación física de la estación de monitoreo de calidad de aire, donde posteriormente los datos serán obtenidos en tiempo real en una herramienta de visualización, donde se podrá acceder a conocer los resultados obtenidos.

7 DISEÑO ELECTRÓNICO E IMPLEMENTACIÓN

En esta sección se detalla el funcionamiento de la estación de monitoreo de calidad de aire, se podrá encontrar datos como los elementos y dispositivos implementados en el desarrollo del proyecto, encontrando primeramente la parte del hardware del sistema, seguido del software.

7.1 Hardware

Con respecto a los elementos con los que se dio ejecución al desarrollo el proyecto, se implementa un arduino nano, donde se realiza lo correspondiente a la adquisición de los datos recolectados por los sensores que se mencionaran más adelante, se implementa también una raspberry pi 3 b+ donde se desarrolla la interfaz gráfica de la estación de monitoreo.

7.1.1 Arduino

Figura 9. Visualización Arduino Nano

Fuente: Ardobot.

Se implementa un Arduino Nano, ya que cuenta con entradas analógicas pertinentes para la programación de los sensores (CJMCU-6814, CCS811, AIRQUIALITU GROVE SENSOR, OZONE 2 CLICK), además cuenta con comunicación I2C, comunicación serial y UART, este tipo de arduino al ser de pequeño tamaño, es ideal para el proyecto, teniendo la cantidad adecuada de pines para los sensores y ocupando poco espacio en la estación de monitoreo.

Tabla 4. Características Arduino Nano. Fuente: Autores

MICRO CONTROLADOR	VOLTAJE OPERACIÓN	VOLTAJE ENTRADA	CONSUMO CORRIENTE	ENT/SAL DIGITALES	ENTRADAS ANALÓGICAS	VELOCIDAD RELOJ
Atmel ATmega328	5 V	7 - 12 V	15mA	14	8	16MHz

7.1.2 Raspberry Pi3 B+

Figura 10. Visualización Raspberry Pi 3 B+

Fuente: Xataka

La implementación de la raspberry es con el objetivo de crear una interfaz gráfica de los datos arrojados por los sensores y comunicarlos en una plataforma IoT en tiempo real, se escogió este tipo de raspberry por su sencilla programación para crear gráficas.

Tabla 5. Características Raspberry Pi 3 B+. Fuente: Autores

PROCESADOR	FRECUENCIA DE RELOJ	RAM	CORRIENTE DE OPERACIÓN
Broadcom BCM2837BO, Cortex-A53(ARMv8) 64-bit SoC	1,4 GHz	1GB LPDDR2 SDRAM	2,5 A

Los sensores que se encuentran a continuación fueron escogidos por su pertinencia al momento de implementar la estación de monitoreo de parámetros de calidad de aire, por

consiguiente se utilizaron sensores que permitieran la recolección de datos como el ozono troposférico, dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y material particulado de 2.5 y 10 micras, además de esto, se implementan algunos sensores auxiliares, los cuales permiten la medición de otros factores que contribuyen a la contaminación ambiental, midiendo parámetros como el amoniaco, compuestos orgánicos volátiles, dióxido de carbono.

7.1.3 CJMCU-6814

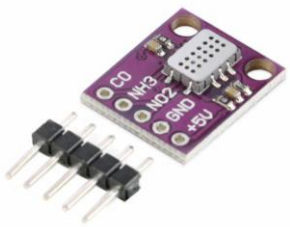


Figura 11. Visualización Sensor CJMCU-6814.
Fuente: Mikroelectron.

Este sensor obtiene los datos de (Monóxido de Carbono, Amoniaco, Dióxido de Nitrógeno), los cuales son de importancia al implementar la estación de monitoreo de calidad de aire, según los parámetros del ICA.

Se realiza la prueba del funcionamiento del sensor en arduino, usando la versión, arduino nano, calibrando el sensor para que una vez conectados todos los sensores se asegure que los datos obtenidos por el sensor cada que esté tomando la adquisición de lectura de parámetros, arroje los datos preciso, la conexión de los pines se puede apreciar en la Figura 12, y el código implementado en la Figura 13.

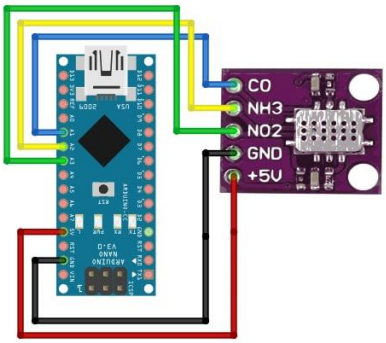


Figura 12. Diagrama de conexión sensor CJMCU-6814.

Tabla 6. Caracteristicas Sensor CJMCU-6814. Fuente: Autores.

VOLTAJE DE SUMINISTRO DEL MÓDULO	CONSUMO CORRIENTE	T° Y HUMEDAD DEL AMBIENTE DE TRABAJO	MONÓXIDO DE CARBONO CO	AMONÍACO NH3	DIÓXIDO DE NITRÓGENO NO2
DC 4.9 V ~ 5.1 v	32 mA	-30 ~ 85° 5 ~ 95% RH.	1 - 1000 PPM	1 - 500 PPM	0.05 - 10 PPM

MICS_6814

```
#include <Arduino.h>

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Setup initializing");

  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
  pinMode(A2, INPUT);
}

void loop() {
  int a0_read = analogRead(A0);
  int a1_read = analogRead(A1);
  int a2_read = analogRead(A2);

  Serial.print("CO (a0) ppm: "+String(a0_read));
  Serial.print(1 + a0_read * ((1000-1)/1023));
  Serial.print(" NH3 (a1) ppm: "+String(a1_read));
  Serial.print(1 + a1_read * ((500-1)/1023));
  Serial.print(" NO2 (a2)ppm: "+String(a2_read));
  Serial.print(0.05 + a2_read * ((10-0.05)/1023));
  Serial.println("");

  delay(1000);
}
```

Figura 13. Código en arduino, sensor CJMCU-6814.

Fuente: Autores.

7.1.4 CCS 811

Figura 14. Visualización Sensor CCS 811.
Fuente: Sandorobotics

Este sensor obtiene los datos de (Dióxido de carbono, Compuestos Orgánicos Volátiles), los cuales son de importancia al implementar la estación de monitoreo de calidad de aire, según los parámetros del ICA. También tiene comunicación por I2C.

Se realiza la prueba del funcionamiento del sensor en arduino, usando la versión, arduino nano, calibrando el sensor para que una vez conectados todos los sensores se asegure que los datos obtenidos por el sensor cada que esté tomando la adquisición de lectura de parámetros, arroje los datos preciso, la conexión de los pines se puede apreciar en la Figura 15 y el código implementado en la Figura 16.

Tabla 7. Caracteristicas Sensor CCS 811. Fuente: Autores.

REGULADOR	CONSUMO CORRIENTE	TOMA DE LECTURAS	DIÓXIDO DE CARBONO CO2
3.3 V - 5V	30 mA	1, 10 Y 60 SEGUNDOS Ó 250 MILISEGUNDOS	400 - 8192 PPM

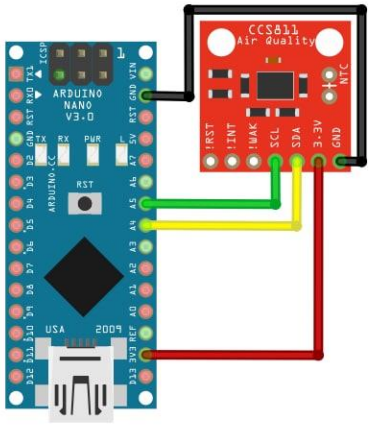


Figura 15. Diagrama de conexión sensor CCS 811.

Fuente: Autores.

```
void loop()
{
  //Check to see if data is ready with .dataAvailable()
  if (mySensor.dataAvailable())
  {
    //If so, have the sensor read and calculate the results.
    //Get them later
    mySensor.readAlgorithmResults();

    Serial.print("CO2[");
    //Returns calculated CO2 reading
    Serial.print(mySensor.getCO2());
    Serial.print("] tVOC[");
    //Returns calculated TVOC reading
    Serial.print(mySensor.getTVOC());
    Serial.print("] millis[");
    //Display the time since program start
    Serial.print(millis());
    Serial.print("]");
    Serial.println();
  }

  delay(10); //Don't spam the I2C bus
}
```

Figura 16. Código en arduino, sensor CCS 811.

Fuente: Autores.

7.1.5 AIR QUALITY GROVE SENSOR

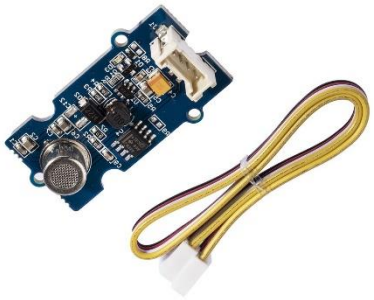


Figura 17. Visualización Sensor Air Quality Grove.

Fuente: RS Online

Este sensor es capaz de obtener datos como (monóxido de carbono, alcohol, acetona, diluyente, formaldehído y otros gases levemente tóxicos) es decir, que está diseñado para para realizar pruebas de calidad de aire, razón por la cual son de importancia al implementar la estación de monitoreo de calidad de aire, según los parámetros del ICA.

Se realiza la prueba del funcionamiento del sensor en arduino, usando la versión, arduino nano, calibrando el sensor para que una vez conectados todos los sensores se asegure que los datos obtenidos por el sensor cada que esté tomando la adquisición de lectura de parámetros, arroje los datos preciso, la conexión de los pines se puede apreciar en la Figura 18 y el código implementado en la Figura 19.

Tabla 8. Caracteristicas Sensor AIR QUALITY GROVE. Fuente: Autores.

FUENTE ALIMENTACIÓN	CONSUMO CORRIENTE	DETECCIÓN DE GAS	RANGO DE DETECCIÓN DE DATOS	TEMPERATURA, HUMEDAD
3.3 V - 5 V	12,5 mA	Alcohol - Humo	10 ~ 1000 PPM	20℃ ± 2℃ : 65% ± 5% RH

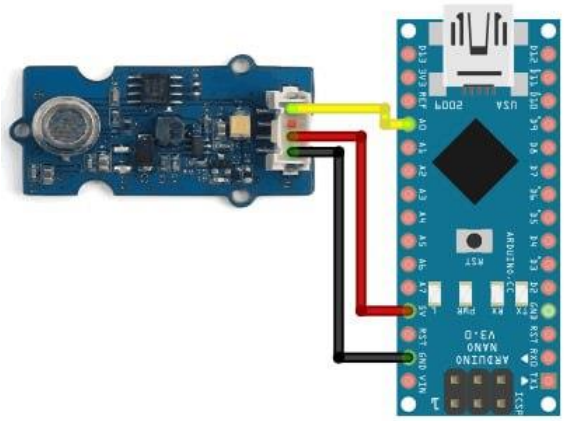


Figura 18. Diagrama de conexión sensor AIR QUALITY GROVE.

Fuente: Autores.

AirQuality_Sensor § AirQuality.h

```
#include"AirQuality.h"
#include"Arduino.h"
AirQuality airqualitysensor;
int current_quality =-1;
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    airqualitysensor.init(14);
}
void loop()
{
    current_quality=airqualitysensor.slope();
    if (current_quality >= 0)// if a valid data returned.
    {
        if (current_quality==0)
            Serial.println("High pollution! Force signal active");
        else if (current_quality==1)
            Serial.println("High pollution!");
        else if (current_quality==2)
            Serial.println("Low pollution!");
        else if (current_quality ==3)
            Serial.println("Fresh air");
    }
}
```

Figura 19. Código en arduino, AIR QUALITY GROVE.

Fuente: Autores.

7.1.6 OZONE 2 CLICK

Figura 20. Visualización Sensor Ozone 2 Click.

Fuente: TME Electronic

Este sensor obtiene los datos de (Ozono), el cual es de importancia al implementar la estación de monitoreo de calidad de aire, según los parámetros del ICA.

Se realiza la prueba del funcionamiento del sensor en arduino, usando la versión, arduino nano, calibrando el sensor para que una vez conectados todos los sensores se asegure que los datos obtenidos por el sensor cada que esté tomando la adquisición de lectura de parámetros, arroje los datos preciso, la conexión de los pines se puede apreciar en la Figura 21, y el código implementado en la Figura 22.

Tabla 9. Características Sensor ozone 2 click. Fuente: Autores

FUENTE DE ALIMENTACIÓN	CONSUMO CORRIENTE	OZONO O3
3.3 V - 5V	37,5 mA	10 - 1000 PPM

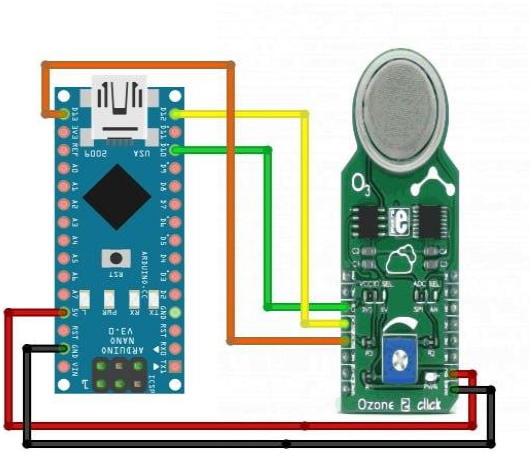


Figura 21. Diagrama de conexión sensor ozone 2 click.

Fuente: Autores.

```
void loop()
{
    unsigned long
        tNow;
    static unsigned long
        timeReadSensor=0;

    tNow = millis();
    //read the sensor every 1/2-second
    if( millis() - timeReadSensor >= 500ul )
    {
        timeReadSensor = tNow;

        ReadSensor();
        Serial.println("Ozone," + String(fVolts, 5 ));

        //do stuff with sensor reading...

    }//if

}//loopx
```

Figura 22. Código en arduino, ozone 2 click.

Fuente: Autores.

7.1.7 HPMA115S0-XXX

Figura 23. Visualización Sensor HPMA115S0-XXX .
Fuente: I+D Electronica

Este sensor obtiene los datos de (Material Particulado), el cual es de importancia al implementar la estación de monitoreo de calidad de aire, según los parámetros del ICA.

Se realiza la prueba del funcionamiento del sensor en arduino, usando la versión, arduino nano, calibrando el sensor para que una vez conectados todos los sensores se asegure que los datos obtenidos por el sensor cada que esté tomando la adquisición de lectura de parámetros, arroje los datos preciso, la conexión de los pines se puede apreciar en la Figura 24, y el código implementado en la Figura 25.

Tabla 10. Caracteristicas Sensor HPMA115S0-XXX . Fuente: Autores

FUENTE DE ALIMENTACIÓN	CONSUMO CORRIENTE	TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO	SENSIBILIDAD
5V	80 mA	-20°c ~ 50°c	15µg/m3

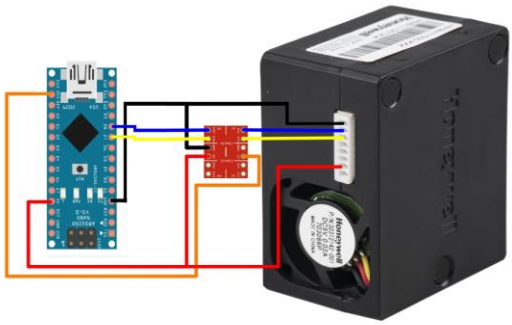


Figura 24. Diagrama de conexión sensor HPMA115S0-XXX.

Fuente: Autores.

```
void loop() {
  // Read the particle data every fifteen seconds
  my_status = my_hpm.read(float(p25),float(p10));
  if (my_status == 1){
  Serial.println("Particulas,"+String(p25,DEC) + "," + String(p10,DEC));
  //Serial.println("Particulas,20,15");
  }
  else{
  Serial.println("Measurement fail");
  }
```

Figura 25. Código en arduino, HPMA115S0-XXX.

Fuente: Autores.

7.1.8 DGS-SO2 968-038

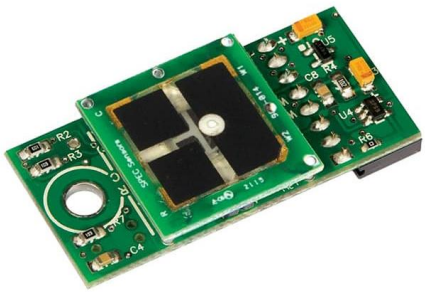


Figura 26. Visualización Sensor DGS-SO2 968-038.

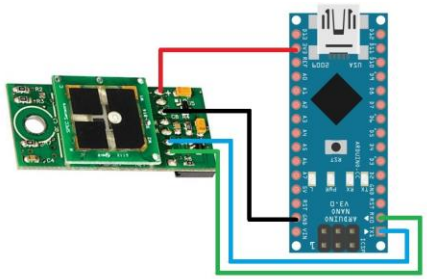
Fuente: SPEC SENSORS

Este sensor obtiene los datos de (Dióxido de Azufre), el cual es de importancia al implementar la estación de monitoreo de calidad de aire, según los parámetros del ICA.

Se presenta una demora en la adquisición del sensor DGS-SO2 por temas relacionados a la falta de distribuidores en Colombia, por lo tanto se realizó la adquisición de dicho sensor en el exterior, presentando retardos en la entrega, sin embargo, el sistema está previsto para su implementación tan pronto se lleve a cabo su recepción, realizando pruebas de funcionamiento y calibración antes de adecuarlo finalmente al sistema, como se observa en la conexión de los pines que se puede apreciar en la figura 27.

Tabla 11. Caracteristicas Sensor DGS-S02-968-038. Fuente: Autores

FUENTE DE ALIMENTACIÓN	TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO	RANGO DE MEDICIÓN	RANGO DE HUMEDAD DE FUNCIONAMIENTO
2,6 V ~ 3,6 V	-20°c ~ 50°c	0 ~ 20 ppm	15 - 95% (0 - 100% SIN CONDENSACIÓN INTERMITENTE)



27. Diagrama de conexión sensor DGS-SO2 968-038.

Fuente: Autores.

Se presenta un retardo en la adquisición del sensor DGS-SO2 por temas relacionados a la falta de distribuidores de este sensor en Colombia, por lo tanto se realizó la adquisición de dicho sensor en el exterior, presentando retardos en la entrega.

7.1.9 Conversor de nivel BOB-12009

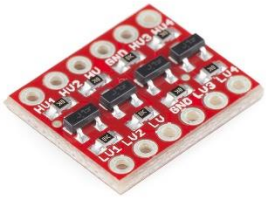


Figura 28. Visualización del conversor de nivel BOB-12009.

Fuente: Sigma Electrónica

Se implementa un conversor lógico de tamaño reducido, utilizado para regular la tensión en el sensor HPMA115S0-XXX, ya que permite convertir las señales de 3,3 VDC a señales de 5VDC.

7.1.10 Módulo LTE EC21-AUX

El sistema cuenta con un módulo LTE EC21-AUX, el cual posee una tarjeta adaptadora para regular su voltaje, cuanta además con dos conectores para antena, como se puede apreciar en la figura 29.

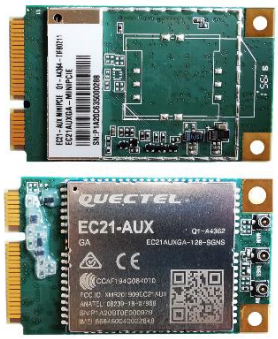


Figura 29. Visualización módulo conexión tipo mini PCI.

Fuente: Sigma Electrónica.

Tabla 12. Características Módulo Conexión tipo mini PCI compatible con redes 2G, 3G y 4G LTE. Fuente: Autores

VELOCIDAD DE DATOS	RANGO DE FRECUENCIA	TIPO DE INTERFAZ	VOLATAJE DE ALIMENTACIÓN	CONSUMO CORRIENTE
5, 10 Mbps	850, 900, 1800, 1900 MHz	UART, USB 2.0/PCM/USIM/SDIO	3.3 V	32 mA

El modulo que se puede apreciar en la figura 29, necesita tener antenas activas para la recepción de la información satelital, para esto, el modulo posee dos conectores de antena, de tal manera que se implementa una antena GSM-SMA y una antena GSM 5DBI, con sus correspondiente conversores de puerto de la tarjeta a sma.

7.1.11 ARGON FAN HAT

Figura 30. Visualización ventilador ARGON FAN HAT.
Fuente: Sigma Electrónica.

Tabla 13. Características ventilador ARGON FAN HAT para raspberry. Fuente: Autores.

COMPATIBILIDAD	ALIMENTACIÓN	LED DE ESTADO	BOTON ENCENDIDO / REINICIO
RASPBERRY 3, 3B+, 4B	5V-0.12A	SI	SI

Se implementa un ventilador compatible con raspberry a modo de refrigerante de la placa de microordenador, permitiendo que el sistema funcione de manera adecuada.

7.1.12 Antena GSM 5DBI

Para el desarrollo del prototipo se adecuaron dos antenas GSM 5DBI, esto con el fin de obtener una mayor amplificación de la señal enviada desde la raspberry, mejorando el envío de datos y su correcto manejo por medio del VNC.

Figura 31. Visualización antena GSM 5DBI.

Fuente: Sigma Electrónica

Tabla 14.Características Antena GSM-5DBI. Fuente: Autores.

FRECUENCIA	GANANCIA	IMPEDANCIA	POTENCIA	CONSUMO CORRIENTE
900-960/1700-1900 MHz	5dBi	50Ω	50W	100 mA

7.1.13 Sistema de alimentación

Figura 32. Visualización de los paneles solares usados para alimentar el sistema de la estación de monitoreo.

Fuente: Autores

Se implementa un sistema de alimentación considerando los dispositivos que integran el sistema de monitoreo, garantizando la autonomía del dispositivo, teniendo en cuenta el consumo total del sistema de 2939mA

El sistema de alimentación está constituido por 4 paneles solares, que cuentan con unidades de celdas fotovoltaicas mono cristalinas, cada una con un tamaño de 28 cm x 28 cm, con una capacidad de 5V, 2A y 10W, estos paneles son conectados por medio de dos cables (positivo y negativo) a la caja de componentes, donde se encuentra el sistema de almacenamiento de energía, como se aprecia en la figura 32, el cual cuenta con 4 baterías tipo Li-Po de 3.7V a 6000mAh respectivamente, 3 baterías tipo Li-Po de 3.7V a 2000mAh y 4 tarjetas reguladoras de carga con conversores DC-DC, las cuales proporcionan una tensión de 5V-1A, con el fin de cargar las baterías mientras se suministra energía al sistema.

Teniendo en cuenta los datos carga eléctrica de la batería y el consumo eléctrico del sistema se calcula el siguiente tiempo de descarga del sistema sin luz solar:

$$Tiempo\ de\ descarga = \frac{Carga\ eléctrica\ de\ las\ baterias}{Consumo\ eléctrico\ del\ sistema}$$

$$Tiepo\ de\ descarga = \frac{24.000mAh}{3059mA}$$

$$Tiempo\ de\ descarga = 7.84\ Horas$$

7.1.14 Circuitos impresos

Se diseñaron e implementaron dos tipos de PCB para el desarrollo de la estación de monitoreo, se desarrolló una pcb donde se encuentra el acople de los sensores y una pcb para el acondicionamiento de la señal DC.

Se diseña la pcb principal en el programa EasyEDA, donde se encuentran los sensores conectados al arduino nano, los cuales posteriormente se ubican en una caja de protección IP65, al ser necesario que algunos sensores estén ubicados al exterior de la caja para la correcta recolección de los datos, se realizaron pequeños orificios en la caja para que estos puedan estar en contacto con el exterior, también fueron protegidos con termoencogible para proteger el circuito eléctrico. Los archivos Gerber de la PCB visualizada en las figuras 34 y 35 fueron enviados a un fabricante de circuitos impresos, el resultado final se puede apreciar en la figura 36 donde se aprecia también la conexión de los dispositivos.

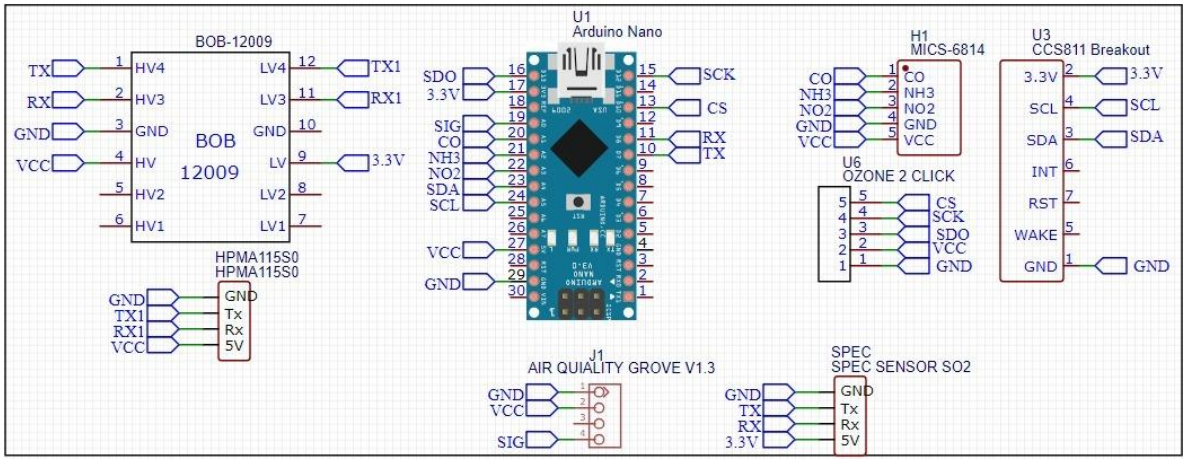


Figura 33. Diagrama de conexión de los sensores al arduino.

Fuente: Autores

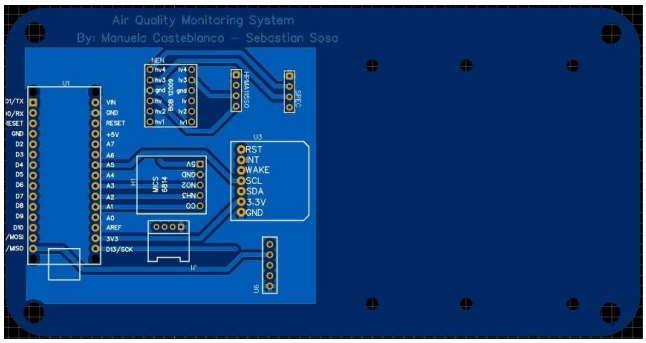


Figura 34. Visualización superior del diseño de la PCB, realizada en EasyEDA.

Fuente: Autores.

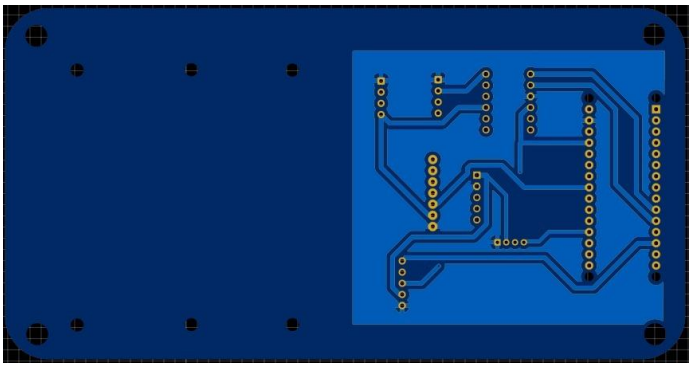


Figura 35. Visualización posterior del diseño de la PCB, realizada en EasyEDA.

Fuente: Autores.

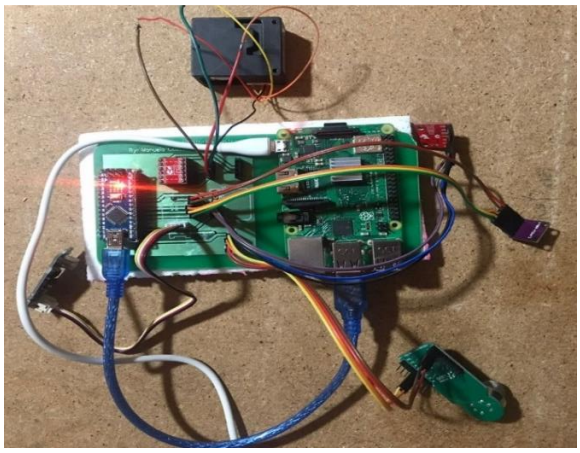


Figura 36. Visualización de la pcb conectada a los dispositivos electrónicos (sensores, arduino, raspberry).

Fuente: Autores.

Se diseña e implementa una pcb para el acondicionamiento de la señal DC, se diseña el sistema para un sistema de carga de baterías de tipo Li-Po, con sus respectivos conectores, se diseña una configuración en paralelo la cual permita la entrega de 24000mAh suficientes para alimentar el sistema, a su vez para respaldar la correcta descarga de las baterías.

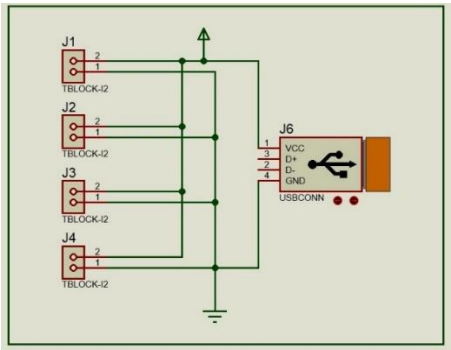


Figura 37. Diseño de conexión del sistema de alimentación, realizada en el software Proteus (Isis).

Fuente: Autores

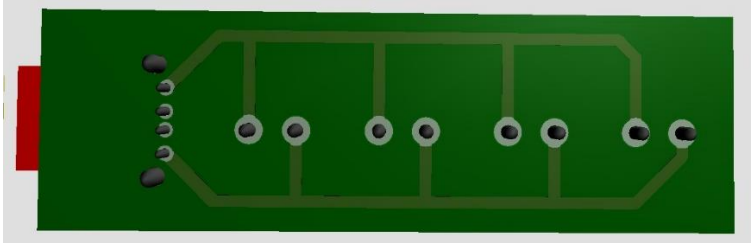


Figura 38. Diseño PCB del Sistema de alimentación realizada en el en el software Proteus (Ares).

Fuente: Autores.

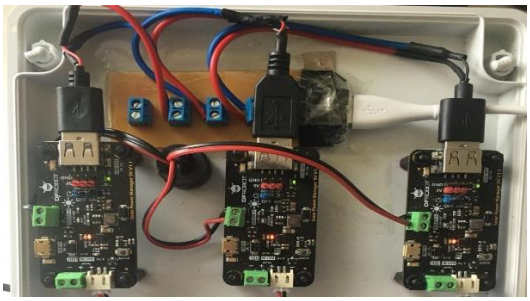


Figura 39. Circuito impreso del sistema de alimentación.

Fuente: Autores.

7.1.15 Protección del Sistema

Se implementa una caja de protección tipo IP65, especializada para resguardar componentes electrónicos, este grado de protección permite que el equipo este herméticamente sellado contra polvo y protegido contra chorros de agua.

Figura 40. Visualización de la caja de protección IP65 cerrada.

Fuente:Autores

7.2 Software

El software se desarrolla haciendo uso de un arduino nano V3 y una raspberry Pi 3B+, en el arduino se realiza la adquisición de los datos obtenidos por los sensores, dichos datos son enviados a una interfaz gráfica realizada en raspberry, la cual cuenta con un sistema operativo Raspberry Pi OS, conocido anteriormente como Raspbian, programada en Python, con el fin de identificar el valor obtenido y el color de rango en el cual se encuentra el parámetro medido. Los datos obtenidos son enviados a la página web Initial State IoT, para su visualización en tiempo real .Se realiza también una conexión por medio de VNC para poder tener acceso a la interfaz gráfica de la raspberry desde cualquier lugar con conexión a un dispositivo con internet. El funcionamiento general del sistema se describe en el diagrama de flujo que se observa en la figura 41.

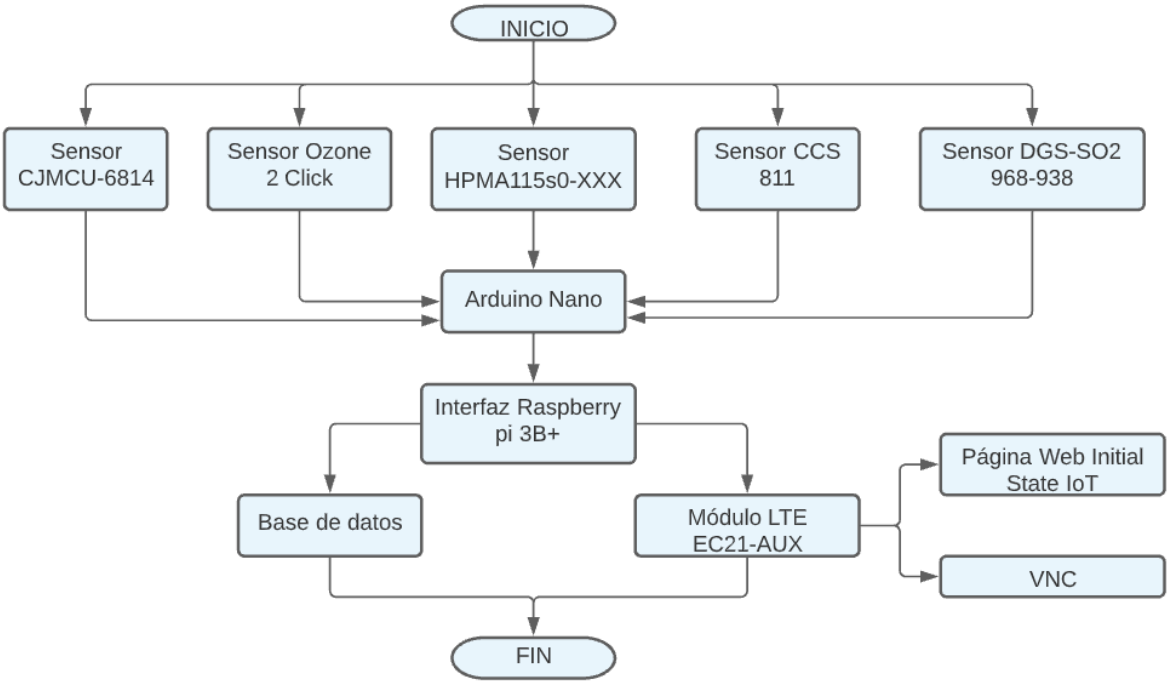


Figura 41. Diagrama de flujo general de la trasferencia de datos del sistema.

Fuente: Autores.

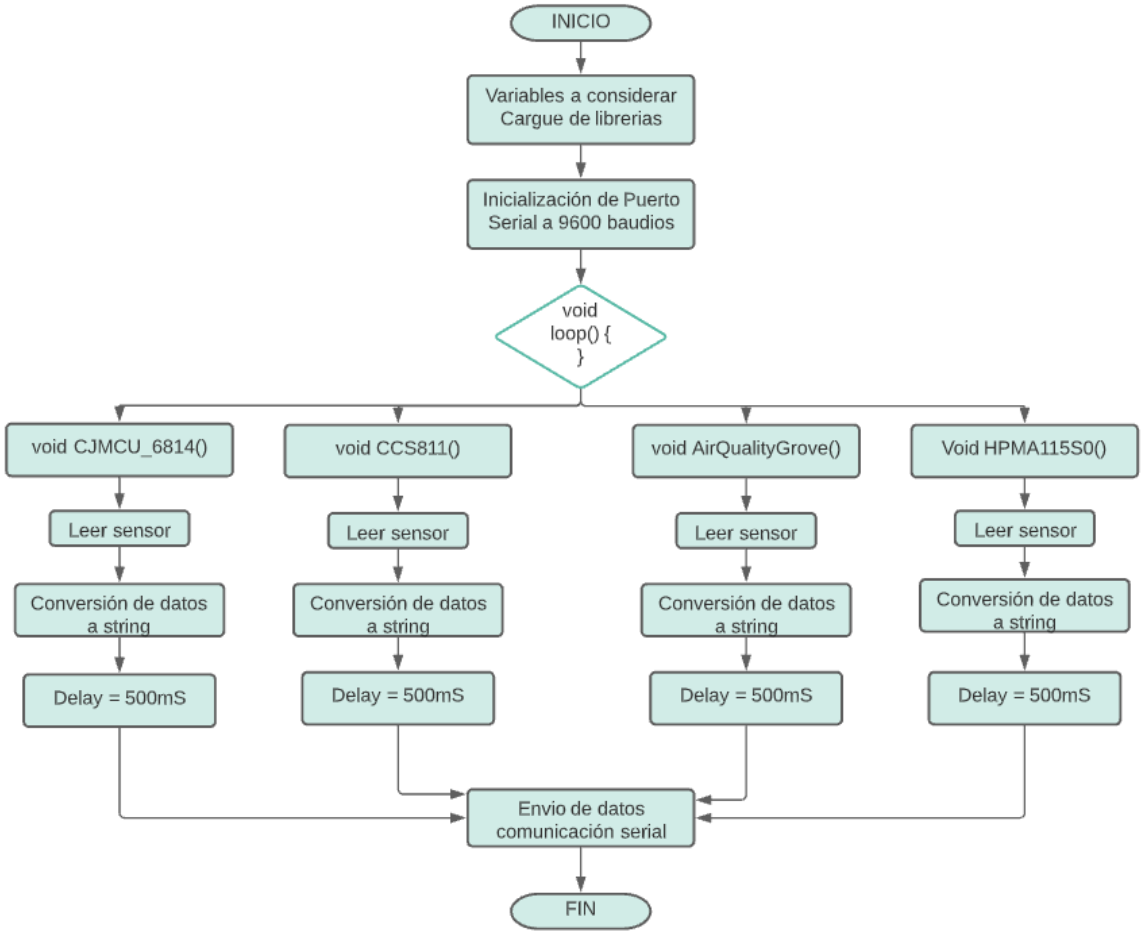


Figura 42. Diagrama de flujo programa adquisición de datos en sensores.

Fuente: Autores.

A continuación se presentan los diagramas de flujo del funcionamiento de cada uno de los sensores que se utilizaron para la adquisición de datos, los cuales serán presentados en las figuras 43 – 47.

En el caso del CJMCU-6814 se desarrolla el diagrama de flujo presente en la figura 43, Para este sensor se inicia el void, lee los datos de los parámetros de medición de este sensor (monóxido de carbono, amoniaco y dióxido de nitrógeno, luego imprime los datos obtenidos y finaliza la acción.

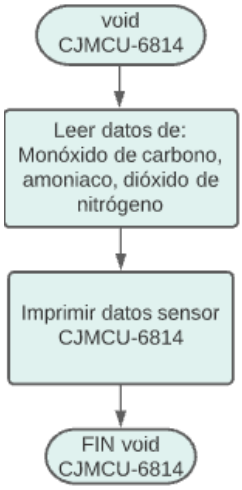


Figura 43. Diagrama de flujo para el sensor CJMCU-6814.

Fuente: Autores

En el caso del el sensor CCS 811, se implementa el diagrama de flujo de la figura 44, se da inicio al void y se verifican los datos, si no hay datos, finaliza la acción, mientras que si se encuentran datos, hace la lectura de datos de los parámetros de compuestos orgánicos volátiles y dióxido de carbono, al tener estos datos calculados, los imprime y finaliza la acción

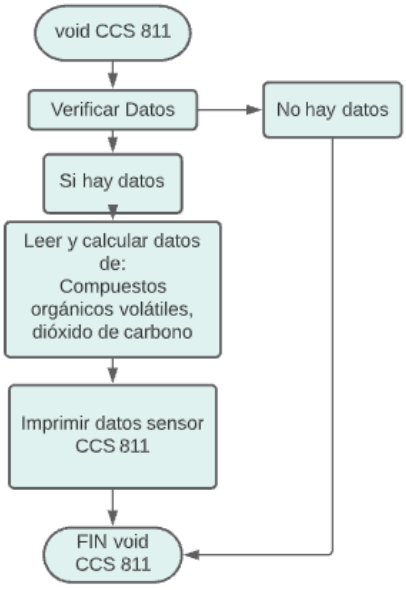


Figura 44. Diagrama de flujo para el sensor CCS 811.

Fuente: Autores

En la figura 45, se aprecia el diagrama de flujo correspondiente al sensor Air Quality Grove, iniciando el void, seguido de esto se realiza la lectura de los datos de calidad de aire, imprime los datos obtenidos y finaliza la acción.

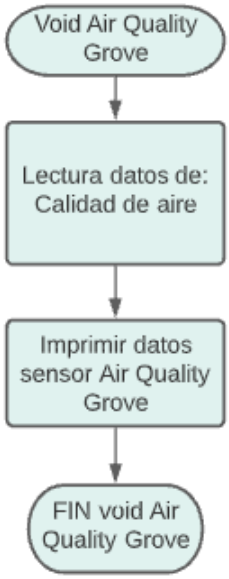


Figura 45. Diagrama de flujo para el sensor Air Quality Grove.

Fuente: Autores

Para el sensor Ozone 2 Click, se presenta el diagrama de flujo de la figura 46, iniciando el void y la conexión SPI, se espera que se complete la conversión desde el pin nRDY, luego se lee los 3 bytes del sensor (24 bits en total), estando en la variable long = 4 bytes, se guardan los 3 primeros bytes y el último byte es espacio por largo tiempo de unión, se calculan los datos de la variable long, se imprimen los datos y se finaliza la acción.

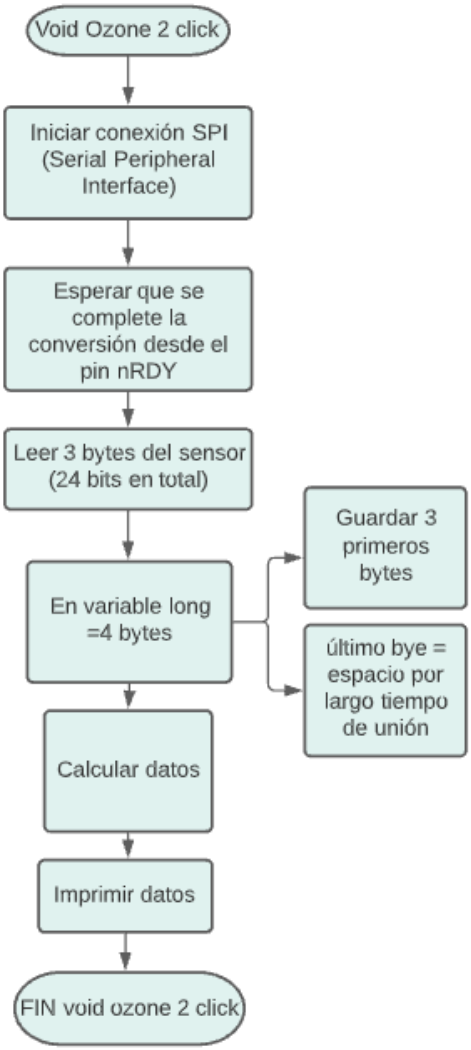


Figura 46. Diagrama de flujo para el sensor Ozone 2 Click.

Fuente: Autores

En la figura 47, se muestra el diagrama de flujo del sensor HPMA115S0-XXX, iniciando el void, para seguido de esto leer las partículas cada 1 minuto, los datos son impresos en serie usando solo para depurar, se implementa un retardo de 1 segundo, finalizando la acción.

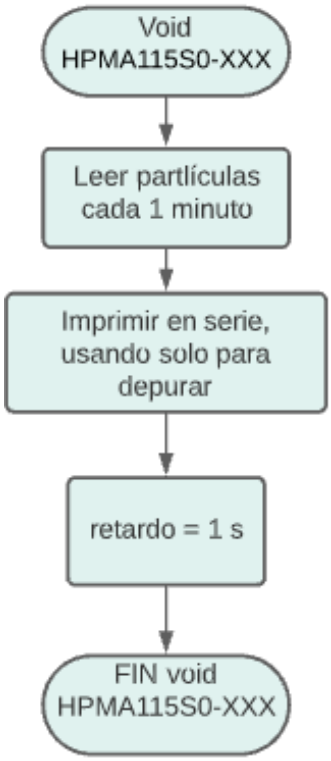


Figura 47. Diagrama de flujo para el sensor HPMA115S0-XXX.

Fuente: Autores

Los datos obtenidos por los sensores son recolectados y recopilados en arduino para su posterior envío a la interfaz gráfica, el procedimiento a seguir inicia con la calibración por separado de los sensores, para finalmente generar un código que permita la recolección en conjunto de cada uno de los datos de los distintos sensores para su posterior envío a la interfaz gráfica, la recolección de datos de todos los sensores se organiza de tal manera en que se encuentra en primera posición el nombre de cada sensor para posteriormente separar los datos con comas para poder buscar la trama de datos en Python

```
MAIN_1
}
void loop() {
  CJMCU_6814();
  CSS811();
  AirQualityGrove();
  HPMA115S0();

   unsigned long
        tNow;
    static unsigned long
        timeReadSensor=0;

    tNow = millis();
    //read the sensor every 1/2-second
    if( millis() - timeReadSensor >= 500ul )
    {
        timeReadSensor = tNow;

        ReadSensor();
        Serial.println("Ozono," + String(fVolts, 5 ));

        //do stuff with sensor reading...

    }//if
   delay(200);
}
```

Figura 48. Recolección de datos de todos los sensores, haciendo llamado al void loop para cada sensor.

Fuente: Autores.

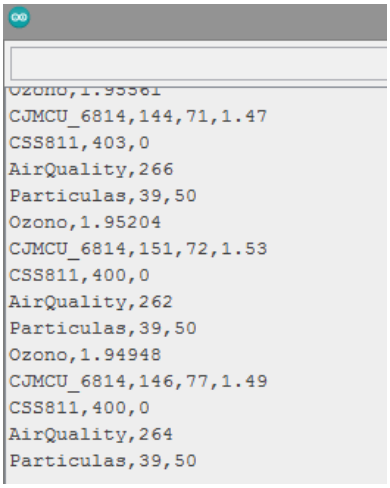


Figura 49. Datos obtenidos por los sensores, al ser recolectados en conjunto para su envío a la interfaz gráfica.

Fuente: Autores.

7.2.1 Interfaz gráfica

Se desarrolla una interfaz gráfica con programación en python, la cual muestra la información obtenida por los sensores, junto con el color correspondiente según el nivel de contaminación presente en el ambiente, según los parámetros indicados por el ICA, se presentan los datos obtenidos en tiempo real de cada uno de los parámetros establecidos, además de esto, se

puede visualizar la tabla de cortes del ICA evidenciando la correcta recopilación y distribución de los datos obtenidos según la tabla, viendo los rangos de referencia en promedio de los datos cada hora, 8 horas o 24 horas, según lo estipula la tabla. El sistema está configurado de tal manera que por medio de VNC permita el control remoto de la interfaz para su visualización.

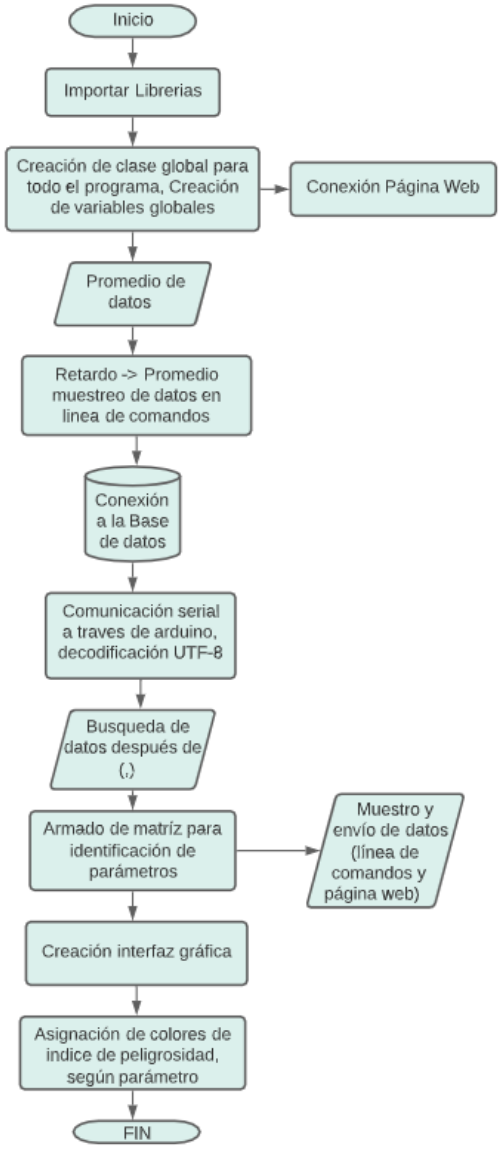


Figura 50. Diagrama de flujo programa principal de la raspberry.

Fuente: Autores

A continuación se presenta el diagrama de flujo de la figura 51, se expone la conexión de la interfaz gráfica realizada en raspberry a la página web, para esto se realiza un enlace streamer

IOT al programa, posteriormente se inicia la comunicación serial por USB de arduino a raspberry de los datos recolectados, se establece la velocidad de envío de los datos en bits por segundo (Baudios=9600), así mismo se tiene un tiempo de espera de 1 segundo y finaliza la acción.

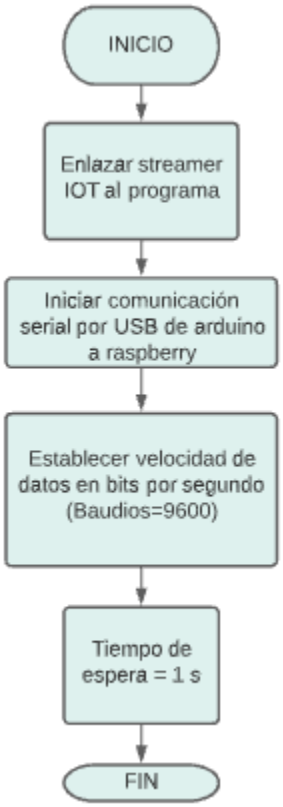


Figura 51. Diagrama de flujo de conexión a la página web IOT.

Fuente: Autores.

En la figura 52, se presenta el diagrama de la obtención de promedios de los datos por parámetro, para esto se asignan las variables y se realiza la conexión a la base de datos para los promedios, seguido de esto se da inicio a la lectura de los parámetros y sus respectivos promedios para así, realizar la lectura de la tabla creada y consultarla por SQLite, de tal manera que si el promedio de los datos obtenidos es obtenido se implementa un retardo de 1 minuto para la impresión de los datos, sino, hace la toma de datos la última hora.

Continuando con la acción de retardo de 1 minuto en impresión de datos, se tiene la variable “demora” y se realiza la impresión de los datos promediados finalizando este proceso.

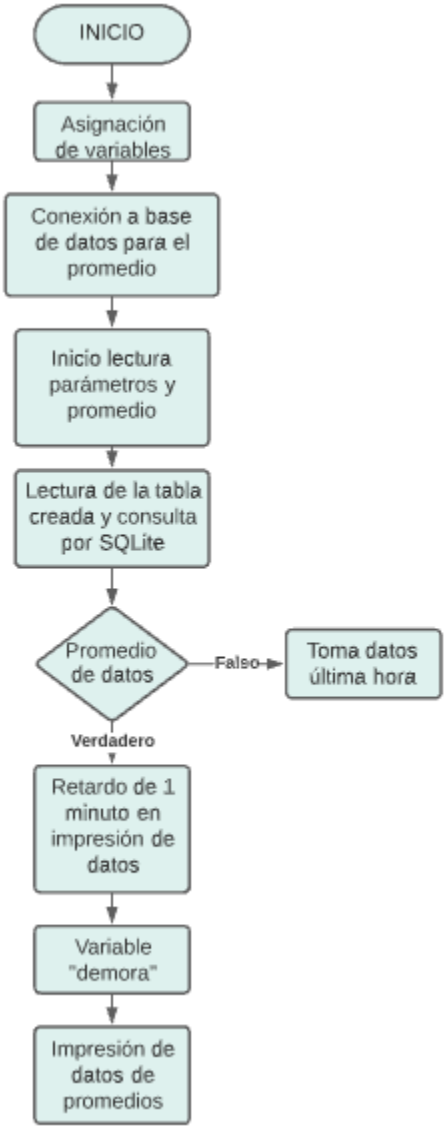


Figura 52. Diagrama de flujo obtención de promedio de datos.

Fuente: Autores

En la figura 53, se presenta el diagrama de flujo de la función StartReading, si la variable "start" es falsa, finaliza el proceso, mientras que si esta variable es verdadera, realiza el almacenamiento de los datos serial en la variable cadena, seguido de esto se analiza si "cadena" es diferente de espacio " " si no lo es, se vuelve a ejecutar la función de comunicación serial, si sí lo es entonces realiza una búsqueda en la cadena de posición de coma (,), si después de la coma (,) se encuentra en la posición 0 el del nombre del sensor CJMCU-6814, entonces en la posición 1 están los datos del monóxido de carbono, en la

posición 2, está el dato del amoniaco, y en la posición 3 está el dióxido de nitrógeno, de lo contrario, si en la posición 0 está el dato del sensor CCS811, en la posición 1 está el dato del dióxido de carbono y en la posición 2, se encuentra el dato de compuestos orgánicos volátiles, sino es así, y en la posición 0 se encuentra el dato del nombre del sensor Air Quality Grove, en la posición 1 estará el dato de calidad de aire, sino, en la posición 0 se encuentra el dato del nombre del sensor Ozone, en la posición 1 está el dato del ozono, sino, entonces en la posición 0 se encuentra el dato del nombre de partículas, teniendo en la posición 1 los datos de las partículas de 2.5 y en la posición 2 las partículas de 10, al identificar el dato de la posición 0 y los datos siguientes, se imprimen estos datos para su visualización tanto en la interfaz gráfica como en la página web, se convierten estos datos en float y da por finalizada la acción.

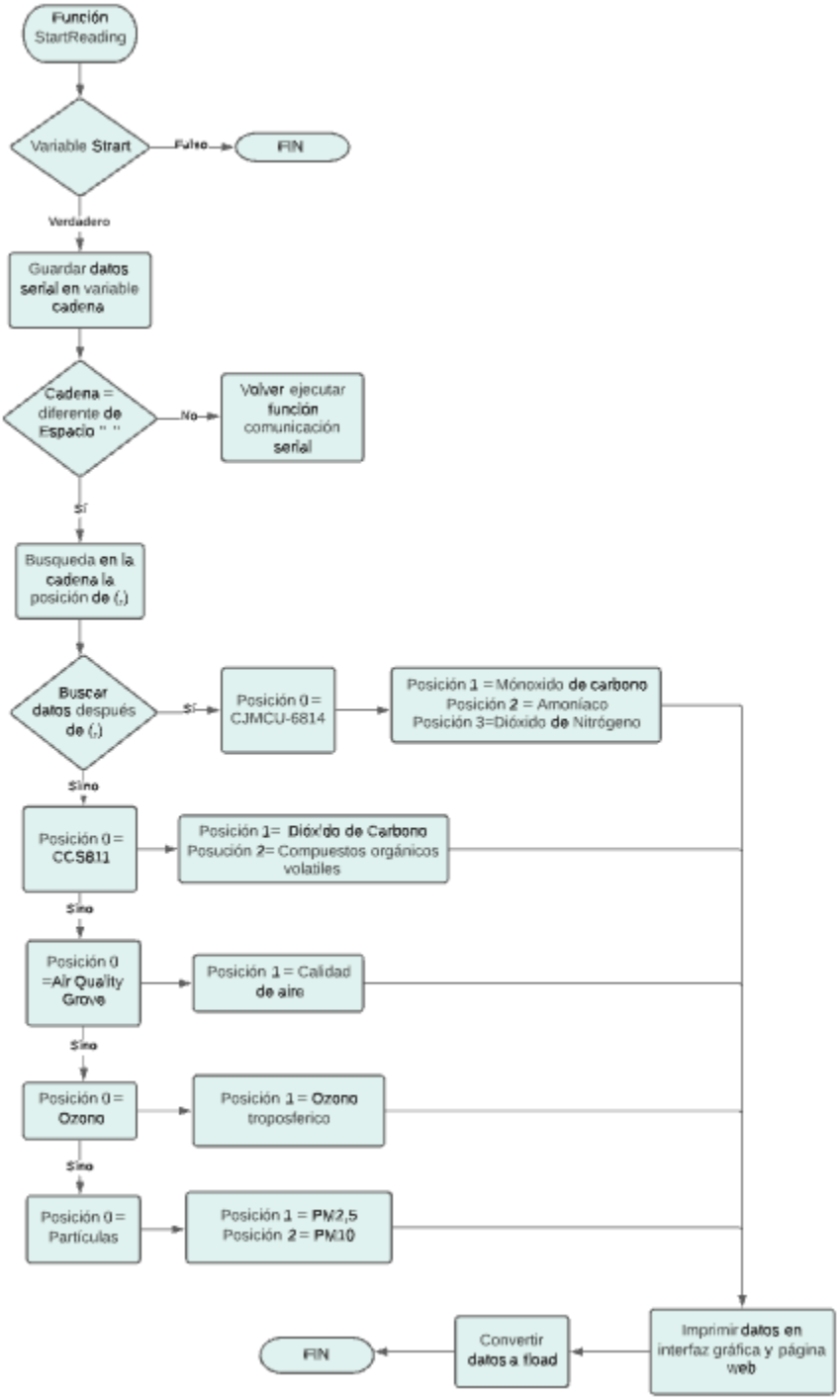


Figura 53. Diagrama de flujo de función StartReading.

Fuente: Autores.

Para el diagrama de flujo de la función addModule, que se aprecia en la figura 54, se tiene el botón “Iniciar envío de datos” en la interfaz gráfica, al seleccionarlo se inicia el label de los datos de parámetro y promedio, finalizando la acción.

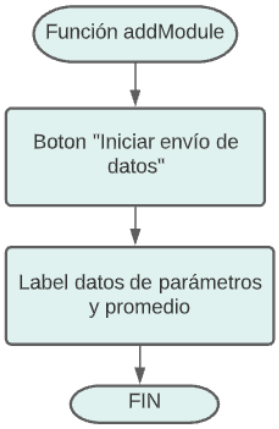


Figura 54. Diagrama de flujo función addModule (Interfaz).

Fuente: Autores

Para la asignación de colores se implementa el diagrama de flujo que se observa en la figura 55, así que se asigna el color de los parámetros según la tabla de cortes del ICA, para esto se identifica si se tiene un valor diferente de espacio “ ”, si no es así, se le asigna un color blanco a ese espacio, y si sí es diferente de espacio “ ”, entonces se convierten los valores a float para identificar el color según el rango en que se encuentre y finaliza la acción.

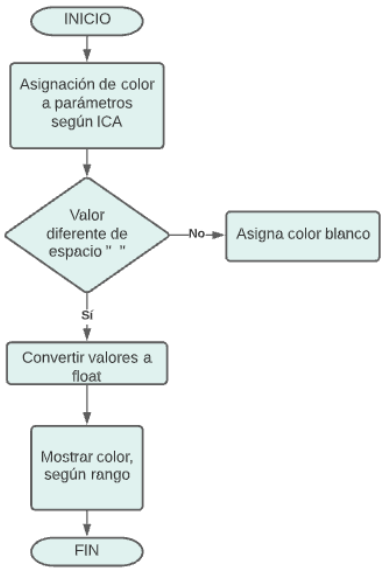


Figura 55. Diagrama de flujo asignación de colores.

Fuente: Autores.

Para la función salir, se presenta el diagrama de flujo de la figura 56, fijando el valor de la variable “start” en falso, se detiene la comunicación serial, se cierra el streamer e imprime (“Finalizando…”), dando por finalizada la acción.

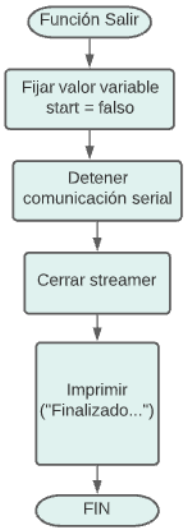


Figura 56. Diagrama de flujo para la función “salir”.

Fuente: Autores

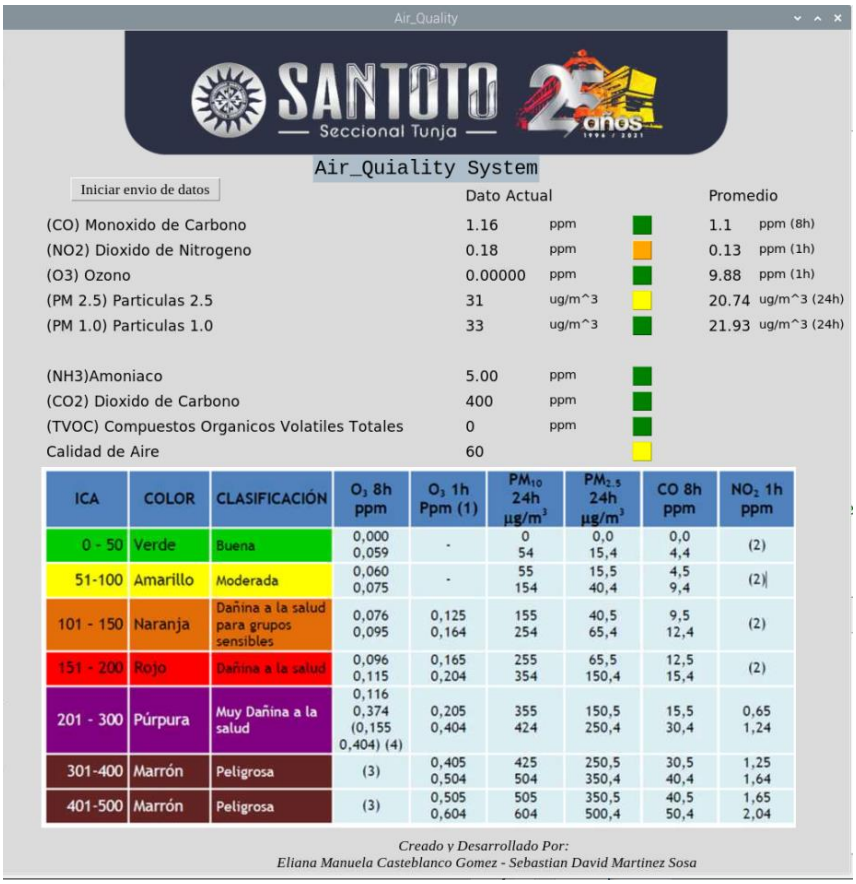


Figura 57. Visualización de la interfaz gráfica elaborada en lenguaje de programación Python en raspberry, datos tomados en el campus de la USTA, Tunja

Fuente: Autores

7.2.2 Página web Initial State IoT

Seguido de esto, se envían los datos obtenidos a la página web Initial State IoT para su visualización en tiempo real, en donde se puede visualizar tanto los datos siendo actualizados constantemente, como el registro del historial de los datos obtenidos y almacenados, se utiliza el siguiente enlace: https://go.init.st/uf0mtv4 para ingresar a la página web y poder visualizar sus datos, desde cualquier dispositivo con conexión a internet.

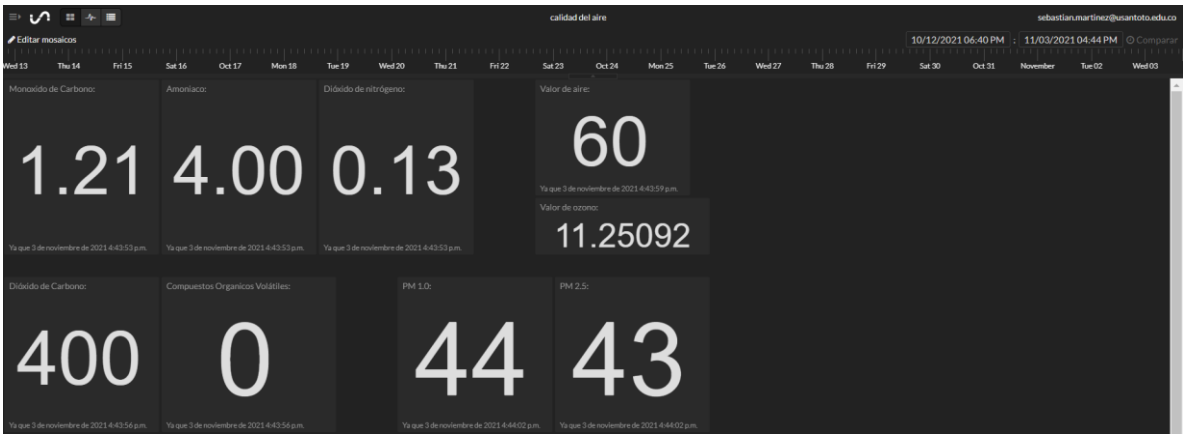


Figura 58. Visualización de envió de datos a la página web Initial State IoT, datos tomados en tiempo real en el campus de la USTA, Tunja.

Fuente: Autores.

Se realizaron distintas pruebas de funcionamiento de recolección de datos de los sensores, se observa la variación de los datos recolectados según distintos "ambientes" a los que ha sido sometido, esto con el fin de asegurar que realiza una correcta adquisición de muestras ambientales para determinar la calidad del aire, según los parámetros previamente designados.

7.2.3 Implementación Unidad Principal

La conexión eléctrica de la estación de monitoreo se ubica en la parte posterior de la caja de protección IP6, a su vez los módulos de alimentación son ubicados en la tapa de la misma, debido a que los sensores deben estar en contacto directo con el ambiente, a la caja se le realizaron pequeñas incisiones donde se ubican dichos sensores permitiendo la conexión al interior de la caja, reforzando dichos orificios con silicona para evitar el ingreso de partículas que puedan afectar el funcionamiento del sistema, en la figura 59 se puede observar la organización interna de los componentes electrónicos organizados por color según la sección del sistema, se puede apreciar la PCB principal donde se ubican los módulos de información, de comunicación y módulos de procesamiento, así como la PCB de alimentación donde se observa el módulo de alimentación.

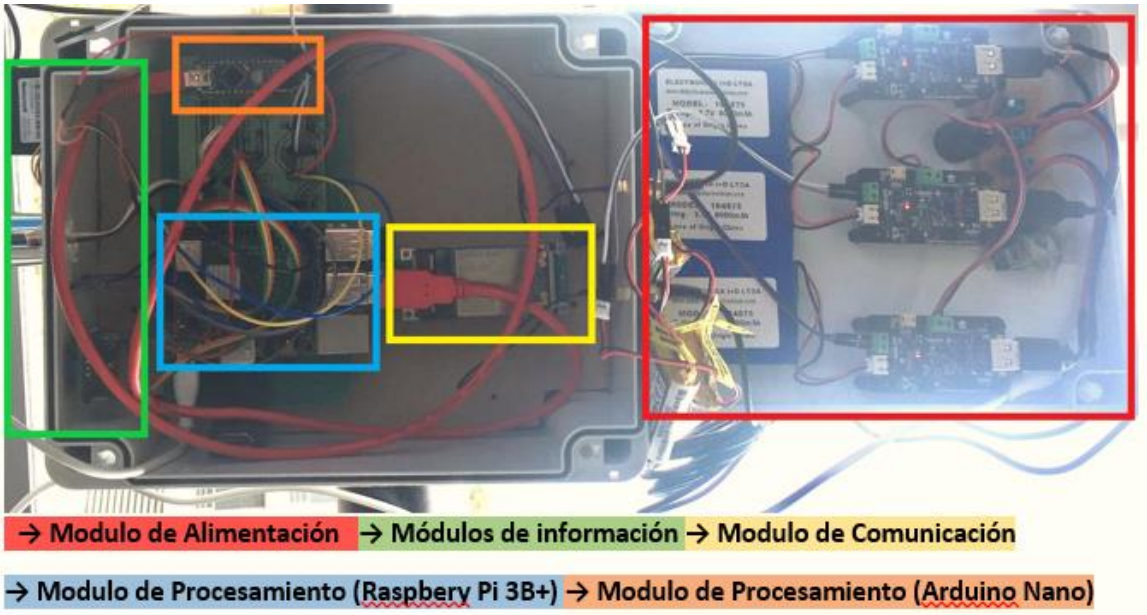


Figura 59. Vista interna de la caja de componentes electrónicos, detalle de conexión.

Fuente: Autores.

8 Resultados

Se observa carencia información relacionada con las mediciones del dióxido de azufre (SO2), a su vez, escases de distribuidores de artículos electrónicos, con sensores que permitan la medición de este gas con entrega inmediata.

8.1 Porcentaje de error

El sistema integra un sensor de calidad de aire el cual permite conocer el nivel general de contaminación presente en el ambiente, implementado en función tanto de respaldo en caso de que algún sensor presente fallos poder dar a conocer al usuario el valor contaminante de lectura y el color a nivel de peligrosidad según el ICA, como comparación de los resultados obtenidos con la medición de los parámetros de contaminación, verificando que se esté dando una correcta medición.

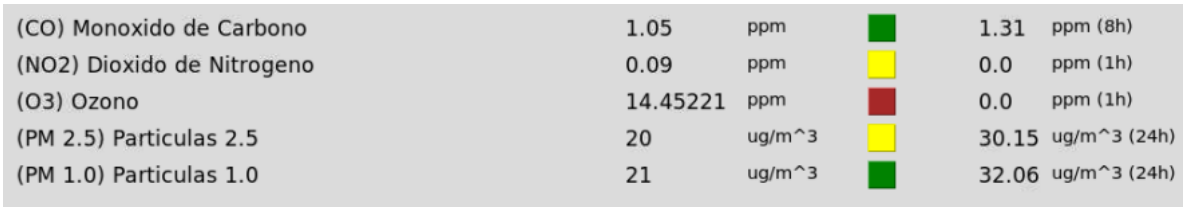


Figura 60. Visualización de los parámetros de medición de contaminación del ICA, prueba realizada en la USTA, Tunja.

Fuente: Autores.

Figura 61. Visualización del dato obtenido por el parámetro medido de calidad de aire.

Fuente: Autores.

En la figura 61. Se puede apreciar que el valor obtenido al realizar la medición de calidad de aire, se encuentra de color amarillo con un ***valor de 57*** según la tabla del ICA, al comparar los valores obtenidos en la figura 60, se observa que el color amarillo se hace presente este nivel de contaminación, encontrándose que en el sitio de medición la calidad es “Moderada” al encontrarse en el rango de 51 – 100 según la tabla de cortes.

8.2 Pruebas de funcionamiento en la USTA Tunja.

Figura 62. Equipo puesto en sombrillas del edificio Giordano Bruno de la USTA Tunja, realizando pruebas.

Fuente. Autores.

Figura 63. Equipo con caja cerrada puesto en sombrillas del edificio Giordano Bruno de la USTA Tunja realizando pruebas.

Fuente: Autores.

Figura 64. Realización de pruebas de campo en espacio abierto, ubicado al lado de la estación meteorológica de la USTA Tunja.

Fuente: Autores.

Se realizaron varias pruebas en el campus de la USTA Tunja, tanto en los laboratorios de la facultad de electrónica, en el patio de sombrillas del edificio Giordano Bruno como al lado de la estación meteorológica de la universidad, las dos primeras fueron realizadas en entornos cerrados / semi cerrados, esto con el objetivo de verificar la correcta alimentación de las baterías usadas por medio de los paneles solares, así mismo verificar el nivel de cobertura con diferentes antenas, se obtuvieron diferentes resultados en cuestión de cobertura, inicialmente se realizó una prueba con una antena tipo Antena GSM-SMA y una antena tipo Antena GSM 5DBI, de esta manera se tenía una baja cobertura de señal para envío de datos, razón por la cual se decidió cambiar a dos antenas GSM 5DBI, obteniendo una señal del 100% como se aprecia en la figura 65.

Para acoplar las antenas se implementa un módulo EC21-AUX de conexión tipo mini PC compatible con redes 2G, 3G y 4G conectado en la raspberry para suplir la conexión a internet para el envío de datos de la interfaz a la página web, así mismo para tener la posibilidad de manejar el sistema de la estación de monitoreo desde cualquier dispositivo con conexión a internet por medio del programa VNC el cual permite controlar un ordenador de manera

remota, este módulo cuenta con una ranura para insertar una sim card cargada con un plan de internet, en este caso la sim es del operador de telefonía claro. El modulo cuenta también con la posibilidad de conectarse por medio de wifi para el correspondiente envió de datos en caso de que se detecte poca cobertura con la sim, poderse conectar inalámbricamente a una red cercana.

Figura 65. Visualización del 100% de señal de cobertura al usar dos antenas GSM 5DBI. Fuente: Autores

8.3 Envió de datos a página web

Se realizaron distintas pruebas de envío de datos de la interfaz gráfica a la página web Initial State IoT, a continuación en la figura 66 se puede visualizar el historial de envío de los últimos datos 44 de una prueba realizada en las instalaciones de la universidad.

Se realizaron pruebas de funcionamiento, donde los datos fueron enviados satisfactoriamente de manera constante y sin caídas del sistema durante varias horas.

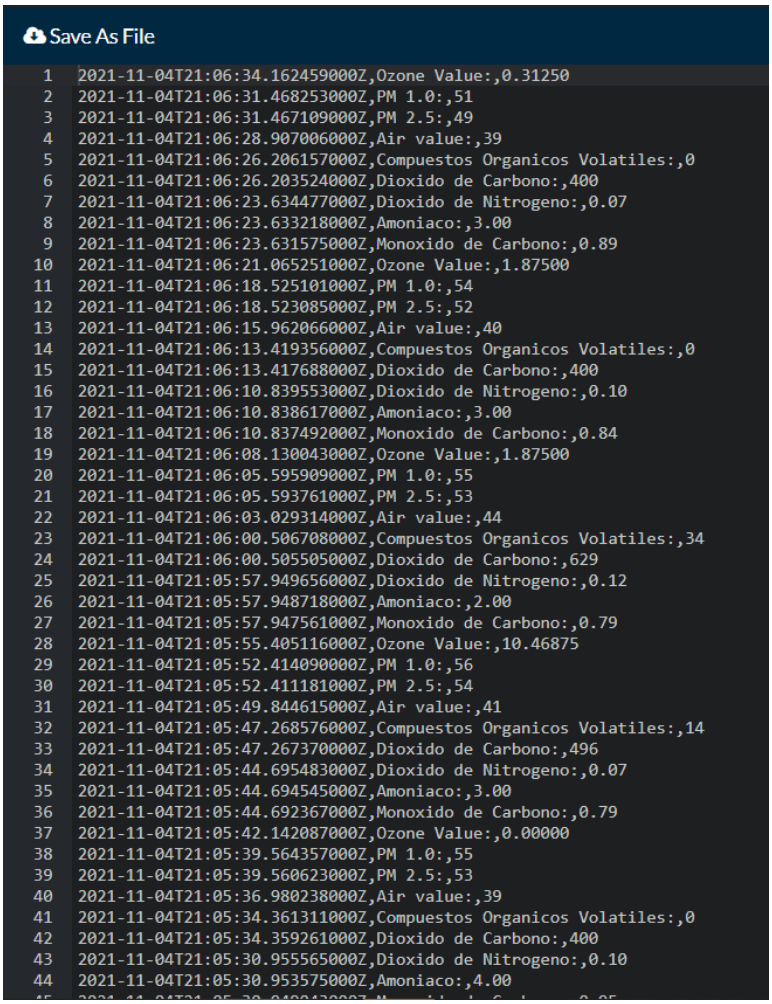


Figura 66. Visualización historial de datos en página web Initial State IoT.

Fuente: Autores

8.4 Alimentación del Sistema

El sistema cuenta con 4 paneles solares conectados a baterías de tipo Li-Po por medio de un regulador solar de 5V con una corriente de carga máxima de 900mA, con el propósito de que las baterías sean cargadas durante el día mientras se encuentre en operación para poder proporcionar energía al sistema en horas de la noche. Este sistema de alimentación se encuentra ubicado en la tapa de la caja de protección de tal manera que los dispositivos dentro estén organizados de una manera eficiente.

Para alimentar el sistema se diseñó e implementó una pcb la cual se encuentra conectada a los reguladores solares y alimentando la raspberry Pi 3B +.

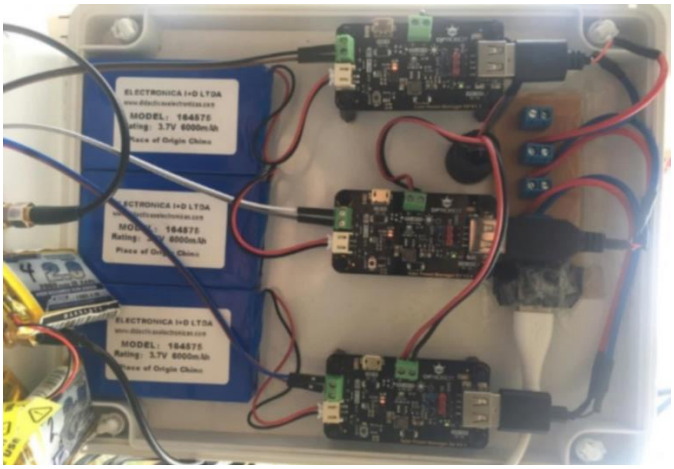


Figura 67. Baterías conectadas por medio de pcb al cable de alimentación de la raspberry.

Fuente: Autores

9 Otros Aportes

9.1 Presupuesto

La tabla 16, es una recopilación de los materiales utilizados para dar desarrollo al proyecto, se encuentra discriminado por valor unitario y valor total de cada uno de los elementos implementados, estos materiales fueron financiados por la unidad de investigación FODEIN de la Universidad Santo Tomás Tunja, este proyecto a su vez es desarrollado de la mano de la facultad de ciencias básicas de la universidad.

Tabla 15. Tabla de presupuesto real del proyecto. Fuente: Autores

Elemento	Cantidad	Precio Unitario (COP)	Precio Total (COP)
Arduino Nano	1	$ 23.000	$ 23.000
Raspberry Pi 3 b+	1	$ 220.000	$ 220.000
Cargador raspberry	1	$ 43.000	$ 43.000
Sensor CJMCU-6814	1	$ 115.000	$ 115.000
Sensor CCS 811	1	$ 98.000	$ 98.000
Sensor Air Quality Grove	1	$ 46.000	$ 46.000
Sensor Ozone 2 Click	1	$ 159.000	$ 159.000
Sensor HPMA 115S0-XXX	1	$ 179.000	$ 179.000
Sensor DGS-SO2	1	$ 565.200	$ 565.200
BOB-12009	1	$ 11.305	$ 11.305
Conectores Jumper	(Macho-Macho)x40	$ 3.000	$ 12.000
	(Macho-Hembra)x20	$ 3.000	$ 6.000
Board para panel solar 5V	3	$ 28.000	$ 84.000
Bateria Li-Po 3.7V-6000mAh	4	$ 35.000	$ 140.000
Regulador para panel solar DFR0559	4	$ 45.600	$ 182.400
Celda Solar 5V-2A	3	$ 121.000	$ 363.000
PCB Sensores	1	$ 53.000	$ 53.000
PCB Alimentación	1	$ 7.000	$ 7.000
Antena GSM 5DBI	2	$ 21.420	$ 42.840
Módulo EC21-AUX	1	$ 142.800	$ 142.800
ARGON FAN HAT	1	$ 59.500	$ 59.500
Conversor puerto tarjeta-sma	2	$ 11.900	$ 23.800
TOTAL			$ 2.575.845

Tabla 16. Cronograma de actividades. Fuente: Autores

	Febrero		Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre			
Actividad	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Fase 1.																																		
Fase 2.																																		
Fase 3.																																		
Fase 4.																																		
Fase 5.																																		
Fase 6.																																		

10 Conclusiones

- Al llevar a cabo el proceso de carga de las baterías por medio de cableado se presenta una impedancia que perjudica el funcionamiento del sistema. Para solucionar esto se implementa un circuito de trazado electrónico (PCB) que se encarga de llevar la energía de los paneles solares a las baterías.
- El software desarrollado permite resguardar la información de los datos obtenidos por los sensores en una base de datos, permitiendo que la información sea almacenada en caso de que la conexión a internet presente fallos y los datos no se envíen a la página web.
- En la página web Initial State IoT se encuentra un historial de las mediciones realizadas, permitiendo analizar el comportamiento de los parámetros, como sus variaciones a lo largo del tiempo.
- El software diseñado permite que el usuario tenga acceso a los datos en tiempo real de la condición de peligrosidad de los parámetros que según el ICA son actores altamente contaminantes en la población, pudiendo acceder a la información desde cualquier dispositivo con acceso a internet.
- Es importante considerar la seguridad de los componentes así como un adecuado sistema de refrigeración para los dispositivos, evitando que un choque de calor pueda interferir con las mediciones o el funcionamiento del sistema.

11. Recomendaciones

Se recomienda observar el mapa de cobertura de la señal para identificar tanto el terreno en que se va a ubicar la estación de monitoreo, como para conocer el nivel de potencia en dBm que registra la ubicación.

Debido a que se realiza un constante almacenamiento de datos en la base de datos de la información recolectada en la memoria de la raspberry, se recomienda implementar una segunda base de datos a futuro, así como hacer un seguimiento al nivel de almacenamiento de memoria.

En caso de tener inconvenientes con el funcionamiento del prototipo, por favor contactarse con la facultad de ingeniería electrónica de la USTA Tunja.

11 Estrategias de Divulgación

11.1 V Encuentro Internacional de Investigación Universitaria (ENIIU 2021)

El día 3 de Septiembre del año 2021, se presenta la ponencia “Diseño e implementación de plataforma de monitoreo de parámetros de calidad de aire en el municipio de Samacá”

11.2 II Versión Concurso de Prototipos de Desarrollo Tecnológico e Invenciones 2021

El día 14 de Octubre del año 2021, se realiza la participación del prototipo denominado “Prototipo de Medición de Parámetros de Calidad de Aire” compitiendo contra 5 prototipos diferentes de las seccionales Bogotá, Bucaramanga y DUAD Bogotá, logrando conseguir el primer puesto, al lograr una clara descripción de la problemática detectada, así como su aplicación y viabilidad técnica y social, describiendo el funcionamiento del prototipo como una herramienta innovadora y la oportunidad de realizar el registro de los software como propiedad intelectual.

11.2.1 Reconocimiento Recibido

Actualmente se espera la recepción de una insignia por haber obtenido el primer lugar del concurso de prototipos, también se obtuvo como premio un bono para ser redimido en almacenes éxito y un reconocimiento a nivel institucional.

11.3 Congreso Internacional de Ingeniería 2021- III CIDIFAM y VI CIICT

El día 19 de Octubre del año 2021, se presenta la ponencia “Diseño e implementación de plataforma de monitoreo de parámetros de calidad de aire en el municipio de Samacá”, actualmente se espera la recepción del certificado de participante como ponente.

11.4 II International Conference on Machine Learning & Applied Network Techonologies – ICMLANT 2021

Se postulo el artículo “Design and implementation of air quality parameter monitoring platform in the municipality of Samacá” para participar con ponencia en las fechas 16-17 de Diciembre del año 2021, actualmente el estado de la postulación está pendiente de respuesta de aceptación.

12 Bibliografía

- Agudelo Calderón, C. A., Quiroz-Arcentales, L., García-Ubaqie, J. C., Robledo Martínez, R., & García-Ubaque, C. A. (2016). Evaluación de condiciones ambientales: aire, agua y suelos en áreas de actividad minera en Boyacá, Colombia. Revista de Salud Pública, 18(1), 50-60. https://doi.org/10.15446/rsap.v18n1.55384
- Alcaldía Municipal de Samacá. 2016. Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019. Departamento de Boyacá.
- Atlas geográfico y ambiental. (2021). Retrieved 3 March 2021, from https://www.corpoboyaca.gov.co/servicios-de-informacion/atlas-geografico-y-ambiental/
- Boyaca.gov.co. 2017. [online] Available at: <https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/Asis2017/asis_municipal_2017_samaca.pdf> [Accessed 26 March 2021].
- Boyaca.gov.co. 2015. [online] Available at: <https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/asis_2015/asis-samaca-2015.pdf> [Accessed 26 March 2021].
- Buitrago Betancourt, J. D. . (2020). Minería, comercio internacional e impactos ambientales en el páramo El Rabanal de Samacá, Boyacá. Intropica, 15(1), 42–54. https://doi.org/10.21676/23897864.3426
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá), Corporación Autónoma de Chivor (Corpochivor) e Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAVH). 2008. Estudio sobre el estado actual del macizo del páramo de Rabanal. Convenio interadministrativo No. 07-06-263-048 (000404).
- Calidad del aire – CARDER. (2021). Retrieved 1 August 2021, from https://www.carder.gov.co/calidad-del-aire/
- Calidad aire - IDEAM. (2021). Revisado en Agosto 2021, from http://www.siac.gov.co/calidadaire
- El Carbón - Enciclopedia Medioambiental. (2021). Retrieved 1 August 2021, from https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/el_carbon.asp

- ICMM • ¿Dónde y cómo tiene lugar la actividad minera?. (2021). Retrieved 1 August 2021, from https://www.icmm.com/es/metals-and-minerals/producing-metals/donde-y-como-tiene-lugar-la-actividad-minera.
- "Páginas - Paneles solares suministran energía en estaciones de monitoreo SIATA", Metropol.gov.co, 2012. [Online]. Available:
- Santos Macías, F. J, (2009, septiembre). Tecnologías inalámbricas para la comunicación. Temas para la educación, revista digital para profesionales de la enseñanza. N°4. Recuperado de https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd5322.pdf
- Protocolos de comunicaciones. Desarrolloweb.com. (2021). Retrieved 1 August 2021, from https://desarrolloweb.com/articulos/1617.php.
- Siac.gov.co. 2010. Monitoreo aire - IDEAM. [online] Available at: <http://www.siac.gov.co/monitoreoaire#:~:text=Un%20Sistema%20de%20Vigilancia%20de,las%20actividades%20necesarias%20para%20su> [Accessed 24 March 2021].
- Siac.gov.co. 2021. Calidad aire - IDEAM. [online] Available at: <http://www.siac.gov.co/calidadaire> [Revisado en Agosto 2021].
- Protocolos de comunicación en tarjetas y sensores – Smelpro. Smelpro.com. (2021). Retrieved 1 August 2021, from https://smelpro.com/blog/protocolos-de-comunicacion-en-tarjetas-y-sensores/.

13 ANEXOS

A. Certificado Ponencia Artículo V Encuentro Internacional de Investigación Universitaria (ENIIU 2021)

5° Encuentro Internacional de Investigación Universitaria

La Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC)
Universidad Santo Tomás (USTA)
Fundación Universitaria Juan de Castellanos (JDC)
Universidad Antonio Nariño (UAN)
Universidad de Boyacá
La Red Académica de Tecnología Avanzada (RENATA)

CERTIFICAN QUE:

Diseño e implementación de plataforma de monitoreo de parámetros de calidad de aire en el municipio de Samacá

Participo en calidad de PONENTE con el trabajo

ELIANA MANUELA CASTEBLANCO GÓMEZ

En el marco del **Quinto Encuentro Internacional de Investigación Universitaria, EnIIU.**
Realizado en Tunja los días 02 y 03 de septiembre de 2021.

Dado en Tunja, a los 27 días del mes de octubre de 2021

Dra. Sandra Consuelo Díaz Bello
COMITÉ ORGANIZADOR

La Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC)
Universidad Santo Tomás (USTA)
Fundación Universitaria Juan de Castellanos (JDC)
Universidad Antonio Nariño (UAN)
Universidad de Boyacá
La Red Académica de Tecnología Avanzada (RENATA)

CERTIFICAN QUE:

Diseño e implementación de plataforma de monitoreo de parámetros de calidad de aire en el municipio de Samacá

Participo en calidad de **PONENTE** con el trabajo

SEBASTIÁN MARTÍNEZ SOSA

En el marco del **Quinto Encuentro Internacional de Investigación Universitaria, EnIIU.**
Realizado en Tunja los días 02 y 03 de septiembre de 2021.

Dado en Tunja, a los 27 días del mes de octubre de 2021

Dra. Sandra Consuelo Diaz Bello

COMITÉ ORGANIZADOR

B. Copia del correo de aceptación para participación en el concurso de prototipos, se obtuvo el 1 puesto.

Preseleccionados II Concurso de Desarrollo Tecnológico e Invenciones Externo Recibidos ×

Marcela Liseth Fernandez Pedreros <desarrollotec.innovacion@ustatunja.edu.co>
para mí, sebastian.martinez, paolo.ospina, decmeca, EDWINFABIG, duvangarzon, gabrielabohorquez, Profesional, Docente, angellyamortegui, angelicatibidor, Hector, javierjaviercardenas, angelbohorquez, juanduranr, Director

Muy buenos días para todos,

El comité organizador del II Concurso de Desarrollo Tecnológico e Invenciones agradece su compromiso y participación, esperamos seguir contando en próximas versiones con sus trabajos nuevos y mejorados en beneficio del innovación para mejorar la calidad de vida de las comunidades.

Asimismo, se complace en informar que los siguientes prototipos relacionados a continuación fueron seleccionados en primera fase para continuar en el proceso y dar paso a la evaluación a través de la exposición del mismo, e jornada se realizará de manera virtual desde las 2 p.m.

Nota: cada prototipo dispone de 10 minutos para hacer su presentación, seguidamente 5 minutos para preguntas por parte de pares evaluadores.

Adjunto: plantilla para su presentación y criterios de evaluación a tener en cuenta
Link de conexión: https://us02web.zoom.us/j/86051425297

Orden de presentación	*CÓDIGO*	*NOMBRE PARTICIPANTES*	*CORREO ELECTRÓNICO*	*NÚMERO CELULAR*	*FACULTAD*	*MODALIDAD DE PARTICIPACIÓN*
1	MECATR-BUC-001	Zuly Alexandra Mora Pérez, Sebastián, Muñoz Vásquez	paolo.ospina@ustabuca.edu.co, decmeca@ustabuca.edu.co	3136228562	Ing. Telecomunicaciones, Mecatrónica y Ciencias Básicas	Prototipos con software o aplicación
2	ELE-TUN-001	Eliana Manuela Casteblanco Gómez, Sebastián David Martínez Sosa	eliana.casteblanco@usantoto.edu.co, sebastian.martinez@usantoto.edu.co	3158272466	Facultad de Ingeniería Electrónica	Prototipos tecnológicos

C. Copia del correo de aceptación para presentación como ponentes en III Congreso Internacional en Diseño, Fabricación y Nuevos Materiales – CIDIFAM y VI Congreso Internacional de Instrumentación y Telecomunicaciones - CIICT

6to CIICT, 3er CIDIFAM notification for paper 2 Externo Recibidos ×

6to CIICT, 3er CIDIFAM <6toclict3ercidifam@easychair.org> vie, 15 oct 9:20
para mí

Cordial Saludo

Por medio del presente Comunicado Confirmamos que su Resumen fue Aceptado para ser presentado como PONENCIA durante el Congreso Internacional 6to CIICT y 3er CIDIFAM.

La fecha y horario la encontrara en el link adjunto
(como requisito mínimo, uno de los autores debe tener inscripción oficial con pago al evento, para realizar la presentación de la Ponencia)

Atentamente
Comité Organizador
Congreso Internacional 6to CIICT y 3er CIDIFAM.

Adjunto
FECHA Y HORA DE LA PONENCIA
https://drive.google.com/file/d/1iOtrQ9q0Y1X2UQtuDoQQgkWTwsmyk23m/view?usp=sharing