

	<b>GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>		<b>Código</b>	FO-GS-15
	<b>ESQUEMA HOJA DE RESUMEN</b>		<b>VERSIÓN</b>	02
			<b>FECHA</b>	03/04/2017
			<b>PÁGINA</b>	1 de 1
<b>ELABORÓ</b>	<b>REVISÓ</b>	<b>APROBÓ</b>		
Jefe División de Biblioteca	Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad		

## RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): JEISON EDUARDO APELLIDOS: ESLAVA PEDRAZA

NOMBRE(S): FRANYER ADRIAN APELLIDOS: MARTINEZ SARMIENTO

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): EDWIN JOSE APELLIDOS: VERA ROZO

NOMBRE(S): ÁNGELO JOSEPH APELLIDOS: SOTO VERGEL

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR MATERIAL PARTICULADO PM10 Y PM2.5 DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER – CÚCUTA EMPLEANDO UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal caracterizar la contaminación por material particulado empleando un vehículo aéreo no tripulado, el estudio se fundamentó en un enfoque cualitativo y cuantitativo mediante un diseño experimental con alcance exploratorio/descriptivo, el cual se diseñó, construyó e implementó, arrojando como resultados la caracterización de la zona analizada así como el diseño y construcción del prototipo de mediciones, obteniendo los niveles de contaminación de material particulado en sus medidas de 10.0 µm y 2.5 µm, además se crearon mapas de intensidad donde se reflejan los valores acorde a las normativas nacionales. Llegando a la conclusión de que el sistema puede ser adaptado a cualquier estructura o vehículo y presenta fiabilidad en los procesos de sensado luego de ser comparado con estaciones fijas de la región.

PALABRAS CLAVE: Material particulado, sistema embebido, vehículo aéreo no tripulado, mapas de intensidad.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 154 PLANOS:      ILUSTRACIONES: 46 CD ROOM 1

CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR MATERIAL  
PARTICULADO PM10 Y PM2.5 DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA  
SANTANDER – CÚCUTA EMPLEANDO UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO

FRANYER ADRIAN MARTINEZ SARMIENTO

JEISON EDUARDO ESLAVA PEDRAZA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR MATERIAL  
PARTICULADO PM10 Y PM2.5 DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA  
SANTANDER – CÚCUTA EMPLEANDO UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO

FRANYER ADRIAN MARTINEZ SARMIENTO

JEISON EDUARDO ESLAVA PEDRAZA

PROYECTO DE GRADO MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR  
POR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

DIRECTOR:

MSc. IE. EDWIN JOSÉ VERA ROZO

CODIRECTOR:

MSc. IE. ANGELO JOSEPH SOTO VERGEL

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

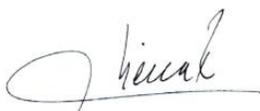
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

Fecha: CÚCUTA, 30 DE ABRIL DE 2021  
Hora: 16:00  
Lugar: MODALIDAD REMOTA SINCRÓNICO  
Plan de Estudios: INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
Título de la Tesis: "CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR MATERIAL PARTICULADO PM10 Y PM2.5 DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER-CÚCUTA EMPLEANDO UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO."  
Jurados: IE, Esp ARISTÓBULO SIERRA ROJAS  
IE, MSc DARWIN ORLANDO CARDOZO SARMIENTO  
Director: IE, MSc. EDWIN JOSÉ VERA ROZO  
Codirector: IE, MSc. ANGELO JOSEPH SOTO VERGEL  
Nombre del Estudiante Código Calificación  
FRANYER ADRIAN MARTINEZ SARMIENTO 1161304 CUATRO, SIETE (4,7)

### MERITORIA



ARISTÓBULO SIERRA ROJAS



DARWIN ORLANDO CARDOZO SARMIENTO



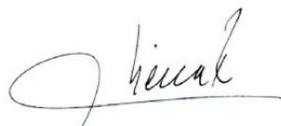
**DINAEL GUEVARA IBARRA**  
Coordinador Comité Curricular  
Ingeniería Electrónica

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

Fecha: CÚCUTA, 30 DE ABRIL DE 2021  
Hora: 16:00  
Lugar: MODALIDAD REMOTA SINCRÓNICO  
Plan de Estudios: INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
Título de la Tesis: "CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR MATERIAL PARTICULADO PM10 Y PM2.5 DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER-CÚCUTA EMPLEANDO UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO."  
Jurados: IE, Esp ARISTÓBULO SIERRA ROJAS  
IE, MSc DARWIN ORLANDO CARDOZO SARMIENTO  
Director: IE, MSc. EDWIN JOSÉ VERA ROZO  
Codirector: IE, MSc. ANGELO JOSEPH SOTO VERGEL

Nombre del Estudiante	Código	Calificación
JEISON EDUARDO ESLAVA PEDRAZA	1161277	CUATRO, SIETE (4,7)

### MERITORIA



ARISTÓBULO SIERRA ROJAS



DARWIN ORLANDO CARDOZO SARMIENTO



**DINAEL GUEVARA IBARRA**  
Coordinador Comité Curricular  
Ingeniería Electrónica

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA  
LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y LA PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Cúcuta, 9 de mayo 2021

Señores  
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS  
Ciudad

Cordial saludo:

JEISON EDUARDO ESLAVA PEDRAZA, FRANYER ADRIAN MARTINEZ SARMIENTO, identificado(s) con la C.C. N° 1.090.518.792 y 1.090.507.961 , autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR MATERIAL PARTICULADO PM10 Y PM2.5 DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER – CÚCUTA EMPLEANDO UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar al título de INGENIERO ELECTRÓNICO; autorizo(amos) a la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, Eduardo Cote Lamus, para que con fines académicos, muestre a la comunidad en general a la producción intelectual de esta institución educativa, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página web de la Biblioteca Eduardo Cote Lamus y en las redes de información del país y el exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad Francisco de Paula Santander.
- Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet etc.; y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Lo anterior, de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la ley 1982 y el artículo 11 de la decisión andina 351 de 1993, que establece que “**los derechos morales del trabajo son propiedad de los autores**”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

*Franyer A. Martinez S.*

FIRMA Y CEDULA  
1.090.507.961

*Jeison Eslava.*

FIRMA Y CEDULA  
1.090.518.792

## **AGRADECIMIENTOS**

En primera instancia damos gracias a Dios por todas las bendiciones que nos regaló durante el proceso de investigación, sin él no fuera sido posible cada paso dado durante este etapa académica y científica otorgando sabiduría, paciencia y perseverancia.

Agradecimiento infinito a nuestros padres, hermanos y familiares que fueron el pilar fundamental para conseguir cada una de nuestras metas, además agradecemos a nuestros amigos y compañeros de estudio que aportaron su granito de arena durante este proceso.

A los profesores de la facultad que forjaron nuestros conocimientos en los ámbitos de la carrera y nos orientaron en el camino de la investigación inculcando valores, principios y experiencias.

A nuestra querida alma mater, la Universidad Francisco de Paula Santander por brindarnos la oportunidad de formarnos como personas y especialmente como profesionales íntegros.

Al director Edwin Vera y codirector Ángel Soto quienes nos orientaron y guiaron durante el desarrollo de este proyecto, y finalmente al ingeniero Dinael Guevara Ibarra director del Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica y Telecomunicaciones (GIDET) por abrirnos las puertas de su grupo y brindarnos las herramientas necesarias que facilitaron el desarrollo de forma exitosa de esta investigación.

**Franyer Martínez – Jeison Eslava**

## Tabla de Contenido

	Pag.
INTRODUCCIÓN	20
1. Planteamiento del Problema	18
2. Justificación	20
2.1. Impacto esperado	22
2.2. Beneficios Tecnológicos	22
2.3. Beneficios Económicos	23
2.4. Beneficios Sociales	24
2.5. Beneficios Institucionales	24
3. Alcance	25
3.1. Tipo de proyecto	25
3.2. Resultados Esperados	25
4. Limitaciones y Delimitaciones	26
4.1. Limitaciones	26
4.2. Delimitaciones	26
5. Objetivos	28
5.1. Objetivo general	28
5.2. Objetivos específicos	28
6. Marco Referencial	29
6.1. Antecedentes	29

6.2. Marco Teórico	31
6.2.1. Material Particulado	31
6.2.2. Calidad del Aire	32
6.2.3. Vehículo aéreo no tripulado	32
6.2.3.1. Autonomía	33
6.2.3.2. Carga paga	33
6.2.3.3. Perfil alar	33
6.2.3.4. Velocidad crucero	33
6.2.4. Microcontrolador	34
6.2.5. Sensor	34
6.2.6. Batería de polímero de litio	34
6.2.7. Método de decisión y selección binaria	35
6.2.7.1. Selección de parámetros	35
6.2.7.2. Generación de la matriz de atributos	35
6.2.7.3. Matriz de coeficientes	36
6.2.7.4. Matriz de resultados	36
6.2.8. Metodología de espiral	37
6.2.8.1. Planificación	37
6.2.8.2. Análisis de riesgo	37
6.2.8.3. Implementación	37

6.2.8.4. Evaluación	37
6.2.9. Java FX	38
6.2.10. C++	38
6.2.11. SQL	38
6.3. Marco legal	38
7. Diseño Metodológico	40
8. Cronograma de Actividades	45
9. Presupuesto	47
9.1. Gasto global	47
9.2. Gastos de personal	48
9.3. Gastos de equipos	49
9.4. Gastos de materiales	50
10. Resultados	51
10.1. Identificación, selección y desarrollo del sistema de medición	51
10.1.1. Revisión de literatura de la calidad del aire y su aplicación con UAV	51
10.1.1.1. Calidad del aire	51
10.1.1.2. Vehículos Aéreos no Tripulados	54
10.1.2. Selección de variables y tecnologías	57
10.1.2.1. Selección de Variables	57
10.1.2.2. Selección de Tecnologías	57

10.1.2.2.1. Placa de Control	57
10.1.2.2.2. Sensor de material particulado	59
10.1.2.2.3. Sensor de humedad y temperatura	61
10.1.2.2.4. Módulo de GPS	63
10.1.3. Diseño del de sistema de mediciones	65
10.1.3.1. Diseño Modular	65
10.1.3.2. Diseño preliminar	67
10.1.4. Pruebas de funcionamiento y desarrollo de la PCB	68
10.1.4.1. Diseño y ensamble de la PCB	69
10.2. Instrumentación del UAV y Adaptación del sistema de mediciones	71
10.2.1. Construcción e instrumentación del UAV	71
10.2.1.1. Construcción del UAV	71
10.2.1.1.1. Alerones	71
10.2.1.1.2. Alas y perfiles alares	72
10.2.1.1.3. Winglets	74
10.2.1.1.4. Encostillado	74
10.2.1.1.5. Fuselaje	75
10.2.1.1.6. Soporte de motores	76
10.2.1.2. Instrumentación del UAV	77
10.2.1.2.1. Motores y Hélices	78

10.2.1.2.2. Controlador de velocidad	81
10.2.1.2.3. Baterías	82
10.2.1.2.4. Regulador de voltaje	82
10.2.1.2.5. Modulo receptor	83
10.2.1.2.6. Radio Control	84
10.2.1.3. Pruebas de funcionamiento del UAV	85
10.2.2. Ensamble del sistema de mediciones al UAV	88
10.2.3. Pruebas del sistema de mediciones con estaciones físicas.	88
10.2.4. Parámetros Generales del UAV	89
10.3. Mediciones de la calidad del aire por material particulado	90
10.3.1. Codificación del sistema de mediciones	91
10.3.1.1. Sensor de humedad y temperatura	91
10.3.1.2. Sensor de material particulado	91
10.3.1.3. Modulo GPS	92
10.3.1.4. Sistema de Medición	92
10.3.2. Interfaz grafica	93
10.3.2.1. Planificación	93
10.3.2.2. Análisis de riesgo	94
10.3.2.3. Implementación	94
10.3.2.4. Evaluación	95

10.3.2.5. Mapa de navegación	96
10.3.2.5.1. Ventana de inicio	96
10.3.2.5.2. Ventana de medidas	97
10.3.2.5.3. Ventana de estándares	99
10.3.2.5.4. Ventana de ayuda	100
10.3.3. Sensado de material particulado mediante un UAV	101
10.3.4. Caracterización de la calidad del aire.	103
10.4. Divulgación de los resultados	107
10.4.1. Informe general de la calidad del aire	107
10.4.2. Divulgación académica y/o científico	108
10.4.3. Entrega de documentación	109
CONCLUSIONES	110
RECOMENDACIONES	114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
ANEXOS	122

<b>Lista de Tablas</b>	<b>Pag.</b>
Tabla 1. Matriz de atributos.	35
Tabla 2. Matriz de coeficientes.	36
Tabla 3. Cronograma de actividades.	45
Tabla 4. Presupuesto Global del Proyecto por fuentes de financiación (en miles de \$).	47
Tabla 5. Descripción de los gastos de personal (en miles de \$).	48
Tabla 6. Descripción de los equipos de uso propio (en miles de \$).	49
Tabla 7. Descripción de materiales y suministros de uso propio (en miles de \$).	50
Tabla 8. Medidas de contaminación tomadas por Corponor en el año 2020 Cúcuta.	54
Tabla 9. Parámetros de análisis de la placa de control	58
Tabla 10. Matriz de atributos de la placa de control.	58
Tabla 11. Parámetros de análisis del sensor de material particulado.	60
Tabla 12. Matriz de atributos del sensor de material particulado.	60
Tabla 13. Parámetros de análisis del sensor de humedad y temperatura.	62
Tabla 14. Matriz de atributos del sensor de humedad y temperatura.	62
Tabla 15. Parámetros de análisis del GPS.	64
Tabla 16. Matriz de atributos del GPS.	64
Tabla 17. Cantidad de dispositivos electrónicos implementados.	77
Tabla 18. Especificaciones técnicas del motor brushless A2212/6T de 2200kv.	78
Tabla 19. Hélices de prueba.	79
Tabla 20. Validación de las hélices.	80
Tabla 21. Especificaciones técnicas del servo motor DS939HV.	81
Tabla 22. Especificaciones técnicas del speed control Skywalker-50A-UBEC.	82
Tabla 23. Especificaciones técnicas de las baterías referencia TURNIGY 2200 mA 3S 20C.	82

Tabla 24. Especificaciones técnicas del regulador de tensión UBEC-3A-6S.	83
Tabla 25. Especificaciones técnicas del módulo receptor Turnigy 9X8C-V2.	84
Tabla 26. Especificaciones técnicas del radio control Turnigy 9X9CH	84
Tabla 27. Valores obtenidos para el cálculo del centro de gravedad.	86
Tabla 28. Comparativa de mediciones.	89
Tabla 29. Características físicas y eléctricas del UAV.	90
Tabla 30. Requerimientos.	93
Tabla 31. Cantidad de datos sensados.	102
Tabla 32. Promedio de mediciones por día.	103
Tabla 33. Índices de calidad del aire.	105

<b>Lista de Figuras</b>	<b>Pag.</b>
Figura 1. Clasificación de los UAV.	55
Figura 2. Aplicaciones de los UAV.	56
Figura 3. Diagrama modular.	66
Figura 4. Esquema de conexión.	67
Figura 5. Diseños preliminares del sistema de mediciones.	68
Figura 6. PCB del Sistema de mediciones.	70
Figura 7. Prototipo del sistema de mediciones.	70
Figura 8. Lectura de las variables en la terminal serial.	71
Figura 9. Alerones desarrollados.	72
Figura 10. Alas las del UAV.	72
Figura 11. Perfiles alares.	73
Figura 12. Alas del UAV	74
Figura 13. Winglets.	74
Figura 14. Encostillado.	75
Figura 15. Fuselaje.	76
Figura 16. Soporte de motores	77
Figura 17. Esquema de conexión eléctrico del UAV.	78
Figura 18. Motor brushless.	78
Figura 19. Hélices de prueba.	79
Figura 20. Diseño del sistema de caracterización de las hélices.	80
Figura 21. Herramienta de caracterización de hélices.	80
Figura 22. Servomotor Corona DS939HV.	81

Figura 23. Controlador de velocidad.	81
Figura 24. Baterías Turnigy 2200 mA.	82
Figura 25. Regulador de voltaje.	83
Figura 26. Modulo receptor Turnigy 9X8c-V2.	83
Figura 27. Radio control Turnigy 9X9CH	84
Figura 28. UAV instrumentado.	85
Figura 29. Esquema para el cálculo del centro de gravedad.	86
Figura 30. Parámetros del radio control.	87
Figura 31. Fuselaje de la aeronave.	88
Figura 32. UAV y sistema de mediciones.	90
Figura 33. Metodología de desarrollo.	93
Figura 34. Ventana de inicio.	96
Figura 35. Ventana de mediciones.	97
Figura 36. Subventana estadística.	98
Figura 37. Subventana histórico.	98
Figura 38. Subventana descargas.	99
Figura 39. Ventana estándares.	100
Figura 40. Ventana ayuda.	100
Figura 41. Pantalla de visualización de datos	101
Figura 42. Visualización de datos organizados en MySQL.	102
Figura 43. Diagrama de cajas para las mediciones realizadas.	103
Figura 44. Caracterización mediante mapas de intensidad del contaminante PM2.5.	105
Figura 45. Caracterización mediante mapas de intensidad del contaminante PM10.0.	106



<b>Lista de Anexos</b>	<b>Pag.</b>
<b>Anexo 1.</b> Tabla de matrices de coeficientes para la placa de control.	122
<b>Anexo 2.</b> Tabla de matrices de coeficientes para sensor de material particulado.	123
<b>Anexo 3.</b> Tabla de matrices de coeficientes para el sensor de humedad y temperatura.	124
<b>Anexo 4.</b> Tabla de matrices de coeficientes para el GPS.	125
<b>Anexo 5.</b> Diagrama esquemático y de Board.	126
<b>Anexo 6.</b> Bosquejo general del UAV ala Zagi.	127
<b>Anexo 7.</b> Codificación sensor de humedad y temperatura.	128
<b>Anexo 8.</b> Codificación del sensor de material particulado.	129
<b>Anexo 9.</b> Codificación del módulo de GPS.	130
<b>Anexo 10.</b> Flujograma del sistema de mediciones.	131
<b>Anexo 11.</b> Mapa de navegación de la interfaz gráfica.	140
<b>Anexo 12.</b> Informe de calidad del aire.	141
<b>Anexo 13.</b> Certificados de la ponencia en la VI Semana de Ciencia y Tecnología.	146
<b>Anexo 14.</b> Certificados de la ponencia en la VI Semana de Ciencia y Tecnología.	147
<b>Anexo 15.</b> Certificados de la ponencia de la 7th International Week of Science, Technology And Innovation.	148
<b>Anexo 16.</b> Carta de Aceptación por parte de la revista AIBI.	149
<b>Anexo 17.</b> Correo de Aceptación por parte de la revista de Investigación e Innovación en Ingenierías.	150
<b>Anexo 18.</b> Recibido del informe por parte del encargado del establecimiento Lago Park.	151

## INTRODUCCIÓN

La calidad del aire se ha convertido en un factor fundamental dentro de la vida y preservación del ser humano, actualmente según la Organización Mundial de la Salud (OMS) la contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud a nivel mundial [1]. Por consiguiente, Colombia siendo un país en constante desarrollo, dentro de sus políticas públicas ha delimitado las normas de calidad de aire estableciendo límites, cada vez más estrictos con la finalidad de disminuir los índices de contaminación para el año 2030, recalcando la relevancia que amerita la calidad del aire en el país.

Analizando este contexto y el aumento constante de agentes y partículas en suspensión presentes en el aire, es necesario en la ciudad de Cúcuta y más específicamente en la Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS) realizar acciones, desarrollar estrategias y mecanismos que permitan conocer la calidad de aire y a su vez identificar las zonas más expuestas. Debido a lo mencionado anteriormente esta investigación propone realizar la caracterización de la calidad de aire del campus universitario, evidenciando las variables de material particulado PM2.5 y PM10.0 son las que más afectan a la salud de la población introduciéndose con mayor facilidad a los pulmones y generando daños en los mismo; para la medición se hace uso de nuevas tecnologías que permitan conocer el estado actual de contaminación. Para ello, se pretende realizar un sistema de medición adaptado a un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV del inglés *Unmanned Aerial Vehicle*), vehículos capaces de navegar sin llevar a bordo ningún piloto y que pueden ser controlados desde una estación base o una programación preestablecida [2], el cual permite obtener las mediciones necesarias respecto a los parámetros que se analizan en este proyecto siendo así una alternativa a los dispositivos electrónicos de medición utilizados actualmente.

## 1. Planteamiento del Problema

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera la contaminación atmosférica como una de las prioridades en la salud del ser humano, sus estudios indican que hay riesgo con las concentraciones que hoy se observan en numerosos países desarrollados, por lo cual determinan que los valores guía a nivel mundial de Material Particulado 2.5  $\mu m$  (PM2.5) son de 10  $\mu g/m^3$  media anual y de 25  $\mu g/m^3$  media de 24 horas y para material particulado 10  $\mu m$  (PM10.0) de 20  $\mu g/m^3$  media anual y 50  $\mu g/m^3$  media de 24 horas [3].

Ahora bien, se estima que la contaminación ambiental del aire, fue causa de 4,2 millones de muertes anuales prematuras en todo el mundo, esta mortalidad se debe a la exposición a partículas pequeñas de 2,5 micrones o de menor diámetro (PM2.5), que causan enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer [1]. Teniendo en cuenta esto el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de Colombia se rigen bajo parámetros máximos permisibles del doble de lo establecido por la OMS [4] obteniendo como resultado en el 2017 que los valores de contaminación por partículas son superiores a los establecidos a nivel mundial, PM10.0 anual de 50  $\mu g/m^3$  y 75  $\mu g/m^3$  media diario, así como lo indica el departamento de planeación nacional [5]. Por consiguiente el departamento de Norte de Santander por medio de Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (Corponor) en su último reporte ejecutivo mensual del mes de mayo del 2019 en referencia a la calidad de aire encontraron valores tolerables de partículas de acuerdo a sus 3 estaciones con un promedio mensual entre el rango de 30  $\mu g/m^3$  a 53  $\mu g/m^3$  clasificándola como un tipo de contaminación admisibles según su normativa vigente en el país [6], aunque no deja de ser evidente que sigue estando al límite de los valores aceptables por la OMS.

Para la medición de estas partículas en el aire se emplean diferentes métodos de monitoreo, los cuales se pueden dividir en cuatro tipos genéricos: muestreadores pasivos, muestreadores activos, analizadores automáticos y sensores remotos [3]; los cuales permiten realizar un sondeo de la calidad del aire en un área determinada recolectando muestras de contaminantes por medios físicos o químicos, proporcionar mediciones de alta resolución o aplicar técnicas espectroscópicas de larga trayectoria para medir las concentraciones de varios contaminantes en tiempo real.

En el municipio de Cúcuta, Corponor es la encargada de regular y vigilar los niveles de contaminación, cuenta con un Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire Tipo III y está conformado por tres estaciones fijas que contienen un equipo muestreador de alto volumen con un método de muestreo activo para medir concentraciones de material particulado menores a  $10 \mu m$  (PM10.0) [7]. Actualmente las entidades regulatorias y encargadas de la vigilancia, protección y prevención del medio ambiente utilizan sistemas de mediciones de calidad de aire en forma de estaciones fijas en puntos estratégicos de las diferentes ciudades haciendo uso de sensores industriales y de costos elevados, siendo este un problema que limita las mediciones y genera el desconocimiento de índices de contaminación que presentan algunas zonas como en el campus universitario de la UFPS de Cúcuta, donde se desconoce la calidad de aire percibida por la comunidad universitaria ya que no se cuenta con un sistema de medición que determine los índices de partículas presentes. Por tal razón es necesario hacer una caracterización de la calidad del aire en este ente público y determinar si la contaminación por material particulado está dentro de los valores permisibles.

Considerando la problemática presenta se plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo caracterizar la calidad del aire teniendo en cuenta la contaminación por material particulado PM10.0 y PM2.5 en el campus de Cúcuta de la Universidad Francisco de Paula Santander?

## 2. Justificación

El indicador ambiental denominado “calidad del aire” permite conocer los índices de contaminación en una zona determinada, información útil para tomar acciones preventivas y reducir el daño que le proporciona a la población, permitiendo respirar un aire más puro y prevenir enfermedades. Por consiguiente, las entidades reguladoras del ambiente buscan mantener una base de datos actualizada acerca de los niveles de contaminación existentes con programas de creación de puntos estratégicos que permiten la evaluación de estos niveles a través de un monitoreo permanente, el cual suministra los datos y actualiza el sistema para su análisis ambiental.

Es importante resaltar que los modelos actuales para la medición de estas partículas se realizan mediante estaciones fijas, situación que limita el análisis de los datos a zonas específicas obligando a realizar estimaciones y aproximaciones estadísticas para conocer el comportamiento de los contaminantes en la totalidad de la zona objeto de estudio. Por ello, es posible adoptar alternativas hacia nuevas tecnologías que permitan mitigar la medición fija de las variables de interés, en donde los UAV cobran importancia, pues han sido ampliamente utilizados en aplicaciones de seguridad y militares, búsqueda de personas desaparecidas, fotografía, vídeo, cartografía aérea, prevención y control de incendios, agricultura y medio ambiente; en esta última son utilizados en la parametrización del índice de contaminación lumínica, monitorización, control y seguimiento de accidentes industriales con vertidos tóxicos en medios acuáticos y terrestres [8].

Teniendo en cuenta lo anterior, es de gran importancia para una entidad de educación superior conocer los niveles e índices de contaminación presentes en las zonas establecidas por ser lugares de alta concentración poblacional, razón por la cual es necesario realizar una

caracterización de contaminación del aire por material particulado y así determinar si los valores observados están dentro de los rangos permisibles establecidos por el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de Colombia y poder realizar una comparación con los niveles establecidos a nivel mundial por la OMS y así tomar acciones de control y prevención.

Por tanto, este proyecto busca realizar un monitoreo diario mediante un vehículo aéreo no tripulado (UAV) como dispositivo de desplazamiento e implementando un sistema de medición anclado al UAV, siendo este un sistema de bajo costo que puede desplazarse en cualquier espacio delimitado en comparación a los sistemas y tecnologías utilizadas actualmente como lo son las bombas de muestreo personales las cuales se emplean para recolectar muestras a través de un filtro y así tomar las mediciones de diferentes parámetros de exposición de las personas al material particulado, gases y/o vapores [9]; otro sistema de medición son las estaciones fijas que utilizan tecnologías a base de un muestreador de alto volumen el cual cuenta con filtros de tipo físico químico que permiten tomar los contaminantes de dimensiones menores a  $10 \mu m$ , este tipo de dispositivos requieren de un pesado inicial del filtro y posteriormente el cálculo matemático de los volúmenes y concentraciones presentes, además de la toma de la medida, estos deben tener un flujo de aire sin restricción, necesitan fácil acceso para visitas regulares de inspección, mantenimiento, calibración y un suministro continuo de energía eléctrica para sus mediciones [10].

En consecuencia con la problemática planteada y las tecnologías usadas en materia de calidad de aire, la UFPS no cuenta con documentación acerca de la caracterización de la contaminación atmosférica existente en el campus de Cúcuta haciendo énfasis en partículas contaminantes de material particulado PM10 y PM2.5, debido a la complejidad y dimensiones de los equipos anteriormente mencionados y que a su vez Cúcuta cuenta con estaciones fijas situadas en solo tres sitios específicos (Hotel Cínera, Comando policía Atalaya-comuneros y Colegio Eustorgio

Colmenares Baptista). Además, se observa la dificultad de que la administración municipal pueda brindar un monitoreo y medición de estos contaminantes en sectores específicos como la UFPS; por tal motivo este proyecto permite crear un prototipo que demarcara las zonas más expuestas al material particulado dentro del campus, creando una documentación que suministre información de los niveles de contaminación a la población, haciendo uso de nuevas tecnologías como la implementación de un UAV y un sistema de medición para este tipo de contaminante, por medio de una caracterización del zonas estratégicas del campus universitario que podrá ser utilizado eventualmente en cualquier otra zona de interés.

### **2.1. Impacto esperado**

El presente proyecto, pretende mejorar la documentación existente y recolección de datos acerca de la contaminación por material particulado, abriendo el horizonte e innovando a través del uso de nuevas tecnologías y vehículos aéreos no tripulados, enfocados al estudio de la contaminación ambiental existente en el aire como el material particulado.

### **2.2. Beneficios Tecnológicos**

El prototipo de sistema de medición acoplado al vehículo aéreo no tripulado posibilita un traslado y manejo adecuado para la observación de las variables contaminantes (material particulado PM) en tiempo real. Lo que permite la implementación de este dispositivo electrónico en otros municipios donde no se cuente con estaciones de monitoreo y se presenten problemas ambientales debido a la calidad de aire.

El diseño de un prototipo de sistema de medición de material particulado permite la caracterización del campus universitario y a su vez la implementación de nuevas tecnologías enfocadas al uso de UAV con adaptación del sistema de medición para la recolección de medidas de estos contaminantes; siendo este proyecto una alternativa innovadora y diferente a

las tecnologías ya usadas, además este prototipo tendrá la particularidad de ser usado y replicado en otras zonas de interés con el fin de prevalecer la calidad del aire percibida por la población.

### **2.3. Beneficios Económicos**

Teniendo en cuenta las iniciativas, actividades y estrategias desarrolladas por la Universidad a través del bienestar universitario en función de proveer e incentivar un servicio para la salud y cuidado de los estudiantes de la manera más adecuada, este proyecto aporta en la reducción de costos anuales invertidos en el servicio de salud gracias a que contaría con un sistema de medición de la contaminación del aire que permitirá tomar decisiones preventivas. Lo anterior, se sustenta de acuerdo a reportes anuales de la OMS en donde se evidencia que la concentración inadecuada de material particulado en el aire es causante de fallas cardiovasculares y enfermedades respiratorias, situación que impactaría financieramente a la Universidad en la reducción de costos por cualquier daño en la salud de la población en general que interactúan al interior del campus universitario.

Por otra parte, se destaca el beneficio de conocer el estado de la calidad del aire en el campus universitario, de tal manera que con el desarrollo del proyecto no sería necesario invertir recursos financieros en estaciones fijas utilizadas actualmente y que son altamente costosas, sino que se contaría con un sistema alternativo, confiable y de bajos costo evitando que para futuros precedentes y proyectos de ley ambiental se exija a entidades de educación superior la regulación de estos contaminantes, para generar estrategias de control y monitoreo en estas zonas y su vez disminuir el constante aumento enfermedades derivadas por estas partículas con el fin de mejorar la salud de la población.

## **2.4. Beneficios Sociales**

El uso de este prototipo implica que la UFPS como entidad pública de educación superior desarrolle procesos de capacitación a estudiantes, administrativos y docentes en las áreas de electrónica y del medio ambiente, generando así una mejora en los procesos, un correcto uso de los dispositivos electrónicos y a su vez tener un grupo de trabajo con las capacidades suficiente en el uso de estas nuevas tecnologías.

La divulgación y socialización de los índices de contaminación y de las zonas más afectadas a toda la comunidad en general, presentan un sentido de conciencia y responsabilidad por parte de la universidad para desarrollar planes de control y prevención que mitiguen el aumento de los contaminantes en el aire.

## **2.5. Beneficios Institucionales**

Con el desarrollo de este proyecto se incentiva la investigación en el área de la calidad del aire y la implementación de vehículos aéreos no tripulados permitiendo formar nuevas líneas investigativas en los grupos y semilleros de investigación.

El desarrollo de proyectos tecnológicos en el campo de los vehículos aéreos no tripulados aplicados al seguimiento y monitoreo de la calidad del aire posiciona a la UFPS como la primera en el municipio realizando investigaciones centradas en el área de los contaminantes en formas de partículas presentes en el aire como material particulado, siendo de esta manera una institución pública de educación superior pionera en el desarrollo de un sistema de medición alternativo de este tipo de compuestos.

### **3. Alcance**

A continuación, se describe el tipo de proyecto en el que se enmarca esta investigación, así como los resultados esperados con el desarrollo de la misma.

#### **3.1. Tipo de proyecto**

La investigación a realizar es de tipo exploratoria y descriptiva. Exploratoria porque se enfoca en la experimentación de métodos y dispositivos electrónicos como sensores y vehículos aéreos no tripulados poco convencionales en el área de medición de contaminación del aire en las variables PM10.0 y PM2.5. Además, es descriptiva de modo que se busca caracterizar la calidad del aire con respecto a las variables mencionadas por medio de un prototipo de sistema de medición que permita comprender el estado actual de la contaminación del campus universitario de la UFPS [11].

#### **3.2. Resultados Esperados**

Se espera caracterizar la calidad de aire del campus universitario de la UFPS sede Cúcuta utilizando un sistema de medición implementado en un UAV que pueda suministrar información relevante y suficiente de los índices de contaminación existentes por material particulado a la comunidad universitaria en general; además se espera obtener un prototipo de dispositivo electrónico que pueda ser replicado y utilizado en otras zonas de interés, impactando significativamente en el cuidado del medio ambiente y por ende, en la salud del ser humano.

Por otra parte, la expectativa es publicar los avances de esta investigación y los resultados obtenidos respecto a las temáticas de enfoque de este proyecto en una revista científica indexada.

## **4. Limitaciones y Delimitaciones**

A continuación, se describe las limitaciones y delimitaciones de esta investigación teniendo en cuenta los diferentes factores que involucran el proyecto.

### **4.1. Limitaciones**

Se centran en el peso y autonomía de vuelo del UAV ya que debe contar con especificaciones que permitan realizar las pruebas, mediciones del sistema en áreas determinadas y condiciones climáticas en el momento de la medición, además de tener en cuenta las normativas presentes respecto a las zonas en donde se puede realizar vuelos y pruebas. Por otra parte, se encuentran limitaciones con respecto al radio de medición y saturación de los sensores, sus características técnicas y físicas, así como el precio de los mismos. Además, se debe tener precaución con la divulgación pública de los resultados obtenidos, debido a que estamos tratando con variables ambientales que determinan la calidad de aire que hay en este entorno. Otro aspecto a considerar es el acceso a las bases de datos que los entes regulatorios, instituciones y organismos de control suministran, pues son fuente de información directa que permitirán realizar la comparación y validación de los datos obtenidos.

### **4.2. Delimitaciones**

La investigación se desarrolla en las instalaciones de los laboratorios especializados del Departamento de Electricidad y Electrónica de la UFPS, ubicada en la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander, además las pruebas de funcionamiento y la caracterización se llevarán a cabo en diferentes zonas al interior del campus universitario.

El UAV a implementar es un modelo ala Zagi y cuenta con el sistema de medición en la parte superior, estas características se consideran para la implementación de un método de medición no invasivo, debido a que el modelo de vehículo ubica los motores en la parte trasera

después del centro de gravedad del vehículo permitiendo que este se pueda planear y a su vez reducir los errores por las perturbaciones que se puedan encontrar en el entorno.

## **5. Objetivos**

### **5.1. Objetivo general**

Caracterizar la contaminación del aire por material particulado PM10.0 y PM2.5 de la Universidad Francisco de Paula Santander - Cúcuta empleando un vehículo aéreo no tripulado.

### **5.2. Objetivos específicos**

- Desarrollar un sistema de mediciones de material particulado centrado en la caracterización de la calidad del aire.
- Ensamblar el sistema de instrumentación al UAV y verificar la manejabilidad, autonomía, pilotaje y confiabilidad de las mediciones, confrontando los datos con medidas de sistemas estáticos de la región.
- Obtener una base de datos de la contaminación por material particulado del campus universitario haciendo uso del vehículo aéreo no tripulado y del prototipo de sistema de medición para la posterior caracterización.
- Divulgar resultados con fines a recomendaciones del cuidado del ambiente y la importancia de la calidad del aire.

## 6. Marco Referencial

Teniendo en cuenta la revisión de la literatura enfocado a los temas de interés se presenta una serie de documentos de proyectos de investigación, revistas y artículos en el área de UAV y material particulado los cuales fueron seleccionados los más relevantes aportando cada uno un elemento específico que sirve como base para el desarrollo del proyecto.

### 6.1. Antecedentes

**TITULO:** Integración de un UAV (vehículo aéreo no tripulado) en la plataforma robótica ARGOS.

La aeronave desarrollada tiene como finalidad realizar tareas de inspección de zonas peligrosas, como en el caso de un posible desastre natural. así mismo, cumple funciones de monitoreo dentro de edificios con pasillos y pasar por puertas y ventanas estrecha, además, supervisar los robots terrestres de la plataforma robótica argos (multiplataforma robótica de gran alcance y autonomía) [12].

**TITULO:** Prototipo de medición de emisiones de gas carbónico en un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) para los alrededores de rellenos sanitarios.

Se empleo una placa de adquisición de datos formada por los sensores mq-4, mq-7 y el sensor bmp-180, comunicación inalámbrica (RF) y una interfaz de usuario que permita el procesamiento de datos; se realizó la adquisición de datos de variables físicas como la altura y de los niveles de monóxido de carbono y gas metano comparando las concentraciones de estos dos gases en los alrededores de los rellenos sanitarios para determinar cuál de estos presenta una mayor concentración en este espacio [13].

**TITULO:** Sistema aéreo de medición de gases contaminantes basado en un UAV, resultados preliminares.

Se generaron perfiles verticales de los contaminantes hasta un nivel inicial de 300 m, con la posibilidad de alcanzar el límite de la capa estable que se genera durante la noche. Se monitorea Ozono (O<sub>3</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Material Particulado (PM<sub>10.0</sub>), temperatura y presión atmosférica. También se plantean las mediciones preliminares de dichos gases en la ciudad de Cochabamba, Bolivia; Con el sensor de material particulado, las mediciones fueron afectadas debido a las condiciones de vuelo del UAV, presentando una mayor concentración al despegar y aterrizar debido a que los motores levantaban polvo, por otra parte, en el aire las variaciones de las medidas fueron considerablemente elevadas, determinando sí que estas estaban encima de los valores de la red MoniCA ( $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y del límite permisible según la norma boliviana 62011 ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) [14].

**TITULO:** Assessment of annual air pollution levels with PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10.0</sub> and associated heavy metals in Algiers, Algeria.

Recolectar durante dos años la cantidad suficiente de muestras de las diferentes partículas PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10.0</sub> presentes en la zona urbana y en las carreteras de Argelia, logrando así mediante diferentes técnicas y análisis estadísticos la presencia de diferentes componentes y gases contaminantes presentes en estas partículas y a su vez los índices de concentración de las mismas, por lo tanto se identificó que la contaminación causada por partículas finas es motivo de preocupación debido a su gran magnitud y sus características fisicoquímicas. La magnitud de esta contaminación también se debe a la mala combustión de la flota de automóviles, que es cada vez más dieselizada, envejecida y mal mantenida y donde el uso de gasolina sin plomo es aún muy bajo [15].

**TITULO:** Diseño de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para medición de gases de efecto invernadero.

El propósito de esta investigación es el desarrollo de un UAV, el cual permita obtener datos como: temperatura, cantidades de dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxido nitroso, metano, ozono, entre otros, los cuales fueron utilizados para actualizar los modelos matemáticos que se emplean para conocer el comportamiento de los gases de invernadero. La aeronave debe ser construida para cumplir ciertos requerimientos en los que sobresale; autonomía de 1 hora, techo de servicio de 1 *km* y carga del equipo de medición atmosférica de aproximadamente 1 *kg*, anexo a lo anterior es importante resaltar que la aeronave debe ser propulsada y energizada por medio de energía eléctrica [16].

**TITULO:** Control para la navegación preprogramada de trayectorias de un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) aplicado a la supervisión y transmisión en línea de la calidad del aire.

Se diseñó un algoritmo de control que permita la navegación preprogramada para el seguimiento de trayectorias de un UAV para realizar la supervisión y transmisión en línea de la calidad del aire. La estrategia de control propuesta valida el vuelo autónomo de una trayectoria preprogramadas que se aplica experimentalmente a partir de un modelo cinemático. Se integra al UAV sensores inteligentes que permiten la recolección de información sobre la calidad de aire. Esto supervisa variables climáticas y gases contaminantes del ambiente presente en una trayectoria dada [17].

## **6.2. Marco Teórico**

En los siguientes ítems se presentan las definiciones y conceptos relacionados con los temas más relevantes en los que se fundamenta el proyecto.

### **6.2.1. Material Particulado**

Se denomina material particulado a una mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión en el aire y forma parte de la

contaminación del aire. Su composición es muy variada y podemos encontrar, entre sus principales componentes, sulfatos, nitratos, el amoníaco, el cloruro sódico, el carbón, el polvo de minerales, cenizas metálicas y agua. Dichas partículas además producen reacciones químicas en el aire.

Se cataloga en función de su tamaño y, en el ámbito de la calidad del aire, hablamos de partículas PM10.0, que serían las de mayor tamaño, cuyo diámetro aerodinámico teórico sería de 10  $\mu m$  (micrones de metro = millonésima parte del metro) y las partículas finas conocidas como PM2.5 cuyo diámetro sería de 2.5  $\mu m$  [18].

### **6.2.2. Calidad del Aire**

Se define la inmisión o calidad del aire como la concentración de contaminante que llega a un receptor, más o menos lejano de la fuente de emisión, una vez transportado y difundido por la atmósfera. La capacidad de la atmósfera para diluir las concentraciones de contaminantes es fundamental para preservar una buena calidad del aire, y esto va a venir marcado principalmente por las condiciones meteorológicas [19].

### **6.2.3. Vehículo aéreo no tripulado**

Sistema de aeronave no tripulada – conocidas por sus expresiones: UAV, UAS, RPA, RPAS, ART, VANT, DRON o DRONE, se refieren a un mismo concepto, independientemente de su principio de vuelo o propulsión [20].

El UAV es un acrónimo de *Unmanned Aerial Vehicle*, que es un avión sin piloto a bordo. UAV puede ser un avión a control remoto, volado por un piloto en una estación de control en tierra o puede volar de forma autónoma en función de planes de vuelo preprogramados o sistemas de automatización dinámica más complejos. Un UAV se define como una aeronave capaz de realizar un vuelo controlado y propulsado por un motor a reacción o alternativo[2].

Dentro de esta área se definen algunos atributos relacionados a la estructura y características de vuelo de los UAV tipo ala fija.

#### **6.2.3.1. Autonomía**

Se define como el tiempo máximo que puede durar el vehículo en funcionamiento hasta agotar totalmente su energía esta depende de las características de las baterías implementadas [21].

#### **6.2.3.2. Carga paga**

Se describe como el peso que genera algún beneficio al momento de realizar el transporte de una carga neta, en el caso de las aerolíneas comerciales es el peso de los pasajeros, equipaje y suministros; sin embargo, para el UAV, este aspecto hace referencia a la estructura, sistema de mediciones y a la cantidad de peso que puede llevar sin tener en cuenta aspectos como el fuselaje, motores, entre otros dispositivos que puedan implementarse [22].

#### **6.2.3.3. Perfil alar**

Según el Comité Asesor Nacional para la Aeronáutica (*National Advisory Committee for Aeronautics*, NACA) el perfil alar es el área transversal de cualquier elemento alar. Existen dos tipos: simétricos y asimétricos diferenciados por un borde de ataque con ángulo de sustentación de cero y diferente de cero respectivamente; además son identificados mediante una nomenclatura para sus diferentes aplicaciones [23].

#### **6.2.3.4. Velocidad crucero**

Definida como la velocidad constante en una trayectoria uniforme que puede presentar una aeronave para alcanzar unas condiciones de vuelo en donde no se presenten perturbaciones por factores externos como la presión y la temperatura [24].

#### **6.2.4. Microcontrolador**

Un microcontrolador es un circuito integrado digital que puede ser usado para diversos propósitos debido a que es programable. Está compuesto por una unidad central de proceso (CPU), memorias (ROM y RAM) y líneas de entrada y salida (periféricos). Este es un computador dedicado. En su memoria sólo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada/salida soportan la conexión de sensores y actuadores del dispositivo a controlar. Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignada [25].

#### **6.2.5. Sensor**

Un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, etc.) en valores medibles de dicha magnitud. Esto se realiza en tres fases: un fenómeno físico a ser medido es captado por un sensor, y muestra en su salida una señal eléctrica dependiente del valor de la variable física. La señal eléctrica es modificada por un sistema de acondicionamiento de señal, cuya salida puede ser de voltaje o corriente. El sensor dispone de una circuitería que transforma y/o amplifica la tensión de salida, la cual pasa a un conversor A/D, conectado a un PC. El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta[26].

#### **6.2.6. Batería de polímero de litio**

Las baterías de iones de litio (LIB) son una familia de baterías recargables que tienen una alta densidad de energía y se usan comúnmente en la electrónica de consumo. A diferencia de la batería primaria de litio desechable, un LIB utiliza un compuesto de litio intercalado en lugar de litio metálico como electrodo. Por lo general, los LIB son significativamente más livianos que otros tipos de baterías recargables de tamaño similar. Los LIB se usan mucho en la

electrónica portátil. Estas baterías se pueden encontrar comúnmente en PDAs, iPods, teléfonos celulares, computadoras portátiles, entre otros [27].

### 6.2.7. Método de decisión y selección binaria

El Método de decisión y selección binaria (MDSB), es una técnica empleada para la identificación de los componentes óptimos para el desarrollo de un proyecto de ingeniería e instrumentación, permitiendo seleccionar un elemento con base a atributos y necesidades del proyecto; desarrollando los pasos de: selección de parámetros, generación de la matriz de atributos y de coeficientes de énfasis y finalmente la matriz solución [28].

#### 6.2.7.1. Selección de parámetros

Se establece un conjunto de características esenciales y que se desean estudiar, descartando del mismo modo las que no sean relevantes para el análisis.

#### 6.2.7.2. Generación de la matriz de atributos

El objetivo de esta matriz como se observa en la Tabla 1 es definir la importancia mediante ponderaciones de los atributos. Para la construcción de la misma, se ubican los parámetros en estudio mediante arreglos de fila y columna de referencia. Luego, cada uno de los atributos se compara con los demás: si una característica es más importante que otra se coloca en la intersección del arreglo un “1”, de lo contrario se coloca un “0”. En la columna “Valor” se coloca la sumatoria de la fila correspondiente a cada atributo. En la columna “Peso” se coloca el valor ponderado respecto a la suma de la columna “Valor”.

Tabla 1. Matriz de atributos.

	A1	A2	A3	A4	A5	Valor	Peso
A1	$A_{11}$	$A_{12}$	$A_{13}$	$A_{14}$	$A_{15}$	$\sum A1$	$P1$
A2	$A_{21}$	$A_{22}$	$A_{23}$	$A_{24}$	$A_{25}$	$\sum A2$	$P2$
A3	$A_{31}$	$A_{32}$	$A_{33}$	$A_{34}$	$A_{35}$	$\sum A3$	$P3$
A4	$A_{41}$	$A_{42}$	$A_{43}$	$A_{44}$	$A_{45}$	$\sum A4$	$P4$
A5	$A_{51}$	$A_{52}$	$A_{53}$	$A_{54}$	$A_{55}$	$\sum A5$	$P5$
	<i>Total</i>					$\sum A$	$\sum P$

### 6.2.7.3. Matriz de coeficientes

Esta matriz permite comparar los instrumentos (I) respecto a cada atributo. La Tabla 2 presenta un modelo de construcción de la matriz en donde se ubican los elementos de estudio en filas y columnas de referencia, seguidamente cada dispositivo es comparado entre si dándole un peso de “1” en la intersección si el dispositivo es mejor que su contrapartida de lo contrario se asigna un “0” del mismo modo la columna valor se coloca la suma de la fila y en la columna peso (W) el valor normalizado.

Tabla 2. Matriz de coeficientes.

	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	I <sub>11</sub>	I <sub>12</sub>	I <sub>13</sub>	I <sub>14</sub>	I <sub>15</sub>	∑I1	W1
I2	I <sub>21</sub>	I <sub>22</sub>	I <sub>23</sub>	I <sub>24</sub>	I <sub>25</sub>	∑I2	W2
I3	I <sub>31</sub>	I <sub>32</sub>	I <sub>33</sub>	I <sub>34</sub>	I <sub>35</sub>	∑I3	W3
I4	I <sub>41</sub>	I <sub>42</sub>	I <sub>43</sub>	I <sub>44</sub>	I <sub>45</sub>	∑I4	W4
I5	I <sub>51</sub>	I <sub>52</sub>	I <sub>53</sub>	I <sub>54</sub>	I <sub>55</sub>	∑I5	W5
<i>Total</i>						∑ I	∑ W

**Fuente:** Adaptado de [28]

### 6.2.7.4. Matriz de resultados

Finalmente se construye la matriz de resultados (Ecuación 1) donde se agrupan los coeficientes de énfasis para cada uno de los instrumentos y se multiplica por los pesos de importancia para cada uno de los atributos. Dando como resultado el instrumento que presente un valor mayor de solución (S) será el que mejor se adapta a las necesidades y criterios especificados para cada uno de los atributos de los equipos.

$$\begin{bmatrix} S1 \\ S2 \\ S3 \\ S4 \\ S5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} & W_{14} & W_{15} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & W_{24} & W_{25} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} & W_{34} & W_{35} \\ W_{41} & W_{42} & W_{43} & W_{44} & W_{45} \\ W_{51} & W_{52} & W_{53} & W_{54} & W_{55} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} P1 \\ P2 \\ P3 \\ P4 \\ P5 \end{bmatrix} \quad (1)$$

**Fuente:** Adaptado de [28]

### **6.2.8. Metodología de espiral**

Este modelo enfocado al desarrollo de software multimedia o multiplataforma se fundamenta combinando los modelos cascada y prototipado, facilitando un proceso iterativo que permite el desarrollo de proyectos mediante cuatro fases: planificación, análisis de riesgos, implementación y evaluación, que se van realizando acorde a una forma espiral con la finalidad de ir mejorando los procesos, funcionalidades y principalmente previniendo cualquier posibles fallas a fin de reducir riesgos en el desarrollo del proyecto [29].

#### ***6.2.8.1. Planificación***

Esta etapa determina cada uno de los objetivos y alcances en cada ciclo de desarrollo, además de identificar limitaciones y riesgos que se puedan mejorar mediante actividades reiterativas que se van incrementando con cada proceso para lograr un resultado optimo del producto a entregar.

#### ***6.2.8.2. Análisis de riesgo***

Permite la toma de decisiones y se establece el procedimiento a seguir acorde a un análisis y evaluación de cada uno de los aspectos que afectan al proyecto según su estado actual y su grado de avance, para el desarrollo de una versión preliminar y sus mejoras.

#### ***6.2.8.3. Implementación***

Se desarrolla el prototipo y se validan los alcances definidos verificando el funcionamiento del software según el alcance acordado.

#### ***6.2.8.4. Evaluación***

Se debe analizar en detalle si los riesgos detectados anteriormente ya tuvieron solución. Básicamente, esta fase servirá para determinar el avance del proyecto y dar pistas de hacia dónde debe enfocarse la próxima iteración.

### **6.2.9. Java FX**

Java FX es un lenguaje de programación de código abierto que incorpora un conjunto de paquetes gráficos, de animación, sonido y video de forma interactiva; Además es una herramienta completa para diseñar, crear, probar e implementar aplicaciones y variedad de librerías para sistemas de escritorio, móviles y embebidos mediante la tecnología Java.

### **6.2.10. C++**

C ++ es un lenguaje de programación basado en el lenguaje C estandarizado considerándose como un lenguaje híbrido potente, eficiente y seguro con características que lo hacen un lenguaje universal de propósito general permitiendo interactuar con hardware como Arduino, ESP32 y microchips PIC entre otros [30].

### **6.2.11. SQL**

El Lenguaje de Consulta Estructurado (Structured Query Language- SQL) es un lenguaje de programación desarrollado para la gestión de base de datos relacionales. Siendo este un declarativo de alto nivel, de esta forma una sola sentencia puede equivaler a uno o más programas que se utilizarían en un lenguaje de bajo nivel orientado a registros [31].

## **6.3. Marco legal**

Este proyecto de investigación está enmarcado en normas, resoluciones, requisitos y decretos que regulan y limitan temas específicos de interés que se abordan en su desarrollo, en primer lugar, hay que tener en cuenta que en materia de calidad de aire y contaminación por material particulado a nivel internacional la OMS en su “guía de calidad de aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre” edición actualizada del 2005 especifica las medidas estándares permisibles de contaminación a nivel global [3], a su vez el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en su resolución No.

2254 del 1 de noviembre del 2017 determinada con el nombre “por la cual se adopta la norma de calidad de aire ambiente y se dictan otras disposiciones”, donde establecen los valores permisibles de las variables PM10.0 y PM2.5 diarias y anuales [4], siendo esta una resolución en la cual se fundamenta Corponor entidad regional del departamento de Norte de Santander en su resolución No.690 del 3 de octubre del 2017 bajo el nombre de “por la cual se aprueba la adopción del manual de mantenimiento de los equipos PM10 HI-VOL utilizados en la medición de material particulado” [32]. Además, la norma técnica colombiana (NTC) 4983[33] y 6141 [34] hacen énfasis en los métodos y características técnicas mínimas de los equipos que realizan, certifican y determinan las emisiones de agentes contaminantes para la calidad del aire como material particulado.

Por otra parte, el marco legal por el cual se rigen los UAV en Colombia por medio de la Aeronáutica Civil Unidad Administrativa Especial (AEROCIVIL) encargada del control y regulación de la aviación civil, establece en la circular reglamentaria N° 002 del 27 de septiembre del 2015 “Los requisitos generales de aeronavegabilidad y operaciones para RPAS (Numeral 4.25.8.2)” de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC) donde se especifican las características técnicas permitidas, las regulaciones relacionadas con operaciones de vuelo, delimitaciones de espacios permitidos para pilotajes, así también como la prohibición de lanzar objetos y sustancias al espacio, las condiciones de aeronavegabilidad, la clasificación de este tipo de vehículos y las limitaciones de las operaciones RPAS en Colombia [35].

## 7. Diseño Metodológico

Para dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados, se presentan las actividades y metodologías como procedimiento a seguir.

**Objetivo específico 1:** Desarrollar un sistema de mediciones de material particulado centrado en la caracterización de la calidad del aire.

**Actividad 1:** Revisar la literatura en dos categorías, la contaminación ambiental en lo referente a la calidad del aire y los vehículos aéreos no tripulados.

**Metodología:** Consultar artículos, proyectos de investigación y tesis de grado enfocadas en las dos áreas a tratar de este proyecto, seleccionando los documentos de los últimos cinco años que suministren información relevante y aporten ideas del uso de nuevas tecnologías, métodos y parámetros que puedan servir como guía o ejemplo para desarrollar la caracterización de la calidad de aire del campus universitario.

**Actividad 2:** Realizar una matriz de selección para identificar los diferentes componentes necesarios para el desarrollo del proyecto.

**Metodología:** Para la matriz de selección del controlador y del sensor de material particulado se identifican las características, especificaciones técnicas y disponibilidad en el mercado nacional de los dispositivos electrónicos.

**Actividad 3:** Realizar un diseño preliminar general del prototipo del sistema de mediciones.

**Metodología:** Se realiza el diseño a través de un software libre, teniendo en cuenta los componentes y dispositivos electrónicos necesarios, determinando la interconexión y los protocolos de comunicación que debe llevar este sistema considerando que debe contar con dimensiones reducidas con el fin de optimizar espacios.

**Actividad 4:** Realizar pruebas en un laboratorio para verificar el correcto funcionamiento del dispositivo electrónico.

**Metodología:** En primer lugar, basado en el diseño preliminar se realiza el montaje de los componentes en una etapa de prueba para verificar el funcionamiento aplicando la instrumentación necesaria del sensor seleccionado, el módulo de sistema de posicionamiento global en sus siglas en inglés (GPS) y el sistema de almacenamiento; posteriormente se realiza el circuito electrónico por medio de un software libre y el ensamblaje del mismo en una placa de circuito impreso (PCB).

Una vez obtenida la PCB se procederá a desarrollar las pruebas de funcionamiento del prototipo de sistema de medición en los laboratorios de la universidad con el objetivo de verificar fallas en el proceso de ensamblaje para luego realizar las correcciones pertinentes.

**Objetivo específico 2:** Ensamblar el sistema de instrumentación al UAV y verificar la manejabilidad, autonomía, pilotaje y confiabilidad de las mediciones, confrontando los datos con medidas de sistemas estáticos de la región.

**Actividad 1:** Construir el vehículo aéreo no tripulado seleccionado y pruebas de funcionamiento de este para corregir las posibles fallas.

**Metodología:** Se procederá a construir el vehículo teniendo en cuenta los perfiles, medidas, materiales livianos, requerimientos técnicos, autonomía y movilidad del mismo para garantizar la resistencia del UAV en el aire en diferentes condiciones y dar soporte al sistema de medición.

**Actividad 2:** Ensamblar el sistema diseñado al vehículo aéreo no tripulado para poder realizar pruebas de funcionamiento y corregir posibles fallas.

**Metodología:** Se desarrollará una estructura que permita acoplar el dispositivo al UAV sin generar interferencia, posicionándolo en un lugar centrado y sin influencia de factores eléctricos y mecánicos para la toma de mediciones, así como los flujos de viento generados por los motores.

Además, se realizarán pruebas de funcionamiento en la UFPS que permitan determinar las fallas en todo el sistema y así realizar las correcciones pertinentes.

**Actividad 3:** Comparar los datos obtenidos por el sistema de medición de material particulado con la información proveniente de las estaciones estáticas en la región.

**Metodología:** Con los parámetros obtenidos por el sistema de mediciones se desarrollará una comparativa por periodos de tiempo con sistemas fijos de la región para validar la información y determinar la fiabilidad del dispositivo desarrollado, a su vez realizar los ajustes necesarios teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del sensor.

**Objetivo específico 3:** Obtener una base de datos de la contaminación por material particulado del campus universitario haciendo uso del vehículo aéreo no tripulado y del prototipo de sistema de medición para la posterior caracterización.

**Actividad 1:** Desarrollar el algoritmo lógico que permita fundamentar y obtener la caracterización de la contaminación del aire mediante el sistema de mediciones del material particulado.

**Metodología:** Diseñar un algoritmo lógico que permita describir el proceso a realizar para la caracterización de la calidad de aire más específicamente material particulado, al emplear el prototipo diseñado.

**Actividad 2:** Realizar las mediciones de las variables MP10.0 y MP2.5 en el campus universitario haciendo uso del prototipo desarrollado.

**Metodología:** Una vez completado el prototipo se procede a realizar múltiples mediciones por un periodo de tiempo realizando vuelos en zonas estratégicas para el monitoreo diario a diferentes horas con el fin de obtener una base de datos que proporcione información de los promedios de contaminación por material particulado de las variables PM10.0 y PM2.5

presentes en la UFPS, además de especificar la ubicación donde estas mediciones serán recolectadas, y así de esta manera caracterizar el campus universitario haciendo uso del prototipo que se diseñara y ensamblara.

**Actividad 3:** Caracterización de la calidad del aire del campus universitario de la UFPS.

**Metodología:** Con la base de datos obtenida se pretende realizar un procesamiento de la información suministrada por el sistema de medición el cual dará inicio a la caracterización del campus universitario teniendo en cuenta la ubicación y los datos del contaminante.

**Objetivo específico 4:** Divulgar los resultados obtenidos a la comunidad en general, promoviendo recomendaciones del cuidado del ambiente y la importancia de la calidad del aire.

**Actividad 1:** Escribir un documento que presente la información de manera coherente y sintetizada de los datos más relevantes de los resultados obtenidos.

**Metodología:** Se escribirá un documento en donde se expondrán los resultados obtenidos acerca del prototipo y la caracterización del aire por material particulado presentando la viabilidad del uso del sistema para la medición de estos contaminantes.

**Actividad 2:** Socializar los resultados obtenidos en el proyecto de investigación en un evento académico y/o científico.

**Metodología:** Participar en evento académico y/o científico donde se presenten los resultados obtenidos del proyecto y la viabilidad del uso de los UAV como vehículo de desplazamiento para la medición de las partículas en suspensión presentes en el aire.

**Actividad 3:** Presentar la documentación obtenida de los índices de contaminación por material particulado a los entes reguladores del medio ambiente y la calidad del aire a la universidad.

**Metodología:** Una vez recopilada la base de datos se pretende presentar la documentación a la UFPS mediante un documento escrito en el que se detallan los resultados obtenidos de la

caracterización del aire en el campus universitario con el fin de que ellos puedan dar solución en el caso de presentarse algún índice de contaminación superior a los valores vigentes y regulados a nivel regional y nacional por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

## 8. Cronograma de Actividades

Tabla 3. Cronograma de actividades.

ACTIVIDADES	(Meses)							
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Revisar la literatura en dos categorías, la contaminación ambiental en lo referente a la calidad del aire y los vehículos aéreos no tripulados.								
Realizar una matriz de selección para identificar los diferentes componentes necesarios para el desarrollo del proyecto.								
Realizar un diseño preliminar general del prototipo del sistema de mediciones.								
Realizar pruebas en un laboratorio para verificar el correcto funcionamiento del dispositivo electrónico.								
Construir el vehículo aéreo no tripulado seleccionado y pruebas de funcionamiento de este para corregir las posibles fallas.								
Ensamblar el sistema diseñado al vehículo aéreo no tripulado para poder realizar pruebas de funcionamiento y corregir posibles fallas.								
Comparar los datos obtenidos por el sistema de medición de material particulado con la información proveniente de las estaciones estáticas en la región.								
Desarrollar el algoritmo lógico que permita fundamentar y obtener la caracterización de la contaminación del aire mediante el sistema de mediciones del material particulado.								

Realizar las mediciones de las variables MP10.0 y MP2.5 en el campus universitario haciendo uso del prototipo desarrollado.								
Caracterización de la calidad del aire del campus universitario de la UFPS.								
Escribir un documento que presente la información de manera coherente y sintetizada de los datos más relevantes de los resultados obtenidos.								
Socializar los resultados obtenidos en el proyecto de investigación en un evento académico y/o científico.								
Presentar la documentación obtenida de los índices de contaminación por material particulado a los entes reguladores del medio ambiente y la calidad del aire a la universidad.								

## 9. Presupuesto

### 9.1. Gasto global

En esta sección se exponen los precios de manera porcentual indicando la financiación del proyecto por las diferentes fuentes de ingreso, mostradas de la Tabla 4 a la Tabla 7.

Tabla 4. Presupuesto Global del Proyecto por fuentes de financiación (en miles de \$).

RUBROS	FUENTES				TOTAL
	ESTUDIANTES		UFPS		
	Efectivo	Especie	Efectivo	Especie	
Personal	0	6.400	0	1.600	8.000
Equipos	0	3.913	0	160	4.073
Materiales e insumos	0	720	0	1.150	1.870
Infraestructura	0	560	0	1.200	1.760
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>11.593</b>	<b>0</b>	<b>4.110</b>	<b>15.703</b>

## 9.2. Gastos de personal

Tabla 5. Descripción de los gastos de personal (en miles de \$).

PERSONAL	FUNCIÓN DENTRO DEL PROYECTO	DEDICACIÓN HORAS / SEMANA	\$/h	# de meses	FUENTES		TOTAL
					Estudiantes	UFPS	
Jeison Eduardo Eslava Pedraza	Tesista	20	5.000	8	3.200	0	3.200
Franyer Adrián Martínez Sarmiento	Tesista	20	5.000	8	3.200	0	3.200
Edwin José Vera Rozo	Director	1	25.000	8	0	800	800
Ángelo Joseph Soto Vergel	Codirector	1	25.000	8	0	800	800
<b>TOTAL</b>					<b>6.400</b>	<b>1.600</b>	<b>8.000</b>

### 9.3. Gastos de equipos

Tabla 6. Descripción de los equipos de uso propio (en miles de \$).

DESCRIPCIÓN	\$/h	HORAS DE UTILIZACIÓN	JUSTIFICACIÓN	FUENTES		TOTAL
				Estudiantes	UFPS	
Computador Portátil	5.625	640	Necesario para la programación de la placa de control y el diseño del prototipo	3.600	0	3.600
Cargador de Baterías de Lipo	0.200	640	Necesario para el reabastecimiento de energía de las baterías	128	0	128
Multímetro Digital	0.289	640	Necesario para la etapa de medición de voltajes y fallas en el circuito electrónico	185	0	185
Amperímetro	0.25	640	Necesario para la medición y consumo de corriente eléctrica de los motores del UAV	0	160	160
<b>TOTAL</b>				<b>3.913</b>	<b>160</b>	<b>4.073</b>

#### 9.4. Gastos de materiales

Tabla 7. Descripción de materiales y suministros de uso propio (en miles de \$).

DESCRIPCIÓN	JUSTIFICACIÓN	FUENTES		TOTAL
		Estudiantes	UFPS	
Sensor de material particulado.	Necesario para la medición de las partículas de suspensión presentes en el aire	0	150	150
Radio control	Necesario para el pilotaje del UAV	0	800	800
Materiales para la construcción del UAV como: madera balsa, pegamento, motores, controladores de velocidad, baterías, hélices, etc.	Necesarios para la construcción del UAV	560	0	560
Placa de control	Necesario para realizar el control de mediciones y transferencia de datos	160	0	160
Material tales como: cable, conectores, PCB'S, circuitos integrados, tuercas, tornillos, etc.	Necesario para la etapa de diseño electrónico del sistema de mediciones, y pruebas experimentales	0	200	200
<b>TOTAL</b>		<b>720</b>	<b>1.150</b>	<b>1.870</b>

## **10. Resultados**

Esta sección presenta los resultados del desarrollo metodológico planteado, iniciando mediante una revisión de la literatura que permite iniciar la investigación y fue una guía para la ejecución de las diferentes actividades relacionadas con: instrumentación del UAV, desarrollo y puesta a prueba del sistema de mediciones confrontándolo con estaciones fijas de la región para validar su funcionalidad, además de la construcción y modelado del apartado visual del sistema mediante una interfaz gráfica de escritorio y finalmente la divulgación de los alcances obtenidos.

### **10.1. Identificación, selección y desarrollo del sistema de medición**

Detalla la etapa inicial del desarrollo del proyecto donde se realiza una revisión de la literatura en relación a la calidad del aire y los UAV; además, de desarrollarse la selección de cada variable y tecnología para finalmente ser esbozado el diseño preliminar del sistema de mediciones.

#### **10.1.1. Revisión de literatura de la calidad del aire y su aplicación con UAV**

Esta primera etapa se desarrolló en dos fases, la primera es enfocada a la revisión de la literatura relacionada a la calidad del aire y la segunda etapa hace énfasis en la descripción de los UAV y sus aplicaciones. En consecuencia, toda la información relacionada con estos temas fue recolectada de fuentes bibliográficas, bases de datos, informes y guías de entidades y organizaciones gubernamentales y no gubernamentales.

##### ***10.1.1.1. Calidad del aire***

La contaminación del aire a ocasionado diferentes daños en la salud, el ambiente y la infraestructura, provocando miles de muertes al año a causa de enfermedades cardiorrespiratorias, daños en cultivos y deterioro en las edificaciones, donde los gases y partículas suspendidas en el aire son los principales factores que dan lugar al material particulado, además, estas son emitidas en un 70 % por fuentes móviles como vehículos automotrices y en un 30 % por fuentes estáticas

como industrias y zonas mineras [36]. Estas emisiones son perjudiciales para la salud y han sido objeto de estudio por entidades y organizaciones que han enfocado sus esfuerzos a la búsqueda de mitigación del daño ambiental y gestión de normativas para prevención y control de estas emisiones.

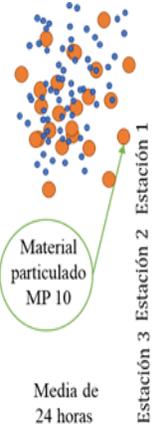
La OMS ha desarrollado diferentes manuales y guías que permiten a los gobiernos establecer métricas del nivel de contaminación permitido en el territorio nacional; basados en rangos aceptables y poco perjudiciales para la salud. Estos parámetros se establecen en un valor máximo para partículas de PM10.0 de  $20 \mu g/m^3$  media anual y de  $75 \mu g/m^3$  media de 24 horas, para partículas de PM2.5 es de  $10 \mu g/m^3$  media anual y de  $25 \mu g/m^3$  de media de 24 horas [3]. Por otra parte, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) es el ente regulador a nivel nacional de la contaminación ambiental junto al ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, los cuales vigilan, establecen y controlan las normativas respecto a esta área, además de trabajar en conjunto con instituciones regionales encargadas de validar los índices de calidad de aire obtenidos en los municipios respecto a los parámetros permisibles ya establecidos, en el caso de la ciudad de Cúcuta, Corponor es la encargada de realizar estas labores y mantener regulada la calidad de aire.

Los entes reguladores a nivel mundial desarrollan y fomentan estrategias para identificar cuáles son los efectos ocasionados por estas partículas, incentivando múltiples investigaciones relacionadas a esta problemática. Donde se han desarrollado estimaciones temporales de la contaminación ambiental tal es el caso de [37] que presenta el estudio de la contaminación en los municipios de Bogotá, Bucaramanga, Cali y Medellín estableciendo una aproximación de la contaminación del aire, morbilidad respiratoria y circulatoria a nivel de la población. Así también proyectos que buscan un modelo de evaluación y monitoreo continuo de las diferentes

partículas contaminantes presentes en el aire incorporando sensores de bajo costo y modelos de dispersión de la contaminación [38], [39], no obstante, también se han implementado técnicas que permiten dar un aproximado de los futuros niveles de contaminación empleando métodos de manipulación de datos e inteligencia artificial, obteniendo resultados muy prometedores [40].

Además, se han venido realizando algunas investigaciones en el departamento Norte de Santander, donde se ha monitoreado diariamente el estado actual de la contaminación a través de Corponor que en conjunto con universidades de la región, y más específicamente con la UFPS, hacen usos de las estaciones de monitoreo fijas y laboratorios especializados, con el objetivo de conocer, prevenir y controlar los focos principales de emisión de contaminantes existentes en el departamento, así como también de mantener a la población informada acorde a los hallazgos encontrados de la calidad de aire. La Tabla 8 detalla explícitamente los parámetros obtenidos en promedio de 24 *h* durante los cuatro trimestres del año 2020 en la ciudad de Cúcuta, donde se observa un aumento en los valores de material particulado PM10.0 de estudios realizados por Corponor mediante boletines mensuales y trimestrales [41], observándose que a partir del mes de marzo y abril la calidad del aire se ha visto afectada a diferentes fenómenos como, incendios forestales, aumento en la producción diaria de las industrias, generando un fenómeno llamado CALIMA, quema de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos y efectos relacionados con la humedad relativa [42] y finalmente se restablece a un estado Bueno en el transcurso del año.

Tabla 8. Medidas de contaminación tomadas por Corponor en el año 2020 Cúcuta.

	Primer Trimestre [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]			Segundo Trimestre [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]			Tercer Trimestres [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]			Cuarto Trimestres [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	36.64	41.06	86.5	56.13	30.90	33.17	21.54	18.72	22.32	20.88	31.38	27.34
	43.49	46.01	97.1	60.63	39.57	44.23	30.87	29.95	36.48	36.07	36.61	37.32
	41.69	45.37	100.6	61.04	39.58	43.23	36.86	28.87	41.00	36.04	37.00	39.49
Calidad del Aire	Buena	Buena	Aceptable	Aceptable	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena

### 10.1.1.2. Vehículos Aéreos no Tripulados

La Figura 1 detalla la clasificación de los diferentes modelos de UAV existentes en la actualidad, donde cada uno presenta aspectos que los diferencia entre si acorde a su tipo de ala lo que les permite realizar labores de seguimiento, monitoreo y transporte; tal es el caso que los UAV multirrotor actualmente se encuentran en auge debido a que su diseño estructural permite el acople de múltiples hélices para realizar vuelos verticales siendo conocidos también como ala rotatoria, no obstante los tipo ala flexible presentan un uso constante a lo largo de su historia debido a su alto alcance y facilidad de construcción, además actualmente estos diseños han venido evolucionando dando desarrollo a los prototipo de UAV híbridos que son una mezcla complementaria entre los anteriores, de manera que los multirrotores al contar con 2 o más motores permiten tener una mayor estabilidad en el aire facilitando el desarrollo de recorridos complejos; sin embargo, el ala flexible aporta dentro de sus características operar y abarcar áreas extensas a grandes velocidades sin afectar los sistemas de mediciones, siendo estos

manipulados para que ejerzan durante sus trayectorias movimientos específicos como planear evitando o disminuyendo el consumo de energía.

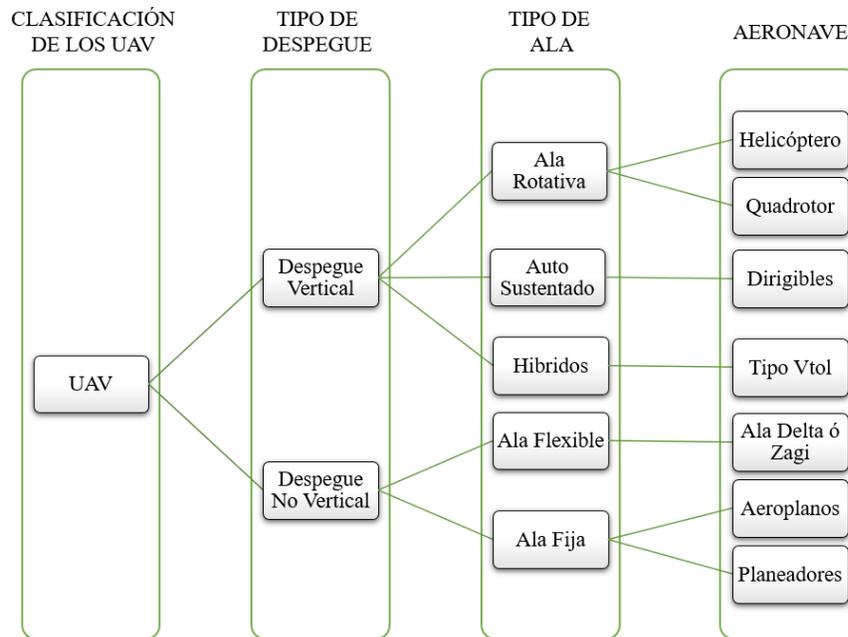


Figura 1. Clasificación de los UAV.

Como se detalló anteriormente los UAV han ido presentando un constante crecimiento y desarrollo tecnológico, brindando soluciones y facilitando el cumplimiento de actividades en diferentes campos de la ingeniería y afines. Adaptándose a múltiples y constantes avances de modelos tecnológicos. Tal es el caso de UAVs que implementan modelos de inteligencia artificial, aportando a sus procesos la optimización de labores, la gestión adecuada de rutas cortas y de fácil acceso, además de presentar mejoras en el rendimiento de estas aeronaves durante sus trayectorias.

La Figura 2 presenta las principales actividades en las que estas aeronaves se han visto inmersas como: agricultura, ambiente, geociencias, logística, militar y mapeo entre otras [43]–[45]. En primer lugar, en el sector agrícola se han enfocado sus estudios a la agricultura de precisión desarrollando mapas de producción para observar el estado de los cultivos, permitiendo mejorar los tiempos de producción, evaluar el crecimiento y prevenir plagas [46], [47]. En las geociencias,

así como la agricultura se han posicionado como una herramienta práctica y alternativa para la evaluación de zonas con recursos minerales, estructuras rocosas y restos de edificaciones antiguas como túmulos funerarios, arquitecturas con historia, asentamientos, entre otros implementando sistemas Lidar y mecanismos de teledetección [48], [49]. Sin embargo, en estudios relacionados con el medio ambiente estos vehículos se implementan para la evaluación de recursos naturales, estudios del aire, zonas forestales, prevención y extinción de incendios [50], [51]. A fin de mejorar actividades que se vienen realizando de forma cotidiana mediante métodos ambiguos; no obstante, otros estudios se han encaminado al ámbito militar siendo los UAVs empleados en tareas de rastreo, seguimiento y control de inmigrantes además de implementarse para cumplir funciones como dispositivos tácticos en operaciones especiales [52]. Por otra parte, durante los últimos años se ha observado la invención de un nuevo campo aplicativo de los UAV, que han venido generando avances en la logística ejerciendo funciones de mensajería en el proceso de entrega y desplazamiento de paquetes, víveres y recursos médicos [53].

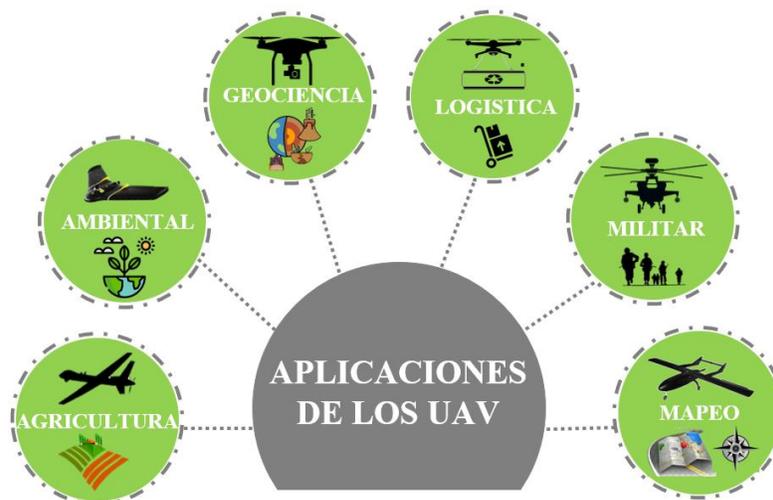


Figura 2. Aplicaciones de los UAV.

### **10.1.2. Selección de variables y tecnologías**

Este apartado describe las etapas de selección de variables y tecnologías empleada en el desarrollo del proyecto especificando cada componente y las razones de su selección.

#### ***10.1.2.1. Selección de Variables.***

Se selecciona el material particulado como variable principal a evaluar en sus medidas de  $10.0\ \mu\text{m}$  y  $2.5\ \mu\text{m}$  además se consideró la temperatura y la humedad relativa del ambiente al momento de tomar las mediciones y considerar su ubicación para dar mayor precisión a las variables medidas.

#### ***10.1.2.2. Selección de Tecnologías***

Para la identificación de los componente óptimos a emplear, se aplica el método de decisión y selección binaria, que consiste en seleccionar y jerarquizar los parámetro más relevantes de cada dispositivo con el fin de desarrollar una matriz de atributos; posteriormente con los parámetros obtenidos generar una matriz de coeficientes de énfasis y finalmente, la matriz solución para establecer el dispositivo a utilizar que obtenga la mayor ponderación enfatizando que es el más óptimo para su implementación de acuerdo con los atributos definidos [28], [54].

##### ***10.1.2.2.1. Placa de Control***

Para la selección de la placa de control se comparan cinco dispositivos: Arduino uno, Raspberry Pi 3 B+, ESP32, PIC 16F877 y TM4C1294, las cuales fueron evaluadas mediante el modelo ya mencionado, teniendo en cuenta para la selección cada una de las características específicas dadas en sus hojas de datos. La Tabla 9 detalla las especificaciones técnicas relevantes y necesarias para la toma de decisión de la placa de control que se implementó.

Tabla 9. Parámetros de análisis de la placa de control.

Placa	Consumo energético [mA]	Protocolo de comunicación	Peso [g]	Velocidad de procesamiento [MHz]	Almacenamiento [Kb]
Arduino Uno	50	I2C, UART, SPI	25	16	1
Raspberry Pi 3 B+	350	I2C, SPI, I2S, UART, TCP/IP, RED	45	1200	3.2 x 10 <sup>7</sup>
ESP32	180	I2C, I2S, UART, TCP/IP, 1-WIRE	9	160	8
PIC 16F877	25	SPI, I2C, UART	6.6	20	0.256
TM4C1294	140	SSI, UART, I2C, CAN, RED	162	120	6

Con los parámetros establecidos, respecto a las características y especificaciones técnicas, se desarrolló la matriz de atributos como se observa en la Tabla 10, para este caso se asignó a cada uno de los atributos su correspondiente variable desde la A1 hasta A5 de la siguiente manera: A1(consumo energético), A2 (protocolo de comunicación), A3 (peso), A4 (velocidad de procesamiento), A5 (almacenamiento).

Tabla 10. Matriz de atributos de la placa de control.

	A1	A2	A3	A4	A5	Valor	Peso
A1	0	1	0	0	0	1	0.1
A2	1	0	0	0	0	1	0.1
A3	0	1	0	1	1	3	0.3
A4	1	1	0	0	1	3	0.3
A5	1	1	0	0	0	2	0.2
	Total					10	1

Con la ponderación de los pesos, se desarrolló una tabla de comparación para cada una de las correspondientes características, para establecer una comparación entre las diferentes placas de control analizadas, mediante una correlación entre cada una y así obtener los parámetros para el desarrollo de la matriz de selección.

Finalmente teniendo en cuenta las ponderaciones de las Tabla 10 y el Anexo 1, se desarrolla la matriz solución ilustrada en la ecuación 2 donde se agrupan los pesos obtenidos en la matriz de atributos y las matrices de coeficientes de énfasis, asignando variables a cada placa de control

de la siguiente manera: M1- Arduino Uno, M2 - Raspberry Pi, M3 - ESP32, M4 - PIC16F877, M5 - TM4C1294.

$$\begin{bmatrix} M1 \\ M2 \\ M3 \\ M4 \\ M5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2222 & 0 & 0.2222 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4444 & 0.1111 & 0.4000 & 0.4000 \\ 0.1111 & 0.3333 & 0.2222 & 0.3000 & 0.3000 \\ 0.3333 & 0 & 0.4444 & 0.1000 & 0.2000 \\ 0.3333 & 0.2222 & 0 & 0.2000 & 0.1000 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.1 \\ 0.3 \\ 0.3 \\ 0.2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

La aplicación del método de decisión binaria da como resultado la ecuación 3 seleccionando la placa de desarrollo Raspberry Pi con una ponderación de 0.2778, siendo la de mayor ponderación según este método y ubicando como una alternativa a la placa ESP-32 con un puntaje de 0.2611.

$$\begin{bmatrix} M1 \\ M2 \\ M3 \\ M4 \\ M5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0889 \\ 0.2778 \\ 0.2611 \\ 0.2367 \\ 0.1356 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Resultando M2= 0.2778, siendo la placa Raspberry Pi 3B+ la que presenta mejores características respecto de las demás, debido a que esta presenta un mayor número de protocolos de comunicación indispensable para el sistema de medición, una mayor velocidad de procesamiento y almacenamiento respecto de las demás y dejando como segunda opción las placas basadas en ESP32.

#### 10.1.2.2.2. Sensor de material particulado

Para la selección del sensor de material particulado se consideraron cinco dispositivos disponibles en el mercado (Shinyei PPD42NS, Samyoung DSM 501A, Heck Smart HK-A5 Laser, HM3301, PMS5003), que fueron comparados aplicando el modelo de decisión y selección binaria, teniendo en cuenta para cada uno las características específicas detalladas en las hojas de datos. La Tabla 11 detalla las especificaciones técnicas relevantes y necesarias para la toma de decisión del sensor de material particulado que se implementó. Además, se descartaron parámetros como

el rango de medición que va de  $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y la precisión de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  debido a que estos eran los mismos para cada uno de los dispositivos analizados.

Tabla 11. Parámetros de análisis del sensor de material particulado.

Sensor	Consumo energético [mA]	Voltaje de operación [V]	Dimensiones [mm]	Peso [g]	Costo [\$]
Shinyei PPD42NS	90	5	59x45x22	24	11.5
Samyoung DSM 501A	90	5	59x45x20	24	5.2
Heck Smart HK-A5 Laser	120	5	46x35x20	40.8	69
HM3301	75	3.3 - 5	80x40x22	43	29.9
PMS5003	100	3.3 - 5	50x38x21	42.2	11.25

Con los parámetros establecidos, se desarrolló la matriz de pesos como se observa en la Tabla 12, para este caso se asignaron a cada una de las características su correspondiente variable desde la A1 hasta A5 de la siguiente manera: A1(consumo energético), A2 (dimensiones), A3 (peso), A4 (costo), A5 (voltaje de operación). Por medio de esta matriz se obtiene como resultado el valor y peso correspondiente.

Tabla 12. Matriz de atributos del sensor de material particulado.

	A1	A2	A3	A4	A5	Valor	Peso
A1	0	0	0	1	0	1	0.1
A2	1	0	1	1	1	4	0.4
A3	1	0	0	0	1	2	0.2
A4	0	0	1	0	1	2	0.2
A5	1	0	0	0	0	1	0.1
					Total	10	1

El Anexo 2 presenta las matrices de coeficientes de cada una de las variables seleccionadas. De tal modo que se permite establecer una comparación entre los diferentes sensores de material particulado, por medio de una correlación entre ellos y así obtener los valores según cada variable, además se determinó mediante la misma cuales especificaciones técnicas son las más adecuadas para el correcto funcionamiento del sistema de medición.

Considerando las ponderaciones de las Tabla 12 y el Anexo 2, se crea la ecuación 4, teniendo en cuenta las ponderaciones realizadas para sensor de material particulado y sus características; esta nueva matriz permite como resultado la selección del sensor, para esto es necesario que se le asigne variables a cada tipo de sensor de material particulado de la siguiente manera: M1 - Shinyei PPD42NS, M2 - Samyoung DSM 501A, M3 - Heck Smart HK, M5 - Laser, M4 - HM3301, M5 - PMS5003.

$$\begin{bmatrix} M1 \\ M2 \\ M3 \\ M4 \\ M5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2222 & 0.1000 & 0.3333 & 0.2000 & 0 \\ 0.2222 & 0.2000 & 0.3333 & 0.4000 & 0 \\ 0 & 0.3000 & 0.1111 & 0 & 0 \\ 0.4444 & 0 & 0.1111 & 0.1000 & 0.5000 \\ 0.1111 & 0.4000 & 0.1111 & 0.3000 & 0.5000 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.1000 \\ 0.4000 \\ 0.2000 \\ 0.2000 \\ 0.1000 \end{bmatrix} \quad (4)$$

La aplicación del método de decisión binaria da como resultado la ecuación 5 seleccionando el sensor de material particulado de referencia PMS5003 con una ponderación de 0.253.

$$\begin{bmatrix} M1 \\ M2 \\ M3 \\ M4 \\ M5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1690 \\ 0.2490 \\ 0.1420 \\ 0.0870 \\ 0.2530 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Resultado M5= 0.2530, siendo el sensor PMS5003 con características apropiadas para trabajar acorde a la placa de control, presentando características como un consumo de corriente intermedio de 100 mA, un rango de voltaje de operación de 3.3 v a 5 v y con dimensiones pequeñas respecto de los demás dispositivos, debido a que el peso de este dispositivo influye de manera directa en el peso general que puede soportar la aeronave.

#### 10.1.2.2.3. Sensor de humedad y temperatura

Para la selección de este sensor se continuó aplicando la metodología ya mencionada evaluando los sensores (DHT11, DHT22, SHT21, SHT11, AM2301), en donde la Tabla 13 relaciona las características técnicas para los sensores de humedad y temperatura disponibles que fueron comparados descartando sus características comunes entre sí.

Tabla 13. Parámetros de análisis del sensor de humedad y temperatura.

Sensor	Voltaje de operación [V]	Resolución [RH] y [°T (°C)]	Rango [RH] y [°T (°C)]	Precisión [RH] y [°T (°C)]	Costo [Pesos \$]
DHT11	3.3 a 5.5	1 % - 1	20-90% 0 a 50	±5 % - ±2	5900
DHT22	3.3 a 6	0.1 % - 0.1	0-100% -40 a 80	±2 % - ±0.5	16900
SHT21	3.3 a 6	0.7 % - 0.4	0-100% 40 a 125	±2 % - ±0.3	18500
SHT11	2.4 a 5.5	0.4 % - 0.04	0-100% 40 a 123.8	±3 % - ±0.4	37000
AM2301	3 a 5	0.1 % - 0.1	0-100% -40 a 80	±3 % - ±0.5	18000

Con los parámetros establecidos, se desarrolló la matriz de pesos como se observa en la Tabla 14, para este caso se asignaron a cada una de las características su correspondiente variable desde la A1 hasta A5 de la siguiente manera: A1(resolución), A2 (rango de medición), A3 (voltaje de operación), A4 (costo), A5 (precisión).

Tabla 14. Matriz de atributos del sensor de humedad y temperatura.

	A1	A2	A3	A4	A5	Valor	Peso
A1	0	1	1	1	1	4	0,4
A2	0	0	1	0	0	1	0,1
A3	0	0	0	0	1	1	0,1
A4	0	1	1	0	1	3	0,3
A5	0	1	0	0	0	1	0,1
					Total	10	1

Con la ponderación, se realizan el Anexo 3 estableciendo los pesos para cada uno de las características. Estas matrices permitieron establecer una comparación entre los diferentes sensores de humedad y temperatura, por medio de una correlación entre ellos y así obtener los valores según cada variable.

Considerando las ponderaciones de las Tabla 14 y el Anexo 3, se crea la matriz solución ecuación 6, teniendo en cuenta las ponderaciones realizadas para el sensor de humedad y temperatura y sus características; esta nueva matriz permite como resultado la selección del sensor, para esto es necesario que se le asigne variables a cada tipo de sensor de material

particulado de la siguiente manera: M1 - DHT11, M2 - DHT22, M3- SHT21, M4 - SHT2, M5- AM2301.

$$\begin{bmatrix} M1 \\ M2 \\ M3 \\ M4 \\ M5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.4000 & 0 \\ 0.2222 & 0.1429 & 0.4444 & 0.3000 & 0.1111 \\ 0.1111 & 0.1429 & 0.6000 & 0.1000 & 0.4444 \\ 0.3333 & 0.4286 & 0 & 0 & 0.2222 \\ 0.3333 & 0.2857 & 0 & 0.2000 & 0.2222 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.4000 \\ 0.1000 \\ 0.1000 \\ 0.3000 \\ 0.1000 \end{bmatrix} \quad (6)$$

La aplicación del método de decisión binaria da como resultado la ecuación 7 seleccionando el sensor de humedad y temperatura de referencia DHT22 con una ponderación de 0.2443.

$$\begin{bmatrix} M1 \\ M2 \\ M3 \\ M4 \\ M5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1200 \\ 0.2443 \\ 0.1932 \\ 0.1984 \\ 0.2440 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Resultado M2= 0.2443, siendo el Sensor DHT22 un dispositivo con una de las resoluciones optimas respecto de los demás, con un rango de medición más amplio y completo con valores de humedad y temperatura de 0 – 100% RH y –40 a 80 °C, así como también dispone de una de las mejores precisiones con valore de  $\pm 2\% RH - \pm 0.5\text{ }^{\circ}C$  proporcionando datos más certeros.

#### 10.1.2.2.4. Módulo de GPS

Para la selección de este dispositivo electrónico se generó la Tabla 15 relaciona las características técnicas de los módulos GPS (L26, NEO-6M, NEO-7M, MT3329 y BS357) que fueron comparados acorde a sus características en común. Además, se descartaron otras variables similares en estos módulos como: voltaje de operación de 3 v a 5 v, velocidad en baudios predeterminado de 9600 y rango de 4800 a 115200, taza de frecuencia en un rango de 5 a 10 Hz máximo, sensibilidad de adquisición de –148 dBm, rastreo de –161 dBm y la altitud del dispositivo en un rango de 18 a 50 km.

Tabla 15. Parámetros de análisis del GPS.

GPS	Consumo energético [mA]	Precisión [m/s] y [m]	Tiempo inicial de medida [S]	Peso [g]	Costo [\$]
I26	50	Velocidad 0.1	32	16	\$63.000
NEO-6M		Posición 1.8			
NEO-7M	67	Velocidad 0.1	26	15	\$34.000
		Posición 2.5			
	35	Velocidad 0.1	29	15	\$48.000
		Posición 2.5			
MT3329	48	Velocidad 0.1	35	9.45	\$87.000
		Posición 3m			
BS357	45	Velocidad 0.1	29	13.9	\$80.300
		Posición 2			

Con los parámetros establecidos, se desarrolló la matriz de pesos como se observa en la Tabla 16, para este caso se asignaron a cada una de las características su correspondiente variable desde la A1 hasta A5 de la siguiente manera: A1(consumo energético), A2 (tiempo inicial de medida), A3 (precisión), A4 (costo), A5 (peso). Por medio de esta matriz se obtiene como resultado el valor y peso correspondiente de cada aspecto, además establece la variable A2 como las más relevante.

Tabla 16. Matriz de atributos del GPS.

	A1	A2	A3	A4	A5	Valor	Peso
A1	0	1	0	1	0	2	0,2
A2	0	0	1	1	1	3	0,3
A3	1	0	0	1	0	2	0,2
A4	0	0	0	0	1	1	0,1
A5	1	0	1	0	0	2	0,2
					Total	10	1

Con la ponderación de los pesos, se realizan el Anexo 4 estableciendo pesos para cada uno de las características. Estas matrices permitieron establecer una comparación entre los diferentes módulos GPS, por medio de una correlación entre ellos y así obtener los valores según cada variable.

Considerando las ponderaciones de las Tabla 16 y el Anexo 4, se crea la ecuación 8, teniendo en cuenta las ponderaciones realizadas para el módulo GPS y sus características; esta nueva matriz permite como resultado la selección del dispositivo electrónico, para esto es necesario

que se le asigne variables a cada tipo de sensor de material particulado de la siguiente manera: M1 - L26, M2 - NEO6M, M3 - NEO7M, M4 - MT3329, M5 - BS357.

$$\begin{bmatrix} M1 \\ M2 \\ M3 \\ M4 \\ M5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0.1111 & 0.4444 & 0.3000 & 0 \\ 0.1000 & 0.4444 & 0.1111 & 0.4000 & 0.4000 \\ 0.4000 & 0.2222 & 0.1111 & 0.2000 & 0.2000 \\ 0.2000 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3000 & 0.2222 & 0.3333 & 0.1000 & 0.2000 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.2000 \\ 0.3000 \\ 0.3000 \\ 0.1000 \\ 0.2000 \end{bmatrix} \quad (8)$$

La aplicación del método de decisión binaria da como resultado la ecuación 9 seleccionando el módulo GPS de referencia NEO6M con una ponderación de 0.2940.

$$\begin{bmatrix} M1 \\ M2 \\ M3 \\ M4 \\ M5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1510 \\ 0.2940 \\ 0.2080 \\ 0.1000 \\ 0.2420 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Resultado  $M2 = 0.2940$ , siendo el GPS NEO-6M un dispositivo que presenta el menor tiempo para la lectura de coordenadas a los 26 segundos de inicializarse, con una precisión de lectura de datos intermedia de velocidad  $0.1 \text{ m/s}$ , posición  $2.5 \text{ m}$  suficiente para obtener la ubicación de las mediciones obtenidas de los sensores implementados.

### 10.1.3. Diseño del de sistema de mediciones

Para la construcción del sistema de mediciones se consideraron tres aspectos: modularidad, dimensiones, conectividad y peso de tal manera que el sistema pueda ser acoplado con facilidad a diferentes medios de transporte.

#### 10.1.3.1. Diseño Modular

La Figura 3 presenta el diagrama modular del sistema de mediciones haciendo hincapié en la facilidad del dispositivo para acondicionar nuevos componentes mediante Shields de expansión una sobre otra, además de establecer conexión a la red por vía inalámbrica, emplear diversos protocolos de comunicación y poder remplazar el instrumento virtual a otro tipo de aplicación móvil o industrial.

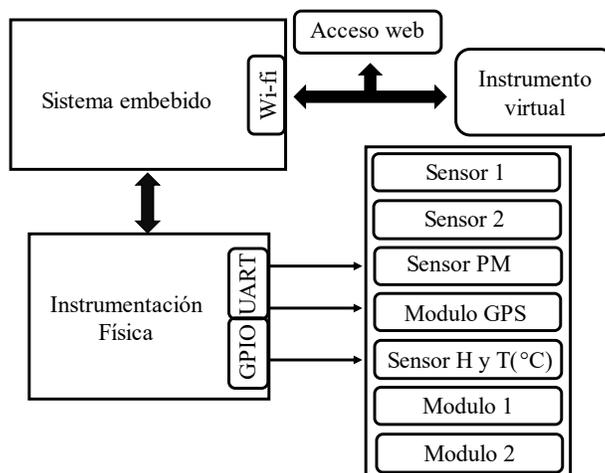


Figura 3. Diagrama modular.

Se diseña la lógica de conexión y funcionamiento estableciendo los módulos de instrumentación física, instrumento virtual, y de control incorporados en el sistema de tal forma que permite la escalabilidad del prototipo para adicionar variables de medición según las necesidades del proyecto. En el diseño esquemático y de Board se define un área máxima de diseño de 10 cm de ancho por 9 cm de largo, área en donde se fijan los puntos de interconexión de cada elemento; además de considerar características como su peso siendo este un factor importante como requerimiento para el desarrollo del mismo, debido a que la PCB debe contar con el menor peso y dimensiones posibles para ser acoplado posteriormente al fuselaje del UAV. La Figura 4 muestra el esquema de conexión de los componentes del sistema de mediciones y el tipo de comunicación empleado, considerando las dos principales placas obtenidas por la matriz de selección.

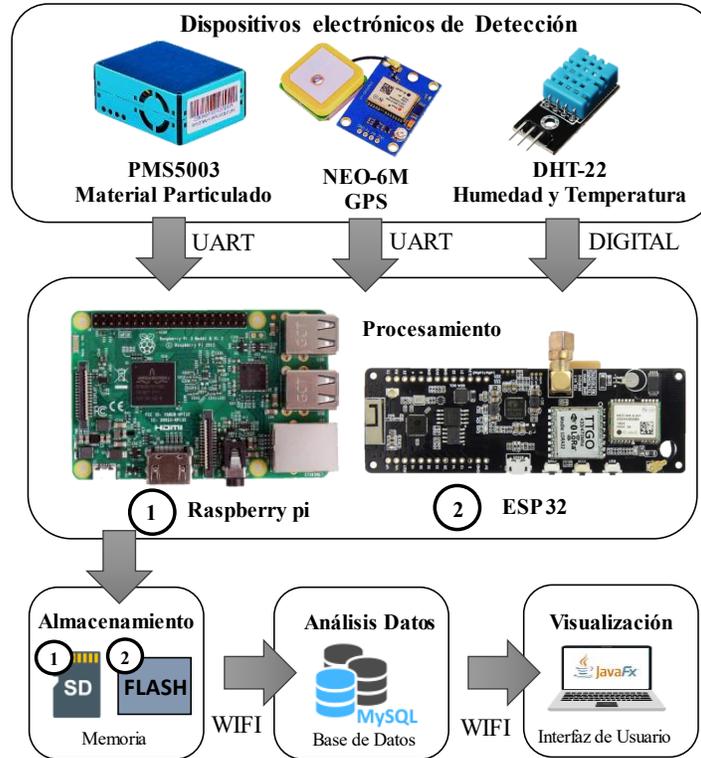


Figura 4. Esquema de conexión.

Se establece el esquema de conexión con las dos placas de mayor porcentaje a fin de poder determinar mediante pruebas de funcionamiento cuál de las dos se acopla de manera idónea a los requerimientos del proyecto donde 1- Raspberry Pi 3 B+ y 2- ESP32.

#### 10.1.3.2. Diseño preliminar

Con los protocolos de comunicación establecidos, se desarrolla el diseño preliminar del sistema de medición en 2D, estableciendo las dimensiones óptimas para que este sea acoplado al UAV, la Figura 5 establece la dimensiones y posiciones iniciales de los dispositivos en la PCB para cada una de las placas.

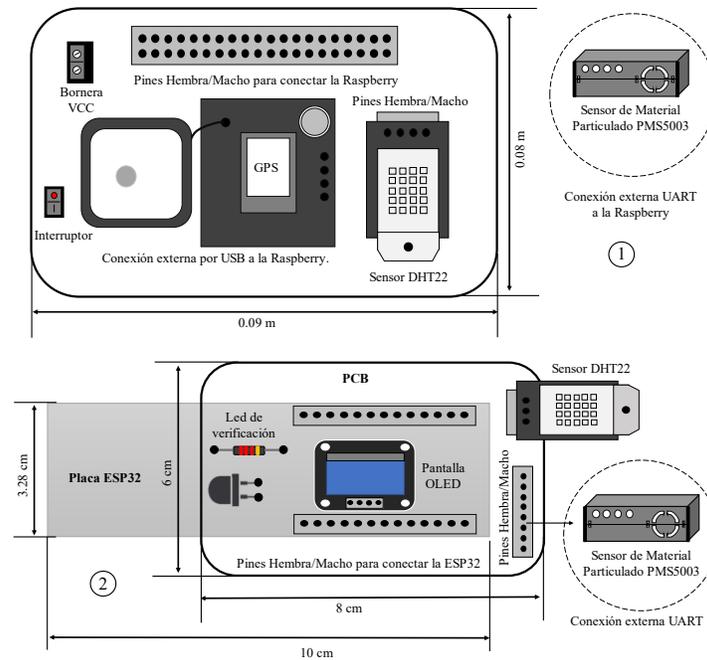


Figura 5. Diseños preliminares del sistema de mediciones.

#### 10.1.4. Pruebas de funcionamiento y desarrollo de la PCB

El sistema de medición se pone a prueba y en funcionamiento mediante toma de mediciones preliminares en posición estacionaria y otras mediante recorridos cortos donde el sistema se expone a perturbaciones del entorno como corrientes de viento, vibraciones y movimientos acelerados, obteniendo como resultado durante estos ensayos fallas en la comunicación, toma de mediciones y tiempo de sensado.

En este proceso se identificaron las limitaciones que presentaba cada una de las placas, inicialmente se evidencia que los puertos de conexiones UART de la placa Raspberry Pi condicionan la conexión del módulo de GPS únicamente al puerto USB, debido a que los pines de conexión serial se encuentran asignados a el sensor de material particulado teniendo en cuenta su respectiva configuración y funcionalidad.

Por tal razón las perturbaciones inmersas en el sistema de medición ocasionaban la desconexión del módulo USB que enlazaba el GPS, debido a que este se encontraba a un

costado de la placa y sobresalía de la misma. Al presentarse esta falla, el tiempo de enlace del GPS con el sistema demoraba alrededor de 4 minutos y en algunos casos el dispositivo no lograba establecer la conexión, ocasionando que el sistema en general no adquiriera las ubicaciones de las medidas obtenidas. Por consiguiente, este requería de una reconexión manual ajustando nuevamente este módulo al puerto USB de la placa y así iniciar nuevamente el proceso.

Estas fallas estaban generando pérdidas de información durante los ensayos de monitoreo, impidiendo el correcto funcionamiento del sistema. Que en comparación a la placa LILYGO TTGO T-Beam V1.1 ESP32 este problema no se observaba debido a que los puertos seriales eran suficientes para la conexión de ambos dispositivos, adicionalmente esta placa al contar con un GPS incorporado facilitó el funcionamiento del sistema de mediciones gracias a que se encontraba en la parte superior de la placa y no sobresalía de la misma y al ser sometido a perturbaciones este mantenía su conexión, dando fiabilidad al sistema debido a que mantenía un funcionamiento constante adquiriendo datos cada 1 s mejorado así los tiempos en comparación a la Raspberry donde su tiempo de sensado era superior a 1.5 s, además no fue necesario la implementación de un módulo USB para enlazar este dispositivo a la placa, eliminando peso en la misma.

Por estos motivos es seleccionada la placa TTGO T-Beam V1.1 ESP32 para el desarrollo del proyecto y diseño de la PCB.

#### ***10.1.4.1. Diseño y ensamble de la PCB***

El Anexo 5 detalla el diseño esquemático y de PCB desarrollado en el software con licencia estudiantil EAGLE 9.6.1 del prototipo de mediciones tipo Shield a fin de poder acoplar y desconectar el módulo a la unidad de procesamiento. Adicionalmente, por cuestiones de diseño y estética se establece que la posición de conexión de la placa de control será por la cara inferior de la PCB mientras que los demás componentes estarán acoplados en la cara superior de la misma.

Se graba el circuito diseñado en la baquela para dar resultado a la Figura 6 y finalmente ensamblar los componentes como un único dispositivo como se observa en la Figura 7 donde se presenta el sistema de mediciones completo e identificando cada uno de los dispositivos electrónicos acoplados a la PCB donde: 1- sensor de material particulado, 2- sensor de humedad y temperatura, 3- PCB en fibra de vidrio, 4- pantalla OLED 5- módulo de GPS, 6- batería de alimentación, y finalmente 7- Placa de control.

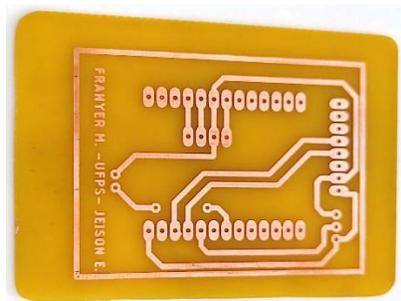


Figura 6. PCB del Sistema de mediciones.

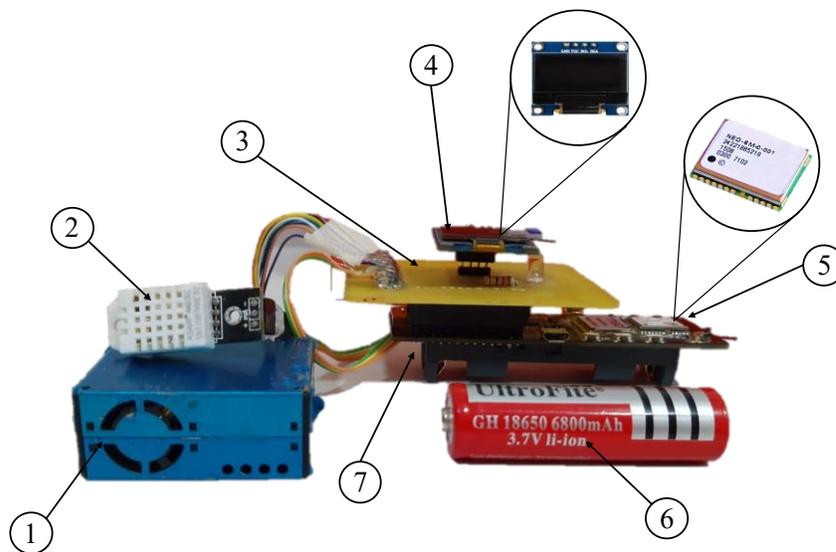


Figura 7. Prototipo del sistema de mediciones.

Finalmente se desarrolla la comprobación del prototipo mediante una prueba de funcionalidad en el software Arduino presentando la correcta lectura de las variables en el terminal serial del IDE de Arduino como se observa en la Figura 8.



Figura 8. Lectura de las variables en la terminal serial.

## **10.2. Instrumentación del UAV y Adaptación del sistema de mediciones**

En esta etapa se describen el diseño, construcción e instrumentación de la aeronave y finalmente la adaptación del sistema de mediciones al UAV para el desarrollo de pruebas de funcionamiento.

### **10.2.1. Construcción e instrumentación del UAV**

En este apartado se detallan cada uno de los procesos realizados para el desarrollo del UAV presentando la construcción, instrumentación, parámetros generales y finalmente pruebas de funcionamiento.

#### ***10.2.1.1. Construcción del UAV***

Para la construcción del UAV tipo ala Zagi en primer lugar se desarrolla un bosquejo preliminar en 2D de la aeronave estableciendo para cada uno de los componentes sus dimensiones, posteriormente se elaboran los diseños de los alerones, alas, perfil alar, encostillado, winglets, fuselaje, soporte de los motores y hélices. El Anexo 6 presenta el bosquejo general que ensambla todas las piezas que detallan la estructura base de la aeronave donde se establece las dimensiones generales del vehículo y especifica el nombre de las piezas y su ubicación.

##### ***10.2.1.1.1. Alerones***

Para la elaboración de los alerones se desarrolló el bosquejo de la pieza basado en diseños convencionales de este tipo de aeronave, sin embargo, se aplicaron modificaciones a consideración de los autores para proporcionar un mayor efecto aerodinámico y una mejor sustentación. Esta

pieza fue elaborada a base de madera balsa de espesor de 4 mm y su construcción se realizó aplicando la técnica de tallado de madera. La Figura 9 muestra el diseño del alerón y el resultado luego de su proceso de construcción.

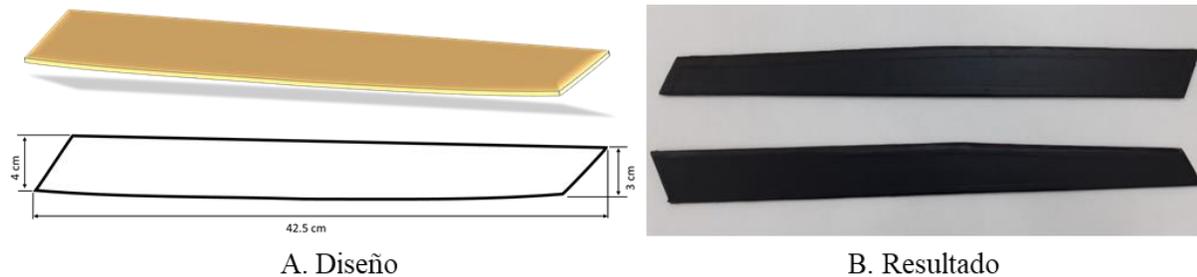


Figura 9. Alerones desarrollados.

#### 10.2.1.1.2. Alas y perfiles alares

La elaboración del diseño y construcción de las alas de UAV, inicialmente se desarrolló generando un esboce de un polígono convexo Figura 10, el cual se trazó en una lámina de poliestireno expandido 50 mm de espesor y posteriormente fue cortada.

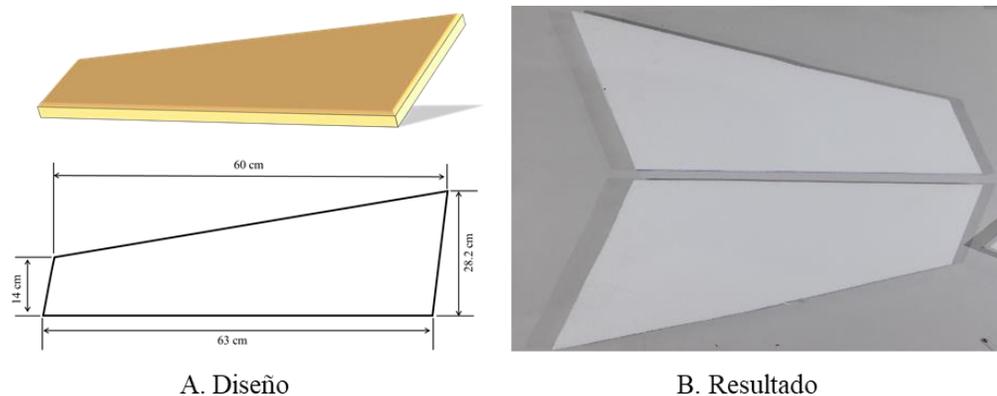


Figura 10. Alas las del UAV.

Para el diseño estructural de las alas se tienen en cuenta los perfiles alares “N.A.C.A 2412, 1933” y “Clark Y” [23], [24] estos tienen representado en su diseño, la forma geométrica que tomarán las alas y por consiguiente la forma del UAV tipo Zagi. La Figura 11 muestra el boceto de los perfiles alares utilizados y sus respectivas dimensiones en la línea de curvatura media y

el espesor máximo que presenta el vehículo. Esta pieza fue elaborada en material acrílico transparente de 5 *mm* de espesor.

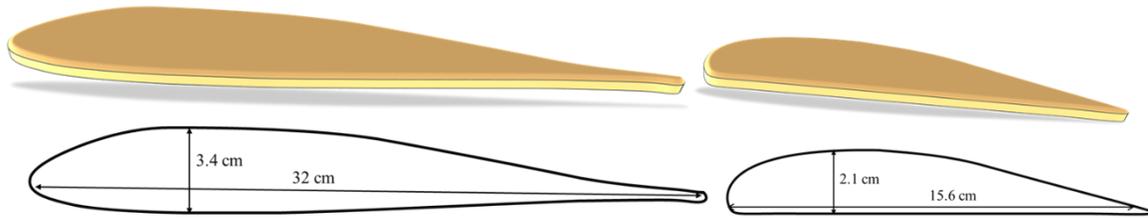


Figura 11. Perfiles alares.

Después de tener las dos piezas cortadas una para cada lado, se ensambla con pegamento a cada uno de los costados en la parte del espesor la pieza el perfil alar, el cual permite dar una forma curva y perfecta a las alas de la aeronave aplicando la técnica de corte mediante el uso de ferrocíquel sometido al calor mediante electricidad con una cortadora empírica desarrollada por los autores.

Teniendo en cuenta que una de las características del UAV es la versatilidad de planear, se procede a realizar el corte de las alas siguiendo el modelo de los perfiles alares para darle la curvatura suficiente para que la aeronave tenga el diseño aerodinámico acorde al modelo de ala Zagi. Posteriormente se procede a lijar toda la superficie de las mismas para quitar cualquier mínima imperfección que haya quedado de este procedimiento y finalmente se agrega a cada pieza una capa de cinta aislante para generar mayor resistencia a la estructura. La Figura 12 muestra el resultado final de este procedimiento. Las alas que en la parte más reducida cuentan con un espesor máximo de 21 *mm* y en la parte más amplia cuentan con 34 *mm*.

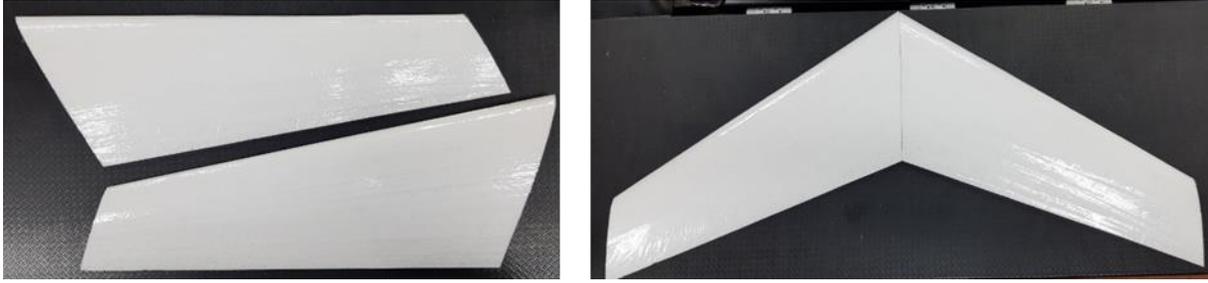


Figura 12. Alas del UAV

#### 10.2.1.1.3. Winglets

La construcción y diseño de los Winglets tipo Bunny Ears se realizó tomando como base los diseños de los autores [55], [56] dando la forma deseada de polígono convexo Figura 13 la cual representa el diseño de esta pieza. Además, esta pieza se posiciono dentro de la estructura en los extremos del ala con la finalidad de obtener mayor estabilidad, aumentar el alcance y aerodinámica. Además, esta pieza fue elaborada a base de madera balsa de espesor de 5 mm y tallada en sus esquinas para darle una forma curva a la estructura.

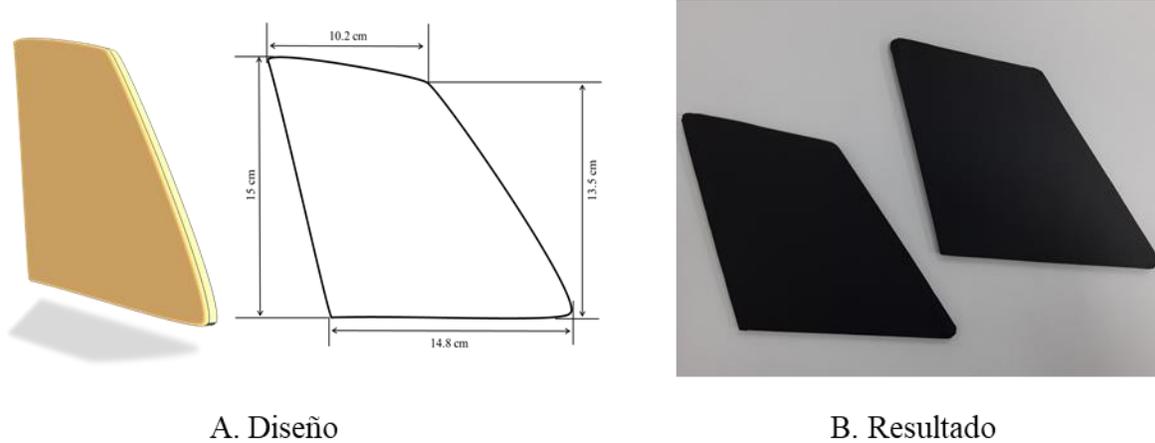
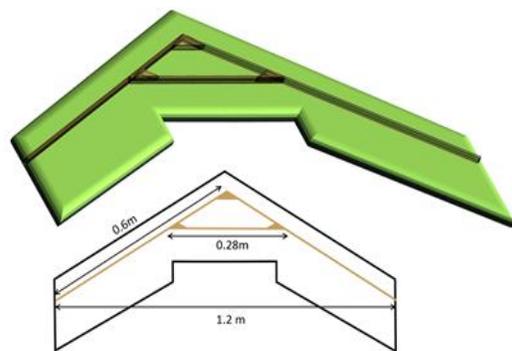


Figura 13. Winglets.

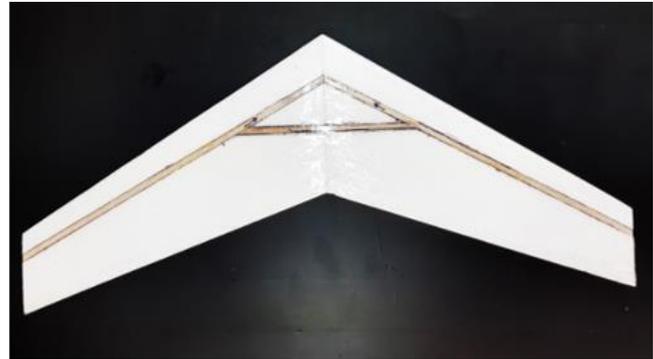
#### 10.2.1.1.4. Encostillado

Para el diseño y construcción de la estructura interna de soporte del UAV en forma de “A”, se realiza en primer lugar el bosquejo general como se observa en la Figura 14 en la que se

establece el diseño de esta pieza y la posición de ensamble, esta se ajusta en la cara inferior de la aeronave ya que se considera como la columna vertebral. Para la construcción de esta pieza, se realiza en primer lugar una abertura en las alas de con un espacio de un  $10\text{ mm}$ , el cual representa el mismo tamaño de las varillas de madera balsa que se ensamblaron en el espacio proporcionado acoplándolas con pegamento para el soporte y rigidez del UAV.



A. Diseño



B. Resultado

Figura 14. Encostillado.

#### 10.2.1.1.5. Fuselaje

Para el diseño del fuselaje, se toma como ejemplo la forma aerodinámica de los fuselajes clásicos de una aeronave convencional o avión comercial, debido a que esta pieza en su interior tendrá ensamblado el sistema de mediciones de material particulado que se desarrolló previamente. Además, su diseño tiene modificaciones en la parte superior y frontal debido a que se le realizaron unas ranuras por donde los sensores de material particulado y humedad/temperatura, estarán al aire libre para tomar de forma propicia y adecuada las mediciones, así como se observa en la Figura 15.

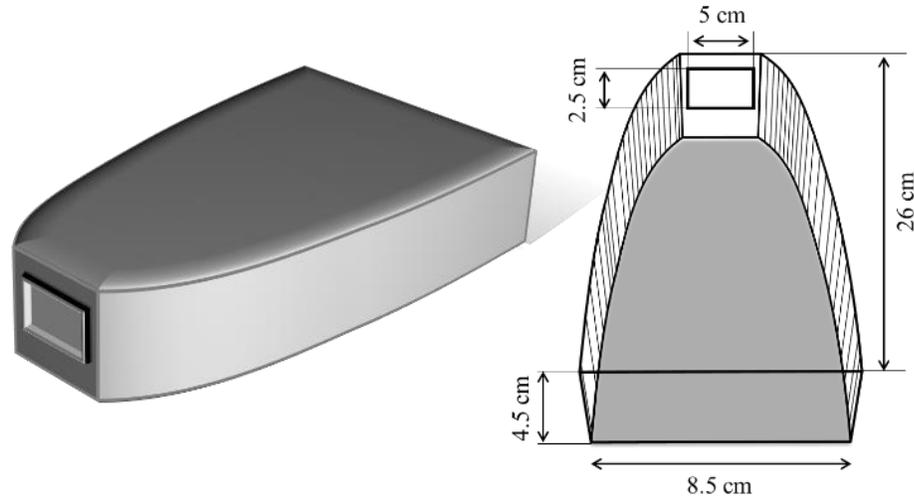
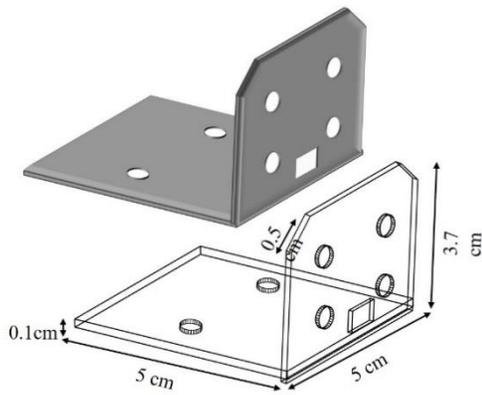


Figura 15. Fuselaje.

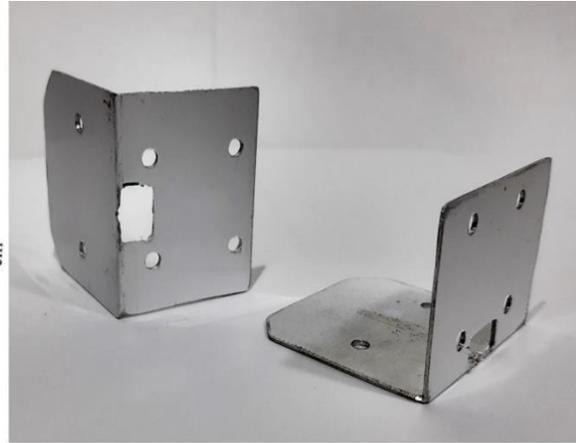
La construcción del fuselaje se hizo utilizando materiales como plástico para dar protección y aislante en el interior como el poliestireno expandido, proporcionando soporte a la placa circuital del sistema de medición.

#### *10.2.1.1.6. Soporte de motores*

El diseño se realizó creando una estructura en forma de “L” con la capacidad de soportar el ensamble de los motores, la Figura 16 muestra el diseño de esta pieza junto con la ubicación y orificios donde se ensambla el motor. posteriormente teniendo el diseño se crearon estas piezas en aluminio, debido a que es un material resistente/liviano y no generara tanto peso a la estructura. Además, los motores se incorporan a la estructura mediante tornillos y tuercas de seguridad para evitar daños, accidentes ocasionados por desprendimiento de los motores a la estructura en general durante los vuelos y reducir las vibraciones del motor que gira a miles de RPM.



A. Diseño



B. Resultado

Figura 16. Soporte de motores

### 10.2.1.2. Instrumentación del UAV

Para la instrumentación del UAV fue necesario utilizar diferentes componentes y dispositivos electrónicos los cuales se pueden observar en la Tabla 17 donde se especifica cantidad y nombre o referencia, además en la Figura 17 se detalla las conexiones internas que presenta el UAV especificando cada uno de sus componentes. No obstante, los motores brushless presentan un controlador de velocidad y alimentación independiente con la finalidad de suplir la cantidad de energía requerida para cada vuelo, el módulo receptor de radiofrecuencia recibe los datos del radio control y envía las acciones a cada dispositivo siendo suplido con una a alimentación de 5 v regulada por su batería independiente.

Tabla 17. Cantidad de dispositivos electrónicos implementados.

Dispositivos Electrónicos	Cantidad
Motor brushless	2
Controlador de velocidad	2
Hélice	2
Baterías de Lion Lipo	3
Controlador de carga	1
Modulo receptor	1
Servo motor	2

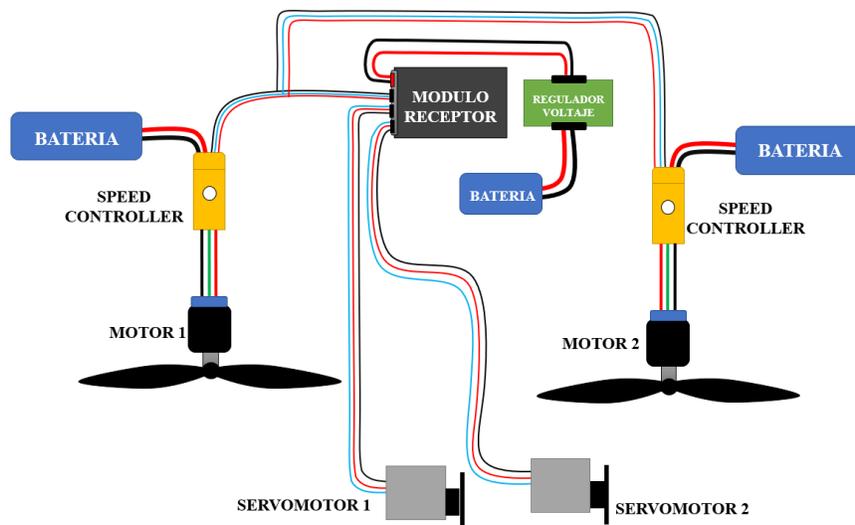


Figura 17. Esquema de conexión eléctrica del UAV.

#### 10.2.1.2.1. Motores y Hélices

Se seleccionan los motores Brushless de 2200 KV sin escobillas como se observa en la Figura 18, por sus dimensiones de 27.5 mm, peso de 47 g y corriente máxima 28 A, la Tabla 18 especifica las características eléctricas del motor para un mayor control y variabilidad de la velocidad. Por otro lado, el cumplimiento del soporte de la carga paga requiere pruebas para la caracterización del tipo de hélice que se acopla eficientemente para mayor propulsión.



Figura 18. Motor brushless.

Tabla 18. Especificaciones técnicas del motor brushless A2212/6T de 2200kv.

Parámetro	Valor	Unidad
RPM/V	2200	Kv
Peso	47	G
Dimensiones	27.5x30	Mm
Eje	3	Mm
Corriente Max	30	A
Resistencia Interna	45	MΩ
Eficiencia Max	80	%

Para la selección de las hélices adecuadas para el UAV se desarrolla una prueba de potencia a fin de identificar cual hélice permite un mayor empuje en donde se comparan la hélice de la Figura 19 y se identifican sus características en la Tabla 19.



Figura 19. Hélices de prueba.

Tabla 19. Hélices de prueba.

Hélice	Referencia	Diámetro	Peso
1	EP-6035	15x8.9 cm	3.2g
2	APC-07040-EI	18x10 cm	3.9g
3	GWS-EP-8060	20x15 cm	4.3g

Para el desarrollo de la prueba se diseñó una estructura (ver Figura 20) que permite caracterizar las hélices dicha estructura es de madera balsa, y cuenta con un soporte metálico que en un extremo ubicara el motor con la hélice y el otro una gramera digital. Donde mediante el radio control se le aplicaban pulsos PPM a los motores (ver Figura 21) dando los resultados de la Tabla 20 que describe la comparativa en relación de fuerza y las dimensiones de la hélice variando su porcentaje de aceleración. Tomando como mejor resultado la hélice EP-6035 e incorporándose al proyecto.

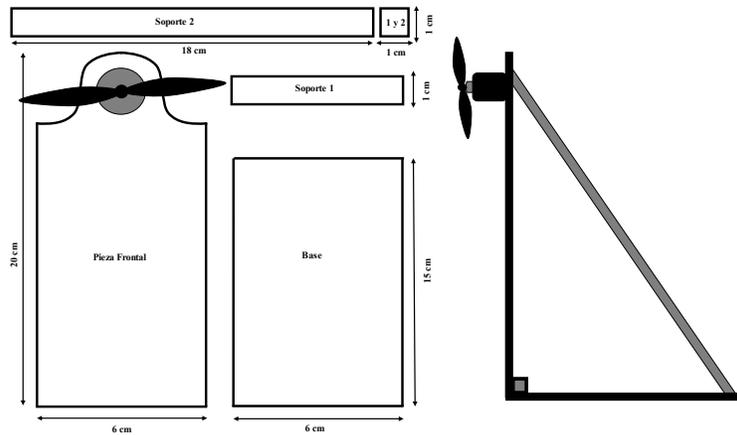


Figura 20. Diseño del sistema de caracterización de las hélices.

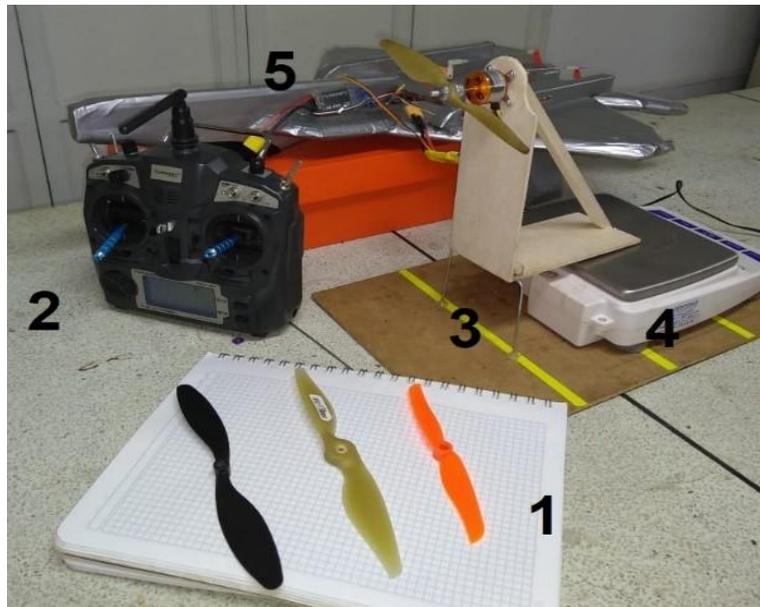


Figura 21. Herramienta de caracterización de hélices.

Donde: 1. Hélices, 2. Radio control, 3. Estructura en madera, 4. Balanza Digital, 5. Speed control.

Tabla 20. Validación de las hélices.

Dimensiones de la hélice (m)	Velocidad en PPM			
	25%	50%	80%	100%
EP-6035	0.1652 kg	0.02184 kg	0.2747 kg	0.2968 kg
APC-07040-EI	0.1614 kg	0.2308 kg	0.2454 kg	0.2767 kg
GWS-EP-8060	0.0785 kg	0.1347 kg	0.1424 kg	0.1609 kg

Para el control de dirección de los alerones se seleccionan los servomotores Corona DS939HV de engranaje metálico; con la finalidad de poder soportar las corrientes de aire y dar dirección al UAV. En la Figura 22 se observa el servomotor y en la Tabla 21 se describen las especificaciones técnicas del dispositivo.



Figura 22. Servomotor Corona DS939HV.

Tabla 21. Especificaciones técnicas del servo motor DS939HV.

Parámetro	Valor	Unidad
Voltaje de operación	6 - 7.2	V
Corriente de operación	200 - 240	mA
Velocidad de funcionamiento	0.12 - 0.13 60°	Sec
Capacidad	2.6 - 2.8	Kg x cm
Dimensiones	22.5/11.5/24.6	mm
Peso	0.125	Kg
Temperatura de funcionamiento	-20 a 60	°C

#### 10.2.1.2.2. Controlador de velocidad

La Figura 23 presente el controlador de velocidad speed control Skywalker-50A-UBEC para el manejo de los motores; La Tabla 22 detalla sus apartados técnicos.



Figura 23. Controlador de velocidad.

Tabla 22. Especificaciones técnicas del speed control Skywalker-50A-UBEC.

Parámetro	Valor	Unidad
Peso	41	g
BEC	5	A
ESC	50	A
Tipo de motor	Brushless	
Batería	2-4	Celdas (Lipo)
Frecuencia de actualización	50 - 432	Hz

### 10.2.1.2.3. Baterías

Como fuentes de alimentación al motor se empleó 2 baterías marca Turnigy de referencia TURNIGY 2200 mA ilustrados en la Figura 24, y descritas en la Tabla 23, y una batería de para alimentación únicamente del controlador de carga y de la placa de control.



Figura 24. Baterías Turnigy 2200 mA.

Tabla 23. Especificaciones técnicas de las baterías referencia TURNIGY 2200 mA 3S 20C.

Parámetro	Valor	Unidad
Peso	198	g
Capacidad	2200	mAh
Descarga constante	60/120	C(Ráfaga)
Celdas	3	cell
Voltaje	11.1	V

### 10.2.1.2.4. Regulador de voltaje

La Elección del módulo regulador de tensión DC/DC de referencia UBEC-3A-6S como se observa en la Figura 25. Se implementa en el circuito de instrumentación del UAV como una protección de inversión de polaridad de las baterías y a su vez generar una interrupción rápida

de voltaje en la alimentación de motores, además de alimentar el módulo receptor. La Tabla 24 describe sus características eléctricas y electrónicas.



Figura 25. Regulador de voltaje.

Tabla 24. Especificaciones técnicas del regulador de tensión UBEC-3A-6S.

Parámetro	Valor	Unidad
Voltaje de operación	5.5 - 26	V
Corriente Máxima	3	A
Modo de interrupción para baterías	2 - 6	Celdas
Corriente Instantánea	4	A
Peso	11	g

#### 10.2.1.2.5. Modulo receptor

La Figura 26 presenta el módulo receptor empleado y la Tabla 25 las especificaciones técnicas del módulo de referencia Turnigy 9X8C-V2, de uso exclusivo para modelos de aeronaves como helicópteros, ala fija y planeadores. Este modelo permite la comunicación entre UAV y el mando de control.



Figura 26. Modulo receptor Turnigy 9X8c-V2.

Tabla 25. Especificaciones técnicas del módulo receptor Turnigy 9X8C-V2.

Parámetro	Valor	Unidad
Numero de canales	8ch	Ppm
Numero de canales	9ch	Pcm
Rango de frecuencia	2.408 - 2.475	GHz
Ancho de banda	500	KHz
Numero de bandas	135	-
Voltaje de operación	4.5 - 6.5	V(DC)
Longitud de antena	26	mm
Peso	18	g
Tipo de modulación	GFSK	-

#### 10.2.1.2.6. Radio Control

Se emplea un radio control de referencia TURNIGY-ER-9X como se observa en la Figura 27 siendo este el encargado de enviar la señal de mando a los actuadores del UAV, estas son recibidas en la instrumentación de la aeronave por medio del módulo receptor mediante radiofrecuencia, permitiendo el desarrollo de los vuelos, la movilidad de los alerones y el empuje de los motores. Además, la Tabla 26 describe las características eléctricas y electrónicas de este dispositivo electrónico.



Figura 27. Radio control Turnigy 9X9CH

Tabla 26. Especificaciones técnicas del radio control Turnigy 9X9CH

Parámetro	Valor	Unidad
Numero de canales PPM	8	ch
Numero de canales PCM	9	ch
Rango de frecuencia	2.408 - 2.475	Ghz
Potencia de transmisión	20	dBm
Ancho de banda	500	Khz
Resolución de Canal	4096	-
Numero de bandas	135	-
Voltaje de operación	12	V(DC)
Longitud de antena	26	mm
Peso	600	g
Tipo de modulación	GFSK	-
Pantalla	128X64	mm

Finalmente, la Figura 28 muestra el resultado final del UAV en donde incorpora la instrumentación, y su estructura completa para adaptar el sistema de mediciones. Así como también cada una de sus piezas ensambladas que permitieron la construcción de este vehículo tomando como base el diseño general preliminar del Anexo 6.



Figura 28. UAV instrumentado.

### ***10.2.1.3. Pruebas de funcionamiento del UAV***

Una vez ensamblado el vehículo se calcula en centro de gravedad mediante las ecuaciones 10, 11, 12, 13, proceso que se realiza antes de iniciar los vuelos; a fin de calibrar el vehículo teniendo en cuenta el sistema de medición ensamblando en el fuselaje y peso general del UAV; Este análisis se realiza teniendo como fundamento las características físicas inmersas en aeronaves tipo ala ZAGI como se observa en la Figura 29, además de los parámetros establecidos en la Tabla 27.

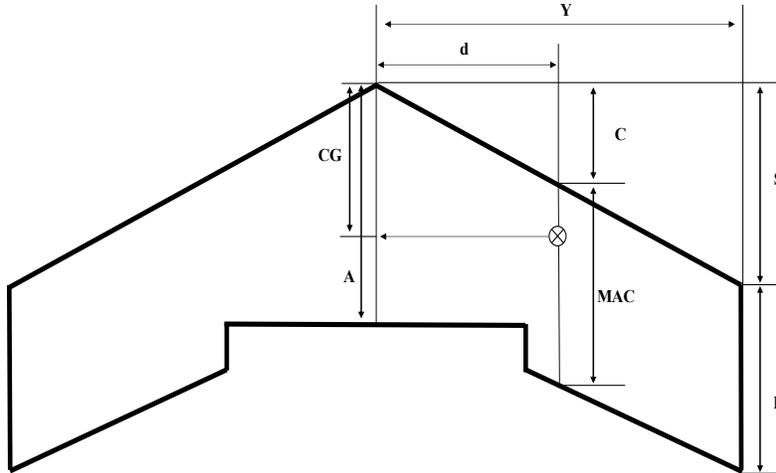


Figura 29. Esquema para el cálculo del centro de gravedad.

Tabla 27. Valores obtenidos para el cálculo del centro de gravedad.

Variable	Valor
Acorde Fundamental (A)	29 cm
Acorde de Punta (B)	14.5 cm
Distancia de Barrido (S)	29cm
Half Spam (Y)	63cm
Porcentaje de Punto de equilibrio MAC	15 %
Distancia de Barrido (C)	12.89 cm
Acorde aerodinámico medio (MAC)	22.56cm
Distancia MAC desde la raíz (d)	28 cm
Centro de gravedad (CG)	16.27 cm

$$C = \frac{(S(A + 2B))}{3(A + B)} \quad (10)$$

$$MAC = \frac{A - (2(A - B)(0.5A + B))}{3(A + B)} = 12.82 \quad (11)$$

$$d = \left( \frac{2Y(0.5A + B)}{3(A + B)} \right) \quad (12)$$

$$\text{Centro de gravedad } CG = \%MAC \text{ B.P.} * (MAC) + C \quad (13)$$

Se obtuvo como resultado que el centro de gravedad este situado a 16.3 cm de la punta de la aeronave, posición que permite identificar el equilibrio del vehículo y así determinar acorde a su peso los ajustes necesarios para evitar que la aeronave presente alguna inclinación hacia

sus costados, al realizar la prueba se identificó la necesidad de adicionar 120 g de plomo en la punta de la aeronave para compensar su peso.

Se desarrollaron las pruebas de vuelo del UAV en el establecimiento comercial Lago Park en ubicado en el Kilómetro 15 los vados, Cúcuta-Chinácota donde se detallaron algunos aspectos a mejorar con respecto al área de los motores involucrados, más específicamente los controladores de velocidad y los soportes. Inicialmente fue necesario sustituir el soporte de los motores a unos de mayor espesor generando una mayor resistencia debido a que las piezas iniciales se doblaban a causa de la fuerza ejercida por los motores.

Los controles del UAV fueron asignados como se presenta en la Figura 30 donde inicialmente se establece el mando para aeroplanos en el modo *glid* estableciendo una frecuencia de transmisión en el rango de 2,4 GHz, posteriormente se definen los canales 1 y 2 del radio control predefiniéndolos para los alerones, los cuales son controlados por los servomotores y están en una configuración del 90 % y el 100 % de su movilidad permitiendo dar dirección y sentido al vehículo mediante la acción de alabeo y cabeceo generado desde el mando de control de la aeronave; además, los canales 3 y 4 son asignados a los motores brushless para dar control de velocidad y aceleración, limitando los mismos a un 80 % de su potencia máxima a fin de prevenir sobrecalentamiento de los controladores de velocidad, estas configuraciones establecen las diferentes características de movimiento de la aeronave facilitando su aeronavegabilidad.

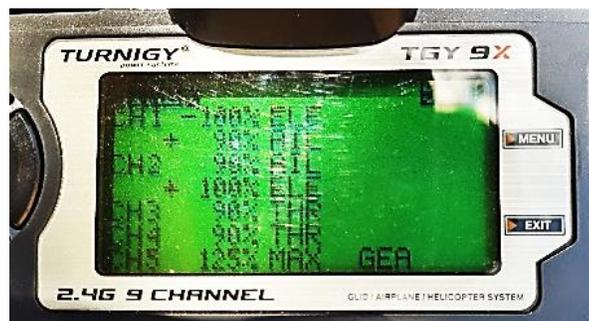


Figura 30. Parámetros del radio control.

### 10.2.2. Ensamble del sistema de mediciones al UAV

En base al diseño plateado en la Figura 16 se desarrolla el fuselaje presente en la Figura 31A elaborado con poliestireno expandido, en la Figura 31B se observa el fuselaje con el sistema de mediciones ensamblado y el módulo de recepción de radiofrecuencia, de la misma forma la Figura 31C detalla resultado del fuselaje acoplado con la capa de protección de plástico a fin de proteger el sistema de mediciones de la intemperie generando un peso total de 166 g siendo esta la carga paga; una vez desarrollado se acopla en la parte superior del UAV.



Figura 31. Fuselaje de la aeronave.

### 10.2.3. Pruebas del sistema de mediciones con estaciones físicas

Se desarrollaron comparaciones la estación fija de Corponor ubicada en el Hotel Cinera, barrio el centro; el proceso de validación del sistema se llevó a cabo durante dos días a la semana debido a que la entidad presentaba únicamente informes los días martes y jueves; los datos se obtuvieron mediante la toma de medidas en la jornada de la mañana, medio día y tarde para dar un aproximado al valor neto del día de mediciones para la variable de PM<sub>10.0</sub>. Además, no fue posible tener acceso directo a las estaciones debido a que se encuentran en lugares privados o de limitado acceso, por consiguiente, fue necesario rodear el área cercana adquiriendo las medidas en un radio aproximado de 200 metros a la redonda del lugar donde se sitúan las

estaciones fijas. La Tabla 28 presenta los valores de las mediciones realizadas para la estación, así como también los valores generados por Corponor de material particulado y el cálculo de los errores durante este proceso [41].

Tabla 28. Comparativa de mediciones.

Día	Hotel Cinera	
	1	2
Mediado día Corponor PM10.0 ( $\frac{\mu g}{m^3}$ )	30.84	26.67
Medida día prototipo PM10.0 ( $\frac{\mu g}{m^3}$ )	31.95	27.36
Cantidad de Muestras	4116	3301
Error relativo ( $\frac{\mu g}{m^3}$ )	1.118233	0.697246
Error normalizado	0.036259	0.026143
Error porcentual (%)	3.625919	2.614344

Considerando lo anterior, los resultados obtenidos mediante el cálculo de los errores son de 2.6 % al 3.6 % de error porcentual para la variable PM10.0 con una diferencia de aproximadamente de  $1 \mu g/m^3$  permitiendo comprobar que el funcionamiento general del prototipo y específicamente del sensor de material particulado PSM50003 son óptimos y acordes para el desarrollo de los procesos de verificación de la calidad del aire.

#### 10.2.4. Parámetros Generales del UAV

La Tabla 29 detalla las dimensiones del UAV, la capacidad de carga paga, peso específico y autonomía. El prototipo está constituido principalmente de poliestireno, madera balsa y aluminio, cubierto por dos capas una de cinta y otra en papel vinilo a fin de protegerlo contra la humedad. Así mismo, los motores se posicionan en la parte trasera de manera central al igual que los demás dispositivos electrónicos.

Tabla 29. Características físicas y eléctricas del UAV.

Características	Especificaciones
Tipo de UAV	Ala Zagi
Envergadura	1.2 m
Materiales	Poliestireno, Balso, Aluminio, Papel vinilo
Peso del UAV	1.41 Kg
Peso carga paga	166 g
Peso total UAV-Carga Paga	1.58 Kg
Motores	Brushless Turnigy 2200KV
Speed Control	50 A
Autonomía	16 ±2 minutos

La Figura 32 presenta el resultado final del UAV en donde se ve incorporado la electrónica y carga paga para el posterior desarrollo de la caracterización de la calidad del aire.

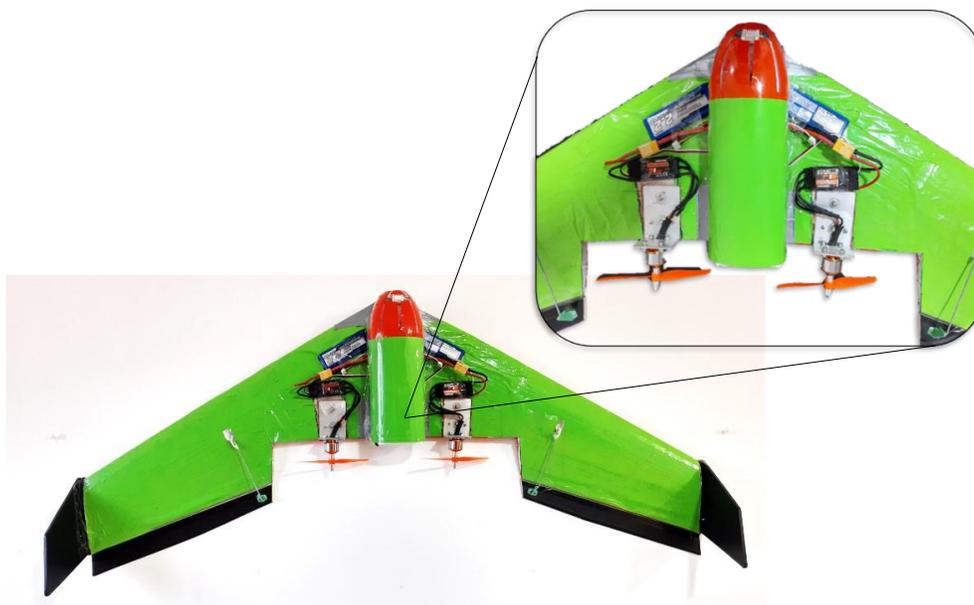


Figura 32.UAV y sistema de mediciones.

### 10.3. Mediciones de la calidad del aire por material particulado

Para la adquisición de los datos inicialmente se elaboró cada uno de los algoritmos de control del sistema de mediciones, además se llevó acabo los vuelos haciendo uso de la aeronave con el sistema adaptado en el centro de la parte superior obteniendo las medidas de contaminación por material particulado y a su vez generando una base datos con la información recolectada de las zonas o áreas analizadas.

### **10.3.1. Codificación del sistema de mediciones**

Para el desarrollo de los diferentes algoritmos lógicos para cada uno de los dispositivos electrónicos implementados, se realizó el correspondiente flujograma y pseudocódigo los cuales especifican el funcionamiento y demás características.

#### ***10.3.1.1. Sensor de humedad y temperatura***

El Anexo 7 presenta el algoritmo lógico y pseudocódigo que vincula el funcionamiento del sensor DHT22 asignado para la medición de humedad y temperatura. Inicialmente se definen las librerías necesarias para su funcionamiento, donde la librería “DHT” es la encargada de la adquisición de la medida mediante la lectura e interpretación del tramo de bits enviado por el sensor; además de implementar la función “delay ()” encargada de definir los parámetros de tiempo de espera entre cada lectura. Así mismo, se establecen cada una de las variables necesarias para el almacenamiento de las medidas; ejecutadas mediante un ciclo de repeticiones en donde se leen las medidas, se almacenan y se presentan las variables respectivas; una vez desarrollada dicha labor se realiza una espera de un segundo antes de volver a tomar la medida.

#### ***10.3.1.2. Sensor de material particulado***

El Anexo 8 detalla el algoritmo lógico y pseudocódigo que vincula el funcionamiento del sensor de material particulado definido para la medición de contaminación por material particulado en las medidas de 10.0  $\mu\text{m}$  y 2.5  $\mu\text{m}$ , partiendo de la librería “SoftwareSerial” que permite la manipulación de los pines de la tarjeta a puertos seriales; definiendo inicialmente los pines de uso y el baudiaje a emplear, donde de manera periódica realiza la lectura del puerto serial definido, y le da formato a la información para así generar las medidas de material particulado en sus dos dimensiones.

### ***10.3.1.3. Modulo GPS***

El Anexo 9 detalla el algoritmo lógico y pseudocódigo que vincula el funcionamiento del módulo GPS encargado de brindar la ubicación en latitud y longitud, este proceso está compuesto por dos librerías básicas la librería “TinyGPS” y “AXP20x” encargadas de la comunicación y toma de medidas del GPS, inicialmente se definen los parámetros base de manipulación del módulo GPS como el puerto asignado y los baudios de operación, luego se accede al bucle donde se realizara la lectura del puerto serial validando si hay información accesible y finalmente una vez validado se realiza la decodificación de la información y se almacena en las variables predefinidas para su posterior visualización.

### ***10.3.1.4. Sistema de medición***

Anexo 10 presenta el flujograma del sistema de mediciones unificando los diferentes procesos definidos anteriormente, incluyendo las librerías, estableciendo los protocolos de comunicación y las variables necesarias para su ejecución y el código de programación del mismo. Dando lugar a la ejecución con la definición de las librerías empleadas, seguidamente se realiza el proceso de declaración de parámetros para la conexión inalámbrica, de cada uno de los módulos; posteriormente se accesa al ciclo de validación donde se evalúan dos condiciones, la primera de conexión a internet y la segunda de un temporizador, una vez validada la acción se realiza el proceso de cargue de información a la base de datos en red partiendo de la lectura y comparación con cada una de las tablas con su contrapartida local y cargando los datos faltantes a cada una de ellas, finalmente una vez culminado el temporizado se reinicia; en caso de cumplirse la condición se realiza el proceso de lectura y almacenamiento de las mediciones validando que cada una de ellas esté disponible para luego almacenarlas en un archivo de texto para su posterior cargue a la base de datos.

### 10.3.2. Interfaz grafica

Para el desarrollo de la interfaz gráfica se ejecuta la metodología espiral basándose en cuatro etapas: planificación, análisis de riesgo, implementación y evaluación (ver figura 33).



Figura 33. Metodología de desarrollo.

#### 10.3.2.1. Planificación

Se definen los atributos principales que se consideran necesarios para la aplicación, definidos en la Tabla 30 especificando el número de ventanas, el lenguaje de programación, entre otros.

Tabla 30. Requerimientos.

Requerimientos	Valor
Lenguaje de Programación	Java, Java FX
Número de pestañas	4
Conexión con base de datos	Si
Presentación de estadística	Si
Versión de software soportada	Java 1.8
Visualización de mapas	Si

Para efectos visuales de la información se desarrolla una interfaz gráfica en el lenguaje JavaFX; el cual fue seleccionado gracias a la facilidad de desarrollo, curva de aprendizaje optima, lenguaje de código abierto y facilidad de desarrollo con modelos de programación visual y de código.

### ***10.3.2.2. Análisis de riesgo***

Se consideran aspectos como la validación de la conexión con la base de datos en tiempo real para lo cual se implementó un método de validación por acción al interactuar con un atributo en la interfaz, donde esta comprobaba la conexión y en caso de fallar la restablecerá; no obstante para aspectos de funcionalidad en el menú, se desarrolla de forma intuitiva para el usuario y de fácil acceso estableciendo dentro de su diseño botones específicos que permiten la navegabilidad entre pestañas mediante un menú principal que representa mediante ilustraciones una generalidad de la información suministrada en cada pestaña; adicional a esto, se elaboran los mapas que permite generar una ilustración más específica con intensidades de colores acorde a la normativa para mostrar las variables evaluadas que identifican la contaminación existente en el área, finalmente la interfaz se complementó con características para la ejecución de un análisis estadístico con los datos suministrados y la facilidad de descargar la información al ordenador mediante archivos CSV.

### ***10.3.2.3. Implementación***

Para el desarrollo y estructurado de la interfaz se dio solución a cada uno de los ítems propuestos implementando diferentes estructuras de bloques para gestionar la base de datos mediante la librería “*SQL*” de java teniendo en cuenta la conexión, validación y acceso; Por otro lado, para mejorar el estilo visual y crear un entorno agradable al usuario se empleó la librería “*Jfoenix*” para mejorar los texturizados de cada uno de los botones. Además, debido a la poca documentación para la implementación de mapas geográficos en este lenguaje se emplea un bloque de código en HTML para la visualización de los mapas desarrollados incorporando la librería de código abierto y paquetería de desarrollo de mapas de intensidad denominada “*Leaflet*” permitiendo incluir mapas satelitales, de relieve e incluso de flujo vehicular; también

se desarrolló el cálculo de parámetros estadísticos haciendo uso de la librería "*Commons.math3*" la cual permite dar un resumen estructurado de los datos ingresados obteniendo así las medidas de tendencia central y de dispersión.

Finalmente, para crear un diseño didáctico de la interfaz de escritorio se aplicó el complemento de edición visual "*SceneBuilder*" para editar apartados gráficos de manera intuitiva mediante el entorno de desarrollo con el objetivo de facilitar la navegación en cada una de las ventanas y la presentación de la información de forma ordenada mediante acabados profesionales por medio de bloques estructurados que orientan la navegación y funcionalidad de la misma.

#### ***10.3.2.4. Evaluación***

En este apartado se corrobora el funcionamiento de cada uno de los elementos que involucraban la interfaz, realizando varias pruebas de funcionalidad durante 6 horas donde se puso a prueba y fue verificada por los desarrolladores permitiendo validar aspectos como, la conexión, la funcionalidad de cada uno de los accesos, botones, gráficos y generación de archivos a fin de detectar fallos.

En este proceso se observó que los botones implementados inicialmente no se ajustaban al diseño de la interfaz, por lo cual fueron modificados por otro diseño al cual se le agregó un logotipo alusivo a la acción o información suministrada en esa pestaña. Además, se observó la necesidad de adicionar un botón para definir un rango de fechas a fin de mostrar no solo una muestra sino el análisis de datos en varias fechas.

Finalmente se acondiciono una venta a un costado de la pestaña de los mapas de intensidad estableciendo la escala de colores pertinentes a cada contaminante acorde a las variables atmosféricas establecidas en la normativa Colombiana [4], con la finalidad de presentar al usuario información más detallada y precisa que les permita identificar fácilmente en que escala o rango

de acción se encuentran las medidas suministradas, teniendo en cuenta el estado de la calidad del aire en donde se desarrollaron monitoreos mediante el sistema de medición.

### 10.3.2.5. Mapa de navegación

El Anexo 11 presenta el mapa de navegación de la interfaz gráfica, la cual está compuesta por un menú principal con cuatro opciones de selección: inicio, medidas, estándares y ayuda; además un escenario en donde presentan cada uno de los apartados, así como también las diferentes subventanas y funcionalidades que esta presenta para el usuario.

#### 10.3.2.5.1. Ventana de inicio

La Figura 34 presenta la ventana inicial al ejecutarse la aplicación, esta detalla información específica referente al sistema de mediciones y al UAV haciendo énfasis en sus especificaciones técnicas, eléctricas y electrónicas. Además, de mostrar una galería de imágenes de los dispositivos electrónicos, diseños y modelos terminados dándole una generalidad al usuario de cómo está constituido este prototipo.



Figura 34. Ventana de inicio.

### 10.3.2.5.2. Ventana de medidas

La Figura 35 detalla la ventana de medidas que presenta el contenido relacionado con las mediciones realizadas hasta la fecha, esta pestaña inicialmente presenta un mapa para la visualización de la contaminación en el área monitoreada estableciendo en cada una de las zonas intensidades de color según la clasificación establecida por los entes reguladores de la calidad del aire, referente al material particulado en Colombia. Además, tiene la funcionalidad de seleccionar la fecha y el tipo de variable a visualizar, así como también un submenú que permite acceder a 3 opciones: estadística, histórico y descarga.



Figura 35. Ventana de medidas.

En la Figura 36 se observa la primera subventana de análisis estadístico donde el usuario puede visualizar las medidas de dispersión y desviación central de las mediciones realizadas por rango de fecha y variable.

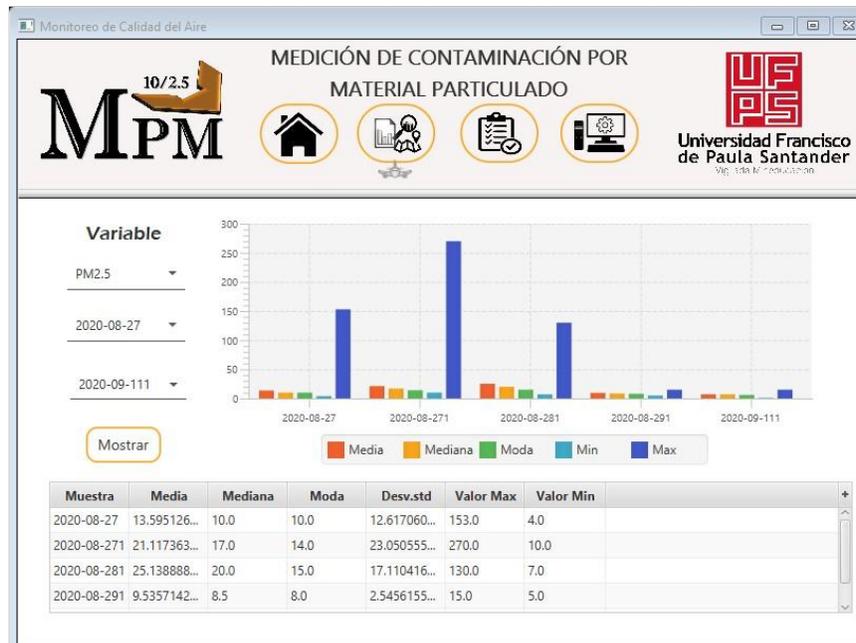


Figura 36. Subventana estadística.

La Figura 37 presenta la segunda subventana que permite al usuario seleccionar el tipo de variable y el rango de fechas de interés que requiera, para posteriormente visualizar mediante un diagrama de tiempos los valores de contaminación por material particulado en aire.

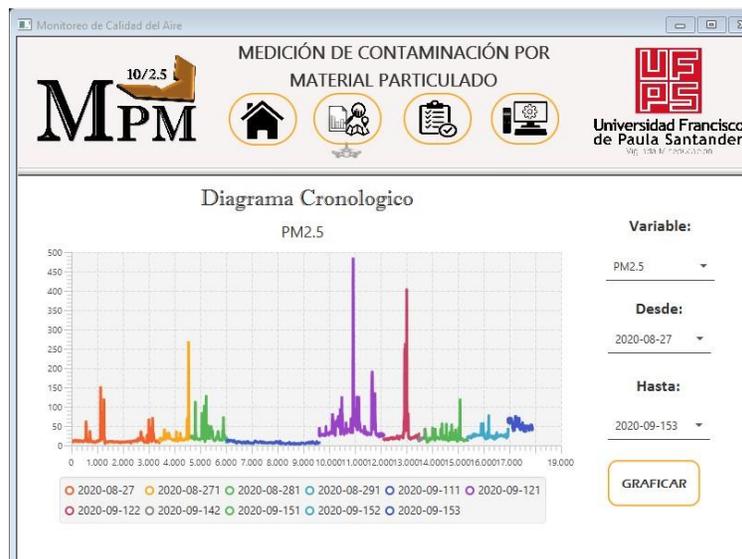


Figura 37. Subventana histórico.

La Figura 38 presenta la tercera subventana permite descargar la documentación de los datos recolectados con el objetivo que el interesado pueda obtener información relevante de las mediciones recolectadas en este proyecto para futuras investigaciones o análisis.



Figura 38. Subventana descargas.

#### 10.3.2.5.3. Ventana de estándares

La Figura 39 detalla la ventana de estándares donde el usuario puede visualizar los reglamentos básicos relacionados con los niveles de contaminación tiempo de exposición al material particulado basado en la resolución 2254 de noviembre del 2017. Así como también en esta misma ventana se presenta una breve descripción de cada una de las variables analizadas en el proyecto y su influencia a la contaminación ambiental.

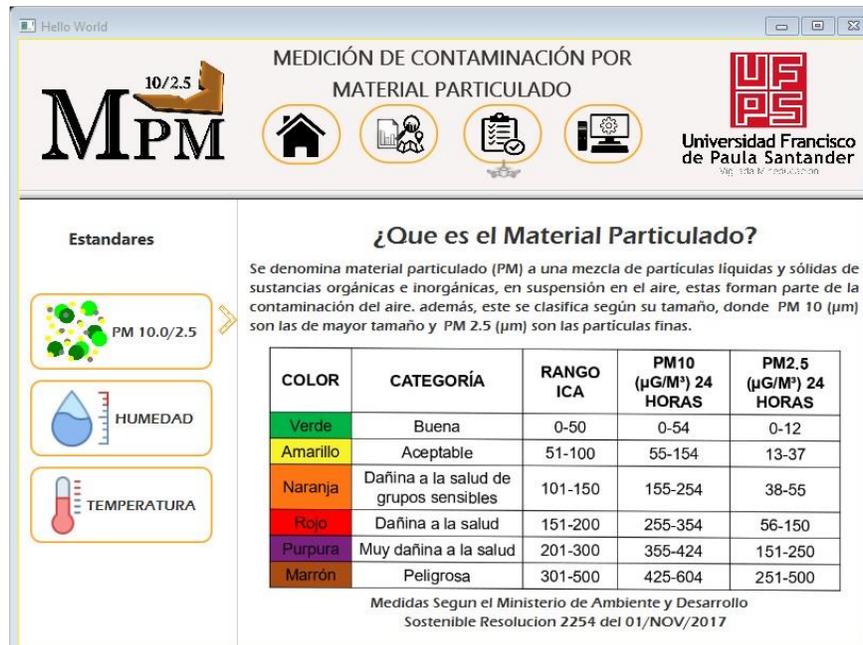


Figura 39. Ventana estándares.

#### 10.3.2.5.4. Ventana de ayuda

La Figura 40 detalla la pestaña Ayuda, la cual contiene información general de la interfaz gráfica, datos de contacto, versión de la aplicación, año de desarrollo e información de los desarrolladores.



Figura 40. Ventana ayuda.

### 10.3.3. Sensado de material particulado mediante un UAV

Para el desarrollo de la caracterización de la calidad del aire es relevante aclarar que debido a las medidas restrictivas tomadas por el gobierno nacional y regional a causa del COVID-19, no fue posible llevar a cabo las mediciones mediante vuelos dentro del campus universitario como se había establecido en el objetivo general, por consiguiente, este proceso se llevó a cabo en el establecimiento comercial Lago Park ubicado en el Kilómetro 15, los Vados, Patios, Norte de Santander con coordenadas (7.772486, -72.520754).

Para el desarrollo del sensado, inicialmente se activa el sistema de mediciones vinculándose el GPS mediante la triangulación con los satélites a fin de poder tomar valores con su respectiva ubicación geográficas, la Figura 41 presenta la visualización de datos mediante una pantalla OLED modular presente en el sistema, la cual es incorporada como un módulo retirable al momento de realizar los vuelos, una vez enlazado se procede a despegar el UAV para la recolección de medidas realizando los recorridos acorde a la autonomía de vuelo durante dos momentos del día, uno en la mañana y otro en la tarde obtenido como resultado cuatro días de sensado (sábados y domingos).



Figura 41. Pantalla de visualización de datos

Al finalizar los vuelos el sistema de mediciones es enlazado mediante una red WIFI para el cargue masivo de la información a la base de datos donde el prototipo en primer lugar valida los datos obtenidos del sensado contrastándolos con las medidas almacenadas previamente en la placa

de control a fin de identificar los nuevos valores y subir la información a la nube a una velocidad de tres mediciones por segundo.

La Tabla 31 presenta la cantidad de mediciones obtenidas de las variables PM10.0, PM2.5, Humedad y Temperatura por cada recorrido; datos que fueron recolectados según los vuelos realizados, facilitando el proceso con una duración aproximada de 10 a 15 minutos por cada recorrido proporcionando así la información suficiente para dar creación a la base de datos de calidad del aire por material particulado.

Tabla 31. Cantidad de datos sensados.

Parámetro		2021-02-13	2021-02-14	2021-02-20	2021-02-21
Cantidad de datos	Mañana	915	871	840	745
	Tarde	712	905	728	854
Total, datos día		1627	1776	1568	1599

Los datos descritos en la Tabla 31 se encuentran almacenados en la base de datos en red y en el almacenamiento interno del prototipo estructurados como se aprecia en la Figura 42, detallando inicialmente el ID de medida, fecha y hora de sensado, además del porcentaje de humedad, la temperatura en grados centígrados, el valor en ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de material particulado de PM2.5, PM10.0 y finalmente las coordenadas en latitud y longitud de la medida.

```
mysql> select * from `dia13`
-> ;
```

id	fecha	hora	H	T	PM2.5	PM10.0	LAT	LONG
1	2021-02-13	10:23:04	54.5	32.8	39	44	7.77176	-72.5219
2	2021-02-13	10:23:05	54.5	32.8	40	45	7.77176	-72.5218
3	2021-02-13	10:23:06	54.5	32.8	40	45	7.77176	-72.5218
4	2021-02-13	10:23:07	54.8	32.9	40	45	7.77176	-72.5217
5	2021-02-13	10:23:08	54.8	32.9	39	42	7.77176	-72.5217
6	2021-02-13	10:23:08	54.8	32.9	39	42	7.77176	-72.5217
7	2021-02-13	10:23:09	54.8	32.9	39	42	7.77177	-72.5217
8	2021-02-13	10:23:10	54.8	32.9	40	42	7.77177	-72.5217
9	2021-02-13	10:23:12	54.7	32.8	40	42	7.77177	-72.5217
10	2021-02-13	10:23:13	54.7	32.8	39	41	7.77177	-72.5217
11	2021-02-13	10:23:14	54.7	32.8	39	41	7.77177	-72.5217
12	2021-02-13	10:23:15	54.9	32.9	39	41	7.77177	-72.5217
13	2021-02-13	10:23:15	54.9	32.9	36	38	7.77177	-72.5217
14	2021-02-13	10:23:16	54.9	32.9	36	38	7.77179	-72.5216
15	2021-02-13	10:23:17	54.7	32.9	36	38	7.77179	-72.5216
16	2021-02-13	10:23:18	54.7	32.9	38	38	7.7718	-72.5216

Figura 42. Visualización de datos organizados en MySQL.

### 10.3.4. Caracterización de la calidad del aire

La Tabla 32 presenta la información de los promedios de las variables meteorológicas como humedad, temperatura y ambientales como material particulado en sus concentraciones principales suministradas por la base de datos acorde a los tiempos definidos de sensado.

Tabla 32. Promedio de mediciones por día.

	H (% RH)	T (°C)	PM2 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM10.0 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Día 1	50.179	35.286	29.008	31.205
Día 2	65.224	30.355	29.457	33.805
Día 3	46.387	35.619	28.538	30.711
Día 4	68.355	29.943	31.649	35.612

A los datos se les aplico un análisis mediante medidas de tendencia central y de dispersión que permiten identificar el comportamiento de los datos. La Figura 43 detalla los valores para la variable PM2.5, PM10.0, humedad y temperatura, los cuales representa los resultados obtenidos mediante un diagrama de cajas que detalla por día analizado los valores máximos, mínimos, promedio, media, desviación estándar, los cuartiles Q2/Q3/Q4 y los valores atípicos.

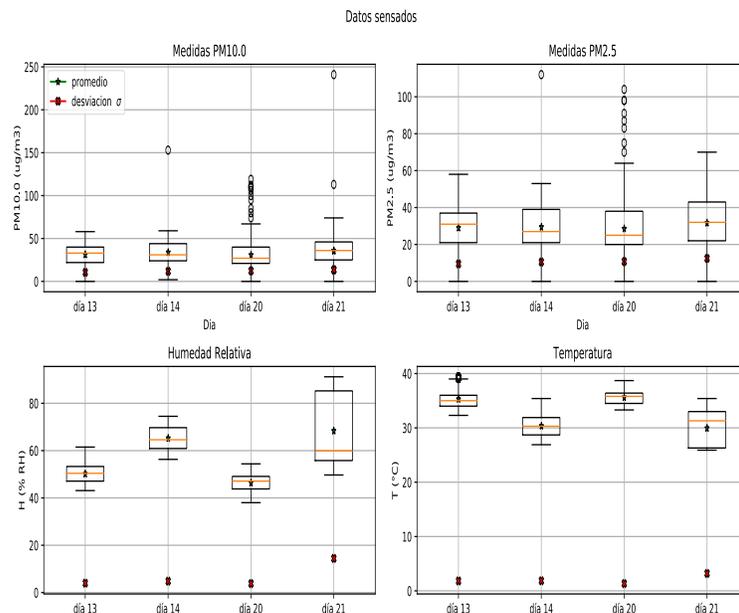


Figura 43. Diagrama de cajas para las mediciones realizadas.

Observándose que en el cuarto día se presenta el promedio más alto de contaminación por material particulado con un total de  $31.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2.5 y  $35.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10.0; además que las condiciones meteorológicas de ese día presentaron una humedad relativa superior en comparación a los demás días, no obstante, se registra que las medidas más altas de contaminación por PM2.5 se presentaron en el día dos y tres respectivamente obteniendo valores de hasta  $112 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $104 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y para PM10.0 los valores más altos registrados se presentaron en los días 2, 3 y 4 fueron de  $153 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $119 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $241 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente; a pesar de presentarse estos valores la media no superó en promedio los  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2.5 y  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10.0 permisibles en la normativa Colombiana. Adicionalmente, se encontró que para los días de sensado la dispersión de los datos no supero  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2.5,  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10,  $15 \%RH$  para la humedad y  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  para la temperatura, para el caso del material particulado se observa una variación leve de los datos respecto a la medida central influyendo en menor medida la dispersión de los mismos.

El proceso de caracterización se ejecutó mediante el software desarrollado, en el cual se presentan los mapas de intensidad que permiten detallar la contaminación obtenida por material particulado en sus dos medidas principales. Estos mapas representan los recorridos obtenidos y a su vez se visualizan mediante una gama de colores que identifica el rango y la categoría en donde se encuentran las mediciones obtenidas, sustentado en la normativa presente en la resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017 cómo se observa en la Tabla 33 la cual presenta los puntos de corte de los índices de calidad del aire para los contaminantes en cuestión.

Tabla 33. Índices de calidad del aire.

Categoría	Color	Rangos	
		PM10.0 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Buena	Verde	0 - 54	0 - 12
Aceptable	Amarillo	55 - 154	13-37
Dañina a la salud de grupos sensibles	Naranja	155 - 254	38 - 55
Dañina a la salud	Rojo	255 - 354	56 – 150
Muy dañina a la salud	Púrpura	355 - 424	151 - 250
Peligrosa	Marrón	425 - 604	251 - 500

La Figura 44 presenta los cuatro mapas de intensidad de los días de sensado para el contaminante PM2.5 donde se observa que en algunos puntos específicos de los vuelos realizados se evidencia contaminación clasificada en color amarillo, naranja y muy pocos puntos de color rojo obtenido como promedio de medida una clasificación Aceptable y cumple con el límite permisible de  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , contemplado en el artículo 2 de la Resolución 2254 de 2017 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.



Figura 44. Caracterización mediante mapas de intensidad del contaminante PM2.5.

La Figura 45 presenta los cuatro mapas de intensidad para el contaminante PM10.0 donde se observa contaminación clasificada en color verde y muy pocos puntos de color amarillo obtenido como promedio de medida una clasificación Buena y cumple con el límite permisible de  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , contemplado en la normativa vigente.



Figura 45. Caracterización mediante mapas de intensidad del contaminante PM10.0.

Considerando aspectos como el terreno franco arcilloso en el que se desarrolló las pruebas y los lugares aledaños, se observa que en las mediciones analizadas se presentan un mayor índice de contaminación respecto a las partículas finas ( $\leq 2.5\mu\text{m}$ ) producidas en este caso principalmente por la suspensión de polvo del suelo y las micromoléculas de agua que se encuentran en el aire, además de que son desplazada por las fuertes corrientes de viento (ver Figura 46). Por otro lado, las partículas gruesas ( $> 2.5 \mu\text{m} - 10.0\mu\text{m}$ ) se presentan en menor medida en esta área encontrando concentraciones reducidas provenientes principalmente por factores antropogénicos generados por fábricas, quema de hidrocarburos, y emisiones de

combustibles fósiles en los alrededores de la zona, no obstante estas características no presentan un efecto significativo debido a que la pluma de contaminación producida por las fábricas se desplaza hacia direcciones opuestas del establecimiento. Lo cual establece que los resultados obtenidos durante el proceso de sensado dan una calidad del aire aceptable para PM2.5 y buena para PM10.0 cumpliendo con los parámetros establecidos, sin embargo, estos niveles pueden generar posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles como lo expresa la norma [57].

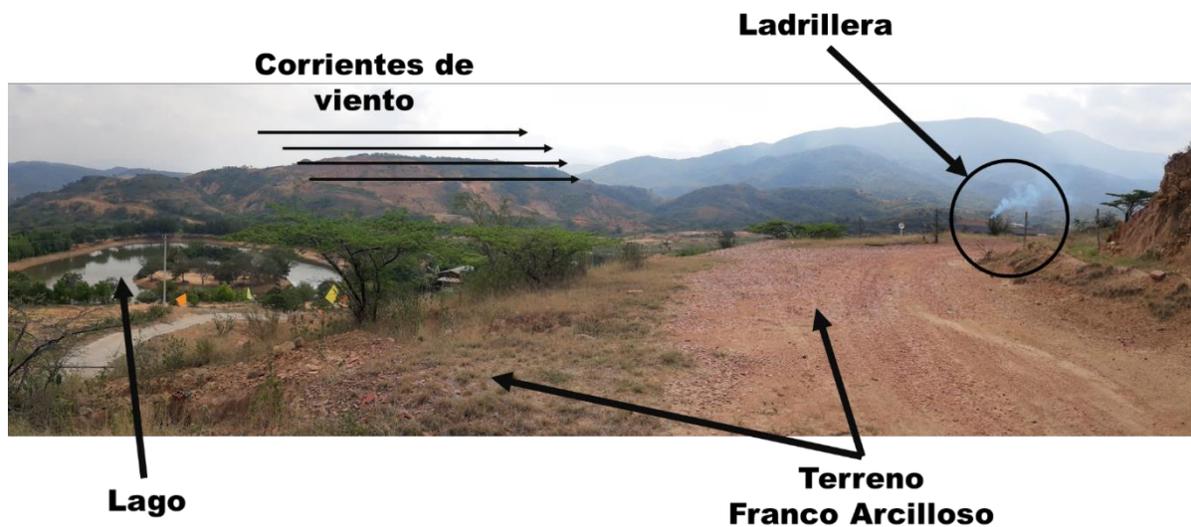


Figura 46. Características del terreno

#### **10.4.Divulgación de los resultados**

En este apartado se describen cada uno de los eventos realizados como divulgaciones, ponencias e informes desarrollados en el transcurso de proyecto investigativo a fin de dar a conocer los resultados más relevantes del trabajo.

##### **10.4.1. Informe general de la calidad del aire**

Se redacta un informe presente en el Anexo 12 detallando de manera sintetizada los resultados obtenidos del sistema de mediciones, sus especificaciones técnicas, los vuelos realizados y la caracterización de la calidad del aire por material particulado; determinando si el entorno del

establecimiento comercial Lago Park cumple con la normativa vigente según el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.

#### **10.4.2. Divulgación académica y/o científico**

A continuación, se describen cada uno de los eventos académicos y científicos en los cuales se da la divulgación y socialización de los resultados obtenidos en el proyecto de investigación.

##### **Primer evento: IV Simposio de Investigación en Ingeniería y Desarrollo Sostenible**

Título: Caracterización del empuje del motor brushless para el uso en un vehículo aéreo no tripulado (UAV) modelo ala Zagi **Fecha:** agosto de 2019, **ISSN:** 2539-4975, enlace de memorias del evento:

<https://ww2.ufps.edu.co/public/archivos/pdf/f3c25fc5ffc93b2e1b89d327be9fbaae.pdf>

**Certificado:** Ver Anexo 13.

##### **Segundo evento: VI Semana Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación**

Título: Diseño de un sistema de medición de material particulado mediante un vehículo aéreo no tripulado, **Fecha:** 19-22 de noviembre 2019 **ISSN:** 2422-3115, enlace de memorias del evento: <https://ww2.ufps.edu.co/vicerrectoria/vicerrectoria-asistente-de-investigacion-y-extension/1768>

**Certificado:** Ver Anexo 14.

##### **Tercer Evento: 7TH International Week of Science, Technology and Innovation**

Título: Medición de material particulado en zonas urbanas para la generación de mapas de contaminación del aire mediante sistemas embebidos, **Fecha:** 6 al 9 de octubre de 2020, **ISSN:** 2422-3115, enlace de memorias del evento:

<https://seincienciatecnologia.ufpso.edu.co/Doc/memoirs.pdf>

**Certificado:** Ver Anexo 15.

### **Artículo 1**

Con la participación de la ponencia en el evento IV Simposio de Investigación en Ingeniería y Desarrollo Sostenible de la Universidad Francisco de Paula Santander, se somete a evaluación el artículo titulado: “Caracterización del empuje del motor brushless para el uso en un vehículo aéreo no tripulado (UAV) modelo ala zagi”, el cual es aprobado y publicado por el comité del evento en las memorias con ISSN: 2539-4975 disponible en Google Académico.

### **Artículo 2**

Se sometió a revisión el artículo título: “Diseño de un sistema de medición de material particulado mediante un vehículo aéreo no tripulado” en la revista AIBI, Revista de investigación, administración e ingeniería de la Universidad de Santander, el cual fue revisado y aprobado para publicación, ver Anexo 16.

### **Artículo 3**

Se sometió a revisión el artículo titulado: "Vehículos aéreos no tripulados como alternativa de solución a los retos de innovación en diferentes campos de aplicación: una revisión de la literatura" en la revista Investigación e Innovación en Ingenierías de la Universidad Simón Bolívar, el cual fue revisado y aprobado para publicación en el próximo volumen por parte de la editorial, así como se observa en el Anexo 17.

#### **10.4.3. Entrega de documentación**

Con los resultados obtenidos se da entrega del informe y recibido ver Anexo 18, documentos que se entregan en formato físico al gerente/administrador del establecimiento comercial Lago Park, el Señor Said Trillos con el fin de dar a conocer los resultados de la investigación posterior al proceso de caracterización de calidad el aire por material particulado, especificando según la normativa el cumplimiento con los parámetros ambientales establecidos.

## CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que la calidad del aire es un factor fundamental que ha venido tomando fuerza durante la última década y debido a los problemas de contaminación observados en la ciudad de Cúcuta en los últimos años y exactamente durante el mes de marzo y abril de 2020 donde las emisiones de partículas suspendidas en aire en sus concentraciones de PM10.0 presentaban una calidad del aire Aceptable, no obstante se observan valores relativamente altos que superan los  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  permisibles en la resolución 2254 llegando a obtener en una de sus estaciones un promedio de  $100.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a causa de las diferentes problemáticas ambientales, quemas de bosques, quemas de basura provenientes del vecino país, así como también de las emisiones de hidrocarburos entre otros gases que perjudican a largo plazo la salud de la población en general, la cual está siempre expuesta a estas afectaciones. Por tal razón se desarrolla un prototipo de sistema embebido para el monitoreo de la contaminación del aire, obteniendo un dispositivo compuesto por sensores de humedad, temperatura, material particulado, una pantalla oled y un módulo GPS para su constante localización. El sistema es acondicionado a la placa LILYGO TTGO T-Beam V1.1 ESP32 encargada de la adquisición, adecuación, almacenamiento y envío de la información a la base de datos desarrollada en MySQL para su posterior visualización en la interfaz gráfica la cual permite visualizar mapas de intensidad de contaminación presentando un resumen grafico del estado actual de la contaminación en el entorno evaluado.

Se desarrolla una interfaz gráfica disponible para Windows y Linux en sus versiones más recientes mediante lenguaje JavaFx que permite y facilita la visualización de la información obtenida mediante los procesos de censado realizado por el prototipo de sistema de medición haciendo uso del UAV, este entorno dispone al usuario la opción de seleccionar rangos de

fechas para graficas mapas de intensidad de contaminación para la variables analizadas como PM2.5, PM10.0, humedad y temperatura teniendo en cuenta la normativa impartida por el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible respecto a los rango de contaminación y la clasificación de colores según los valores máximos y mínimos permisibles en el ámbito urbano. No obstante, la información recopilada está disponible para su descarga desde el entorno de la interfaz con el objetivo de que pueda ser utilizada para otro tipo de análisis; Además, presenta de forma sintetizada un análisis estadístico aplicado a los datos y a su vez muestra información general relacionada con el proyecto y las variables analizadas.

Este sistema fue puesto a prueba, y sus resultados fueron comparados con la estación fija de Corponor ubicada en el barrio Centro, Hotel Cinera arrojando que los datos obtenidos presentan un error del 3.6 % para el día 1 y 2.6 % para el día 2 de sensado, siendo esto una medida para validar la confiabilidad del sistema de mediciones.

Con las pruebas realizadas al dispositivo y verificado su funcionamiento se realiza la caracterización de la calidad del aire en el establecimiento comercial Lago Park haciendo uso del prototipo de mediciones, observando que las concentraciones del material particulado PM10.0 y PM2.5 arrojan una clasificación de Buena y Aceptable respectivamente para los días sensados por lo cual cumple con lo estipulado en la resolución 2254 del 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. De igual forma se observaron en algunas mediciones altas en referencia al día 2 con un valor de  $112 \mu g/m^3$  en PM2.5 y en el día 4 un valor de  $241 \mu g/m^3$  en PM10.0. Además, se evidencia un incremento en el cuarto día de hasta de  $3.11 \mu g/m^3$  para PM2.5 y  $4.90 \mu g/m^3$  para PM10.0.

Cabe resaltar que, aunque la calidad del aire cumple con lo establecido por el gobierno nacional, si se evalúa a las normas internacionales establecidas por la OMS el material particulado en su

espesor de  $2.5 \mu m$  no cumple con este criterio ya se supera la normativa de  $25 \mu g/m^3$  por día, esto debido a que las medidas internacionales con respecto a la calidad del aire son más estrictas.

Es importante mencionar que el sistema puede ser adaptado a otro tipo de vehículos, edificaciones, tanto entornos cerrados como abiertos gracias a su tamaño reducido, y que permite medir concentraciones de partículas suspendidas en el aire debido a que es un sensor laser que detecta las partículas en el entorno y su funcionamiento presenta resultados similares a los de un sensor de categoría industrial.

Respecto al sistema de medición, el uso de múltiples componentes en el puerto serial y la implementación de la memoria Flash como almacenamiento interno de las mediciones hace que no sea posible correr al mismo tiempo las funciones de recolección de información de cada sensor por lo que es necesario deshabilitar una momentáneamente mientras se adquiere la información de la otra debido a que involucran los mismos pines de conexión de la memoria Flash.

Los diferentes algoritmos desarrollados se diseñaron a través de una estructura modular que facilita la adaptabilidad, modificación, repetibilidad y uso de los códigos de manera intuitiva y ordenada añadiendo sencillez al momento de probar cada bloque lógico de manera individual. Además, se concluye que la adaptación de tecnologías de código abierto brinda una solución de implementación accesible debido a que las placas ESP32 y los lenguajes de programación java, JavaFx y C++ utilizados son libres haciendo posible y viable el uso de sistemas embebidos de censado alternativos, Open Source y de bajo costo respecto a otras placas y softwares de desarrollo que se encuentran en el mercado.

Se identifica que la implementación de UAV para sensado remoto es una posible alternativa si se tienen en cuenta las normativas con respecto a la variable a analizar y los efectos que

pueden llegar a presentar al implementar estos dispositivos; por otro lado, este tipo de dispositivos puede permitir abarcar áreas extensas o de difícil acceso permitiendo así evaluar zonas de interés.

No obstante, se observa que durante el proceso de sensado en el sistema de mediciones el GPS marca puntos de localización poco coherentes con los recorridos realizados haciendo uso del UAV, aspectos que hacen referencia a un bajo número de satélites en la conexión, interferencias climatológicas, electromagnéticas entre otras presentes en el entorno analizado.

La implementación del prototipo del sistema de mediciones tiene como objetivo principal brindar al usuario información pertinente de la calidad del aire en los recorridos realizados, además de orientarlo según la clasificación contaminantes mostrando si el lugar analizado cumple o no con los estándares de calidad del aire y así establecer si es seguro para los ciudadanos y no atenta contra su salud o integridad.

## RECOMENDACIONES

En contraste a los sensores para la medición de material particulado se recomienda disminuir la variabilidad y mejorar la presión del sensado implementando dispositivos electrónicos más sofisticados y que incluyan filtros para la medición.

Para el apartado de geoposicionamiento se puede poner en consideración la implementación de tecnologías GNSS que permite tener acceso a varios satélites mejorando la precisión, la redundancia y la disponibilidad en todo momento.

Considerando los UAV existentes en la actualidad y sus múltiples funcionalidades es posible la implementación del sistema en un UAV tipo híbrido para mejorar del desplazamiento y la estabilidad del vehículo en el aire a fin de obtener sensados en puntos más precisos del entorno.

En cuarto al desarrollo de la interfaz gráfica se recomienda a futuro el desarrollo de una aplicación web progresiva la cual permita mejorar la funcionalidad de la misma al poderse incorporar a dispositivos móviles Android o IOS y usarse como aplicación de escritorio en Windows al igual que la versión actual.

Una posible modificación para obtener sensado en tiempo real es la implementación de tecnologías como LoRaWan o SigFox para la transferencia de la información a conveniencia del desarrollador a fin de reducir el consumo energético del dispositivo y brindar una conexión estable en una mayor área.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Organización Mundial de la Salud, “Calidad del aire ambiente (exterior) y salud,” *Nota descriptiva*, 2016. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
- [2] Theuav.com, “The UAV - Unmanned Aerial Vehicle.,” *The UAV*, 2013. <https://www.theuav.com/>.
- [3] Organización mundial de la Salud, *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. 2005, pp. 1–21.
- [4] Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, *Resolución 2254, Norma de calidad del aire ambiente*. 2017, p. 11.
- [5] L. Mejía and DNP, “Calidad del aire: Una prioridad de política pública en Colombia - Departamento Nacional de Planeación,” 2018. [Online]. Available: [https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentación Calidad del Aire 15\\_02\\_2018.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentación%20Calidad%20del%20Aire%2015_02_2018.pdf).
- [6] J. E. ARENAS HERNÁNDEZ, “INFORME EJECUTIVO MENSUAL DE LA CALIDAD DEL AIRE MPA-07-14-99 - Versión 1 - 2017/10/20,” 2019.
- [7] Corponor, “Manual de mantenimiento de los equipos PM 10 HI-Vol utilizados en la medición de material particulado.” pp. 1–68, 2012.
- [8] I. Dynamics, “Aplicaciones y Usos,” 2012. [http://www.iuavs.com/pages/aplicaciones\\_y\\_usos](http://www.iuavs.com/pages/aplicaciones_y_usos).
- [9] INTECCON INC, “Bombas de muestreo.” <http://www.inteconinc.com/latam/index.php/productos/bombas-de-muestreo>.
- [10] C. agosto Arciniégas suárez, “Diagnóstico Y Control De Material Particulado: Partículas

- Suspendidas Totales Y Fracción Respirable Pm10,” *Luna Azul*, no. 34, pp. 195–213, 2012, doi: 10.17151/luaz.2012.34.12.
- [11] F. G. Arias Odon, *El proyecto de investigación: Guía para su elaboración*, vol. 1, no. 1. 1999.
- [12] J. A. Benito Carrasco, “Integración de un UAV ( vehículo aéreo no tripulado ) en la plataforma robótica ARGOS,” 2015.
- [13] Y. Suárez, J. Lorena, A. Gutiérrez, Y. Janeth, C. Tibaquirá, and D. Lilia, “Prototipo De Medición De Emisiones De Gas Carbónico En Un Vehículo Aéreo No Tripulado ( Uav ) Para Los Alrededores De Rellenos Sanitarios “ Measurement Prototype of Carbon Gas Emissions in a Non- Tripulated Air Vehicle ( Uav ) for the Surroundings of Sani.”
- [14] S. Vargas and D. Lange, “Sistema aéreo de medición de gases contaminantes basado en un UAV, resultados preliminares Air pollutant measurement system based on a UAV, preliminary results,” vol. 7, no. 2, pp. 194–212, 2015, [Online]. Available: [http://www.scielo.org/bo/pdf/ran/v7n2/v7n2\\_a12.pdf](http://www.scielo.org/bo/pdf/ran/v7n2/v7n2_a12.pdf).
- [15] A. Talbi, Y. Kerchich, R. Kerbachi, and M. Boughedaoui, “Assessment of annual air pollution levels with PM1, PM2.5, PM10 and associated heavy metals in Algiers, Algeria,” *Environ. Pollut.*, vol. 232, pp. 252–263, 2018, doi: 10.1016/j.envpol.2017.09.041.
- [16] P. Jiménez, J. Hernández, and J. Silva, “Design of an unmanned aerial vehicle (UAV) for measuring greenhouse gases Diseño de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para medición de gases de efecto invernadero,” vol. 3, pp. 123–132, 2017, [Online]. Available: <http://fundacioniai.org/actas>.
- [17] J. Morales, “Control para la navegación pre-programada de trayectorias de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) aplicado a la supervisión y transmisión en línea de la calidad del

- aire.,” vol. 3, no. 9, pp. 61–79, 2016, [Online]. Available: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6065>.
- [18] Fundación para la Salud Geoambiental, “Material particulado | Fundacion para la Salud Geoambiental,” 2013. <https://www.saludgeoambiental.org/material-particulado>.
- [19] Troposfera.org, “Troposfera.org || Portal de Calidad del Aire - Qué es la calidad del aire,” 2005. <http://www.troposfera.org/conceptos/calidad-aire/>.
- [20] Aeronáutica civil de Colombia, “CIRCULAR REGLAMENTARIA N° 002 REQUISITOS GENERALES DE AERONAVEGABILIDAD Y OPERACIONES PARA RPAS,” 2015. <http://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/certificacion-y-licenciamiento/Documents/PROYECTO BORRADOR CIRCULAR RPAS.pdf>.
- [21] S. Luis, R. G. Horacio, P. T. Abraham, J. Andrés, S. Figueroa, and M. Aurelio, “Sistema de navegación basado en sensor de visión dinámica para un robot hexápodo,” *Jovenes en la Cienc.*, vol. 3, no. 1, pp. 2438–2442, 2017.
- [22] S. de S. Aérea, “Evaluación del programa de control de peso y balance para operadores de transporte aereo regular y no regular ( aeronaves propulsadas por turbina de 10 sillas o mas ),” 2007.
- [23] S. Pinzón-Paz, “El perfil alar y su nomenclatura NACA,” *Cienc. y Pod. Aéreo*, vol. 8, no. 1, p. 26, 2013, doi: 10.18667/cienciaypoderaereo.4.
- [24] J. A. Giraldo-Benjumea and C. M. Vélez-Sánche, “Estimación de parámetros de un UAV tipo ala volante mediante algoritmos metaheurísticos,” 2014.
- [25] Sergio Sánchez., “Microcontroladores PIC y sus variedades | Microcontroladores.” <https://microcontroladoressesv.wordpress.com/microcontroladores-pic-y-sus-variedades/>.
- [26] ih-robotics.com, “Sensores | Ih Robotics | Especialistas en Robótica,” 2019. [https://ih-](https://ih-robotics.com)

- robotics.com/categoria-producto/sensores/ (accessed Sep. 30, 2019).
- [27] techopedia.com, “What Is a Lithium Polymer Battery (LiPo Battery)? - Definition from Techopedia.” <https://www.techopedia.com/definition/8093/lithium-polymer-battery-lipo-battery>.
- [28] O. Cárdenas, *Transductores para procesos industriales*, 1st ed. Mérida: Universidad de los Andes, 2010.
- [29] R. S. Pressman, “Ingeniería de software, un enfoque práctico.” Mexico, 2010.
- [30] F. J. C. Sierra, *Enciclopedia de Microsoft Visual C#. 3a Edición - Fco. Javier Ceballos Sierra - Google Libros*, 2nd ed. Grupo Editorial RA-MA, 2008.
- [31] C. Pérez López, “MySQL para Windows y Linux /,” 2004.
- [32] Corponor, *RESOLUCION 690 de 2017*. 2017, p. 2.
- [33] Icontec Internacional, “NTC-4983,” no. 571, 2012.
- [34] Icontec Internacional, “NTC-6141,” no. 571, 2015.
- [35] Aeronáutica Civil de Colombia, *Circular Reglamentaria No 002 &quot;Aeronavegabilidad y Operaciones Vehículos Aéreos No Tripulados&quot;*; 2015, p. 34.
- [36] DNP, “Conpes 3943,” *Política para el Mejor. la Calid. del aire*, p. 86, 2018, [Online]. Available: <https://www.cancilleria.gov.co/documento-conpes-estrategia-atencion-migracion-venezuela>.
- [37] L. A. Rodríguez-Villamizar, N. Y. Rojas-Roa, L. C. Blanco-Becerra, V. M. Herrera-Galindo, and J. A. Fernández-Niño, “Short-term effects of air pollution on respiratory and circulatory morbidity in colombia 2011–2014: A multi-city, time-series analysis,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, no. 8, 2018, doi: 10.3390/ijerph15081610.
- [38] K. Castro, A. Muñoz, M. M.-R. Teckne, and undefined 2018, “Análisis De La

- Contaminación Del Aire Con Material Particulado Producido Por La Fabricación De Ladrillos En Los Municipios De La,” *Unihorizonte.Edu.Co*, vol. 14, no. 2, pp. 19–26, 2016, [Online]. Available: <http://www.unihorizonte.edu.co/revistas/index.php/TECKNE/article/view/195>.
- [39] N. Castell *et al.*, “Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates?,” *Environ. Int.*, vol. 99, pp. 293–302, 2017, doi: 10.1016/j.envint.2016.12.007.
- [40] M. Lee *et al.*, “Forecasting Air Quality in Taiwan by Using Machine Learning,” *Sci. Rep.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–13, Dec. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-61151-7.
- [41] Corponor, “Calidad del Aire - Corponor,” 2020. <https://corponor.gov.co/web/index.php/boletin-ambiental/calidad-del-aire/>.
- [42] X. Querol, “Calidad del aire, partículas en suspensión y metales,” *Revista Espanola de Salud Publica*, vol. 82, no. 5. Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar social, pp. 447–453, Sep-2008, doi: 10.1590/s1135-57272008000500001.
- [43] S. Hayat, E. Yanmaz, and R. Muzaffar, “Survey on Unmanned Aerial Vehicle Networks for Civil Applications: A Communications Viewpoint,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 18, no. 4, pp. 2624–2661, 2016, doi: 10.1109/COMST.2016.2560343.
- [44] D. Popescu, F. Stoican, L. Ichim, G. Stamatescu, and C. Dragana, “Collaborative UAV-WSN system for data acquisition and processing in agriculture,” *Proc. 2019 10th IEEE Int. Conf. Intell. Data Acquis. Adv. Comput. Syst. Technol. Appl. IDAACS 2019*, vol. 1, pp. 519–524, 2019, doi: 10.1109/IDAACS.2019.8924424.
- [45] T. Niedzielski, “Applications of Unmanned Aerial Vehicles in Geosciences: Introduction,” no. November, pp. 1–4, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-03171-8\_1.

- [46] N. Chebrolu, T. Labe, and C. Stachniss, "Robust long-term registration of UAV images of crop fields for precision agriculture," *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 3, no. 4, pp. 3097–3104, 2018, doi: 10.1109/LRA.2018.2849603.
- [47] S. Bhandari, A. Raheja, R. L. Green, and D. Do, "Towards collaboration between unmanned aerial and ground vehicles for precision agriculture," *Auton. Air Gr. Sens. Syst. Agric. Optim. Phenotyping II*, vol. 10218, p. 1021806, 2017, doi: 10.1117/12.2262049.
- [48] A. A. Doshi, A. J. Postula, A. Fletcher, and S. P. N. Singh, "Development of micro-UAV with integrated motion planning for open-cut mining surveillance," *Microprocess. Microsyst.*, vol. 39, no. 8, pp. 829–835, 2015, doi: 10.1016/j.micpro.2015.07.008.
- [49] L. Ge, X. Li, and A. H. M. Ng, "UAV for mining applications: A case study at an open-cut mine and a longwall mine in New South Wales, Australia," *Int. Geosci. Remote Sens. Symp.*, vol. 2016-Novem, no. 1, pp. 5422–5425, 2016, doi: 10.1109/IGARSS.2016.7730412.
- [50] Y. Lu, D. Macias, Z. S. Dean, N. R. Kreger, and P. K. Wong, "A UAV-Mounted Whole Cell Biosensor System for Environmental Monitoring Applications," *IEEE Trans. Nanobioscience*, vol. 14, no. 8, pp. 811–817, 2015, doi: 10.1109/TNB.2015.2478481.
- [51] J. Witzczuk, S. Pagacz, A. Zmarz, and M. Cypel, "Exploring the feasibility of unmanned aerial vehicles and thermal imaging for ungulate surveys in forests - preliminary results," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 39, no. 15–16, pp. 5504–5521, 2018, doi: 10.1080/01431161.2017.1390621.
- [52] A. Vehicles, "Current and future UAV military users and applications," *Air Sp. Eur.*, vol. 1, no. 5–6, pp. 51–58, 1999, doi: 10.1016/s1290-0958(00)88871-1.
- [53] K. Kuru, D. Ansell, W. Khan, and H. Yetgin, "Analysis and Optimization of Unmanned Aerial Vehicle Swarms in Logistics: An Intelligent Delivery Platform," *IEEE Access*, vol.

- 7, no. c, pp. 15804–15831, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2892716.
- [54] E. A. Parada Prieto, M. J. Illera Bustos, S. B. Sepúlveda Mora, D. Guevara Ibarra, and B. Medina Delgado, “Sistema de control domótico de bajo costo: un respaldo a la generación ecológica de energía eléctrica en Colombia,” *Rev. Tecnura*, vol. 20, no. 49, p. 120, 2016, doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.3.a08.
- [55] W. Ojeda-Bustamante, J. Flores-Velázquez, and R. E. Ontiveros-Capurata, “Uso y manejo de drones con aplicaciones al sector hídrico,” p. 425, 2016.
- [56] D. Scholz, “Definition and discussion of the intrinsic efficiency of winglets,” *INCAS Bull.*, vol. 10, no. 1, pp. 117–134, 2018, doi: 10.13111/2066-8201.2018.10.1.12.
- [57] P. Salvador Martínez, “CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PRODUCIDAS POR PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN EN MADRID ,” 2005.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Tabla de matrices de coeficientes para la placa de control.

Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A1							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	1	1	0	0	2	0,222
I2	0	0	0	0	0	0	0
I3	0	1	0	0	0	1	0,1111
I4	1	1	1	0	0	3	0,3333
I5	1	1	1	0	0	3	0,3333
Total						9	1
Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A2							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	0	0	0	0	0	0
I2	1	0	1	1	1	4	0,4444
I3	1	0	0	1	1	3	0,3333
I4	0	0	0	0	0	0	0
I5	1	0	0	1	0	2	0,2222
Total						9	1
Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A3							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	1	0	0	1	2	0,2222
I2	0	0	0	0	1	1	0,1111
I3	0	1	0	0	1	2	0,2222
I4	1	1	1	0	1	4	0,4444
I5	0	0	0	0	0	0	0
Total						9	1
Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A4							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	0	0	0	0	0	0
I2	1	0	1	1	1	4	0,4
I3	1	0	0	1	1	3	0,3
I4	1	0	0	0	0	1	0,1
I5	1	0	0	1	0	2	0,2
Total						10	1
Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A5							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	0	0	0	0	0	0
I2	1	0	1	1	1	4	0,4
I3	1	0	0	1	1	3	0,3
I4	1	0	0	0	1	2	0,2
I5	1	0	0	0	0	1	0,1
Total						10	1

**Anexo 2.** Tabla de matrices de coeficientes para sensor de material particulado.

Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A1							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	0	1	0	1	2	0,22
I2	0	0	1	0	1	2	0,22
I3	0	0	0	0	0	0	0,00
I4	1	1	1	0	1	4	0,44
I5	0	0	1	0	0	1	0,11
Total						9	1
Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A2							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	0	0	1	0	1	0,1
I2	1	0	0	1	0	2	0,2
I3	1	1	0	1	0	3	0,3
I4	0	0	0	0	0	0	0
I5	1	1	1	1	0	4	0,4
Total						10	1
Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A3							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	0	1	1	1	3	0,33
I2	0	0	1	1	1	3	0,33
I3	0	0	0	0	1	1	0,11
I4	0	0	1	0	0	1	0,11
I5	0	0	0	1	0	1	0,11
Total						9	1
Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A4							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	0	1	1	0	2	0,20
I2	1	0	1	1	1	4	0,40
I3	0	0	0	0	0	0	0,00
I4	0	0	1	0	0	1	0,10
I5	1	0	1	1	0	3	0,30
Total						10	1
Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A5							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	0	0	0	0	0	0,00
I2	0	0	0	0	0	0	0,00
I3	0	0	0	0	0	0	0,00
I4	1	1	1	0	0	3	0,50
I5	1	1	1	0	0	3	0,50
Total						6	1

**Anexo 3.** Tabla de matrices de coeficientes para el sensor de humedad y temperatura.

Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A1							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	0	0	0	0	0	0,00
I2	1	0	1	0	0	2	0,22
I3	1	0	0	0	0	1	0,11
I4	1	1	1	0	0	3	0,33
I5	1	0	1	1	0	3	0,33
Total						9	1

Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A2							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	0	0	0	0	0	0,00
I2	1	0	0	0	0	1	0,14
I3	1	0	0	0	0	1	0,14
I4	1	1	0	0	1	3	0,43
I5	1	0	1	0	0	2	0,29
Total						7	1

Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A3							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	0	0	0	0	0	0,00
I2	1	0	0	0	1	2	0,40
I3	1	0	0	1	1	3	0,60
I4	0	0	0	0	0	0	0,00
I5	0	0	0	0	0	0	0,00
Total						5	1

Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A4							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	1	1	1	1	4	0,40
I2	0	0	1	1	1	3	0,30
I3	0	0	0	1	0	1	0,10
I4	0	0	0	0	0	0	0,00
I5	0	0	1	1	0	2	0,20
Total						10	1

Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A5							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	0	0	0	0	0	0,00
I2	1	0	0	0	0	1	0,11
I3	1	1	0	1	1	4	0,44
I4	1	0	0	0	1	2	0,22
I5	1	1	0	0	0	2	0,22
Total						9	1

**Anexo 4.** Tabla de matrices de coeficientes para el GPS.

Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A1							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	0	0	0	0	0	0,00
I2	1	0	0	0	0	1	0,10
I3	1	1	0	1	1	4	0,40
I4	1	1	0	0	0	2	0,20
I5	1	1	0	1	0	3	0,30
Total						10	1

Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A2							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	0	0	1	0	1	0,11
I2	1	0	1	1	1	4	0,44
I3	1	0	0	1	0	2	0,22
I4	0	0	0	0	0	0	0,00
I5	1	0	0	1	0	2	0,22
Total						9	1

Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A3							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	1	1	1	1	4	0,44
I2	0	0	0	1	0	1	0,11
I3	0	0	0	1	0	1	0,11
I4	0	0	0	0	0	0	0,00
I5	0	1	1	1	0	3	0,33
Total						9	1

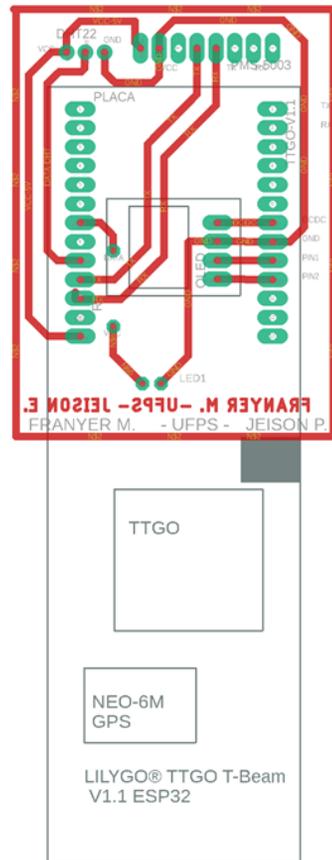
  

Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A4							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	0	1	1	1	3	0,30
I2	1	0	1	1	1	4	0,40
I3	0	0	0	1	1	2	0,20
I4	0	0	0	0	0	0	0,00
I5	0	0	0	1	0	1	0,10
Total						10	1

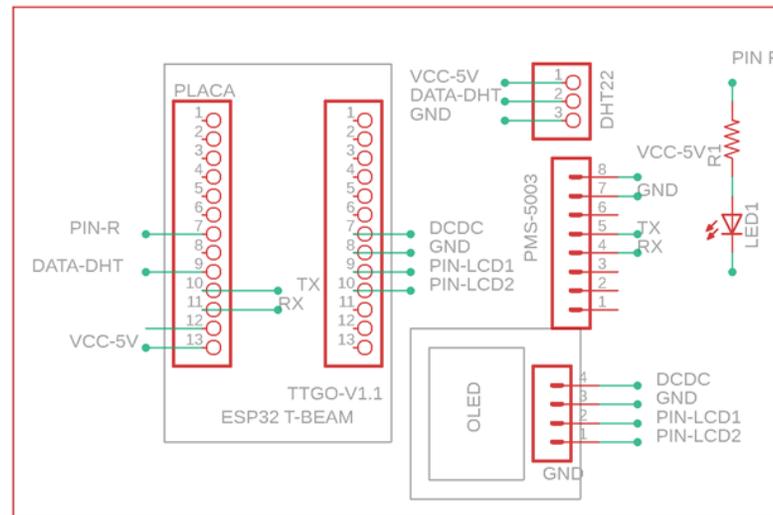
  

Matriz de coeficientes en énfasis para el atributo A5							
	I1	I2	I3	I4	I5	Valor	Peso
I1	0	0	0	0	0	0	0,00
I2	1	0	1	1	1	4	0,40
I3	1	0	0	0	0	1	0,10
I4	1	0	1	0	1	3	0,30
I5	1	0	1	0	0	2	0,20
Total						10	1

Anexo 5. Diagrama esquemático y de Board

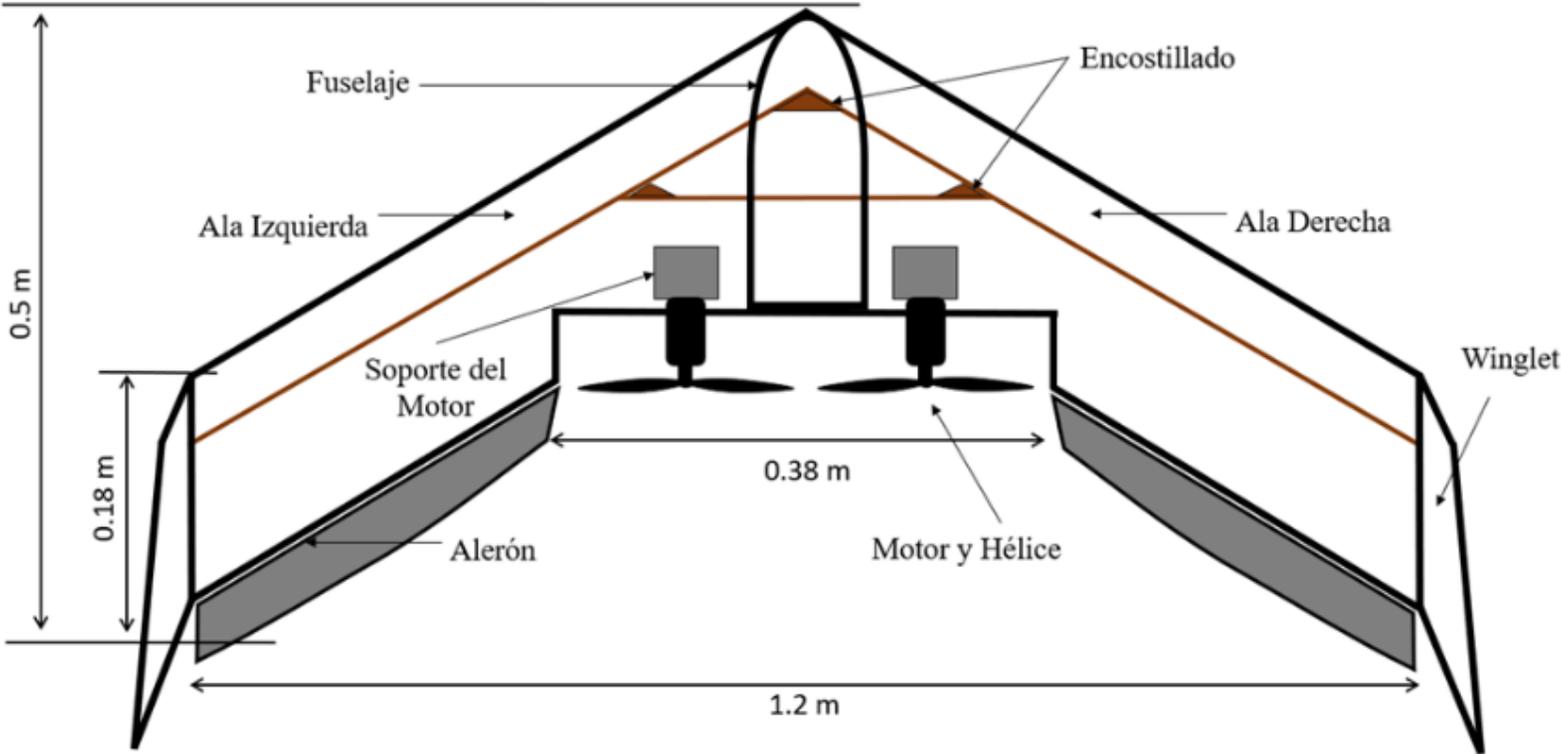


A. PCB

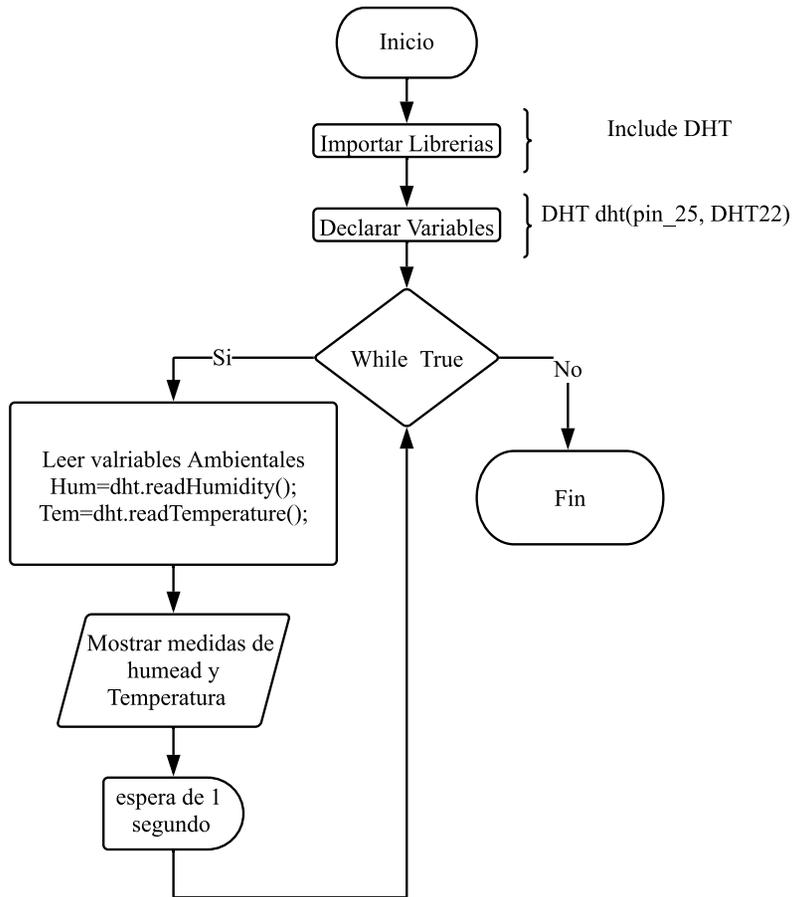


B. Esquemático

Anexo 6. Bosquejo general del UAV ala Zagi.



## Anexo 7. Codificación sensor de humedad y temperatura.

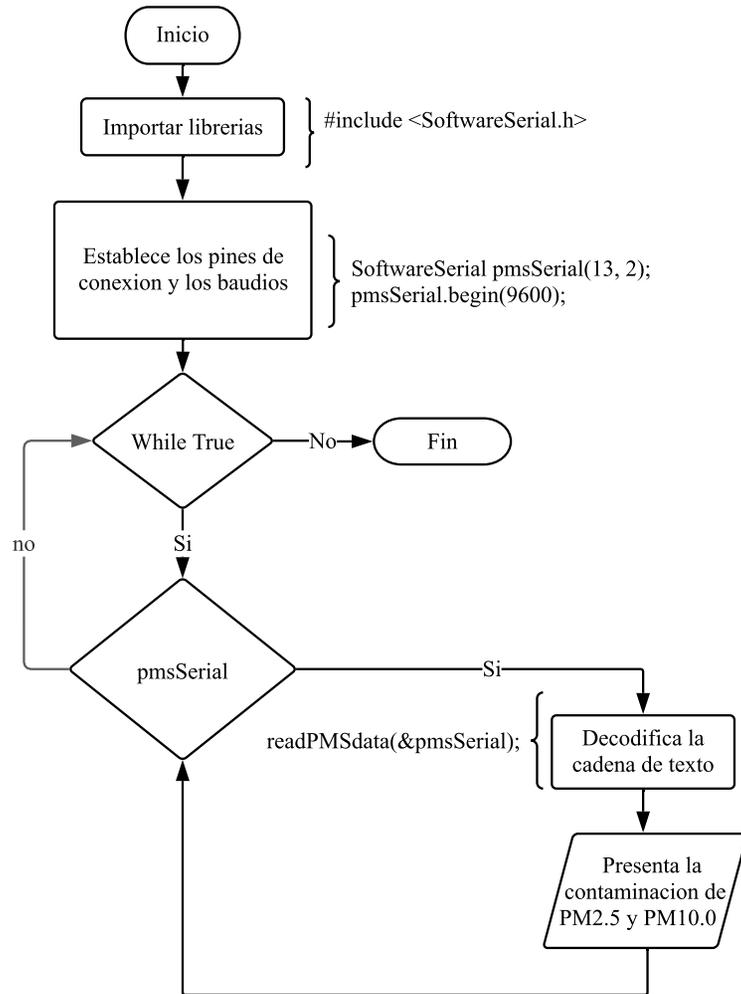


**Proceso:** Medida de la humedad y temperatura relativa.

1. Importar Librerías (DHT)
2. Variables definidas: DHT dht(pin\_25), Hum y Temp.
- 3. Repetir:**
4. Leer medidas del sensor en el pin definido
5. Almacena las medidas de humedad y temperatura en Hum y Temp respectivamente.
6. Muestra el porcentaje de humedad y la temperatura.
7. Espera 1 segundo.

**Flujograma y Pseudocodigo  
Humedad y temperatura**

**Anexo 8.** Codificación del sensor de material particulado.

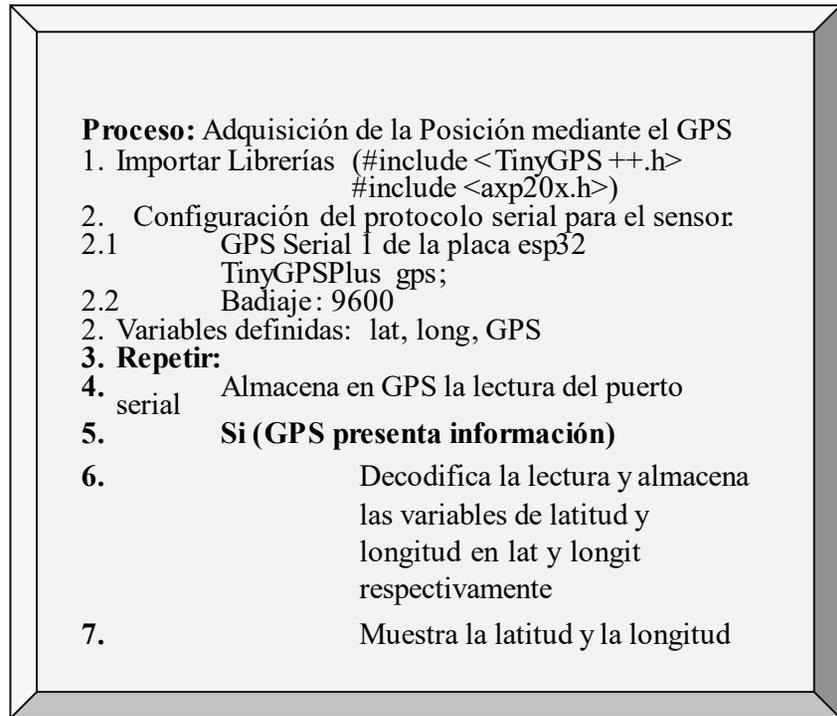
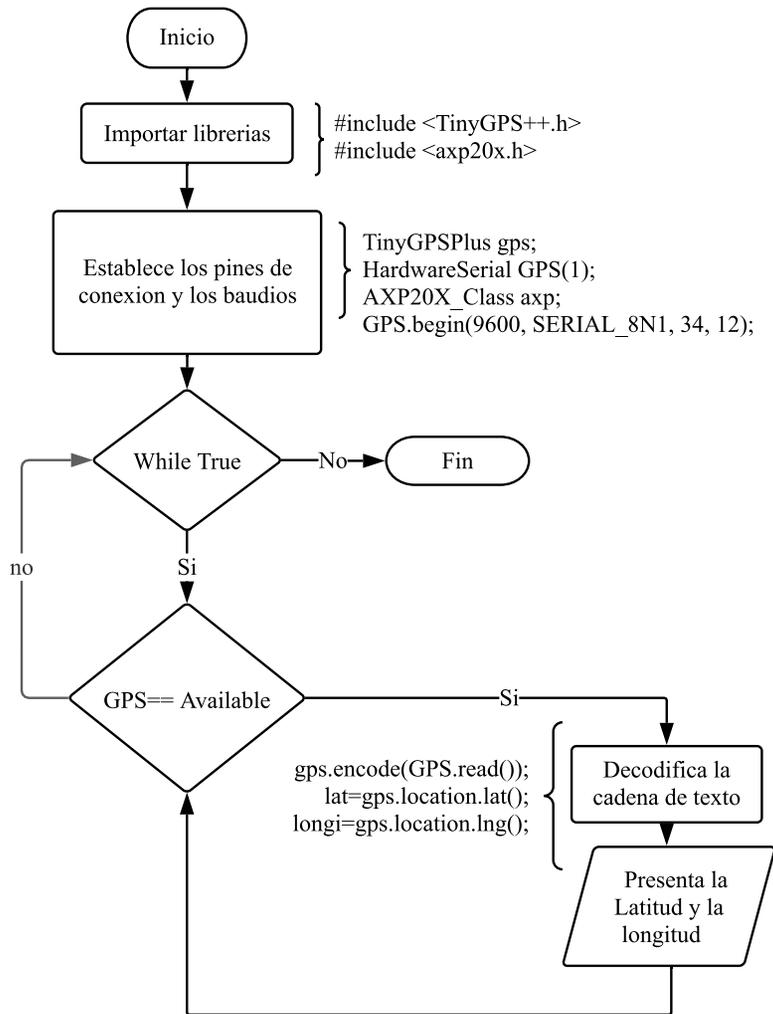


**Proceso:** Medida de los niveles de contaminación por material particulado en  $\mu g/m^3$

1. Importar Librerías (SoftwareSerial)
2. Configuración del protocolo serial para el sensor
  - 2.1. RX, TX: (13,2)
  - 2.2. Badiaje: 9600
3. Variables definidas: Pm10, pm25
4. **Repetir:**
5. Leer medidas del puerto serial
6. Dar formato a las medidas y almacenar las variables en Pm10, Pm25

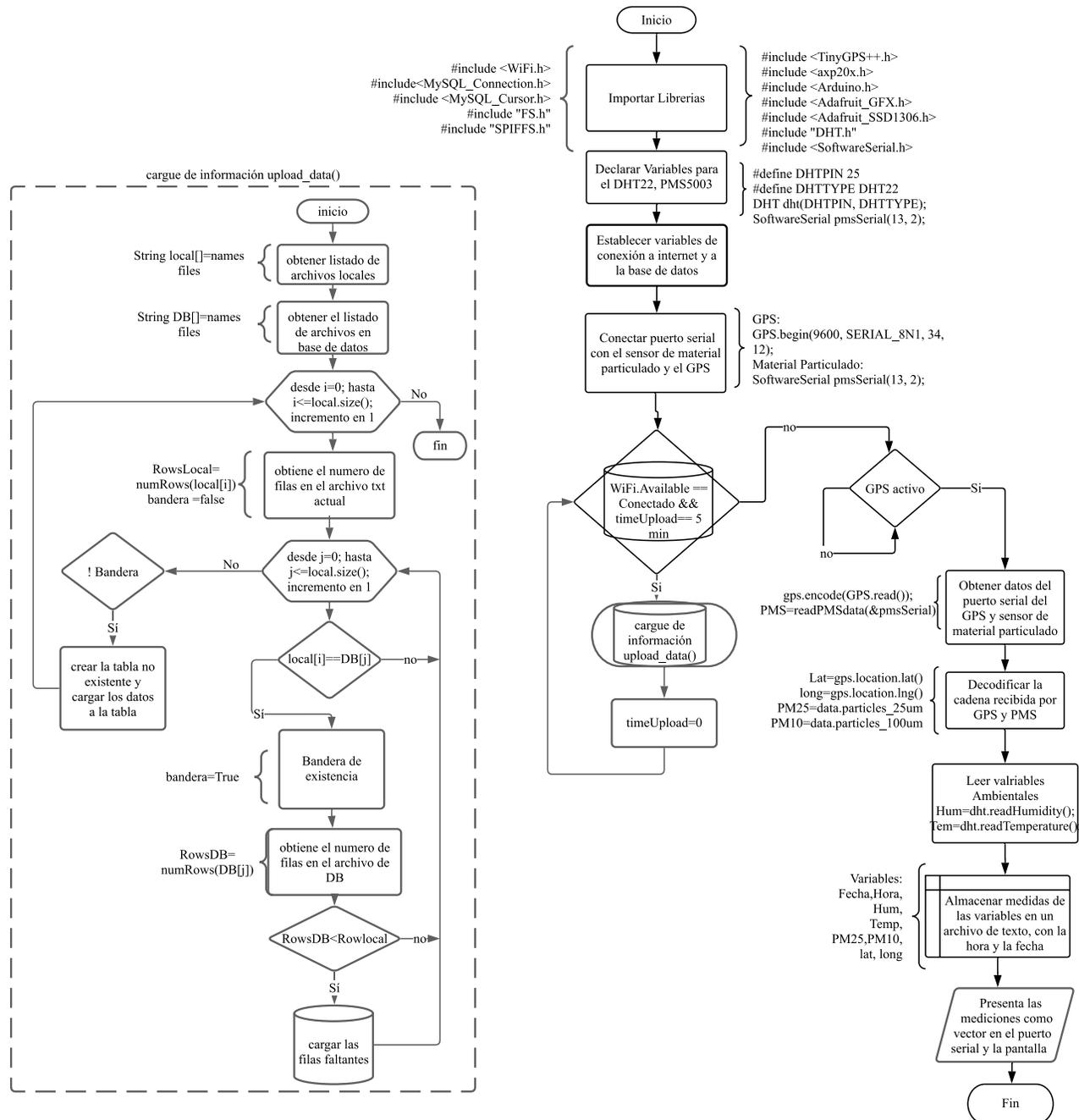
**Flujograma y Pseudocodigo  
Material Particulado**

## Anexo 9. Codificación del módulo de GPS.



**Flujograma y Pseudocódigo GPS**

## Anexo 10. Flujograma del sistema de mediciones.



A continuación, se presenta el código base del sistema de mediciones.

```

#include <Arduino.h>
#define __DEBUG__
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
  
```

```

#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include "esp_attr.h"
// Definir constantes
  
```

```

#define ANCHO_PANTALLA 128 // ancho
pantalla OLED
#define ALTO_PANTALLA 64 // alto
pantalla OLED
Adafruit_SSD1306
display(ANCHO_PANTALLA,
ALTO_PANTALLA, &Wire, -1);

//GPS
#include <TinyGPS++.h>
#include <axp20x.h>
TinyGPSPlus gps;
HardwareSerial GPS(1);
AXP20X_Class axp;
//END GPS
int c=0;

//DHT22 sensor de Humedad y
Temperatura
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 14 // Digital pin
connected to the DHT sensor
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22
(AM2302), AM2321
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
//GPS
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial pmsSerial(2, 13);

//WiFi y Database
#include <WiFi.h>
#include <MySQL_Connection.h>
#include <MySQL_Cursor.h>
byte mac_addr[] = { 0xDE, 0xAD,
0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
IPAddress server_addr(54,39,75,7);
// IP of the MySQL *server* here
char user[20] = "u3kev6csezmozw4w";
// MySQL user login username
char password[30] =
"S4oZ3woG1gnPwh8ATAZD"; //
MySQL user login password

const char* ssid = "JEEP21";
//nombre de red
const char* pass = "1090450742";
//clave de red
WiFiClient client; // Use
this for WiFi instead of
EthernetClient
MySQL_Connection conn((Client
*)&client);

//save data flash
#include "FS.h"
#include "SPIFFS.h"

```

```

#define FORMAT_SPIFFS_IF_FAILED
false
// para desconcatenar
String str = "";
const char separator = ',';
const char separator3 = ',';
const int dataLength = 8;
int retorno=0, retraso=10;
int unico=1;

//+100000;

void setup() {
    byte* psdRamBuffer =
(byte*)ps_malloc(500000);

    free(psdRamBuffer);
    // put your setup code here, to
run once:
    Serial.begin(115200);

    delay(5000);
    Wire.begin(21, 22);
    if (!axp.begin(Wire,
AXP192_SLAVE_ADDRESS)) {
        Serial.println("AXP192 Begin
PASS");
    } else { Serial.println("AXP192
Begin FAIL"); }
    axp.setPowerOutPut(AXP192_LDO2,
AXP202_ON);
    axp.setPowerOutPut(AXP192_LDO3,
AXP202_ON);
    axp.setPowerOutPut(AXP192_DCDC2,
AXP202_ON);
    axp.setPowerOutPut(AXP192_EXTEN,
AXP202_ON);
    axp.setPowerOutPut(AXP192_DCDC1,
AXP202_ON);
    GPS.begin(9600, SERIAL_8N1, 34,
12); //17-TX 18-RX
    //GPS
#ifdef __DEBUG__
    delay(100);
    Serial.println("Iniciando
pantalla OLED");
#endif
    WiFi.begin(ssid, pass);
    Serial.println(F("DHTxx test!"));

    dht.begin();

```

```

    // Iniciar pantalla OLED en la
    dirección 0x3C
    if
    (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC
    , 0x3C)) {
        #ifdef __DEBUG__
            Serial.println("No se
            encuentra la pantalla OLED");
        #endif
        while (true);
    }
    //
    DISPLAY _____
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(1);

    display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
    pantalla("¡Ejecutando el
    \nsistema de mediciones \n por favor
    espere", 10, 32);
    Serial.println("inicie pantalla");
    //
    DISPLAY _____
    //save data
    //
    if(!SPIFFS.begin(FORMAT_SPIFFS_IF_FA
    ILED)){
        // Serial.println("SPIFFS Mount
        Failed");
        // return;
        // }

    SPIFFS.begin(FORMAT_SPIFFS_IF_FAILED
    );
        //delay(6000);
        display.clearDisplay();
        //writeFile(SPIFFS, "/f.txt", "");
        //deleteFile(SPIFFS, "/2021-1-
        2.txt");
        //deleteFile(SPIFFS, "/2021-1-
        5.txt");

        Serial.println("inicie pantalla");
        delay(2000);
        pantalla("¡Ejecutando el sistema
        de mediciones por favor espere!!",
        10, 32);
    }

    String pm2="";
    String pm10="";

    float H,T,f;
    String hum, tem;
    String Fecha;

```

```

String Hora;

String datee;
char nombress[25];
char* formato2="%i/%i/%i, %s,%f,%f,
%i, %i, %.6f, %.6f,;";

struct pms5003data {
    uint16_t framelen;
    uint16_t pm10_standard,
pm25_standard, pm100_standard;
    uint16_t pm10_env, pm25_env,
pm100_env;
    uint16_t particles_03um,
particles_05um, particles_10um,
particles_25um, particles_50um,
particles_100um;
    uint16_t unused;
    uint16_t checksum;
};
struct pms5003data data;
String tablasLocales[60]={};
boolean comienzo= true;
int q=0;
boolean ll=false;
int wifi;

int timeStamp=millis();
void loop(){
    wifi=WiFi.status();
    while (WiFi.status() == WL_CONNECTED
    and timeStamp<=millis() and
    ll==false) {
        display.clearDisplay();
        pantalla("WIFI\n upload to
        dataBase",10,0);
        conn.close();
        if (conn.connect(server_addr,
        3306, user, password) ) {
            listDir(SPIFFS, "/", 0,"hola",
            true); //compara las tablas y crea
            las necesarias
            for(int w=0;w<q;w++){
                display.clearDisplay();
                //Serial.print("\for: "
                +tablasLocales[w]);
                //Serial.println("");
                int
                numRows=numRow(tablasLocales[w]);
                //Serial.print("moriirrrrr"
                +tablasLocales[w]);
                String name3=
                tablasLocales[w];
                name3.replace(".txt","");
                name3.replace("/","");

```

```

pantalla("archivo:"+name3,0,20);
    veTablas(name3, numRows);
    }
}
conn.close();
delay(10000);
Serial.println("reiniciar");
WiFi.begin(ssid, pass);
timeStamp=millis()+100000;
}
//listDir(SPIFFS, "/", 0,"hola",
true);

almacenamiento_de_medidas();
}
int pm25 =0, pm100=0;
void almacenamiento_de_medidas(){
    Serial.println("reiniciar");
    pmsSerial.begin(9600);
    pmsSerial.listen();
    while(!readPMSdata(&pmsSerial)){
        pm2=String(data.pm25_standard);

pm10=String(data.pm100_standard);
        pm100=data.pm25_standard;
        pm25=data.pm100_standard;
        //Serial.print(".");
    }
    pmsSerial.end();

H=dht.readHumidity();T=dht.readTempe
rature();f =
dht.readTemperature(true);
    if (isnan(H) || isnan(T) ||
isnan(f) ) {
        Serial.println(F("Failed to
read from DHT sensor!"));
        return;
    }
    smartDelay(500);
    hum= String(H)+"%RH"; tem=
String(T)+" °C";
    Serial.print(hum);
    if(gps.location.lat() !=0 and H
!=0 and pm25 < 1000 and pm100 <
1000){
        Fecha
=String(gps.date.year())+"-
"+String(gps.date.month())+"-
"+String(gps.date.day());
        String Fecha2
=String(gps.date.year())+"/"+String(
gps.date.month())+"/"+String(gps.dat
e.day());

```

```

        Hora= String(gps.time.hour()-
5)+" "+String(gps.time.minute())+" ":"
+String(gps.time.second());
        String
latitud=String(gps.location.lat(),5)
;
        String
longitud=String(gps.location.lng(),5
);
        String wifiStatus="Wifi";
        if (wifi == WL_CONNECTED){
            wifiStatus="Wifi";
        }else { wifiStatus="....";
            WiFi.begin(ssid, pass);}
        String vector[]={Fecha,
Hora+"\n", "H:"+hum+" %" ,
"T:"+tem+" C \n","PM2.5: "+ pm2+"
ug/m3 \n","PM10.0: "+pm10+" ug/m3
\n", "loc:"+latitud,
",""+longitud+"\n", "conteo:
"+String(c)+"\n ",wifiStatus};
        c++;
        Serial.println("----
"+String(WL_CONNECTED)+"----");
        display.clearDisplay();
        pantallavector(vector,9,0,0);
        //display.clearDisplay();
        datee = "/" +Fecha+".txt";
        datee.toCharArray(nombress,
25);

//Serial.println("transformado.....
.....");
        String informacion=
Fecha2+", "+Hora+", "+hum+", "+tem
+", "+
pm2+", "+pm10+", "+latitud+", "+longitu
d+", ";

Serial.println("Fecha:"+Fecha2+
Hora:"+ Hora);
        Serial.println("Humedad:"+hum+"
Temperatura:"+ tem);
        Serial.println("PM2.5: "+pm2
+"PM10.0: "+ pm10);
        Serial.println("localizacion:
"+latitud+", "+longitud);
        //Serial.println(informacion);
        //delay(4000);

writefile(nombress,informacion);
        //appendFile(SPIFFS, nombress,
informacion);
        Serial.println(retorno);
        retorno++;
    }else{

```

```

    pantalla("esperando GPS", 0,0);
    Serial.println("esperando
gps."+
String(gps.satellites.value())+" "+
String(gps.date.year() ) );
    smartDelay(5000);
    if (millis() > 5000 &&
gps.charsProcessed() < 10)
        Serial.println(F("No GPS
data received: check wiring"));
    }

}

static void smartDelay(unsigned long
ms){
    unsigned long start = millis();
    do {
        while (GPS.available())
            gps.encode(GPS.read());
    } while (millis() - start < ms);
}

boolean estado1=false;
void veTablas(String nameTable, int
numRows){
    if (conn.connect(server_addr,
3306, user, password) and
comienzo==true) {
        char query[55] = "show tables FROM
bg0ajs7w7p0xqozm0hek;";
        long head_count = 0;
        delay(2000);
        Serial.println("\n 2. Vetablas. \n
Running SELECT and printing
results");
        MySQL_Cursor *cur_mem = new
MySQL_Cursor(&conn);
        cur_mem->execute(query);
        column_names *cols = cur_mem-
>get_columns();
        for (int f = 0; f < cols-
>num_fields; f++) {
            Serial.print(cols->fields[f]-
>name);
            if (f < cols->num_fields-1) {
                Serial.print(", ");
            }
        }
        Serial.println();
        String tablas[60]={};
        int numT=0;
        // Read the rows and print them
        row_values *row = NULL;
        do {
            row = cur_mem->get_next_row();

```

```

        if (row != NULL) {
            String tabla= row->values[0];
            tablas[numT]=tabla;
            numT+=1;
        }
    } while (row != NULL);
    // Deleting the cursor also frees
up memory used
    delete cur_mem;
    estado1=false;
    for (int f = 0; f < numT; f++) {

        if (tablas[f]==nameTable){
            estado1=true;
            int
numRowDB=numRowsDB(tablas[f]);

            pantalla("local:"+String(numRows)+
"DB:"+String(numRowDB),0,30);

            Serial.println("igual::"+tablas[f]+"
==" +nameTable);

            Serial.println("DB:"+String(numRowDB
)+ " local:"+String(numRows));
            delay(2000);
            if (numRows>numRowDB){
                Serial.println("voy a
cargar la info a la BD");
                readFile(SPIFFS,nameTable,
numRowDB);
                //llamo cargar inofrmacion
a la base de datos
            }
        }else{
            //Serial.println("
"+tablas[f]+"::DIFERENTE
DE::"+nameTable);
        }
    }

    if(estado1!=true){
        Serial.println("es hora de
crear=====");
        createTable(nameTable);
        readFile(SPIFFS,nameTable,
0);
        Serial.println("no
existe");
        estado1=true;
    }
    else{
        Serial.println("la tabla ya
existe=====");
    }
}else{conn.close();}

```

```

}
void createTable(String nameTable){
    String insertar = "CREATE TABLE
IF NOT EXISTS
`bg0ajs7w7p0xqozm0hek`.`"+nameTable+
"` (`id` int(11) NOT NULL
AUTO_INCREMENT , `fecha` varchar(255)
COLLATE utf8_bin NOT NULL, `hora`
varchar(255) COLLATE utf8_bin NOT
NULL, `H` FLOAT NOT NULL, `T` FLOAT
NOT NULL, `PM2.5` int(11) NOT
NULL, `PM10.0` int(11) NOT NULL, `LAT`
FLOAT NOT NULL, `LONG` FLOAT NOT
NULL, PRIMARY KEY (`id`))
ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8
COLLATE=utf8_bin AUTO_INCREMENT=1
;";
    char INSERT_SQL[800];
    insertar.toCharArray(INSERT_SQL,
800);
    Serial.println("Recording data."+
String(INSERT_SQL));
    // Initiate the query class
instance
    MySQL_Cursor *cur_mem = new
MySQL_Cursor(&conn);
    // Execute the query
    cur_mem->execute(INSERT_SQL);
    // Note: since there are no
results, we do not need to read any
data
    // Deleting the cursor also frees
up memory used
    delete cur_mem;
}
int verAllDatos(String nametable){

    const char QUERY_POP[] = "count *
FROM bg0ajs7w7p0xqozm0hek.`2020-08-
15`;";
    char query[128];
    MySQL_Cursor *cur_mem = new
MySQL_Cursor(&conn);
    sprintf(query, QUERY_POP,
9000000);
    // Execute the query
    cur_mem->execute(query);
    column_names *cols = cur_mem-
>get_columns();
    for (int f = 0; f < cols-
>num_fields; f++) {
        Serial.print(cols->fields[f]-
>name);
        if (f < cols->num_fields-1)
{Serial.print(', '); }
    }
}

```

```

Serial.println();
row_values *row = NULL;
do { row = cur_mem-
>get_next_row();
    if (row != NULL) {
        for (int f = 0; f < cols-
>num_fields; f++) {
            Serial.print(row-
>values[f]);
            int valor= int(row-
>values[f]);
            return valor;
            if (f < cols->num_fields-1)
{
                Serial.print(', ');
            }
        }
        Serial.println();
    }
} while (row != NULL);
delete cur_mem;
}

void enviarDatos() {
    Serial.print("ingrese a qq
EXITOSA");
    delay(1000);
    MySQL_Cursor *cur_mem = new
MySQL_Cursor(&conn);
    delay(9000);

    Serial.println("Enviado.....
.....");
    float fecha = 10.3;
    float temperatura= 22.33;
    int chipid= 100;
    String casa= "casa";
    char buffer[10]=" ";
    //char INSERT_SQL[100]=" ";
    //char* formato = "INSERT INTO
`bg0ajs7w7p0xqozm0hek`.`tutorial`
(`chipid`, `fecha`, `temeperatura`)
VALUES ('%i', '%.2f', '%.2f')";

    //sprintf(INSERT_SQL, formato,
chipid, fecha, temperatura);

    String Fecha= "23/ss";
    String Hora = "13:12:11";
    float H= 52.2;
    float T=15.1;
    int pm20= 20;
    int pm100= 4;
    float latitud= 7.2;
    float longitud= -72.3;
    char* formato = "INSERT INTO
`bg0ajs7w7p0xqozm0hek`.`2020-12-08`

```

```

(`fecha`, `hora`, `H`, `T`, `PM2.5`,
`PM10.0`, `LAT`, `LONG`) VALUES
('%s', '%s', '%f', '%f', '%i', '%i',
'%.6f', '%.6f');";
    char* formato2="%s, %s,%f,%f,
%i, %i, %.6f, %.6f,;";
    char INSERT_SQL[500]=" ";
    sprintf(INSERT_SQL, formato2,
Fecha, Hora, H, T, pm20,
pm100,latitud, longitud);

Serial.println("transformado.....
.....");
    Serial.println(INSERT_SQL);
}
String query1;
int numRowsDB(String nameTable){
    query1 = "select count(*) FROM
bg0ajs7w7p0xqozm0hek.`"+nameTable+"`
";
    char query[800];
    query1.toCharArray(query, 800);
    long head_count = 0;
    MySQL_Cursor *cur_mem = new
MySQL_Cursor(&conn);
    cur_mem->execute(query);
    column_names *cols = cur_mem-
>get_columns();
    row_values *row = NULL;
    String tabla;
    do { row = cur_mem-
>get_next_row();
        if (row != NULL) {
            tabla= row->values[0];
        }
    } while (row != NULL);
    Serial.print("conteo");
    Serial.println(tabla.toInt());
    delete cur_mem;
    return(tabla.toInt());
}

```

```

boolean readPMSdata(Stream *s) {
    if (! s->available()) {
        return false;
    }
    if (s->peek() != 0x42) {
        s->read();
        return false;
    }
    // Now read all 32 bytes
    if (s->available() < 32) {
        return false;
    }
}

```

```

}
uint8_t buffer[32];
uint16_t sum = 0;
s->readBytes(buffer, 32);
// get checksum ready
for (uint8_t i=0; i<30; i++) {
    sum += buffer[i];
}
uint16_t buffer_ul6[15];
for (uint8_t i=0; i<15; i++) {
    buffer_ul6[i] = buffer[2 + i*2 +
1];
    buffer_ul6[i] += (buffer[2 +
i*2] << 8);
}
// put it into a nice struct :)
memcpy((void *)&data, (void
*)buffer_ul6, 30);
if (sum != data.checksum) {
    Serial.println("Checksum
failure");
    return false;
}
return true;
}

```

```

void pantalla(String texto, int
ubicacion1, int ubicacion2){
    display.setCursor(ubicacion1,
ubicacion2);
        display.println(texto);
        display.display();
}

```

```

void pantallavector(String texto[],
int len,int ubicacion1, int
ubicacion2){
    display.setCursor(ubicacion1,
ubicacion2);
    for (int i; i<=len;i++){
        display.print(texto[i]);
    }
    display.display(); }

```

```

void listDir(fs::FS &fs, const
char * dirname, uint8_t levels, char
nombre[20], boolean nucleo){
    delay(100);
    File root = fs.open(dirname);
    Serial.printf("1.Listdir Listing
directory: %s\r\n", dirname);
    q=0;
    if(!root){
        Serial.println("- failed to
open directory");
        return;
    }
}

```

```

    }
    if(!root.isDirectory()){
        Serial.println(" - not a
directory");
        return;
    }
    File file = root.openNextFile();

    while(file){
        if(file.isDirectory()){
            Serial.print("  DIR :
");
            Serial.println(file.name());
        } else {
            tablasLocales[q]=file.name();
            q++;
            Serial.print("  FILE1::
");
            Serial.print(file.name());
            Serial.print("\tSIZE:
");
            Serial.println(file.size());
            //readFile(SPIFFS,file.name());
        }
        file = root.openNextFile();
        file.close();
    }
    String solo="";
    int numRows(String path){
        int i=0;
        File f = SPIFFS.open(path, "r");
        if (!f) {
            Serial.println("Fallo apertura
de archivo");
            return (0);
        }
        else{
            while(f.available() and
f.readStringUntil('\n') !="ds"){
                //solo=f.readStringUntil('\n');
                //solo="";
                i++;
            }
            Serial.println("numRows "+
String(i));
        }
        f.close();
        return(i);
    }
}

```

```

void writefile(String path, String
texto){
    File file = SPIFFS.open(path,
"a+");
    if (!file) {
        Serial.println("Fallo apertura
de archivo");
        return;
    }
    file.println(texto);
    file.close();
}

void deleteFile(fs::FS &fs, const
char * path){
    Serial.printf("Deleting file:
%s\r\n", path);
    if(fs.remove(path)){
        Serial.println("- file
deleted");
    } else {
        Serial.println("- delete
failed");
    }
}

String s;
String str2[8];
String s1;
void readFile(fs::FS &fs, String
path, int num){
    String path1=path;
    path="/"+ path +".txt";
    Serial.println("newPatch:"+path);
    File file = SPIFFS.open(path);
    if (!file) {
        Serial.println("Fallo apertura de
archivo");
        return;
    }
    else{
        Serial.println("==== Leyendo
del archivo SPIFFS =====");
        // write 10 strings to file
        int i=0;
        while(file.available()){
            i++;
            if(i>num){
                s=file.readStringUntil('\n');
                Serial.print(i);
                Serial.print(":");
                Serial.println(s);
                int z=0;
                while (z<= 8){
                    int index1 =
s.indexOf(separator3);
                    str2[z]=s.substring(0,
index1);

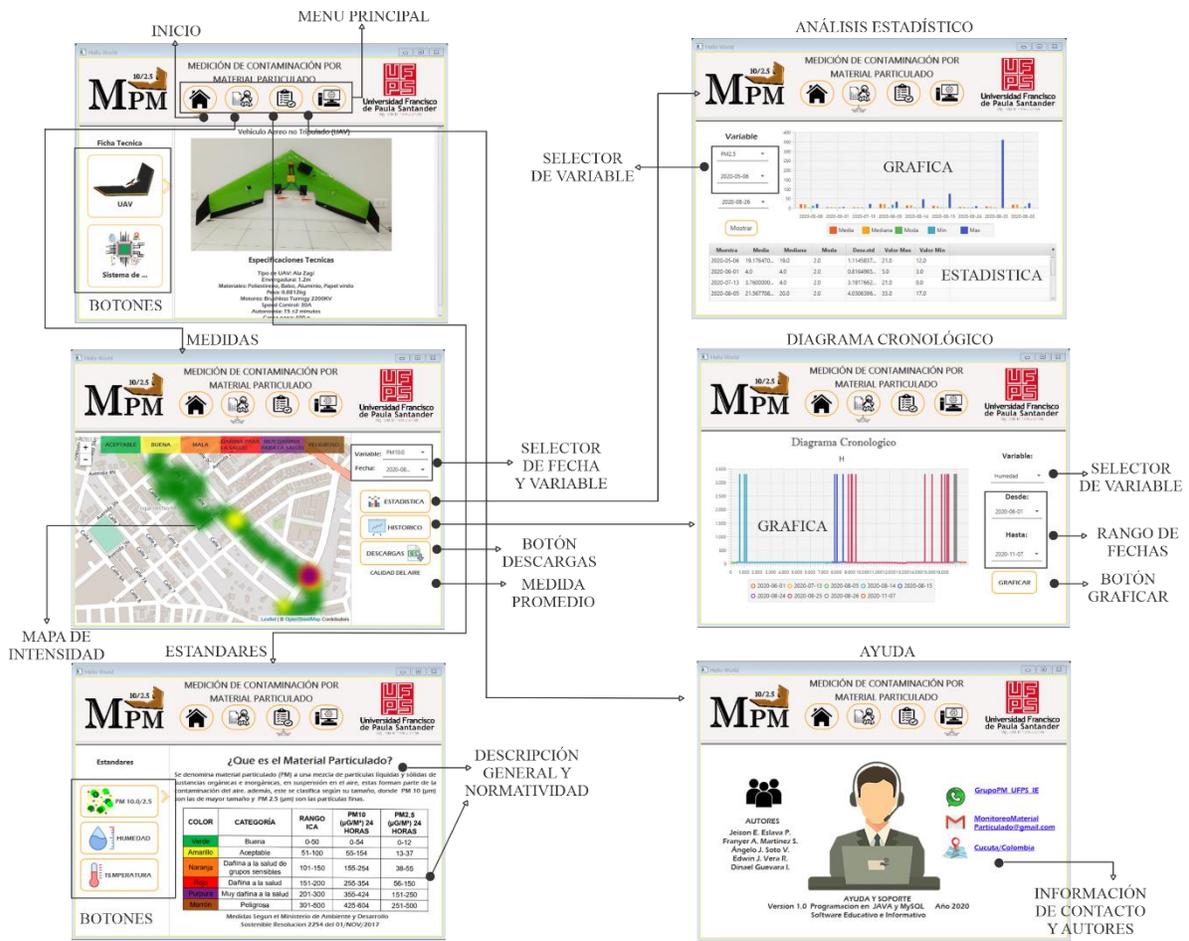
```

```

        s = s.substring(index1 +
1);
        z++;
    }
    transform(path1, str2);
} else {
s1=file.readStringUntil('\n');}
}
}
}
int contador=0;
void transform(String patch,String
vector[8]){
    vector[0].replace("/", "-");
    String fechaft = vector[0];
    float Ht=vector[2].toFloat();
    float Tt=vector[3].toFloat();
    int pmt2=vector[4].toInt();
    int pmt10=vector[5].toInt();
    float latt=vector[6].toFloat();
    float longt=vector[7].toFloat();
    char* formato = "INSERT INTO
`bg0ajs7w7p0xqozm0hek`.`%s`
(`fecha`, `hora`, `H`, `T`, `PM2.5`,
`PM10.0`, `LAT`, `LONG`) VALUES
('%s', '%s', '%f', '%f', '%i', '%i',
'%.6f', '%.6f');";
    char* formato2="%s,%s, %s,%f,%f,
%i, %i, %.6f, %.6f;";
    char INSERT_SQL[800]=" ";
    sprintf(INSERT_SQL, formato,
patch, fechaft, vector[1], Ht, Tt,
pmt2, pmt10, latt, longt);
    Serial.println("Connecting..." +
String(WiFi.status()));
    MySQL_Cursor *cur_mem = new
MySQL_Cursor(&conn);
    cur_mem->execute(INSERT_SQL);
    Serial.println(INSERT_SQL);
}

```

Anexo 11. Mapa de navegación de la interfaz gráfica.



## Anexo 12. Informe de calidad del aire.

### Informe de caracterización de la Calidad del aire en el establecimiento lago Park

J. E Eslava Pedraza<sup>1,2</sup>, F, A, Martinez Sarmiento<sup>1,3</sup>

1-Universidad Francisco de Paula Santander

2-jeisoneduardoep@ufps.edu.co, 3-franyeradrianmz@ufps.edu.co.

#### Introducción

El siguiente informe presenta el estado de la calidad del aire mediante los resultados obtenidos durante el proceso de monitoreo haciendo uso de un prototipo de mediciones anclado a un vehículo aéreo no tripulado, procedimiento que fue desarrollado durante cuatro días de sensado mediante recorridos realizados en horas de la mañana y de la tarde sobre el área del establecimiento comercial. Además, se describe de forma simplificada las características y funcionamiento del mismo y finalmente los resultados mediante los promedios de las mediciones diarias de los contaminantes de material particulado PM10.0 y PM2.5 y su respectiva caracterización.

#### Sistema de Mediciones

La Figura 1 da una ilustración de los componentes incorporados en el dispositivo de mediciones compuesto por una tarjeta de control LILYGO® TTGO T-Beam V1.1 ESP32 conectado a dos sensores el primero es el sensor de material particulado PMS50003 el cual permite medir las concentraciones de partículas suspendidas en el aire en medidas de  $2,5 \mu m - 10,0 \mu m$  además de un sensor para la lectura de la temperatura y la humedad del aire con resolución de  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $0,1\%$  RH e incorpora un módulo de ubicación satelital para almacenar sus coordenadas de localización y una pantalla OLED para la verificación de funcionamiento.

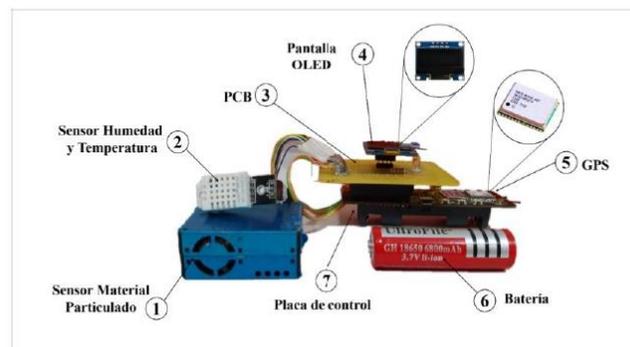


Figura 1. Sistema de mediciones

La Figura 2 presentan el fuselaje y vehículo empelado para la realización de los vuelos; siendo este un UAV tipo ala Zagi de 1.2 metros de envergadura contando con las características descritas en la Tabla 1, acondicionado para el acople del sistema de mediciones en su fuselaje.



Figura 2 UAV y fuselaje incorporado

Tabla 1. Especificaciones técnicas del UAV

Características	Especificaciones
Tipo de UAV	Ala Zagi
Envergadura	1.2 m
Materiales	Poliestireno, Balsa, Aluminio, Papel vinilo
Peso del UAV	1.41 kg
Peso carga paga	166 g
Peso total UAV-Carga Paga	1.58 Kg
Motores	Brushless Turnigy 2200KV
Speed Control	50A
Autonomía	16 ±2 minutos

### Metodología

Se desarrolla el sensado durante los días 13, 14, 20, 21 del mes de febrero, realizado dos recorridos diarios a fin de obtener un promedio de la calidad del aire por día donde el UAV y el sistema de mediciones serán inicializados y una vez esté en marcha la adquisición de medidas el vehículo realiza el recorrido por el establecimiento a fin de obtener la data correspondiente a las mediciones para así generar mapas de la calidad del aire según la normativa vigente, y presentar un promedio de

la contaminación por material particulado en el área analizada.

## Resultados

La Tabla 2 presenta un resumen general de la cantidad de mediciones y promedios obtenidos por los contaminantes

Tabla 2. Promedio de mediciones de calidad del aire

	H (% RH)	T (°C)	PM2 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM10.0 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cantidad de Datos
Día 1	50.179	35.286	29.008	31.205	1627
Día 2	65.224	30.355	29.457	33.805	1776
Día 3	46.387	35.619	28.538	30.711	1568
Día 4	68.355	29.943	31.649	35.612	1599

El proceso de caracterización da como resultado los mapas de intensidad que permiten detallar la contaminación obtenida por material particulado en sus dos medidas principales. Estos mapas representan los recorridos obtenidos y a su vez se visualizan mediante una gama de colores que identifica el rango y la categoría en donde se encuentran las mediciones obtenidas, sustentado en la normativa presente en la resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017 cómo se observa en la Tabla 3 la cual presenta los puntos de corte de los índices de calidad del aire para los contaminantes en cuestión.

Tabla 3. Índices de calidad del aire

Categoría	Color	Rangos	
		PM10.0 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Buena	Verde	0 - 54	0 - 12
Aceptable	Amarillo	55 - 154	13-37
Dañina a la salud de grupos sensibles	Naranja	155 - 254	38 - 55
Dañina a la salud	Rojo	255 - 354	56 - 150
Muy dañina a la salud	Púrpura	355 - 424	151 - 250
Peligrosa	Marrón	425 - 604	251 - 500

La Figura 3 presenta los cuatro mapas de intensidad de los días de sensado para el contaminante PM2.5 donde se observa que en algunos puntos específicos de los vuelos realizados se evidencia contaminación clasificada en color amarillo, naranja y muy pocos puntos de color rojo obtenido como promedio de medida una clasificación ACEPTABLE y CUMPLE con el límite permisible de  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , contemplado en el artículo 2 de la Resolución 2254 de 2017 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible.

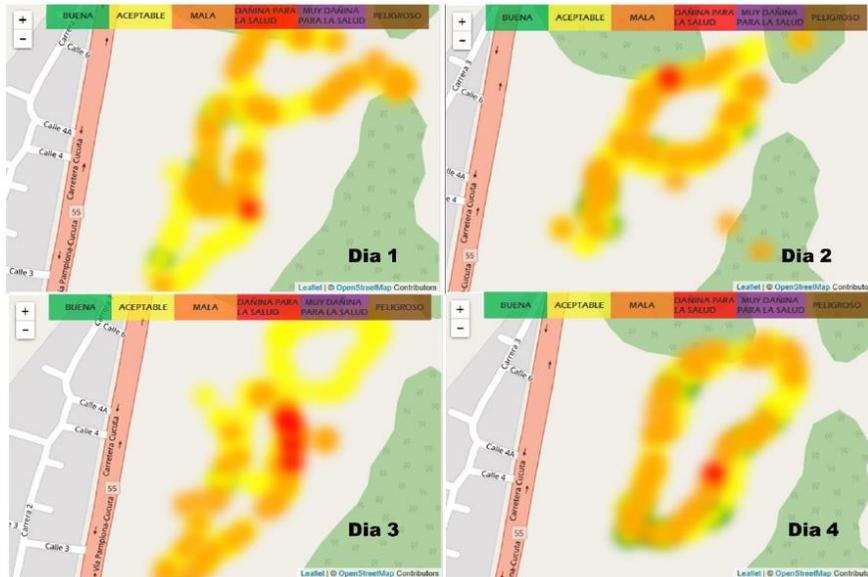


Figura 3. Caracterización mediante mapas de intensidad del contaminante PM2.5

La Figura 4 presenta los cuatro mapas de intensidad para el contaminante PM10.0 donde se observa contaminación clasificada en color verde y muy pocos puntos de color amarillo obtenido como promedio de medida una clasificación BUENA y CUMPLE con el límite permisible de  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  contemplado en la normativa vigente.



Figura 4. Caracterización mediante mapas de intensidad del contaminante PM10.0

### Conclusiones

De acuerdo a los promedios obtenidos y los mapas de los índices de contaminación las concentraciones del Material Particulado PM10 correspondientes a los niveles máximos permisibles de contaminante criterio de  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por día de tiempo de exposición arrojan una clasificación BUENA para los cuatro días analizados por otro lado en los niveles de contaminación por PM2.5 se encuentra en la clasificación ACEPTABLE cumpliendo así el establecimiento con normativa presente en la resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible

**Anexo 13.** Certificados de la ponencia en la VI Semana de Ciencia y Tecnología.



### IV SIMPOSIO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y DESARROLLO SOSTENIBLE



El programa de Ingeniería Electromecánica y el Grupo de Investigación y Desarrollo en Energía certifica a:

## FRANYER ADRIAN MARTINEZ SARMIENTO

Por haber participado como **PONENTE** en el "IV Simposio de Investigación en Ingeniería y Desarrollo Sostenible", realizado del 04 a 07 de Junio de 2019, con el tema: **CARACTERIZACIÓN DEL EMPUJE DEL MOTOR BRUSHLESS PARA EL USO EN UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV) MODELO ALA ZAGI.**

 <hr style="border: 1px solid black;"/>	 <hr style="border: 1px solid black;"/>	 <hr style="border: 1px solid black;"/>
<b>PEDRO PATIÑO</b> Director Programa Ingeniería Electromecánica UFPS	<b>GLORIA SANDOVAL</b> Directora Grupo de Investigación y Desarrollo en Energía "GIDEN"	<b>JESÚS ORDOÑEZ</b> Director Semillero de investigación en Energía Solar "SOLARIS"





### IV SIMPOSIO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y DESARROLLO SOSTENIBLE



El programa de Ingeniería Electromecánica y el Grupo de Investigación y Desarrollo en Energía certifica a:

## JEISON EDUARDO ESLAVA PEDRAZA

Por haber participado como **PONENTE** en el "IV Simposio de Investigación en Ingeniería y Desarrollo Sostenible", realizado del 04 a 07 de Junio de 2019, con el tema: **CARACTERIZACIÓN DEL EMPUJE DEL MOTOR BRUSHLESS PARA EL USO EN UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV) MODELO ALA ZAGI.**

 <hr style="border: 1px solid black;"/>	 <hr style="border: 1px solid black;"/>	 <hr style="border: 1px solid black;"/>
<b>PEDRO PATIÑO</b> Director Programa Ingeniería Electromecánica UFPS	<b>GLORIA SANDOVAL</b> Directora Grupo de Investigación y Desarrollo en Energía "GIDEN"	<b>JESÚS ORDOÑEZ</b> Director Semillero de investigación en Energía Solar "SOLARIS"



**Anexo 14.** Certificados de la ponencia en la VI Semana de Ciencia y Tecnología.



**LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
CÚCUTA Y SECCIONAL OCAÑA**

**CERTIFICA QUE:**

**FRANYER ADRIÁN MARTÍNEZ SARMIENTO  
C.C. 1090507961**

Participó como **PONENTE** en modalidad **Póster** en el evento **VI SEMANA INTERNACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN** que se desarrolló del 19 al 22 de noviembre del año 2019 en San José de Cúcuta, Norte de Santander Colombia, con el tema "Diseño de un sistema de medición de material particulado mediante un vehículo aéreo no tripulado".

*Juan Piero Rojas S.*  
VICERECTOR ASISTENTE DE INVESTIGACIÓN  
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

*Terecema Velásquez Pérez*  
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN  
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA



**LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
CÚCUTA Y SECCIONAL OCAÑA**

**CERTIFICA QUE:**

**JEISON EDUARDO ESLAVA PEDRAZA  
C.C. 1090518792**

Participó como **PONENTE** en modalidad **Póster** en el evento **VI SEMANA INTERNACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN** que se desarrolló del 19 al 22 de noviembre del año 2019 en San José de Cúcuta, Norte de Santander Colombia, con el tema "Diseño de un sistema de medición de material particulado mediante un vehículo aéreo no tripulado".

*Juan Piero Rojas S.*  
VICERECTOR ASISTENTE DE INVESTIGACIÓN  
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

*Terecema Velásquez Pérez*  
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN  
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

**Anexo 15.** Certificados de la ponencia de la 7th International Week of Science, Technology And Innovation.

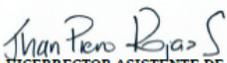


**LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
CÚCUTA Y SECCIONAL OCAÑA**

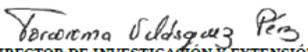
**CERTIFICA QUE:**

**Franyer Adrian Martinez Sarmiento**  
C.C. 1090507961

Participó como **PONENTE** en modalidad **PÓSTER** en el evento **7th INTERNATIONAL WEEK OF SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION** que se desarrolló del 06 al 09 de octubre del año 2020 en San José de Cúcuta, Norte de Santander Colombia, con el tema "MEDICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN ZONAS URBANAS PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE MEDIANTE SISTEMAS EMBEBIDOS".



**Juan Pardo S.**  
VICERRECTOR ASISTENTE DE  
INVESTIGACIÓN  
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA



**Doracema Velásquez Pardo**  
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN  
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA  
SANTANDER OCAÑA

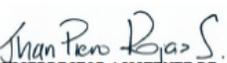


**LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
CÚCUTA Y SECCIONAL OCAÑA**

**CERTIFICA QUE:**

**Jeison Eduardo Eslava Pedraza**  
C.C. 1090518792

Participó como **PONENTE** en modalidad **PÓSTER** en el evento **7th INTERNATIONAL WEEK OF SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION** que se desarrolló del 06 al 09 de octubre del año 2020 en San José de Cúcuta, Norte de Santander Colombia, con el tema "MEDICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN ZONAS URBANAS PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE MEDIANTE SISTEMAS EMBEBIDOS".



**Juan Pardo S.**  
VICERRECTOR ASISTENTE DE  
INVESTIGACIÓN  
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA



**Doracema Velásquez Pardo**  
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN  
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA  
SANTANDER OCAÑA

## Anexo 16. Carta de Aceptación por parte de la revista AIBI.



### El Suscrito Editor de Aibi

### *Revista de Investigación, Administración e Ingenierías*

#### Hace Constar:

Que, Jeison Eduardo Eslava Pedraza, sometió un artículo de investigación titulado: “Diseño de un sistema de medición de material particulado mediante un vehículo aéreo no tripulado.”, el mismo fue aceptado y será publicado en el Volumen Especial del año 2020 en Aibi, revista de investigación, administración e ingeniería, publicación científica internacional de periodicidad semestral, con ISSN N° 2346-030X, editada en formato electrónico, e indexada en: [1] Revista Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico – Redib; [2] Red Latinoamericana de Revistas Académicas en Ciencias Sociales y Humanidades – Latin–Rev; [3] Bieleld Academic Search Engine – Base; [4] Revistas Científicas Colombianas Especializadas – Publindex en Categoría “B”; para difundir el conocimiento científico en las áreas de Ingeniería y Tecnología, especialmente en ingeniería Eléctrica, Electrónica e Informática, Ingeniería Ambiental, y otras Ingenierías y Tecnologías y en el área de Ciencias Sociales específicamente en Economía y Negocios y Ciencias de la Educación. Los manuscritos sometidos a la revista deben ser productos de investigación, de revisión o reflexión que pueden ser postulados en idioma español o inglés, para su arbitraje.

Expedida en San José de Cúcuta el 7 de diciembre de 2020 a solicitud del interesado.

Atentamente,



Zulmary Carolina Nieto Sánchez  
Editora Revista AIBI  
Avenida 4 108-61. Urbanización El Bosque  
Cúcuta, Norte de Santander  
+57 (7) 579 10 08 Ext. 225  
editor\_aibi@ucuta.udes.edu.co  
www.udes.edu.co

# Anexo 17. Correo de Aceptación por parte de la revista de Investigación e Innovación en Ingenierías.

29/3/2021

Correo de Universidad Francisco de Paula Santander - [Investigación e Innovación en Ingenierías] Decisión del editor/a



JEISON EDUARDO ESLAVA PEDRAZA <jeisoneduardoep@ufps.edu.co>

---

## [Investigación e Innovación en Ingenierías] Decisión del editor/a

1 mensaje

---

psanchez <unisimonojs@server.openjournalsystems.com>

26 de marzo de 2021, 14:58

Para: Jeison Eduardo Eslava Pedraza <jeisoneduardoep@ufps.edu.co>

Jeison Eduardo Eslava Pedraza:

Tomamos una decisión sobre su envío a Investigación e Innovación en Ingenierías, "Vehículos aéreos no tripulados como alternativa de solución a los retos de innovación en diferentes campos de aplicación: una revisión de la literatura".

Nuestra decisión es: Aceptado para publicación

psanchez  
Universidad Simón Bolívar  
[revingeneria@unisimonbolivar.edu.co](mailto:revingeneria@unisimonbolivar.edu.co)

**Anexo 18.** Recibido del informe por parte del encargado del establecimiento Lago Park.

San José de Cúcuta, 28 de Marzo de 2021

Señor

**SAID TRILLOS**

Gerente/Administrador de LAGO PARK

E-mail: [lagopark@gmail.com](mailto:lagopark@gmail.com)

**Asunto:** Entrega de informe de calidad de aire

Cordial saludo,

En calidad de estudiantes del programa de ingeniería electrónica de la universidad Francisco de Paula Santander, me dirijo a usted de manera respetuosa con la finalidad de presentarle los resultados obtenidos del proceso de caracterización de la calidad del aire mediante un INFORME, proceso que se realizó en el establecimiento comercial LAGO PARK ubicado en el kilómetro 15, los Vados, Patios, Norte de Santander.

Gracias por la atención prestada.

Atentamente,

*Franyer A. Martinez.*

Franyer Adrian Martinez Sarmiento  
Correo: [franyeradrianms@ufps.edu.co](mailto:franyeradrianms@ufps.edu.co)

*Jeison Eslava.*

Jeison Eduardo Eslava Pedraza  
Correo: [jeisoneduardoep@ufps.edu.co](mailto:jeisoneduardoep@ufps.edu.co)

Firma de Recibido:

CC: 13467569  
*Cúcuta*

Fecha: 28-3-21