

**Desarrollo de un prototipo para la medición de calidad del aire en la universidad de sucre
empleando tecnología de vehículos aéreos no tripulados.**

**Trabajo de grado modalidad proyecto de investigación para optar al Título de
Tecnólogo en electrónica industrial**

**Autor.
Andres Felipe Arrieta Gómez**

**Director.
MSc. José Antonio Araque Gallardo**

**Universidad de Sucre
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Electrónica
Programa de Tecnología en Electrónica Industrial
Sincelejo – Sucre
2019**

**Desarrollo de un prototipo para la medición de calidad del aire en la universidad de sucre
empleando tecnología de vehículos aéreos no tripulados.**

**Trabajo de grado modalidad proyecto de investigación para optar al Título de
Tecnólogo en electrónica industrial**

Autor.

Andres Felipe Arrieta Gómez

Director.

MSc. José Antonio Araque Gallardo

**Universidad de Sucre
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Electrónica
Programa de Tecnología en Electrónica Industrial
Sincelejo – Sucre
2019**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que creyeron en este proyecto el cual fueron de muy gran apoyo, a mi familia en general, a mi madre Sofia Gómez, la cual fue de mucho apoyo, tanto en el aspecto económico, como en lo emocional, lo cual fue mi importante para llegar al objetivo planteado durante el trabajo presentado.

Igualmente agradezco al estudiante Andres Várelo Silgado, un gran amigo el cual estimo mucho siempre estuvo al tanto del proyecto como tal y pudo aportar conocimientos a la realización de este proyecto.

Finalmente, agradezco al ingeniero José Araque Gallardo, por aportar sus conocimientos en el desarrollo del presente, con el fin de llegar al objetivo deseado.

RESUMEN.

El presente trabajo muestra como mediante el desarrollo de un prototipo de medición de calidad del aire se conocen los niveles de concentración de CO₂ empleando tecnología de vehículos aéreos no tripulados, instrumentación basada en sistemas embebidos y comunicación de datos inalámbrica. En este documento se establece el estado del arte y los fundamentos teóricos necesarios para el desarrollo del proyecto, el proceso de diseño y puesta en funcionamiento del sistema, así como la aplicación del sistema en el campus puerta roja de la Universidad de Sucre.

El trabajo está organizado de la siguiente manera: En el capítulo 1 se muestra el estado del arte en el cual se puede encontrar los resultados a la revisión bibliográfica, en cuanto a el monitoreo de calidad del aire mediante drones, dispositivos diseñados para medir la calidad del aire en tiempo real, y proyectos hechos a nivel mundial con respecto a este tema, para en el capítulo 2, se menciona el marco teórico donde se conoce la problemática de la contaminación del aire, la evolución de contaminación al pasar de los años y así los factores contaminantes del aire, aparte se explica la clasificación y composición de los vehículos aéreos no tripulados, en el capítulo 3, se menciona el diseño e implementación del sistema para el monitoreo de la calidad del aire en la universidad de Sucre y por último en el capítulo 4 se muestran los resultados del trabajo realizado, conforme a saber en estado de la calidad del aire en el campus puerta roja de a Universidad de Sucre

Palabras claves. Sensores, radiofrecuencia, drone, autonomía de vuelo, calidad del aire, estudios de monitoreo.

Abstract

The present work deals with the development of a prototype air quality measurement system through the concentration level of CO₂ using unmanned aerial vehicle technology, embedded system instrumentation and wireless data communication. This document establishes the state of the art and the theoretical foundations necessary for the development of the project, the process of design and implementation of the system, as well as the application of the system in the campus red door of the University of Sucre. The work is organized as follows: Chapter 1 shows the state of the art in which you can find the results of the bibliographic review, in terms of drones air quality monitoring, devices designed to measure air quality in real time, and projects made to world level with respect to this topic, for in chapter 2, the theoretical framework is mentioned where it is known e the problem of air pollution, the evolution of pollution over the years and thus air pollutants, apart from the classification and composition of unmanned aerial vehicles, chapter 3 mentions the design and implementation of the system for air quality monitoring at the University of Sucre and finally in chapter 4 the results of the work carried out are shown, according to the state of the air quality on the campus red door of the University of Sucre

Keywords. Sensors, radio frequency, drone, flight autonomy, air quality, monitoring studies.

CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.	iv
CONTENIDOS.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.	ix
INTRODUCCION.	10
OBJETIVOS.....	11
2.0 METODOLOGIA.	12
3.0 ESTADO DEL ARTE.....	13
3.1 Monitoreo de calidad del aire mediante drones.	13
3.2. Airdronitor.....	13
3.3 El proyecto qAIRA.....	13
3.4 Monitoreo de la calidad del aire en América Latina.....	14
3.4.1 Ciudades con alta capacidad de monitoreo de calidad del aire en América Latina.....	14
3.5 Monitoreo de calidad del aire en Colombia.....	15
3.5.1 Calidad del aire en el valle de aburra Antioquia – Colombia.....	15
4.0 MARCO TEORICO.....	16
4.1 Problemática de la contaminación atmosférica.....	16
4.2 Historia de la contaminación del aire.....	16
4.3 Calidad del aire.....	16
4.4 Fuentes contaminantes del aire.....	17
4.4.1 Factores naturales.....	18
4.4.2 Factores generados por el hombre.....	18
4.5 Dióxido de carbono.....	18
4.6 Efecto invernadero.....	19
4.7 Sensores para monitoreo de calidad del aire.....	19
4.8 Sensor MQ 135 para calidad del aire.....	20
4.9 Métodos de monitoreo de calidad del aire.....	21
4.9.1 Métodos pasivos.....	21
4.9.2 Métodos activos.....	21
4.9.3 Métodos automáticos.....	21
5.0 VEHICULOS AEREOS NO TRIPULADOS.....	23
5.1 Clasificación.....	23
5.2 UAVs de Ala fija.....	24
5.3 UAVs de Ala rotatoria.....	25
5.4 Quadcopter.....	27
5.5 Estructura de una aeronave no tripulada tipo DRONE.....	28
5.5.1 Electrónica de vuelo.....	28
5.5.2 Partes que conforman un vehículo aéreo no tripulado.....	28
5.5.3 Marco (o <i>Frame</i>):.....	28
5.5.4 Controladora de vuelo.....	29
5.5.5 ESCs (variador de velocidad).....	29
5.5.6 GPS.....	30

	vii
5.5.7 Motores.....	31
5.5.8 Emisora y Receptora RC.....	32
5.5.8.2 Canales de la emisora:.....	33
5.5.9 Batería.....	34
5.5.9.1 Batería: Tensión nominal celdas.....	35
5.5.9.2 Batería: Capacidad o “mAh”.....	35
6.0 DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA AEREONAVE PARA LA MEDICION DE CALIDAD DEL AIRE.....	36
7.0 RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	43
8.0 CONCLUSIONES.....	49
9.0 RECOMENDACIONES.....	50
10.0 TRABAJOS FUTUROS.....	51
REFERENCIAS.....	52
ANEXOS.....	54
A. Código usado en la tarjeta electrónica encargada de medir los datos y transmitir a el nodo receptor.....	54
B. HC-12 Wireless Serial Port Communication Module.....	56

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Componentes del Aire seco.....	16
Tabla 2. Componentes de Aire limpio	17
Tabla 3: Ventajas y desventajas de los métodos de monitoreo.	22
Tabla 4: primera clasificación de las UAS en función de su alcance, altitud, autonomía y MTOW	23
Tabla 5 insumos usados para el sistema de medición de calidad del aire.	36
Tabla 6: Datos medidos.	43

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1: Esquemas de depuración de aire contaminate.	17
Figura 2: Diagrama esquemático del sensor de polvo Sharp GPY2Y1010	20
Figura 3: Circuito de muestra para operar un sensor de gas parallax 60500008 ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 5: Sensor de gas MQ 135	21
Figura 6: Lado izquierdo, el Shadow 200(rq-7b), y lado derecho, el Rustom-1	25
Figura 7: Lado izquierdo, el X-47B, y lado derecho, el X-47 ^a	25
Figura 8: Lado izquierdo, el Elbit Skylark 1, y Lado derecho, el LAI Heron.....	25
Figura 9: Lado izquierdo, el Global Hawk, y el Lado derecho, el Proteus	25
Figura 10: El black Hornet nano.....	26
Figura 11: Un modelo de UAV tipo autogiro desarrollado por FUVEX	27
Figura 12: Lado izquierdo, el girodino QH 50 DASH, y lado derecho, las configuraciones más habituales para los rotores en UAVs tipo helicóptero multirrotores	27
Figura 13: Frame de seis ejes.....	28
Figura 14: Controladora APM 2.6	29
Figura 15: Variador de velocidad (ESC 30A)	30
Figura 16: GPS externo con brújula interna	31
Figura 17: Motor brushless 1000kv	32
Figura 18: Radiolink AT9S	33
Figura 19: Canales principales de Emisora rc	34
Figura 20: Distintas baterías Lipo con capacidades de 5000mAh, 4000mAh, 2200mAh y 850 mAh	34
Figura 21: Frame F450.....	37
Figura 22: Diagrama de posición para los ESC en la controladora APM 2.6	37
Figura 23: Diagrama esquemático sistema de obtención de datos de calidad del aire.	39
Figura 24: diagrama esquemático del nodo receptor de datos obtenidos sobre la medición de la calidad del aire	39
Figura 25: Diagrama de circuito impreso de la tarjeta de medición de datos para la calidad del aire.	40
Figura 26: parte superior de la tarjeta electrónica diseñada para la medición de calidad del aire.40	
Figura 27: parte inferior de la tarjeta electrónica diseñada para la medición de calidad del aire..41	
Figura 28: Diagrama de circuito impreso para la tarjeta electrónica receptora de los datos medidos de calidad del aire.....	41
Figura 29: Tarjeta electrónica usada para la recepción de los datos medidos con respecto la calidad del aire	42
Figura 30: aeronave no tripulada con sistema para la medición y monitoreo de calidad del aire .42	
Figura 31: Grafica de cantidad de PPM CO2 medidos en las horas de la Mañana	45
Figura 32: Grafica de cantidad de PPM CO2 medidos al mediodía	46
Figura 33: Grafica de cantidad de PPM CO2 medidos en las horas de la tarde	47
Figura 34: Niveles de aumento de CO2 en el mundo al pasar de los años	48

INTRODUCCION.

Conocer la calidad del aire y saber qué tipo de aire se respira para la humanidad hoy día es esencial, ya que la contaminación que se presenta en partes del mundo es deplorable, todo esto ha llevado a que se hayan realizado estudios exhaustivos para conocer todos estos contaminantes que están causando daño en la atmosfera como tal y cual de estos le causa riesgo a la humanidad.

Los avances tecnológicos han sido pieza fundamental, en cuando a estos desarrollos ya que se han creados sitios o estaciones las cuales su acción fundamental es el monitoreo de la contaminación en determinados lugares, de esa forma precisar, que partículas son las más nocivas para el ser humano, estudios han revelado que un gas contaminante y nocivo para las personas es el Dióxido de carbono(CO₂), ya que los daños de este gas contaminante son irreversibles ,según la investigadora de la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*. Susan Salomón, la eliminación de ese gas contaminante de la atmósfera de forma inmediata no ayudaría a remediar la actual situación.

Para que el planeta recupere las temperaturas normales pasarán al menos mil años, pues estas se mantendrán durante mucho tiempo en los mares, señaló Salomón en su estudio. Añadió que es falsa la presunción de que el cambio climático plantea riesgos menores y que los cambios podrían revertirse en unas pocas décadas, menciona que “Los cambios climáticos son irreversibles, debido a que las emisiones de dióxido de carbono ya están ocurriendo” (Diario el pais noticias sociedad, 2009)

Según el sitio CO₂ Earth.daily.com los valores de CO₂ medidos en ppm(partículas por millón)en el mundo está oscilando entre los 400 a 420 ppm de CO₂ e el mundo, cabe resaltar que los valores de este en aire limpio los cuales son normales para las personas según la OMM(organización mundial meteorológica) están alrededor de los 360 ppm de CO₂, se puede ver claramente el leve aumento de lo que se pronuncia actualmente en el aire que se respira, que la contaminación aumenta con respecto a este gas de efecto invernadero. (McGee, 2007)

El ser humano se ha expresado con respecto a este tema en general ya que procura su bienestar físico, y han se ha determinado formas de monitorear la contaminación por la cual está sufriendo el planeta una de estas formas que se ha implementado y apoyado es el uso de la tecnología de UAVs la cual ha permitido realizar diversas tareas de forma más práctica y económica. Donde se puede hacer un monitoreo panorámico del estado atmosférico y del estado del aire.

OBJETIVOS

- **GENERAL:** Obtener una medida aproximada de la calidad del aire en el campus puerta roja de la universidad de Sucre usando tecnología de vehículos aéreos no tripulados (UAV) e instrumentación de bajo costo.
- **ESPECÍFICOS:**

Documentar el estado del arte de los sistemas de instrumentación para medición de calidad de aire y de las plataformas UAV.

Construir el UAV a partir de dispositivos y sistemas comerciales.

Diseñar e implementar la instrumentación del sistema e integrar al el UAV

Desarrollar el análisis básico de datos para la estimación de calidad del aire.

2.0 METODOLOGIA.

El Proyecto se realizó en las siguientes fases: Se inició con una revisión bibliográfica y estado del arte referente a los UAV y a la instrumentación para medición de calidad del aire. Posteriormente se dimensionó e implementó el prototipo del vehículo aéreo partiendo de dispositivos y sistemas comerciales, además se efectuaron pruebas de vuelo para verificar su correcta operación. A continuación, se desarrolló la instrumentación de estimación de calidad de aire aproximada y se realizaron pruebas estacionarias de la misma para posteriormente integrar al UAV. Por último, se determinó la trayectoria de vuelo y se adquirieron los datos para conocer el estado del aire en la Universidad de Sucre.

3.0 ESTADO DEL ARTE

3.1 Monitoreo de calidad del aire mediante drones.

Desde hace años el control de la calidad del aire se ha convertido en un objetivo de suma importancia para las administraciones debido a los efectos dañinos sobre la salud que provocan los contaminantes en la atmósfera.

Para controlar dicha calidad del aire, tradicionalmente, se embarcaban los instrumentos de medición en aviones o globos, además de recabar datos de la instalación en superficie de una red de toma de datos. Con el desarrollo del BigData, podemos obtener “mapas de calidad del aire” con mayor precisión que nunca al combinar los datos recogidos de múltiples fuentes y monitorizarlos en tiempo real.

El control de la calidad del aire usando drones se realiza con la instalación en estos de los instrumentos de medida de la contaminación atmosférica requeridos en cada tipo de observación que se pretenda llevar a cabo. Uno de los principales atractivos de las RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) es su inmediatez de uso.

Un multicoptero necesita menos de dos minutos para ser puesto en orden de vuelo, lo que permitiría poder dar una lectura de la gravedad de un impacto episódico, como un escape de una nube química en una fábrica o un incendio con productos tóxicos en la ecuación. (Sincratech, 2015)

China es uno de los países que usa este tipo de tecnologías para el control de su contaminación atmosférica especialmente en aéreas donde operan fábricas.

3.2. Airdronitor

Es un prototipo, diseñado por los estudiantes Juan Pablo Loaiza Pérez, Estefanía Giraldo Chica y Estefanía Aguirre Naranjo, estudiantes de Administración de Sistemas Informáticos de la Universidad Nacional de Colombia (U.N.) Sede Manizales. Donde esta entrega datos usando como recurso un Drone, y fue diseñado para que las industrias que generan gases contaminantes del medio ambiente hagan un monitoreo constantemente de gases.

Estos gases son CO₂, gas propano, butano, humedad, temperatura y humo son las variables que mide este dispositivo y que mapea según su concentración. (Agencias de noticias Universidad Nacional de Colombia, 2016)

3.3 El proyecto qAIRA.

El proyecto qAIRA (Quality Air Automation) tiene como objetivo medir la contaminación ambiental utilizando estas herramientas. Mongabay Latam entrevistó a la ingeniera mecatrónica Mónica Abarca, quien lidera el equipo científico que entre febrero y marzo usará drones para monitoreo de la calidad del aire en la ciudad andina de La Oroya y en la región amazónica de Madre de Dios afectadas por la contaminación de la minería.

Abarca vio en los drones “un mayor significado e impacto social en su uso para medir la calidad del aire. Los drones son más baratos que establecer, como se hace actualmente, una estación o caseta en un área determinada que cuesta hasta 300 000 dólares para su implementación, a esto súmalo el costo adicional del mantenimiento anual. Con los drones solo se invierte entre un 20 % a 30 % de ese monto”, dijo a Mongabay Latam la ingeniera mecatrónica, quien ideó qAIRA.

Los drones, de acuerdo con Abarca, pueden soportar ambientes de hasta 5000 msnm. y pueden volar a una distancia entre 80 y 200 metros del suelo, de acuerdo con el objetivo que se tenga. (Lopez Tarabochia, 2017)

3.4 Monitoreo de la calidad del aire en América Latina

El monitoreo del aire es el resultado de los procedimientos de muestreo y análisis de los contaminantes atmosféricos. Los contaminantes atmosféricos importantes que se monitorean comúnmente son: SO₂, CO, PST, PM₁₀, CO₂, ozono y óxidos de nitrógeno (NO_x). Estos contaminantes son conocidos como contaminantes criterio, para los cuales existen normas de calidad del aire. La finalidad de las normas es proteger la salud humana (normas primarias), así como el bienestar del ser humano y los ecosistemas (normas secundarias). Los hidrocarburos sin metano (HSM) también son contaminantes atmosféricos importantes por sus potenciales efectos en la salud y por ser, junto con NO_x, los precursores del ozono. (korc & Saenz, 1999)

3.4.1 Ciudades con alta capacidad de monitoreo de calidad del aire en América Latina

En este apartado conocemos lo que han estado realizando las diversas organizaciones de las diferentes ciudades mencionadas con respecto al monitoreo de calidad del aire

- **Porto Alegre.**

La Secretaría Municipal de Medio Ambiente (SMAM) -con el apoyo de la Refinería Alberto Pasqualini de la Petrobras, el Centro de Ecología y Departamento de Geografía de la Universidad Federal de Río Grande del Sur, y el Departamento Municipal de Agua y Aguas Servidas- está a cargo del monitoreo de la calidad del aire en Porto Alegre. Los trabajos se iniciaron en junio de 1992 con cuatro estaciones equipadas para medir diariamente SO₂ y semanalmente NO₂. Esta red se amplió en 1997 para medir CO y PTS en las estaciones existentes y SO₂ y NO₂ en una estación nueva.⁶ Desde marzo de 1996 hasta abril de 1997 se llevó a cabo un estudio de la calidad del aire financiado por Petrobras. Como parte de este estudio se instaló una estación automática de monitoreo de CO, NO_x, SO₂, ozono y PM₁₀ y se recogieron 46 muestras de aire para la medición de hidrocarburos. (korc & Saenz, 1999)

- **Rio de Janeiro.**

La Fundación Estatal de Ingeniería Ambiental (FEEMA) está a cargo del monitoreo de la calidad del aire en el Estado de Río de Janeiro. Hasta 1996, la FEEMA operaba una red manual de 11 estaciones de muestreo de PTS ubicadas en la Región Metropolitana del Estado. Las muestras se tomaron durante 24 horas cada seis días. Además, la FEEMA operó una estación fija automática de monitoreo continuo de gases en el barrio de Bonsucesso que ha sido desactivada y una estación móvil que ha sido utilizada para campañas de medición de corto plazo. En 1996, con el apoyo del Gobierno Alemán, la FEEMA realizó una campaña intensiva de monitoreo de corto plazo en la Región Metropolitana del Estado con el objeto de evaluar y reestructurar la red existente para mejorarla y extenderla. La red de monitoreo intensivo consistió en la toma de muestras de partículas, SO₂, y NO₂ en 13 puntos de la Región. (korc & Saenz, 1999)

- **Monterrey.**

La Subsecretaría de Ecología, de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Gobierno de Nuevo León, está a cargo del monitoreo de la calidad del aire en la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM). Las operaciones de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico se iniciaron en 1993. Esta red está integrada por cinco estaciones fijas de monitoreo continuo de CO, SO₂, NO_x, ozono y PM₁₀, una unidad móvil y un equipo de sodar. Las estaciones fijas están distribuidas en las cinco zonas de la ZMM. (korc & Saenz, 1999)

- **Guadalajara.**

La Comisión Estatal de Ecología del Gobierno del Estado de Jalisco está a cargo de la administración y operación de la red de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Guadalajara. La instalación y las

pruebas de operación de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico se llevaron a cabo en 1993. La red está integrada por ocho estaciones distribuidas en cinco zonas de la ciudad. Cada estación cuenta con monitores para medir SO₂, CO, NO₂, O₃, PST, PM₁₀ y variables meteorológicas. La red comenzó a funcionar en 1994. (korc & Saenz, 1999)

3.5 Monitoreo de calidad del aire en Colombia.

El Ministerio de Salud está a cargo del monitoreo de la calidad del aire en Colombia. Hasta 1996, la red de monitoreo consistía en cuatro estaciones ubicadas en la ciudad de Cali, la red de vigilancia de la calidad del aire localizada en los Valles de Aburrá y San Nicolás en la ciudad del Medellín, y las estaciones situadas en el corredor minero de la Guajira. Estas estaciones han tomado muestras de 24 horas cada seis días para la medición de las concentraciones de PTS y PM₁₀. Actualmente, el Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente de la Alcaldía Mayor de Santafé de Bogotá está operando una red de monitoreo de la calidad del aire. Esta red consiste en 12 estaciones automáticas en las cuales se miden las concentraciones de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), SO₂, NO_x, CO, Ozono, Metano, HSM, Benceno, Tolueno y Formaldehído. En las estaciones también se miden las siguientes variables meteorológicas: precipitación, presión, humedad relativa, radiación solar, temperatura, y velocidad y dirección del viento. La red también cuenta con un sistema óptico de camino largo llamado DOAS. (korc & Saenz, 1999)

3.5.1 Calidad del aire en el valle de aburra Antioquia – Colombia.

Medellín y otros 9 municipios vecinos conforman un área metropolitana densamente poblada concentrada en un hábitat geográficamente estrecho y poco ventilado. Las múltiples actividades industriales y de transporte que se realizan en la ciudad arrojan a la atmósfera cantidades de contaminantes que podrían estar afectando desfavorablemente la calidad del aire que respiran sus habitantes. Analizar la calidad del aire en Medellín y su área metropolitana período 2001-07. Se explora el comportamiento de los contaminantes atmosféricos en el área Metropolitana del valle de Aburrá, con base en los datos primarios recolectados por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire. Se confirma la información con mediciones actualizadas realizadas con rigor de precisión y reproducibilidad para garantizar la calidad y consistencia de los datos. Las concentraciones de partículas en suspensión total (PST) y de partículas respirables (PM₁₀) se encuentran elevadas a niveles que exceden en 200-400% los límites de precaución definidos por la Organización Mundial de la Salud y la tendencia es al empeoramiento a medida que crece la densidad vehicular. También hay presencia de otros gases contaminantes en concentraciones menores. La contaminación del aire por material particulado en Medellín y su área metropolitana es alta, y ha de estar generando consecuencias indeseables en la salud de sus habitantes. (Bedoya & Martinez, 2009).

4.0 MARCO TEORICO

4.1 Problemática de la contaminación atmosférica.

La contaminación atmosférica está fuertemente relacionada con problemas de morbilidad y mortalidad disminuyendo notablemente la calidad de la población, en especial la más vulnerable que corresponde a los niños menores de cinco años y a los adultos mayores; esta problemática se ve reflejada en un aumento en la frecuencia la gravedad de las enfermedades respiratorias.

Los mayores niveles de contaminación se presentan en las zonas urbanas y grandes centros industriales, y teniendo en cuenta que en nuestro país cerca del 74% de la población habita en estas zonas, este problema cobra una especial importancia para la salud humana. (IDEAM, 2007-2010)

4.2 Historia de la contaminación del aire.

La contaminación atmosférica es el fenómeno de acumulación o concentración de contaminantes en el aire en un tiempo determinado como resultado de actividades humanas o procesos naturales, que causan molestias o daños para la salud de las personas y otros seres vivos, así como a diversos materiales. Por su parte el concepto de calidad del aire se refiere al estado de la contaminación atmosférica, dicho en otras palabras, es un indicador de que tan contaminado se encuentra el aire y, por lo tanto, que tan apto es para ser respirado.

Los primeros indicios de contaminación atmosférica en el planeta se presentaron hace millones de años a partir de procesos naturales como erupciones volcánicas, incendios forestales, y descomposición de materia orgánica en el suelo y en los océanos, más adelante con la combustión y el desarrollo de comunidades agrarias permanentes con mayor número de individuos se incrementó el uso de madera para la generación de energía, aumentando los niveles de contaminación producido por la quema de combustibles vegetales.

4.3 Calidad del aire.

El aire es esencial para la existencia de los seres vivos. Los humanos exigen, además, unas condiciones que le garanticen la higiene de este y un confort adicional. El aire exterior se compone principalmente de dos elementos, Oxígeno y Nitrógeno, y otros gases cuyas proporciones están en la Tabla 1. Si estos gases no sobrepasan los valores de la Tabla 2 puede considerársele aire «limpio». Desgraciadamente los valores se disparan, sobre todo en las grandes ciudades, derivando a aire «contaminado», como aparece en la segunda columna de la misma tabla 2.

Tabla 1. Componentes del Aire seco

	Símbolo	En volumen %	Contenido en el aire g/m ³
Nitrógeno	N ₂	78.08	976.30
Oxígeno	O ₂	20.94	299.00
Argón	Ar	0.934	16.65
Anh.carbonico	CO ₂	0.0315	0.62
Otros		0.145	0.23
		100.000	1292.80

Fuente: (Proclima, s.f.)

Tabla 2. Componentes de Aire limpio

	AIRE LIMPIO $\mu\text{g}/\text{m}^3$	AIRE CONTAMINADO $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Media anual en una gran ciudad
Oxido de carbono CO	Max.1000	6.000 a 225.000
Dióxido de carbono CO ₂	Max. $65 \cdot 10^4$	65 a $125 \cdot 10^4$
Anhídrido Sulfuroso SO ₂	Max.25	50 a 5.000
Comp. de Nitrógeno NO _x	Max.12	15 a 600
Metano CH ₄	Max. 650	650 a 13.000
Partículas	Max.20	70 a 700

Fuente: (Proclima, s.f.)

Como es sabido, ventilar es sustituir una porción de aire interior que se considera indeseable por su pureza, temperatura, humedad, olor, etc., por otro exterior de mejores condiciones. Pero si el aire exterior está contaminado será necesario recurrir a depurarlo para retener los elementos contaminantes, como se muestra de forma esquemática en la fig. 1.

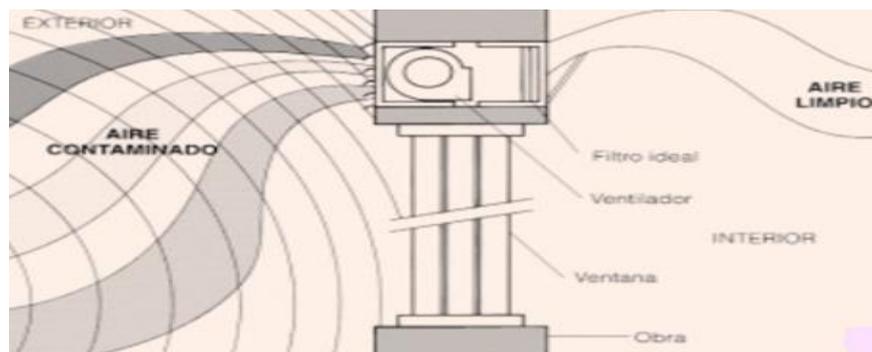


Figura 1: Esquemas de depuración de aire contaminado.

Fuente: (Proclima, s.f.)

Con la crisis del petróleo en 1.973, todos los países industrializados establecieron normas para contener el consumo energético, especialmente el de calefacción y refrigeración. Se aumentó el poder aislante de muros y cubiertas y se mejoraron los cierres de puertas y ventanas para evitar las pérdidas por convección. Aparecieron, en suma, los edificios herméticos, dotados de sistemas mecánicos de ventilación. Pero, para contribuir al ahorro de energía, se recicló parte del caudal de aire extraído en porcentajes crecientes hasta llegar a límites exagerados. Además, si las instalaciones no se limpian y desinfectan de forma regular, como es habitual, proliferan la difusión de contaminantes y microorganismos por todo el edificio. (Proclima, s.f.)

Un grupo muy importante de contaminadores son los materiales de construcción entre los que destacan el formaldehído de los aglomerados de madera unidos con resinas y algunos aislantes. Y en ciertas zonas el radón, que resulta particularmente peligroso. Este es un gas de origen natural que amenaza con el cáncer de pulmón y que se desprende del radio que contienen algunos materiales como el granito, la piedra pómez y las rocas de fosfatos, además de las aguas profundas de pozos. (Proclima, s.f.)

4.4 Fuentes contaminantes del aire.

Los contaminantes pueden entrar al aire desde fuentes naturales o sintéticas. El aire siempre porta contaminantes naturales como polen, esporas, moho, levaduras, hongos y bacterias; los incendios forestales, los vendavales, las erupciones volcánicas y las sequías producen humo, aerosoles y otros

contaminantes que entran al aire. Con todo, la contaminación que surge de la naturaleza cuenta poco comparada con los efectos de los contaminantes asociados con las actividades humanas. Las principales fuentes de contaminantes sintéticos incluyen la quema de combustibles fósiles, particularmente carbón; las emisiones de fundiciones, las plantas de acero y otras instalaciones manufactureras y las emisiones de fuentes móviles como autos, camiones y aeroplanos. Los contaminantes primarios de esas fuentes mayores son el dióxido de sulfuro (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el monóxido de carbono (CO), las partículas en suspensión, el ozono, los hidrocarburos, los aerosoles ácidos de sulfatos y nitratos y los metales pesados. Aunque las emisiones de las manufacturas químicas pueden afectar el área inmediatamente vecina de la fuente, no tienen el mismo impacto sobre la contaminación regional como las ya mencionadas. (Noji, 1997)

El aire tiene muchas formas de contaminarse hay diversos factores veamos dos de estos los cuales son de mayor importancia.

4.4.1 Factores naturales.

Las condiciones meteorológicas adversas causan acumulación de contaminantes del aire. Una de tales condiciones es el estancamiento, en el cual las bajas velocidades de los vientos (<4km/hora) no permiten que se dispersen los contaminantes. Otra condición adversa es una inversión térmica en o no muy lejos de la superficie de la tierra, donde el aire es más fresco (en lugar de más caluroso) que en la capa aérea inmediatamente superior. La causa más común de inversión térmica es el enfriamiento nocturno de un estrato cercano a la tierra (causado por los cielos claros que permiten que el calor escape de la superficie) juntos con vientos suaves que no dispersan los contaminantes. Sin embargo, una inversión térmica también puede ser causada por eventos meteorológicos a gran escala usualmente asociados con alta precisión atmosférica. Dentro de una placa de inversión, los movimientos atmosféricos verticales, que normalmente podrían dispersar los contaminantes, están minimizados. Algunas veces una placa de inversión que cubre una ciudad actúa como una tapa, manteniendo los contaminantes en lo alto, la única dirección que les queda cuando los vientos no tienen la suficiente velocidad para dispersarlos horizontalmente. El mayor potencial para la concentración de contaminantes del aire ocurre en áreas con una alta frecuencia tanto de vientos lentos como de inversiones térmicas. El problema es más intenso en aquellas áreas donde el movimiento del aire está restringido por colinas o montañas circunvecinas. (Noji, 1997)

4.4.2 Factores generados por el hombre.

Los humanos hemos estado expuestos a fuentes sintéticas de contaminación del aire desde la aparición del fuego. El aire de muchos de los primeros poblados abundaba en humo y malos olores que emanaban de actividades como las curtiembres. Sólo con el uso generalizado del carbón, la contaminación del aire comenzó a ser un problema mayor. Hasta comienzos de la edad media, los bosques eran la fuente primaria de calor en toda Europa. Por los años 1200, se habían acabado los bosques en las cercanías de los asentamientos y la gente necesitaban un nuevo combustible. Progresivamente, Europa siguió el ejemplo de Asia cuya tecnología para la quema de carbón ya había sido descrita por viajeros como Marco Polo.

El uso del carbón ensució tanto el aire que, en 1273, Eduardo I, rey de Inglaterra, formuló una ley prohibiendo la quema y en los inicios de 1400, Henry V conformó una comisión para el control del uso de la calefacción en Londres. En 1661, Carlos II ordenó al científico John Evelyn investigar los efectos de la progresiva contaminación del aire sobre la ciudad. Evelyn reconoció la relación entre la 'nube funesta' sobre Londres y el número de enfermedades fatales, pero sus consejos sobre la necesidad de controlar la contaminación del aire fueron ignorados. (Noji, 1997)

4.5 Dióxido de carbono.

En la naturaleza, billones de toneladas de carbono en forma de CO₂ son emitidas a la atmósfera anualmente por medio de los procesos naturales (fuentes) y son absorbidas por los océanos y la biomasa viviente (sumideros). Los flujos continuos más grandes ocurren entre la atmósfera y la biota terrestre y entre la atmósfera y el agua de la superficie de los océanos. En la atmósfera, el carbono existe

predominantemente en forma oxidada: el bióxido de carbono. Este gas forma parte del ciclo global del carbono, por lo que su destino es una función compleja de diversos procesos geoquímicos y biológicos. El tiempo de vida del CO₂ en la atmósfera es de 5 a 200 años.

Las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera se incrementaron de 280 partes por millón en volumen (ppmv), en los tiempos previos a la industrialización (1750), a 367 ppm en 1999, es decir hubo un aumento de 31% (IPCC 2001). El PICC ha establecido que no hay duda alguna en que este incremento se debe en gran medida a las actividades humanas, particularmente aquellas relacionadas con la combustión de los energéticos fósiles, la deforestación y otros procesos de quema de biomasa, así como a los que consumen energía, como es la producción de cemento, los cuales también emiten cantidades notables de dióxido de carbono.

En su valoración científica, el PICC estableció que la cantidad en que se incrementó la presencia del dióxido de carbono en la atmósfera se debe predominantemente a la oxidación de carbono orgánico por la quema de combustibles de origen fósil y la deforestación. El aumento de la concentración de CO₂ a partir de la industrialización es espectacular comparado con las concentraciones relativamente estables de CO₂ (280 ± 10 ppm) de los milenios precedentes. El ritmo medio de aumento desde 1980 es de 0.4% anual. La mayoría de las emisiones durante los últimos 20 años se deben a la quema de combustibles de origen fósil; el resto (de 10 a 30%) proviene predominantemente de los cambios en el uso de la tierra, especialmente por la deforestación. El CO₂ es el gas de efecto invernadero dominante (ver los capítulos Los gases de efecto invernadero y sus emisiones en México, de L. G. Ruíz y X. Cruz, y Los principales países emisores, emisiones históricas, de J. L. Arvizu, en esta sección), debido a las actividades humanas, con un forzamiento radiactivo actual de 1.46 W/m², que representa 60% del total de los cambios en las concentraciones de todos los gases de efecto invernadero, muy resistentes, mezclados de manera homogénea en todo el planeta (Albritton y Meira 2001). Para el año 2100, los modelos del ciclo del carbono proyectan concentraciones de CO₂ en la atmósfera entre 540 y 970 ppm; para los escenarios ilustrativos del Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (IE-EE), estas concentraciones son mayores en 90 y 250%, respectivamente, que la registrada en 1750 (IPCC 2001). El efecto neto de las interacciones climáticas terrestres y oceánicas, según indican los modelos, es un aumento aún mayor en las concentraciones proyectadas de CO₂ en la atmósfera, producto de una menor absorción de CO₂ por los océanos y los continentes. (Fernandez Bremauntz & Martinez Fernandez, 2004)

Hoy día está afectando al medio ambiente en general es el proceso por el cual los gases que se extraen de material fósil crean una película gaseosa en la atmósfera que impide la salida de la radiación infrarroja hacia el espacio, aumentando la temperatura; de aquí que a este fenómeno se le denomina EFECTO INVERNADERO.

4.6 Efecto invernadero.

Es el fenómeno por el que determinados gases presentes en la atmósfera retienen parte de la energía que emite el suelo al haberse calentado por la radiación solar. Este fenómeno evita que la energía solar recibida constantemente vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero. Esto ha permitido el desarrollo de vida en la Tierra. Sin embargo, la emisión de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono, el metano o el óxido nitroso, debido a la actividad humana principalmente, están acentuando este fenómeno, con riesgos de importantes consecuencias. La energía solar es absorbida por la superficie terrestre y se calienta. Así, ésta emite calor en forma de radiación infrarroja hacia la atmósfera. (Agencia provincial de la energía de granada., s.f.)

4.7 Sensores para monitoreo de calidad del aire.

En lo que respecta a calidad de aire interior (IAQ), dispositivos tales como los purificadores de aire han estado disponibles para su uso en los hogares y en las oficinas desde ya hace algún tiempo. Más recientemente, han entrado en el mercado sistemas de gama alta que incorporan sensores inteligentes de

monitoreo de calidad del aire. El usuario accede a esta información a través de una pantalla, y también puede ser usada para ajustar el purificador para lograr una óptima eliminación de una variedad de gases, así como partículas tales como pequeños pelos, polvo y humo de tabaco.

Un sensor de polvo, el **Sharp GP2Y1010**, cuantifica la presencia de partículas en el ambiente circundante utilizando un LED infrarrojo y un fototransistor. Una muestra del aire que se quiere controlar ingresa a través de una serie de orificios en el receptáculo del sensor, situado encima del LED de infrarrojo y del detector, como aparece en la Figura 2.

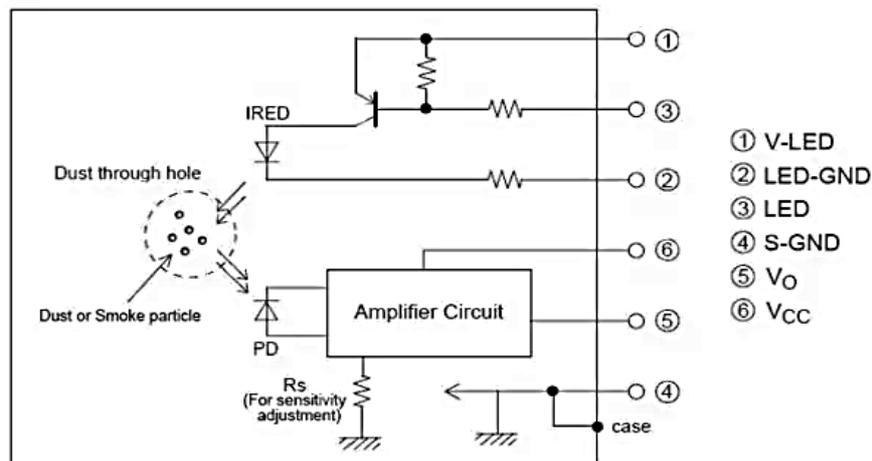


Figura 2: Diagrama esquemático del sensor de polvo Sharp GPY2Y1010

Fuente: (Digi-key, 2014)

Al pasar las partículas a través del sensor, la respuesta del fototransistor proporciona una indicación de la concentración de partículas en la muestra. Una de las principales virtudes de este sensor es su capacidad para generar una salida proporcional a la concentración de partículas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto puede ayudar a simplificar el diseño de sistemas de control de la calidad, ya que esta expresión de concentración de partículas es ampliamente utilizada en aplicaciones para el control de calidad del aire. (Digi-key, 2014)

4.8 Sensor MQ 135 para calidad del aire.

MQ – 135 es un sensor de gases peligrosos utilizado para el control de la calidad del aire y es adecuado para la detección de NH_3 (amoníaco), NO_x , alcohol, benceno, humo, CO_2 , etc. (GEEKBOT ELECTRONICS, s.f.)

Este sensor no proporciona valores absolutos, sino que simplemente proporciona una salida analógica que debe ser monitoreado y se compara con los valores de umbral.

Características:

- Voltaje de trabajo: 5V.
- Pin Definición: 1_salida, 2_GND, 3_VCC.
- Características de respuesta rápida.
- Con una larga vida y estabilidad fiable.
- Chip principal: Sensor MQ-135 Air Quality Sensor.
- Doble salida: Salida analógica y salida de nivel TTL.
- Alta sensibilidad al Amoníaco (NH_3), Óxidos de nitrógeno (NO_x), Alcohol, Sulfuros, Benceno (C_6H_6), Monóxido de carbono (CO), humo y otros gases nocivos.
- Montado en módulo con pines de conexión.
- Sensibilidad ajustable con el potenciómetro.
- Rango de detección: 10-1000ppm.

- Tamaño: 32mm x 22mm x 24mm.
- Buena sensibilidad a los gases dañinos en amplia gama
- Alta sensibilidad a Amoníaco, Sulfuro y Benceno
- Circuito de accionamiento simple

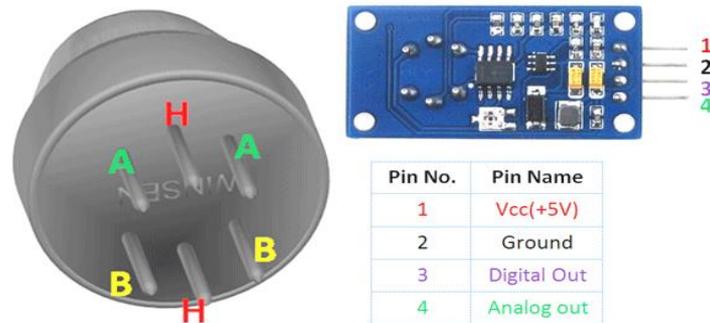


Figura 3: Sensor de gas MQ 135

Fuente: (GEEKBOT ELECTRONICS, s.f.)

4.9 Métodos de monitoreo de calidad del aire

Para el monitoreo de calidad del aire existen ciertos métodos los cuales hacen del estudio ambiental una forma práctica para conocer el estado de la contaminación atmosférica, los cuales son métodos pasivos, activos y automáticos.

4.9.1 Métodos pasivos.

se realiza mediante la captura de sustancias contaminantes en el aire que circula en forma natural por medio de un material absorbente. Al realizar esto se procede un análisis en un laboratorio del material absorbente utilizado. ((OEFA))

4.9.2 Métodos activos.

Se realiza mediante la captura de las sustancias contaminantes en el aire que es bombeado a través de un medio de recolección física o química. Al pasar esto, se procede un análisis del material en recolección en un laboratorio especializado, para conocer el estado del aire como tal.

Y al finalizar se realizan cálculos, o estadísticas matemáticas con el fin de conocer la concentración de contaminación, saber el volumen total, el caudal de dicho gas censado mediante el proceso químico o físico. ((OEFA))

4.9.3 Métodos automáticos.

Estos métodos utilizan, instrumentos de circuito eléctricos complejos con el fin de transformar una propiedad física o química del gas monitoreado en impulsos eléctricos proporcionales a la concentración de dicho gas, todo mediante cálculos realizados por computadora la cual arroja los datos de concentración como tal.

En la siguiente tabla veamos la comparación de cada uno de estos dos métodos de monitoreo, conocer sus ventajas y desventajas. ((OEFA))

Tabla 3: Ventajas y desventajas de los métodos de monitoreo.

Método.	Ventajas.	Desventajas.
Método pasivo.	<ul style="list-style-type: none"> - Muy económicos. - Muy simples. - No dependen de cables de electricidad. - Se pueden colocar en números muy grandes. - Útiles para sondeos, mapeos y estudios de línea de base. 	<ul style="list-style-type: none"> - No han sido probados para algunos contaminantes. - Solo suministran promedios mensuales y semanales. - Requieren mano de obra intensiva para su funcionamiento y el consiguiente análisis. - No existe un método de referencia para monitorear el cumplimiento. - Lenta generación de datos.
Métodos activos.	<ul style="list-style-type: none"> - Económicos. - De fácil manejo. - Operación y rendimiento confiables. - Cuentan con base de datos históricos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Suministros promedios diarios. - Requieren mano de obra intensiva para la recolección y análisis de muestras. - Requieren análisis de laboratorio.
Métodos automáticos.	<ul style="list-style-type: none"> - Han sido debidamente probados. - Alto rendimiento. - Datos horarios. - Información en línea. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sofisticados. - Costosos. - Demandan alta calificación. - Altos costos recurrentes.

Fuente: Propia

5.0 VEHICULOS AEREOS NO TRIPULADOS

Un vehículo aéreo no tripulado es un sistema que contiene muchos subsistemas en su interior al mismo tiempo, pero también es una parte de un sistema complejo mayor compuesto de varios elementos, tales como otras plataformas aéreas y terrestres, satélites y las comunicaciones entre el UAV y los otros componentes mencionados. Como una primera aproximación, es posible distinguir dos partes en el UAS (*Unmanned Aerial System*): una aérea y otra terrestre. La parte aérea está formada por tres sistemas diferentes: la plataforma aérea, la carga útil necesaria para llevar a cabo la misión, y una parte del sistema de comunicaciones. La parte de tierra también incluye diversos sistemas: el sistema de control de la aeronave y su carga útil, el equipo de comunicaciones, y la estación de control terrestre (“Ground Control Station”, GCS). La GCS permite mostrar la información de todos los sensores a los usuarios correspondientes en una de las dos maneras siguientes, una directamente y otra a través de redes de comunicación. Por último, el elemento de unión entre estas dos partes es el sistema de lanzamiento y recuperación. A continuación, se van a describir en detalle los diferentes sistemas que se acaban de citar. La aeronave (plataforma aérea) tiene muchos elementos diferentes, subsistemas de la plataforma. Hay una amplia variedad de plataformas aéreas, que varían en tamaño (desde micro vehículos aéreos no tripulados hasta aviones con 40 metros de envergadura como el Global Hawk), en geometría, en la forma de generar sustentación (de ala fija, de ala rotatoria...) o en el sistema de propulsión (turborreactor, motores de combustión interna, motores eléctricos...). La plataforma también cuenta a bordo con los sistemas de posicionamiento, navegación, comunicación y enlace de datos. Se necesitan todos estos componentes para lograr el control de vuelo, así como el control de la misión y la descarga de la información significativa y relevante de los sensores. La carga útil se define por los medios y equipos necesarios para la misión específica, tales como sensores EO (electroópticos) e IR (infrarrojos), los designadores IR de objetivo, equipos de guerra electrónica, sistemas de búsqueda y rescate, sistemas radar, armas, etc. La GCS es parte de la sección terrestre. Contiene los sistemas y equipos dedicados a la planificación y control de la misión (el control del vuelo, la carga útil...) y para la distribución de la información a los usuarios externos, comunicaciones ATC (Air Traffic Control), etc. Además, la GCS tiene el sistema de comunicaciones y el enlace de datos LOS (Línea de Vista, “Line-of-Sight”) o BLOS (Más Allá de la Línea de Vista, “Beyond Line-of-Sight”) necesarios para acceder a la plataforma o a los sistemas externos. El sistema de lanzamiento y recuperación (“launch and recovery system”, LRS) a menudo se considera como una parte de la estación de control de tierra. El propósito de este sistema es el control de la plataforma durante el rodaje, el despegue, los primeros intervalos de vuelo, y la aproximación y el aterrizaje (todo lo relacionado con su lanzamiento y recuperación). Estos LRS varían según el peso y el tamaño del UAS. Así, los vehículos pueden despegar y aterrizar haciendo uso de su tren de aterrizaje (guiados o automáticos-ATOL), pueden ser lanzados desde una rampa con actuadores neumáticos o cohetes auxiliares, pueden ser lanzados con la mano, etc., y también se puede recuperar con paracaídas, redes, u otros dispositivos. Por último, los sistemas de comunicación requeridos se agrupan en otro subsistema, dividido entre la plataforma aérea y la estación de control de tierra. Este subsistema incluye: los terminales de los enlaces de datos (a bordo y en tierra), la terminal de satélite para comunicaciones BLOS, el equipo de comunicación para su actuación como relé de la comunicación, etc. (Cuerno Rejado, y otros, 2016)

5.1 Clasificación.

De todos los sistemas anteriores, es habitual prestar especial atención a la plataforma aérea con el fin de establecer una clasificación. Una posible clasificación se basa en el alcance, la altitud, la autonomía y el peso máximo al despegue (“Maximum Take-Off Weight”, MTOW) de las plataformas. La Tabla 4 presenta la clasificación de los vehículos aéreos de acuerdo con estos cuatro parámetros. Una vez mostrada la tabla anterior, se procede a clasificar los vehículos aéreos no tripulados en dos grupos diferentes: UAVs de ala fija y UAVs de ala rotatoria. (Cuerno Rejado, y otros, 2016)

Tabla 4: primera clasificación de las UAS en función de su alcance, altitud, autonomía y MTOW

<i>Categorías de UAS</i>	<i>Alcance (km)</i>	<i>Altitud (m)</i>	<i>Autonomía (h)</i>	<i>MTOW (kg)</i>
--------------------------	---------------------	--------------------	----------------------	------------------

Estratosféricos.	>2000	20000-30000	48	<3000
Elevada altitud y gran autonomía (“ <i>High altitude and Long endurance</i> ”, HALE)	>2000	20000	48	15000
Altitud media y gran autonomía (“ <i>Medium altitude and Long endurance</i> ”, MALE)	>500	14000	24-48	1500
Baja altitud y gran autonomía (“ <i>Low altitude and Long endurance</i> ”, LALE)	>500	3000	Alrededor de 24	Alrededor de 30
Baja altitud y penetración profunda	>250	50-9000	0.25-1	350
Alcance medio	70 a > 500	8000	6-18	1250
Alcance corto	10-70	3000	3-6	200
Mini	<10	<300	<2	<30
Micro.	<10	<250	<0.5	<1

5.2 UAVs de Ala fija.

Este tipo de vehículos tiene siempre despegue horizontal. Si se observa la geometría de las alas, es posible encontrar diferentes diseños: convencional, “canard”, ala volante, delta, “joined wing”, “box-wing”, “blended-wing-body” (BWB), rectangular o trapezoidal, con o sin flecha, Ala alta, Ala media o Ala baja. También es posible establecer otra clasificación en función de la geometría de la cola: estabilizador horizontal de cola, cola en V, y doble cola o en forma de H. Como punto final de esta clasificación es posible presentar otra taxonomía basada en los motores. Hay dos posibilidades en el momento de la selección de la planta propulsora: turboreactor para régimen subsónico alto, y turbohélice o motores de pistón con hélice, para régimen subsónico bajo. La posición del motor puede diferir de una plataforma a otra: en la parte delantera de la aeronave (hélice tractora), en el extremo trasero de la aeronave (normalmente hélice empujadora y turboreactores) o bajo el ala (turboreactor, hélice tractora o empujadora con un número par de motores). A continuación, se presentan varias fotografías de diferentes vehículos aéreos no tripulados para mostrar algunas de las características citadas. El Shadow 200 (RQ-7B) es un avión representativo de ala convencional. Este UAV se muestra en la figura 6 (lado izquierdo). En la figura 6 (lado derecho) se aprecia una configuración canard con el UAV Rustom-1. Un ejemplo de ala volante puede ser el X-47B, en la figura 7 (lado izquierdo). El X-47A tiene un ala delta y se muestra en la figura 7 (lado derecho). Si la clasificación se hace atendiendo a la geometría de la superficie de cola, es habitual encontrar la cola convencional como la del Elbit Skylark I en la figura 8 (lado izquierdo), cola en H como la del IAI-Heron en la figura 8 (lado derecho). Por último, si se presta atención al sistema moto propulsor, el Global Hawk, X-47B y X-47-A, por ejemplo, tienen un turboreactor que se pueden ver en la figura 9 (lado izquierdo), en la figura 9 (lado izquierdo) y en la figura 9 (lado derecho), respectivamente. Con hélice propulsora y con el motor situado en el extremo posterior del fuselaje, se encuentra el Shadow 200 (RQ-7B) o el Rustom-1, en la figura 6. El Elbit Skylark I tiene una hélice tractora en la parte delantera de la aeronave y se muestra en la figura 8 (lado izquierdo). Como se aprecia, hay una amplia variedad en las formas y geometrías que los UAVs pueden adoptar. La última imagen se reserva para el Proteus en la figura 4 (lado derecho), que tiene una configuración muy inusual. (Cuerno Rejado, y otros, 2016)



Figura 4: Lado izquierdo, el Shadow 200(rq-7b), y lado derecho, el Rustom-1

Fuente: (Cuerno Rejado, y otros, 2016)



Figura 5: Lado izquierdo, el X-47B, y lado derecho, el X-47^a

Fuente: (Cuerno Rejado, y otros, 2016)



Figura 6: Lado izquierdo, el Elbit Skylark 1, y Lado derecho, el LAI Heron

Fuente: (Cuerno Rejado, y otros, 2016)



Figura 7: Lado izquierdo, el Global Hawk, y el Lado derecho, el Proteus

Fuente: (Cuerno Rejado, y otros, 2016)

5.3 UAVs de Ala rotatoria.

Los UAVs de ala giratoria vuelan aprovechando la sustentación generada por sus alas rotatorias o por las palas del rotor. Estas palas del rotor se montan generalmente en un solo mástil y giran en torno a él,

formando el sistema mecánico conocido como rotor. También hay diferentes tipos de vehículos aéreos no tripulados de ala rotatoria, que se pueden clasificar como: UAVs tipo helicóptero, UAVs tipo ciclo giro, UAVs tipo autogiro, o UAVs tipo girodino, dependiendo de la configuración de su(s) rotor(es). Los UAVs tipo helicóptero pueden despegar verticalmente, mantener su posición (“hover”), volar hacia delante, hacia detrás y lateralmente, así como aterrizar verticalmente, usando uno o más motores durante todo el vuelo. Los helicópteros con un solo rotor principal para sustentación requieren algún tipo de sistema de anti-par con el fin de compensar la guiñada, siendo el rotor de cola el sistema más común entre los vehículos aéreos no tripulados. Uno de los vehículos aéreos no tripulados más pequeños jamás diseñado es el pequeño Black Hornet Nano, un UAV tipo helicóptero de dimensiones 10 x 2,5 cm, que se muestra en la figura 10. En los UAVs tipo ciclo giro, las palas giran alrededor del eje horizontal, siendo estas paralelas a dicho eje, ofreciendo avances en términos de eficiencia, velocidad, ruido y vibración. Los ciclos giros no deben confundirse con los aviones Flettner, que utilizan alas cilíndricas para generar sustentación, aprovechando el efecto Magnus. Aunque se construyeron una serie de ciclo giros en la década de 1930, los diseños exitosos datan sólo de 2011 en adelante, siendo en la actualidad un campo activo de investigación (figura 11, lado izquierdo). Los UAVs tipo autogiro, inspirados en el diseño de las aeronaves del ingeniero español Juan de la Cierva, utilizan un rotor sin motor impulsado por autorrotación para generar sustentación, mientras que el empuje es proporcionado por una hélice con motor, similar a la de un avión de ala fija, ofreciendo una mayor envolvente de vuelo a costa de velocidades más pequeñas (figura 11,). Los UAVs tipo girodino tienen gran importancia histórica, ya que según se ha mencionado, el girodino DASH, mostrado en la figura 12 (lado izquierdo). fue el primer UAV fabricado de ala rotatoria. Este tipo de UAVs usan su motor principal para el despegue y el aterrizaje, pero además incluyen uno o más motores para proporcionar empuje hacia adelante durante el vuelo de crucero. Los UAVs tipo girodino son más eficientes que los autogiros, ya que no se necesita la autorrotación y también minimizan los efectos adversos de la pérdida por retroceso de la pala de helicóptero, todo ello a costa de una mayor complejidad. Los UAVs de ala rotatoria también se pueden clasificar atendiendo al número de rotores, que por lo general oscila entre tres (tricopters), y ocho (octocopters), siendo sin duda, cuatro rotores (quadrotors) la configuración de UAVs más común. Las configuraciones más típicas se muestran en la figura 12 (lado derecho). Por lo general, un mayor número de motores simplemente implica más sustentación, ya que hay más motores que producen empuje. Prototipos mono rotor se han desarrollado también, tal como el UAV tipo esférico presentado en 2011 por el Ministerio de Defensa de Japón, que utiliza superficies de control para compensar la rotación de guiñada. Hay también ejemplos recientes de vehículos aéreos no tripulados con un gran número de rotores. Por ejemplo, la NASA desarrolló últimamente un UAV con 10 rotores, que afirma que es cuatro veces más eficiente aerodinámicamente en crucero que un helicóptero estándar. Un último tipo de UAVs, es el llamado UAV de ala batiente, donde los movimientos de rotación de los motores se transforman en un movimiento de aleteo de algún tipo de alas flexibles. Este tipo de UAVs están diseñados principalmente para micro UAVs, denominados FWMAV y tienen un gran componente de bio-inspiración en su diseño, siendo actualmente foco de la investigación tanto en su modelado, así como en los actuadores y diseño de las alas. (Cuerno Rejado, y otros, 2016)



Figura 8: El black Hornet nano

Fuente: (Cuerno Rejado, y otros, 2016)



Figura 9: Un modelo de UAV tipo autogiro desarrollado por FUVEX

Fuente: (Cuerno Rejado, y otros, 2016)

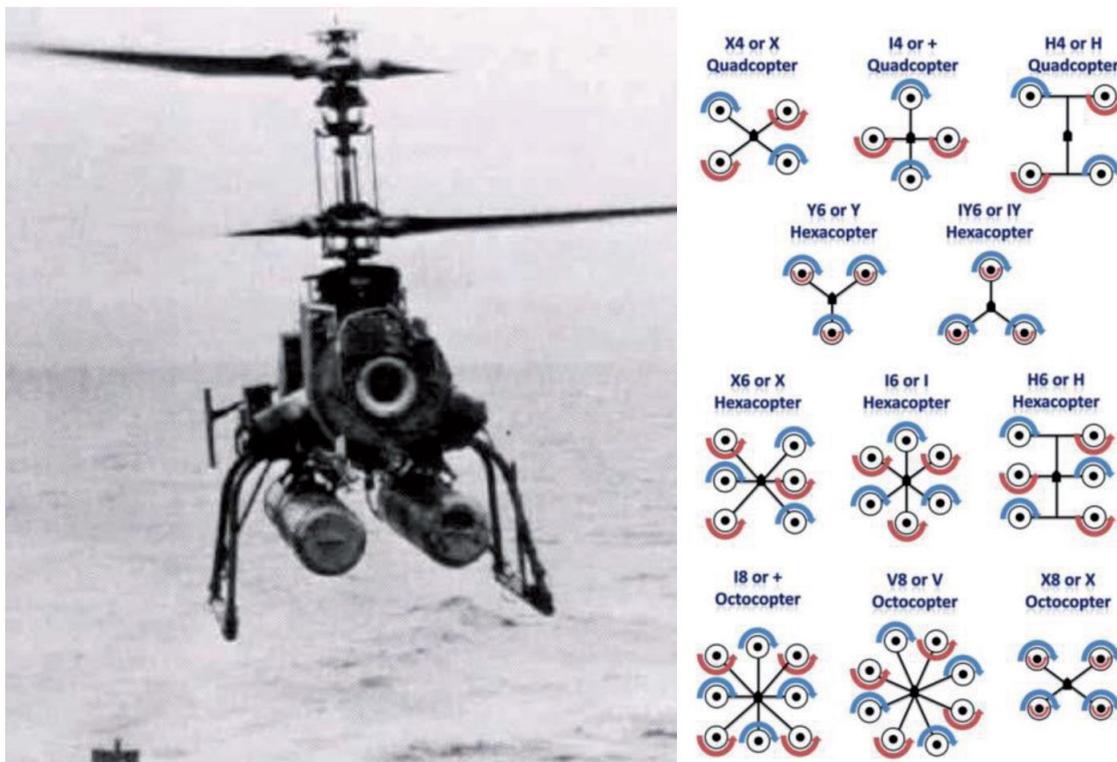


Figura 10: Lado izquierdo, el girodino QH 50 DASH, y lado derecho, las configuraciones más habituales para los rotores en UAVs tipo helicóptero multirrotores

Fuente: (Bedoya & Martinez, 2009)

5.4 Quadcopter.

Un quadcopter, o multirroto, drone o quadrotors, es un simple vehículo mecánico volador que tiene cuatro brazos, y en cada brazo hay un motor conectado a una hélice. También son posibles los multicopteros con tres, seis u ocho brazos, pero funcionan con el mismo principio que un quadcopter. Dos de los rotores giran en el sentido de las agujas del reloj, mientras que los otros dos giran en sentido contrario a las agujas del reloj. Los Quadcopter son aerodinámicamente inestables y requieren una computadora de vuelo para convertir sus comandos de entrada en comandos que cambien las RPM de las hélices para producir el movimiento deseado.

Los cuadricópteros difieren de un helicóptero o un avión de ala fija en la forma en que generan fuerzas de elevación y control. Para un avión, el ascensor es generado por las alas, pero en un cuadricóptero el ascensor es generado por las hélices. Un helicóptero usa su rotor principal para generar sustentación, pero también tiene la capacidad de variar el paso de las palas del rotor para generar fuerzas de control.

El concepto de quadcopter no es nuevo. Los diseños de cuadricóptero tripulado aparecieron en las décadas de 1920 y 1930, pero estos primeros conceptos tuvieron un mal rendimiento, un alto nivel de inestabilidad y requirieron muchas entradas piloto. El avance de la tecnología electrónica en computadoras de control de vuelo, motores sin núcleo o sin escobillas, microprocesadores más pequeños, baterías, acelerómetros, cámaras e incluso sistemas de GPS hizo posible diseñar y volar cuadrúpedos. La simplicidad del Quadcopter lo ha convertido en una plataforma de fotografía aérea y video muy efectiva. (Articulos de Drones, 2017)

5.5 Estructura de una aeronave no tripulada tipo DRONE.

5.5.1 Electrónica de vuelo.

La electrónica de vuelo está constituida por componentes electrónicos que hacen de este un dispositivo óptimo y de gran eficiencia.

5.5.2 Partes que conforman un vehículo aéreo no tripulado.

- Frame o chasis donde se ensamblará el vehículo tipo drone.
- Motores.
- Reguladores o ESCs.
- Controladora de vuelo.
- Hélices.
- Batería Lipo.
- Emisora RC.

5.5.3 Marco (o *Frame*):

Es el esqueleto del multirrotor, es la estructura que le da la forma y en donde todas las otras partes se instalan y aseguran. Como se observa existen diferentes diseños y materiales.



Figura 11: Frame de seis ejes.

Fuente: (Amazon, s.f.)

5.5.4 Controladora de vuelo.

Es el dispositivo electrónico el cual contiene todo lo necesario para poder tener o ser el “cerebro” de la UVA, la cual tiene en su parte interna lo siguiente.

- **Acelerómetro** para poder medir la propia “inercia” de los movimientos.
- **Giróscopo** para poder medir la velocidad angular de los cambios de posición.
- **Magnetómetro** utilizado como una brújula que permite saber en todo momento la dirección a la que apunta el dron.
- **Sensor barométrico** empleado para conocer con una precisión asombrosa la altura real de vuelo.
- **GPS** para poder conocer las coordenadas exactas en el espacio del dron (incluida la altura) y poder desplazarse de forma autónoma.
- **Un procesador** lo suficientemente potente como para realizar las máximas lecturas y operaciones por segundo en base a todos los datos que recibe (que no son pocos). (Escura Forcada, s.f.)

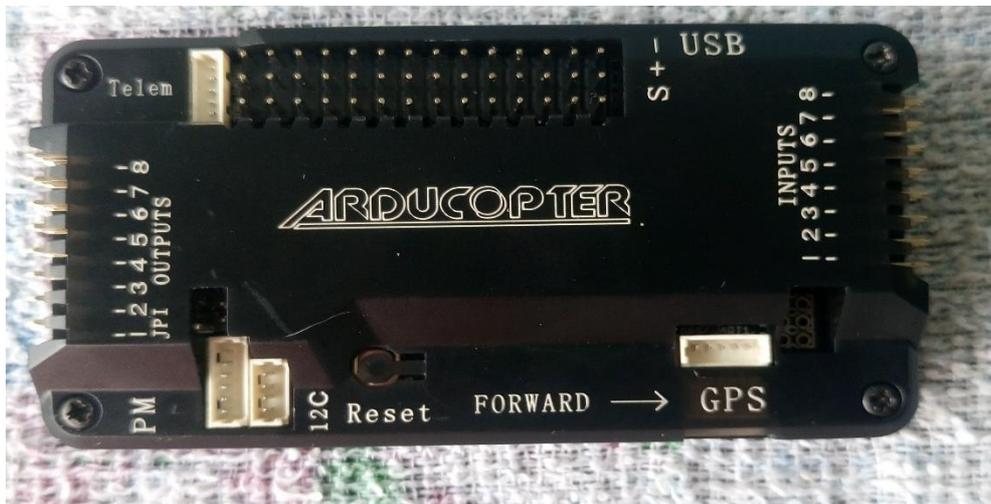


Figura 12: Controladora APM 2.6

Fuente: Propia

5.5.5 ESCs (variador de velocidad)

Los motores que utilizan este tipo de aeronaves no son motores de corriente continua “normales”. Como el sistema exacto de funcionamiento es bastante complejo de explicar en una línea

La cuestión es que necesitamos convertir la corriente continua de la batería con una tensión “constante” a una fuente de tensión variable y de sentido reversible por cada polo del motor. (Escura Forcada, s.f.)

El dispositivo electrónico responsable de realizar dicha conversión es el llamado controlador de motor, controlador de velocidad de motor o simplemente ESC (de sus siglas en inglés Electronic Speed Controller) y tiene una apariencia similar a esta:



Figura 13: Variador de velocidad (ESC 30A)

Fuente: Propia

Las características que nos interesa conocer de un ESC son su amperaje máximo y su tensión de entrada máxima.

Para multirrotores los amperajes normales van desde los **25 a los 40 amperios** (en aeronaves de un tamaño normal).

Para aviones de ala fija son normales valores desde **10 hasta 100 amperios** (es algo muy dependiente de lo grande que sea el avión o los motores que lleve). (Escura Forcada, s.f.)

En cuanto a la tensión máxima de entrada, los valores más habituales son ESCs que permiten baterías de 4S como máximo, disparándose algo el precio para los que soportan baterías de 5S y 6S. Pero recordemos que, a mayor tensión de la batería, menor será el valor de amperios para mover la misma masa... " $P=V*I$ "

5.5.6 GPS.

La unidad GPS es la encargada de transmitir información sobre la posición en el planeta a la controladora de vuelo. Dicha conexión se realiza mediante un protocolo de comunicación serie estandarizado conocido como NMEA. Basta con conectar correctamente la unidad de GPS a la controladora (teniendo en cuenta como siempre que los conectores Rx van a Rx y viceversa en ambos dispositivos).

Cualquier módulo GPS con salida tipo serial puede emplearse para el control del vuelo, pero los más habituales son dos modelos de la compañía uBlox. Concretamente los uBlox NEO-6M (más barato, pero algo menos preciso) y el uBlox LEA-6T (más preciso, pero bastante más caro). (Escura Forcada, s.f.)



Figura 14: GPS externo con brújula interna

Fuente: Propia

5.5.7 Motores.

Los encargados de transmitir la energía necesaria a las hélices para sustentar la aeronave.

Las características más importantes de un motor brushless como estos son:

- **Tensión máxima de entrada:** viene determinada por la batería y se suele indicar en voltios o en “S”
- **Velocidad o “Kv”:** es la velocidad a la que consiguen girar dada una tensión. Se mide en 1000Rev/Voltio. Por lo tanto, un motor de 1000Kv girará a 2000RPM con una tensión de entrada de 2v.
- **Amperaje máximo:** viene relacionado con la potencia máxima que desarrolla.

Como recomendación, volviendo al hilo de la recomendación de las baterías, lo interesante es conseguir un motor, en el caso de los multicopteros, con el menor Kv posibles acompañados con una batería de la mayor tensión posible. Con esto conseguimos grandes velocidades con poco amperaje, permitiendo así cables más finos y menos peso. (Escura Forcada, s.f.)

Encontrar la relación perfecta entre el peso de la aeronave, los motores, la batería y las hélices es todo un misterio y aquí juega un papel fundamental la capacidad (sobre todo económica) que tengamos para probar todas las combinaciones posibles.

Como ejemplo, para una misma aeronave (un quadcopter) con una batería de 3S, las dos combinaciones equivalentes con las que se consigue un vuelo estable son:

- Motor de 1000Kv con hélices de 10×4.5”
- Motor de 850Kv con hélices de 11×5”



Figura 15: Motor brushless 1000kv

Fuente: Propia

5.5.8 Emisora y Receptora RC.

Con el receptor RC podrá tu dron conectarse con la emisora o el control a distancia, que se encuentra en el dron propia y generalmente funciona en rangos de frecuencia de 2,4 GHz, por otro lado, la emisora es el mando o control a distancia que se encarga de transmitir lo que el piloto desea, movimientos, giros, filmar, capturar fotografías entre otras cosas. Los canales que se requieren para poner a volar tu dispositivo serán en la misma cantidad de motores que tenga tu dron.

La emisora es el control en tierra, tiene elementos encargados de controlar al dron por parte del piloto; ya que traslada las órdenes de este, hasta el receptor y el receptor a la placa controladora de vuelo; como se dijo, generalmente funcionan en rangos de frecuencia de 433 MHz, 2,4 GHz y los de uso profesional hasta 5,8Ghz. Cuando son emisoras livianas, pueden tener incorporadas una pantalla para poder visualizar en tiempo real las imágenes captadas por las distintas cámaras del dron. (ESENZIALE, s.f.)



Figura 16: Radiolink AT9S

Fuente: Propia

5.5.8.1 Tipos de comunicaciones inalámbricas.

- AM; FM; **2,4Ghz**. Siendo la 2,4 GHz la más frecuente en aeromodelismo porque termina con los problemas de interferencias.

5.5.8.2 Canales de la emisora:

Cada uno de los canales gestiona una función del Drone mediante servos electrónicos, veamos cuales son las funciones de cada uno de estos. (Diario del Aeromodelista, s.f.)

Aileron: left/right: izquierda/derecha.

Elevator: forward/back: adelante/atrás.

Throttle: idle/full: bajo/máximo.

Rudder: left/right: izquierda/derecha.



Figura 17: Canales principales de Emisora rc

Fuente: (Diario del Aeromodelista, s.f.)

5.5.9 Batería.

La batería es uno de los elementos electrónicos que más cuidadosamente se debe elegir. Principalmente se emplea baterías de polímero de litio (Lipo) y las tensiones que ofrecen junto con su capacidad y peso es la elección que cada cual debe hacer



Figura 18: Distintas baterías Lipo con capacidades de 5000mAh, 4000mAh, 2200mAh y 850 mAh

Fuente: (Escura Forcada, s.f.)

5.5.9.1 Batería: Tensión nominal celdas

Por norma general, **para multirrotores es conveniente decantarse por unas baterías de 3S, 4S, 5S ó 6S**. La letra “S” indica las celdas en serie, sabiendo que cada celda tiene una tensión nominal de 3.7v obtenemos tensiones nominales de **11.1; 14.8; 18.5; 22.2 voltios respectivamente**. Lo idóneo es emplear una batería con la mayor tensión posible para reducir la corriente necesaria y por tanto obtener una mayor eficiencia. El problema está en la electrónica de los controladores de motor y los propios motores, que son pocos los preparados para trabajar por encima de 4S y sus precios se disparan. **Para multicopteros no profesionales, lo normal es trabajar en el rango de 3S o 4S** donde la electrónica y motores tienen un precio razonable. En el caso de aviones, la norma general es trabajar con 3S o incluso 2S en algunos casos.

5.5.9.2 Batería: Capacidad o “mAh”

Sencillamente, cuanta más capacidad más autonomía, ¿no? Pues no. Resulta que, en el caso de las aeronaves, el peso de la propia aeronave, la eficiencia de los motores y hélices, ESCs, y muchas otras variables hacen que la elección de la capacidad de la batería deba ser algo razonado. Me explico:

Supongamos que tenemos un quadcopter con una batería 3S 4000mAh que tiene una autonomía de 10 minutos de vuelo. Si añadimos otra batería igual en paralelo obtenemos un quadcopter con una batería total de 3s 2P 8000mAh ¿debería volar aproximadamente 20 minutos? Pues lo normal es que no pase de los 15 con suerte.

La explicación a este fenómeno está en el peso. Añadir más capacidad no siempre resulta productivo si se mantienen constantes el resto de las características de la aeronave. A mayor peso, mayor consumo de energía y por tanto llega un momento en el que añadir más baterías (es el elemento más pesado de la aeronave) puede resultar contraproducente. (Escura Forcada, s.f.)

6.0 DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA AEREONAVE PARA LA MEDICION DE CALIDAD DEL AIRE.

Para el sistema de medición de calidad del aire fueron necesarios ciertos dispositivos electrónicos los cuales se pueden encontrar referenciados en la tabla 3 que se aprecia a continuación, estos dispositivos fueron previamente seleccionados para determinar la funcionalidad En el proyecto realizado con el fin de ver que fuera lo más útil al usar y de esa forma abaratar costos, y fuera de un amañera más viable.

Tabla 5 insumos usados para el sistema de medición de calidad del aire.

• Arduino nano
• Arduino Mega 2560
• Sensor de gas MQ 135
• Sensor de temperatura y humedad DHT 22
• 2 módulos bluetooth HC -12
• Antena Lora 868 ~ 915 MHz SMA
• 3 reguladores de voltaje 7805.

Al comenzar con el diseño de la aeronave, primero se hizo todo el estudio relacionado con respecto a UAV en este caso tipo DRONE, teniendo en cuenta todo lo concerniente a estos artefactos conociendo su diseño, autonomía y funcionamiento de sus componentes. De esa forma se procedió, con la adquisición de los dispositivos necesarios para hacer el montaje del prototipo, el cual tendrá como objetivo obtener los datos de la contaminación del aire a una determinada temperatura y humedad correspondiente en el campus de la universidad de Sucre, sede puerta roja.

Para el comienzo de la implementación del quadcopter se usó un chasis o Frame de 45 cm de largo entre cada eje de motor conocido como F450, el cual brinda seguridad y es ligero y versátil. Como se observa en la ilustración 21.



Figura 19: Frame F450

Fuente: (AliExpress, s.f.)

Luego de tener el chasis armado, se ubicó en la parte céntrica de este, la controladora de vuelo APM 2.6 con el fin de que el barómetro interno de la controladora pueda estar ubicado en el centro de equilibrio de la estructura y de esa forma pueda funcionar o trabajar de la mejor manera sin inconvenientes de altitud, esta controladora fue seleccionada ya que es un sistema bastante completo y cumplía los requerimientos necesitados al diseño de la aeronave.

Al tener la controladora de vuelo en su lugar, se realizaron las conexiones de los dispositivos electrónicos complementarios tales como el UBlox neo 7 m, el cual incorpora un GPS y un compás magnético (Brújula) además del receptor RD9S del transmisor RADIOLINK AT9S el cual es una emisora rc que opera como mando de control a distancia, y se procedió con la conexión de los ESCs ordenarlos como corresponden en la figura 22, que se puede apreciar a continuación, en la cual se explica la posición de cada uno de estos con el fin de que cada motor tenga su sentido de giro correspondiente para que la aeronave pueda despegar de tierra.



Figura 20: Diagrama de posición para los ESC en la controladora APM 2.6

Fuente: (Wisomic, s.f.)

posteriormente se realizó la calibración de variadores de velocidad (ESC-30A) todo esto mediante el SOFTWARE de código abierto llamado MISSION PLANNER el cual se encarga de la configuración general de la aeronave.

Al tener todo esto listo se procedió a realizar pruebas de vuelo para conocer la autonomía del quadcopter. Al poder ver los avances de vuelo de la aeronave tipo dron se procedió con ejecución de las tarjetas electrónicas, las cuales se encargaron de medir la cantidad de las partículas por millón (ppm) de CO₂, temperatura y humedad relativa en el campus puerta roja de la universidad de sucre.

Mediante el simulador PROTEUS 8, se diseñó el diagrama esquemático para la tarjeta transmisora que se encargó de medir los parámetros de calidad del aire, y la tarjeta que recibió los datos medidos, recalando que este proceso se llevó a cabo mediante el protocolo de comunicación BLUETOOTH, en el apartado de anexos podemos encontrar su hoja de datos y forma de operación.

El diagrama esquemático del nodo transmisor se puede ver en la ilustración 23, y el del nodo receptor en la ilustración 24 respectivamente, primeramente se puede ver en la ilustración 23, los componentes usados para el diseño, es notable apreciar a cada uno de estos. Primeramente se puede denotar el microprocesador en este caso el Arduino nano el cual está situado en el recuadro rojo, que es simbolizado por 30 conectores de un solo pin unidos simultáneamente con el fin de lograr los espacios requeridos a la hora de realizar el diagrama de circuito impreso para este nodo, en el recuadro amarillo, que prosigue se aprecia conectores, con numeración J34 Y J35 los cuales corresponden (GND) tierra y voltaje (VCC) respectivamente, el voltaje es el que entra de la batería Lipo conectada al sistema, es notable también ver el recuadro marrón donde el conector de 4 pines que se visualiza es el cual representa al sensor de medición de calidad del aire MQ 135, de igual forma pasa con el recuadro azul en el cual está el conector J31, el cual corresponde al módulo BLUETOOTH HC -12, y por último en el recuadro de color morado está el conector J32, el cual representa el sensor de temperatura y humedad DHT 22.

Todas estas conexiones se realizaron con este tipo de conectores según el simulador, con el fin de al momento de llevar a cabo el procedimiento del diseño de circuito impreso no hubiese inconvenientes con el espacio entre los pines de cada componente

Con respecto a la tarjeta del nodo receptor la cual el diagrama esquemático se puede ver en la ilustración 24, para este también se llevó cabo el mismo procedimiento con respecto a los conectores, primeramente con el conector de dos pines J1 son respectivamente los 5V proporcionados por el Arduino en este caso el Arduino Mega, y GND, el conector J3 de 5 pines hace referencia al módulo BLUETOOTH, y el conector J2 como se puede apreciar en la ilustración 23 corresponde a los puertos digitales del Arduino D10 y D11 respectivamente, algo de denotar es que hay dos conectores más de dos pines, estos juegan un papel fundamental en la tarjeta de circuito impreso y que esta se realizó en una board de dos caras donde los conectores J4 y J5 sirven de puente respectivamente para la conexión de alimentación, y de los pines digitales respectivamente.

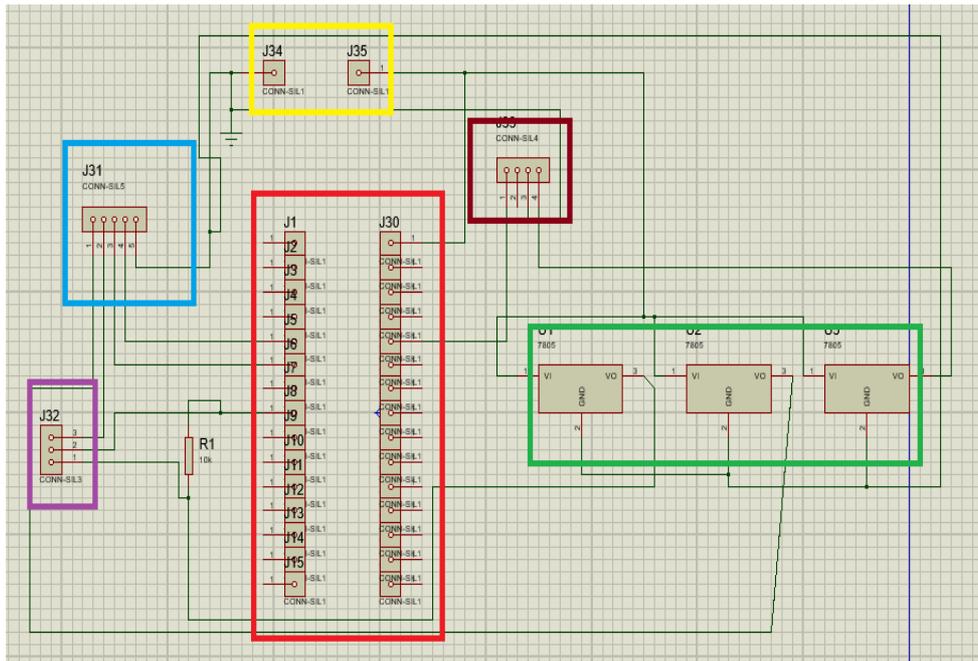


Figura 21: Diagrama esquemático sistema de obtención de datos de calidad del aire.

Fuente: Propia

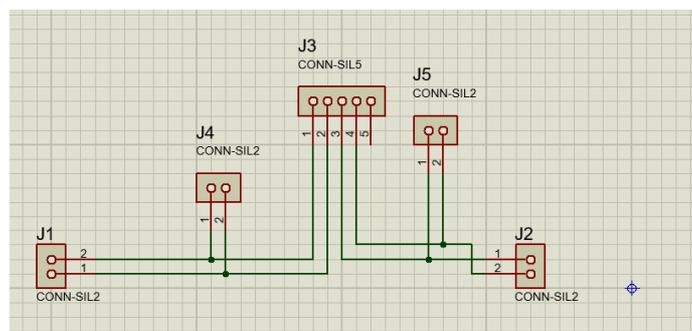


Figura 22: diagrama esquemático del nodo receptor de datos obtenidos sobre la medición de la calidad del aire

Fuente: Propia

Al tener los diagramas de los esquemáticos del sistema de monitoreo de calidad del aire, se procedió con la realización del circuito impreso o PCB LAYOUT para el esquemático de la ilustración 23, se llevó acabo la ubicación de componentes y de esa forma se procede al a realización del circuito impreso que se puede apreciar en la ilustración 25, teniendo presente que el diseño fue transferido por el método de transferencia de calor a una board de recubrimiento de cobre, para circuito impreso, de esa forma hacer el procedimiento químico para que solo quede en la board el diseño del circuito impreso, luego se procede con la perforación de cada pad para la ubicación de cada componentes y así hacer el trabajo de soldadura para la tarjeta que se encarga de hacer la medición de los parámetro de calidad del aire y de esa forma enviarlos mediante comunicación bluetooth como se había planteado de antemano, el resultado de este trabajo se puede ver en la ilustración 26 y 27 respectivamente que se pueden apreciar a continuación.

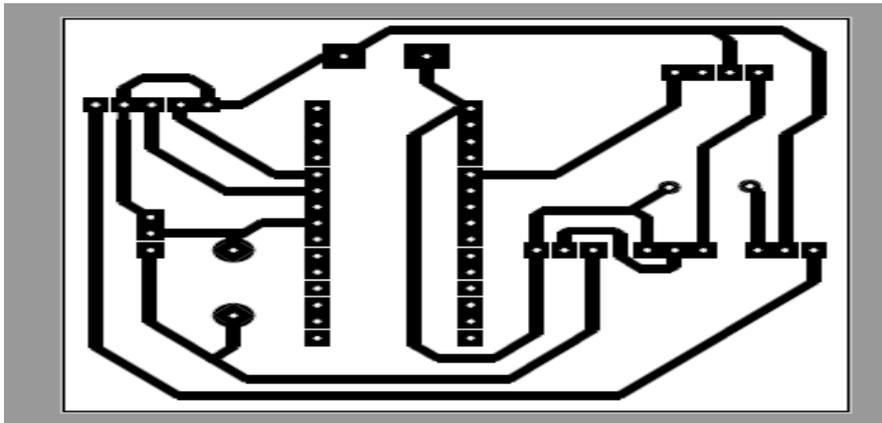


Figura 23: Diagrama de circuito impreso de la tarjeta de medición de datos para la calidad del aire.

Fuente: Propia

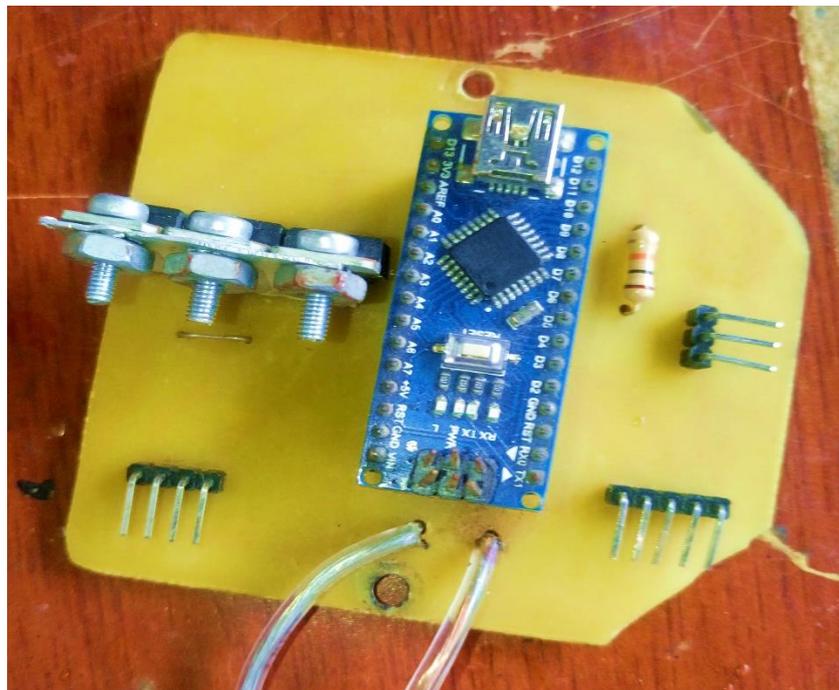


Figura 24: parte superior de la tarjeta electrónica diseñada para la medición de calidad del aire.

Fuente: Propia

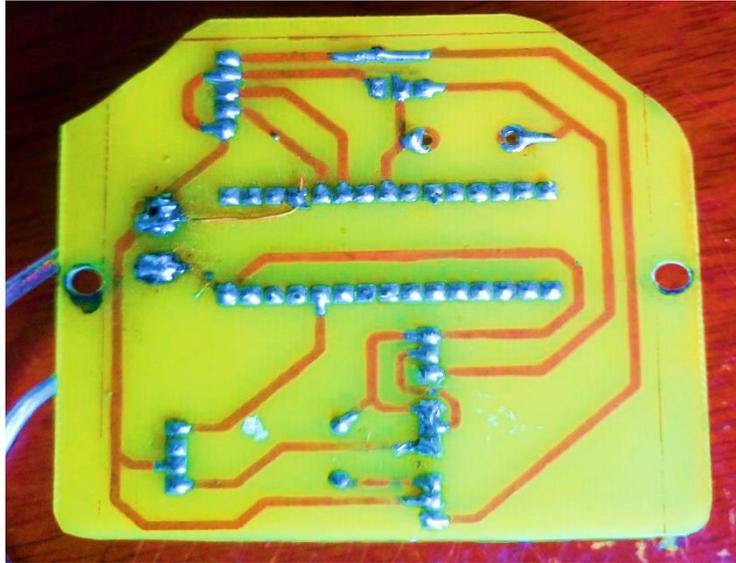


Figura 25: parte inferior de la tarjeta electrónica diseñada para la medición de calidad del aire

Fuente: Propia

Teniendo finalizado el diseño y construcción de la tarjeta electrónica para la medición de calidad del aire, se procede con el diseño y construcción de la tarjeta electrónica que se encargó de recibir los datos mediante el módulo BLUETOOTH HC – 12, de este módulo se puede conocer que es un sistema poco convencional con referente a los módulos de esta clase, que se conocen en el medio comercial del entorno donde se reside.

este módulo mediante su configuración de potencia puede alcanzar un rango de 1800 metros de distancia para lograr comunicación entres si, su forma de operación fue muy útil para el sistema como tal ya que la aeronave voló a cierta distancia considerable y de esa forma se pudo obtener los parámetros medidos de la mejor manera. En la ilustración 28 que se ve posteriormente se puede denotar diagrama de circuito impreso que se usó para la tarjeta electrónica receptora.

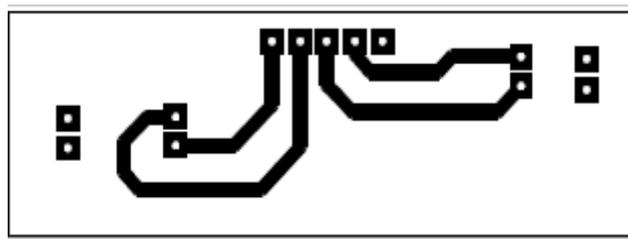


Figura 26: Diagrama de circuito impreso para la tarjeta electrónica receptora de los datos medidos de calidad del aire

Fuente: Propia

De igual forma que con la tarjeta electrónica transmisora, se llevó acabo el mismo procedimiento para la construcción de esta, mediante el método de transferencia de calor se plasmó el circuito de la ilustración 28, en una board de recubrimiento de cobre de dos caras, se hizo el procedimiento químico para obtener solo el circuito necesario, y de esa forma realizar la perforación de los pad y hacer el montaje de los componentes usados en este diseño.

En la ilustración 29, que podremos apreciar a continuación se puede ver el resultado de la construcción de la tarjeta electrónica receptora del monitoreo de la calidad del aire.

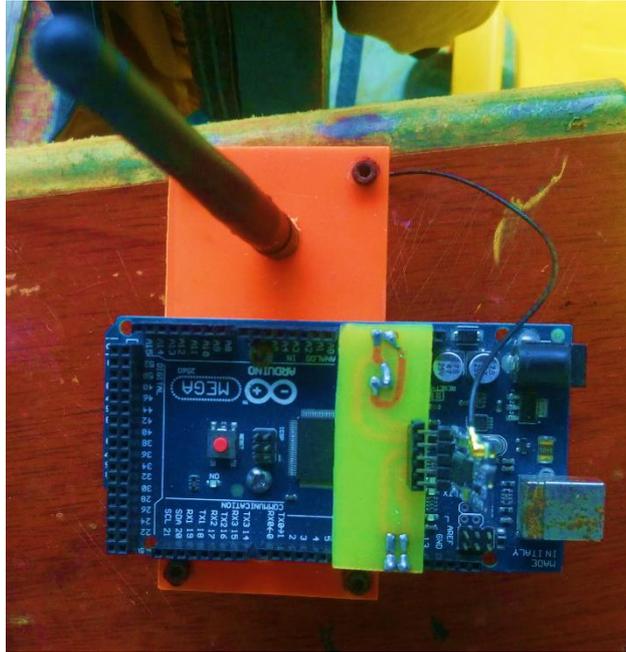


Figura 27: Tarjeta electrónica usada para la recepción de los datos medidos con respecto la calidad del aire

Fuente: Propia

Al tener el sistema para la medición de calidad del aire en tiempo real se procedió con la codificación creada en Arduino el cual estos código se pueden ver en la página de anexos al tener todo esto se pasó a la implementación en la aeronave y de esa forma realizar el estudio pertinente durante ciertos días en la universidad de Sucre con el fin de obtener un balance del estado atmosférico que se respira en el campus puerta roja, en la ilustración 30, se puede ver como quedo el sistema en la aeronave.



Figura 28: aeronave no tripulada con sistema para la medición y monitoreo de calidad del aire

Fuente: propia

7.0 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se adquirieron los datos de la calidad del aire teniendo como estudio las partículas por millón (ppm) de CO₂, la temperatura y humedad relativa.

El proceso para conocer el estado ambiental en ciertas zonas con lleva tiempo de estudio y sistemas de monitoreo robustos.

teniendo presente todo esto, se usaron dispositivos electrónicos de bajo costo los cuales fueron fácil de adquirir y que de estos podemos decir que actúan de cierta manera sistemas de medición más robustos y costosos, lo que hace que sea de gran interés es el uso del medio con el cual se logra conocer el estado ambiental en partes remotas en cuestión de tiempo real y es mediante un sistema aéreo, o aeronave no tripulada la cual puede llegar a partes donde no le es fácil al ser humano y le es altamente peligrosa para su bienestar físico.

Como parte principal, el diseño de la aeronave, la implementación, y los resultados que se obtuvieron fueron satisfactorios, después de haber sido implementada la aeronave se llevaron a cabo pruebas de vuelo con el fin de conocer la autonomía de esta, en las primeras pruebas cabe resaltar que se presentaron problemas pero fueron a la hora del pilotaje de la aeronave, se puede analizar e instruirse para de esa forma poder hacer que la aeronave pudiera tener un vuelo optimo y aceptable, mediante el mando a distancia.

Al poder tener un control total de la aeronave se procedió a la implementación de la tarjeta electrónica, al drone , la cual se encargó de medir los parámetros ya mencionados con respecto a la calidad del aire en el campus puerta roja de la universidad de sucre, durante 3 semanas se pudieron adquirir estos datos en diferentes horas del día con el fin de ver la variación que hay en la cantidad de partículas por millón de CO₂, con respecto a la temperatura y humedad que hubiera en el momento, en la tabla 4 que se podrá ver posteriormente, se encuentra en esta los datos de medición obtenidos mediante la aeronave.

Tabla 6: Datos medidos.

Número de días	Valores medidos de humedad relativa (H), temperatura(T), partículas por millón de CO ₂ (CO ₂) en las horas de la mañana (09:00 am- 11:30 am) en diferentes sectores del campus puerta roja.	Valores medidos de humedad relativa (H), temperatura(T), partículas por millón de CO ₂ (CO ₂) al mediodía. (12:30 pm – 1:00 pm) en diferentes sectores del campus puerta roja.	Valores medidos de humedad relativa (H), temperatura(T), partículas por millón de CO ₂ (CO ₂) en las horas de la tarde (3:00 pm- 4:30 pm) en diferentes sectores del campus puerta roja.
1	H:55, T:36, CO ₂ :402 H:54, T:36, CO ₂ :400 H:57, T:35, CO ₂ :403	H:50, T:33, CO ₂ :290 H:55, T:32, CO ₂ :300 H:53, T:34, CO ₂ :324	H:81, T:31, CO ₂ :400 H:80, T:32, CO ₂ :397 H:70, T:29, CO ₂ :380
2	H:57, T:34, CO ₂ :306 H:58, T:33, CO ₂ :300 H:60, T:35, CO ₂ :326	H:51, T:36, CO ₂ :302 H:53, T:35, CO ₂ :310 H:54, T:35, CO ₂ :305	H:74, T:37, CO ₂ :438 H:73, T:33, CO ₂ :400 H:70, T:30, CO ₂ :395
3	H:50, T:33, CO ₂ :290 H:51, T:32, CO ₂ :300 H:53, T:31, CO ₂ :310	H:65, T:31, CO ₂ :352 H:60, T:32, CO ₂ :350 H:63, T:30, CO ₂ :340	H:53, T:34, CO ₂ :295 H:50, T:32, CO ₂ :300 H:55, T:30, CO ₂ :310
4	H:55, T:35, CO ₂ :310 H:54, T:33, CO ₂ :320 H:53, T:36, CO ₂ :315	H:70, T:35, CO ₂ :398 H:71, T:36, CO ₂ :400 H:68, T:33, CO ₂ :380	H:52, T:35, CO ₂ :395 H:50, T:33, CO ₂ :380 H:54, T:30, CO ₂ :350
5	H:51, T:36, CO ₂ :302 H:53, T:35, CO ₂ :310 H:54, T:35, CO ₂ :305	H:57, T:28, CO ₂ :280 H:60, T:30, CO ₂ :300 H:68, T:31, CO ₂ :312	H:56, T:30, CO ₂ :323 H:54, T:33, CO ₂ :320 H:55, T:32, CO ₂ :310

6	H:70, T:30, CO2:354 H:72, T:32, CO2:360 H:71, T:31, CO2:358	H:70, T:33, CO2:320 H:68, T:32, CO2:316 H:57, T:33, CO2:323	H:73, T:29, CO2:320 H:70, T:30, CO2:330 H:75, T:33, CO2:380
7	H:65, T:30, CO2:324 H:66, T:31, CO2:320 H:70, T:32, CO2:325	H:73, T:29, CO2:300 H:67, T:30, CO2:310 H:70, T:33, CO2:320	H:68, T:31, CO2:340 H:70, T:33, CO2:350 H:72, T:30, CO2:300
8	H:74, T:29, CO2:300 H:73, T:30, CO2:305 H:70, T:31, CO2:303	H:55, T:32, CO2:345 H:50, T:30, CO2:310 H:60, T:30, CO2:320	H:70, T:35, CO2:398 H:71, T:36, CO2:400 H:68, T:33, CO2:380
9	H:75, T:31, CO2:354 H:70, T:30, CO2:360 H:73, T:31, CO2:350	H:72, T:33, CO2:315 H:70, T:31, CO2:300 H:79, T:32, CO2:322	H:51, T:32, CO2:365 H:50, T:30, CO2:340 H:60, T:34, CO2:389
10	H:70, T:32, CO2:384 H:73, T:33, CO2:365 H:71, T:30, CO2:370	H:55, T:32, CO2:345 H:50, T:30, CO2:310 H:60, T:30, CO2:310	H:69, T:29, CO2:302 H:70, T:30, CO2:310 H:65, T:33, CO2:356
11	H:85, T:28, CO2:363 H:80, T:30, CO2:393 H:87, T:31, CO2:400	H:55, T:36, CO2:402 H:54, T:36, CO2:400 H:57, T:35, CO2:403	H:72, T:30, CO2:305 H:70, T:31, CO2:300 H:75, T:32, CO2:325
12	H:81, T:27, CO2:374 H:79, T:26, CO2:354 H:76, T:28, CO2:360	H:70, T:35, CO2:398 H:71, T:36, CO2:400 H:68, T:33, CO2:380	H:57, T:28, CO2:280 H:60, T:30, CO2:300 H:68, T:31, CO2:312
13	H:75, T:28, CO2:374 H:72, T:27, CO2:365 H:78, T:30, CO2:370	H:73, T:35, CO2:417 H:70, T:33, CO2:400 H:70, T:30, CO2:390	H:55, T:32, CO2:345 H:50, T:30, CO2:310 H:60, T:30, CO2:310
14	H:65, T:31, CO2:352 H:60, T:32, CO2:350 H:63, T:30, CO2:340	H:70, T:32, CO2:384 H:73, T:33, CO2:365 H:71, T:30, CO2:370	H:67, T:31, CO2:328 H:65, T:30, CO2:320 H:63, T:33, CO2:350
15	H:60, T:33, CO2:322 H:55, T:32, CO2:330 H:59, T:33, CO2:335	H:60, T:34, CO2:390 H:65, T:33, CO2:378 H:59, T:34, CO2:388	H:73, T:29, CO2:300 H:67, T:30, CO2:310 H:70, T:33, CO2:320

Queda visto la relación que existe entre el calentamiento global del planeta y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), entre los que se encuentran el dióxido de carbono, el cual es el más dañino para el ambiente en la actualidad, el metano (CH₄), y el óxido nitroso (N₂O), la mayoría de todos estos gases se desprenden o provienen mayoritariamente como consecuencias del uso de combustibles fósiles. El estudio de núcleos de hielo y otros datos proxy nos dice mucho sobre cómo el sistema de tierra lento y rápido se ha ajustado a los cambios en el pasado. Estos registros nos dicen acerca de los niveles atmosféricos de CO₂ y el clima que se remontan antes del desarrollo de la civilización humana. Retroceden mucho antes de la aparición del homo sapiens en la tierra. Entre otras cosas, muestran la tasa de cambio sin precedente que se ha producido desde la industrialización de las sociedades humanas.

Sabemos que el CO₂ atmosférico ha oscilado entre 172 y 300 partes por millón (ppm) en el último millón de años. La Tierra pasó por períodos glaciales fríos y cálidos interglaciares sin que el CO₂ atmosférico supere las 300 ppm. La primera vez en la historia de la humanidad que el CO₂ atmosférico excedió las 300 ppm fue aproximadamente el momento en que el Titanic se hundió en el Océano Atlántico Norte. Ahora, el cruce a las concentraciones que permanecen por encima de 400 ppm de CO₂ está casi completo.

Teniendo todo esto presente cabe resaltar los datos vistos en la tabla 4, se hace la comparación con datos estadísticos proporcionados por la NASA se puede apreciar en la figura N° 34, los cuales registran los valores de partículas por millón de CO₂, donde los valores obtenidos mediante la medición realizada deja determinar que todavía es posible respirar aire limpio en el campus puerta roja de la universidad de sucre, todos estos datos que se registraron en el lugar donde se llevó a cabo el monitoreo están dentro

de lo normal o lo que se considera “*aire limpio*”. En la figura podemos ver el resultado de la cantidad de PPM CO₂ medidos en las horas de la mañana durante los 15 días preseleccionados para llevar a cabo este estudio sobre la calidad del aire.

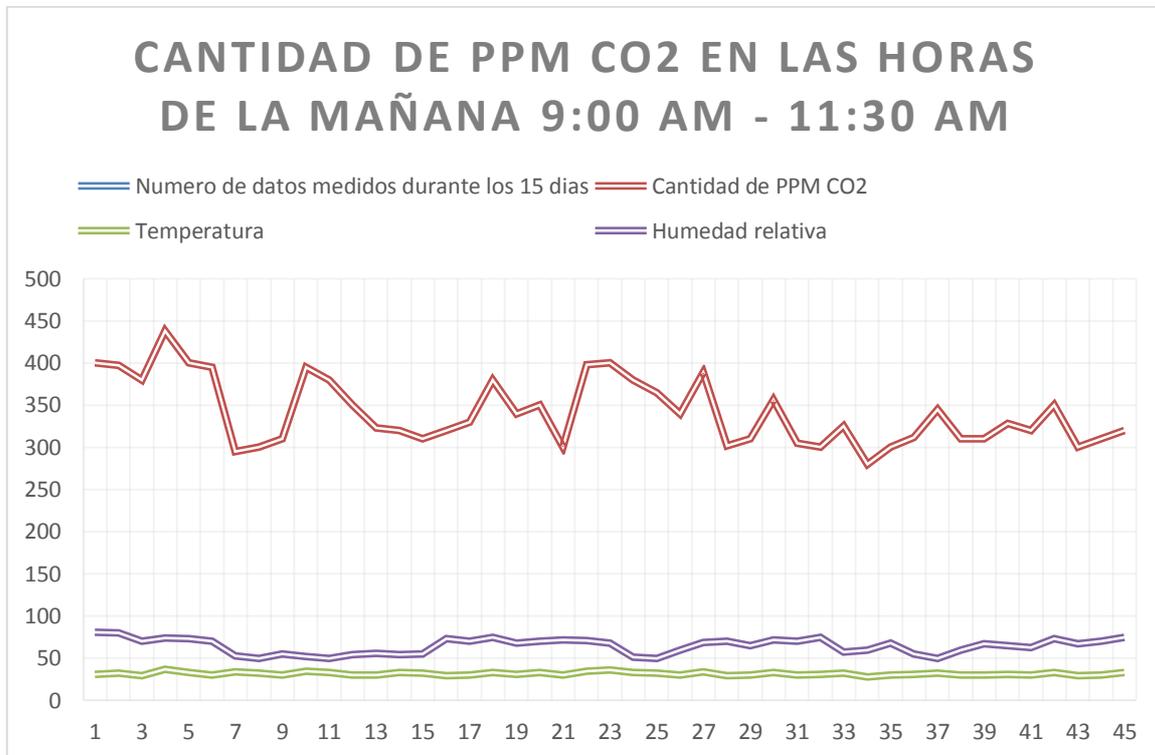


Figura 29: Grafica de cantidad de PPM CO₂ medidos en las horas de la Mañana

Fuente: Propia

Se puede llegar a la conclusión que los valores de concentración o la cantidad de partículas por millón de CO₂ en las horas de la mañana, se mantiene dentro de un rango normal, en la figura 31 se nos muestra que los valores se encuentran entre los 300 ppm a 400 ppm aproximadamente, dando a entender que están dentro de lo que es considerado aire limpio, teniendo en cuenta que, en este momento del día el paso de estudiantes registrados en la universidad, es bajo, ya que la mayoría se encuentra en hora de clases y hay menos contaminación, porque se puede comprender que entre mayor cantidad de personas, genera más temperatura y de esa forma la concentración de CO₂, tendría un leve aumento con respecto a la zona donde se encuentre, también se registra en la figura los valores para este estudio durante el mediodía veámosla.

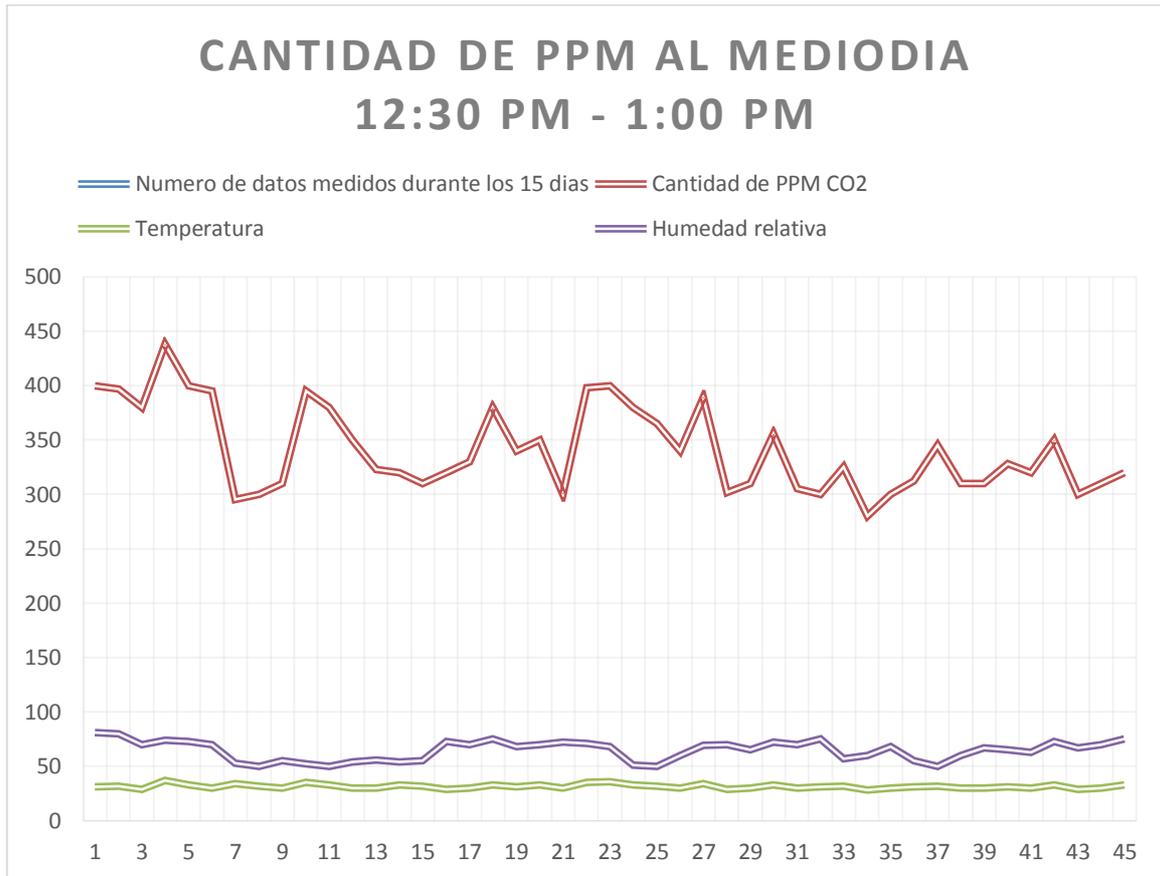


Figura 30: Grafica de cantidad de PPM CO2 medidos al mediodía

Fuente: Propia

En la figura 32 se aprecia que la cantidad de PPP CO2 baja un poco más con respecto a la figura 31 la cual mostro los datos en las horas de la mañana, teniendo en cuenta que son pocos los que sobre pasan los 400 ppm, se denota que hubo un solo momento donde la cantidad de partículas pudo sobrepasar los 450 ppm, demostrando así que se encuentra de los valores nominales, que consideran a esto aire limpio, pero también es vital conocer el estado de la contaminación en las horas de la tarde para de esa forma dejar visto o saber en qué momento del día se presenta más contaminación en el campus.

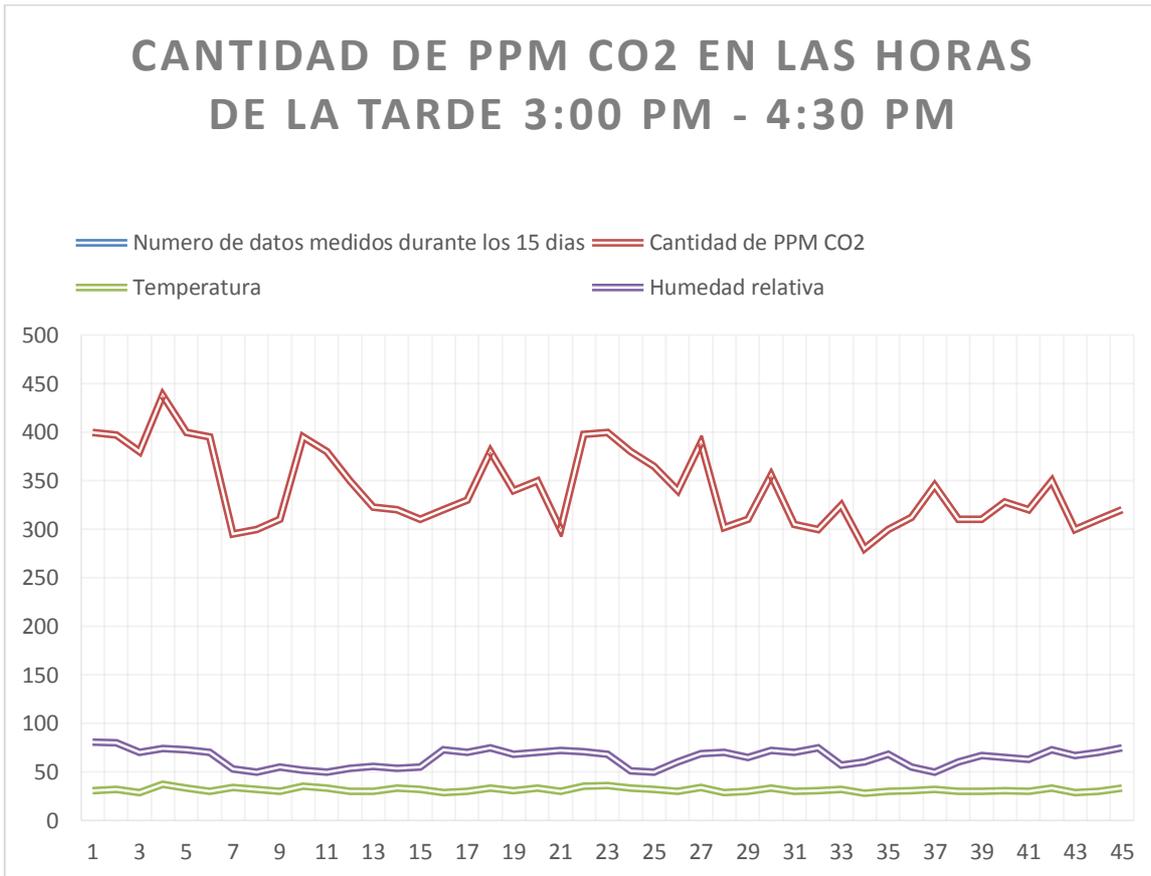


Figura 31: Grafica de cantidad de PPM CO2 medidos en las horas de la tarde

Fuente: Propia

Los resultados medios durante las horas de la tarde, son los siguientes, primeramente se pudo llegar a la conclusión con respecto a la figura 33 que durante los primeros días se presentó una tasa alta de partículas por millón pero a medida que fueron pasando los días los valores fueron llegando a un estándar normal o más bajo, todo esto, ya que el clima como tal en la zona empezó a bajar, hubo menos temperatura, días nublados, todo esto contribuyó a que la cantidad de partículas por millón o el nivel de contaminación por parte del CO₂ bajara levemente.

Se llegó al punto de dejar claro con referente a lo anterior que se puede o se presenta un nivel de contaminación de CO₂, normal en el campus de la universidad teniendo presente que es el entorno presentado, no es cerrado es muy abierto a donde los gases contaminantes tienen más facilidad de esparcirse y de esa forma haya menos concentración de contaminantes en la zona, en la figura 34, se puede ver un gráfico en el cual se pudo ver cómo ha ido en aumento la cantidad de partículas por millón de CO₂ en los últimos años a nivel mundial, y para tener en cuenta el promedio de la cantidad de PPM CO₂ durante el mes de agosto de 2018 que fue el mes donde se llevó a cabo la medición durante 15 días registra que las partículas por millón estaban alrededor de los 345.5 ppm en el campus puerta roja a porque Según el sitio CO₂ Earth.daily.com los valores de PPM CO₂ mundial fue de 406.9 ppm dando a entender que el campus puerta roja es un entorno es mucho más limpio para respirar. (McGee, 2007)

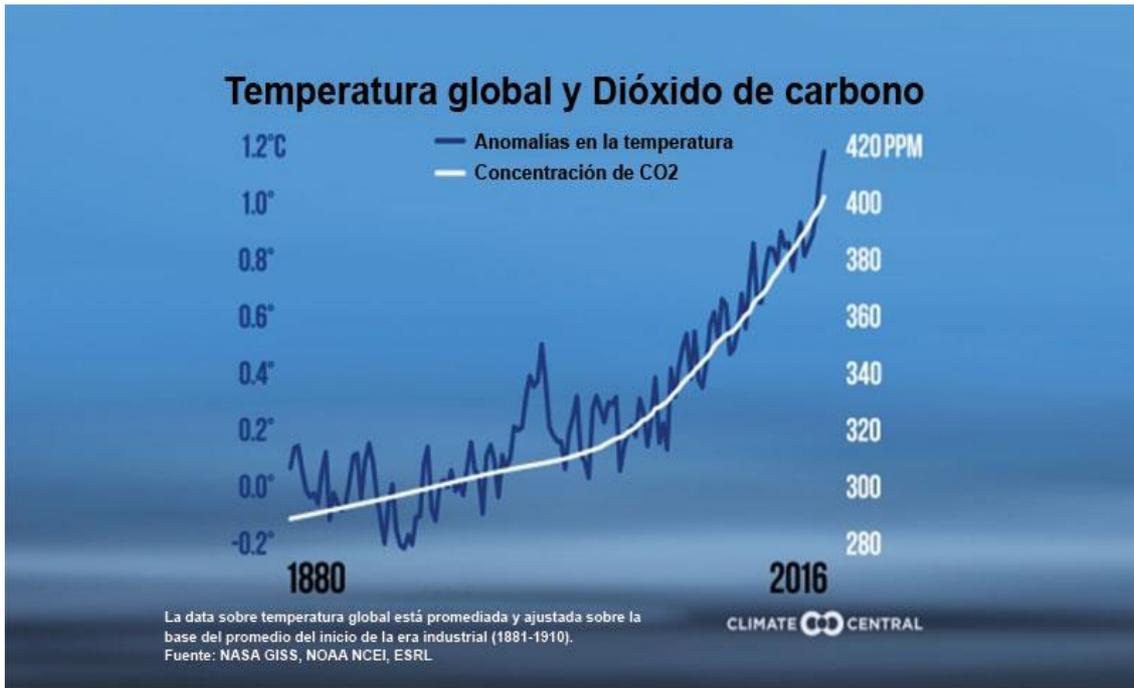


Figura 32: Niveles de aumento de CO2 en el mundo al pasar de los años

Fuente: (Futuro verde, s.f.)

Considerando la relación que existe entre el aumento de temperatura y las emisiones de CO2, el ser humano diariamente produce más gases de efecto invernadero que los que naturalmente deben existir, el uso de electricidad, manejar vehículos, ver televisión, y el usar calefactores en nuestros hogares son actividades que consumen energía proveniente de la quema de combustible fósiles.

8.0 CONCLUSIONES.

Fue posible integrar tecnologías de comunicación inalámbrica y adquisición de datos a un vehículo aéreo no tripulado tipo dron para la medición de calidad del aire y conocer el estado ambiental de ciertas zonas donde este ítem sea eje de estudio.

Después de haber monitoreado la calidad del aire en el campus puerta roja de la universidad de Sucre, es posible estimar que la cantidad de PPM CO₂, esta entre los rangos nominales de aceptabilidad (entre 300 y 400 partículas por millón aproximadamente), lo que sugiere un nivel de contaminación bajo, teniendo en cuenta que hay factores que influyen a que haya o se pueda respirar aire limpio , y es que el campus puerta roja se encuentra ubicado en una zona donde hay mucha vegetación, hay mucho espacio libre, donde constantemente hay corrientes de aire fresco, que hace que las partículas contaminantes que se puedan presentar se diluyan y no cree densidades de material contaminante, en este caso de dióxido de carbono.

Mediante el uso de un dron se pueden realizar este estudio y tener los datos en tiempo real, sabiendo que existen sistemas de medición de calidad del aire que arrojan el estado de la contaminación después de cierto tiempo, mostrando la importancia del uso de este tipo de tecnologías, ya que las aeronaves no tripuladas hoy día están avanzando con el fin de darle solución a problemáticas de la sociedad.

9.0 RECOMENDACIONES.

Se recomienda, al usar el sensor de gas MQ 135, es importante hacer una calibración de este el cual consiste en dejarlo calentar en un periodo de 24 a 48 horas con el fin de que la bobina interna se pueda “quemar”, es decir que al momento de estar recibiendo las partículas por millón de CO₂, pueda dar un valor real de este y sea no un valor oscilante si no un valor que se mantenga.

Se recomienda llevar a cabo el proceso de toma de datos en una ventana de tiempo mayor a la usada en este trabajo con el propósito de que estos sean más representativos y permitan obtener análisis más precisos.

Al tener una aeronave no tripulada tipo drone es necesario adquirir destrezas en el pilotaje, con el fin de saber el funcionamiento de la aeronave, todo esto se busca con muchos fines, uno de estos es que la aeronave no sufra daños físicos a la hora de realizar su respectivo vuelo, en segundo lugar podemos mencionar los daños físicos que puede obtener la persona que lo pilotea o alguien que se encuentre cerca de ella, cabe resaltar que uno de los componentes de una aeronave son sus hélices, pues son elementos con un borde afilado que giran a altas revoluciones por minuto, haciéndolas peligrosas para el cuerpo humano, la cual puede generar daños físicos irreversibles, expertos siempre recomiendan que si se es nuevo en este mundo es necesario pilotear en zonas de campo abierto para evitar todo lo anterior.

10.0 TRABAJOS FUTUROS.

Trazado de patrones de vuelo o recorrido, para que de esta forma la aeronave lo recorra de forma autónoma y pueda hacer las mediciones necesarias en cuanto a calidad del aire u otro objeto de estudio.

REFERENCIAS

- (OEFA), O. D. (s.f.). EQUIPOS DE MEDICION DE LA CALIDAD DEL AIRE. Peru.
- A y T Ambiente y tecnologia.* (s.f.). Obtenido de <http://www.ayt.cl/es/productos/analizadores-de-gases/analizadores-portatiles/sensor-portatil-de-calidad-del-aire-aeroqual-serie-500-detail>
- Agencia provincial de la energia de granada.* (s.f.). Obtenido de <http://www.apegr.org/index.php/es/cambioclimatico?showall=&start=1>
- Agencias de noticias Universidad Nacional de colombia.* (18 de Noviembre de 2016). Obtenido de <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/dispositivo-mide-calidad-del-aire-en-tiempo-real.html>.
- AliExpress.* (s.f.). Obtenido de <https://es.aliexpress.com/item/F450-Quadcopter-MultiCopter-Frame-kit-W-Black-Tall-Landing-Gear-Skid-for-DJI-F450-F550-SK480/32339098360.html>
- Amazon.* (s.f.). Obtenido de <https://www.amazon.es/Goliton-Hexacopter-Frame-ament%C2%A8%C2%AE-versi%C2%A8%C2%AE/dp/B01904XKEY>
- Articulos de Drones.* (28 de Octubre de 2017). Obtenido de <http://articulosdedrones.blogspot.com/2017/10/que-es-un-quadcopter-drone-kid-mejores.html>
- Bedoya, J., & Martinez, E. (15 de Julio de 2009). *DYNA*. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/10241/13397>
- Cuerno Rejado, C., Garcia Hernandez , L., Sanchez Carmona, A., Carrio, A., Sanchez Lopez , J., & Campoy , P. (2016). Evolucion historica de los vehiculos aereos no tripulados hasta la actualidad. *DYNA*.
- Diario del Aeromodelista.* (s.f.). Obtenido de <http://diariodelaeromodelista.blogspot.com/2015/07/configuracion-controladora.html>
- Diario el pais noticias sociedad.* (27 de 01 de 2009). Obtenido de https://elpais.com/sociedad/2009/01/27/actualidad/1233010801_850215.html
- Digi-key.* (08 de 05 de 2014). Obtenido de <https://www.digikey.com/es/articles/techzone/2014/may/sniffing-the-air-sensors-for-monitoring-air-quality-and-safety>
- Escura Forcada, C. (s.f.). *Vuelo Artificial*. Obtenido de <https://vueloartificial.com/introduccion/primeros-pasos/la-electronica-de-vuelo/>
- ESENZIALE.* (s.f.). Obtenido de <https://esenziale.com/tecnologia/partes-drone/>
- Fernandez Bremauntz, A., & Martinez Fernandez, J. (2004). *cambio climatico: una vision desde Mexico*. Mexico.
- Futuro verde.* (s.f.). Obtenido de <https://futuroverde.org/2017/10/20/la-relacion-entre-el-co2-y-las-altas-temperaturas-en-graficas/>
- GEEKBOT ELECTRONICS.* (s.f.). Obtenido de <http://www.geekbotelectronics.com/producto/mq-135-modulo-sensor-de-calidad-del-aire/>
- IDEAM. (2007-2010). Informe del Estado de la calidad del aire en Colombia. Colombia.
- korc, M., & Saenz, R. (1999). Monitoreo de calidad del aire en america latina. Lima, Peru.
- Lopez Tarabochia, M. (15 de Enero de 2017). *Mongabay*. Obtenido de <https://es.mongabay.com/2017/01/drones-qaira-contaminacion/>.
- Luque Lopez, B. (Junio de 2016). Aplicacion de vision por computador en Drones. Barcelona, España.
- Luque Tumiri, F. J. (2017). *natzone*. Obtenido de <http://natzone.org/index.php/component/content/article/15-frontpage-blog/desarrollo-tecnologico/398-uso-de-drones-para-el-monitoreo-ambiental2?Itemid=101>.
- McGee, M. (2007). *CO 2 .earth*. Obtenido de <https://www.co2.earth>
- Noji, E. (1997). Impacto de los desastres en la salud publica. Atlanta GA, Estados Unidos de Norte America.
- Proclima.* (s.f.). Obtenido de https://www.proclima.es/wp-content/uploads/2014/06/calidad_del_aire.pdf
- Ramirez Marocho, F. (2017). Diseño de un sistema de telecomunicaciones con redes Ad Hoc de Drones como alternativa de medio de comunicacion para hacer frente a desastres naturales. San Miguel Petapa, Peru.

Sincratech. (2015). *Sincratech*. Obtenido de <http://sincratech.com/tecnologia/el-uso-de-drones-para-el-control-de-la-calidad-del-aire/>

Wiscomic. (s.f.). Obtenido de <http://wiscomic.com/blog/contenido-extra-montaje-f450/>

ANEXOS.

A. Código usado en la tarjeta electrónica encargada de medir los datos y transmitir a el nodo receptor.

```

// The load resistance on the board
#define RLOAD 10.0
//#include <Adafruit_Sensor.h>
// Calibration resistance at atmospheric CO2 level
#define RZERO 5980.1
#include "MQ135.h"
#include <SoftwareSerial.h>
#include "DHT.h"
MQ135 gasSensor = MQ135(A7);
SoftwareSerial BT (2,3); // RX, TX
#define DHTPIN 5
#define DHTTYPE DHT22 // Sensor DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

int val;
int sensorPin = A7;
int sensorValue = 0;
void setup() {
  BT.begin(1200);// inicio el puerto serial a usar con bluetooth
  Serial.begin(9600);
  pinMode(sensorPin, INPUT);
  dht.begin();
}

void loop() {
  val = analogRead(A7);
  int h = dht.readHumidity(); //Leemos la Humedad
  int t = dht.readTemperature(); //Leemos la temperatura en grados Celsius
// float f = dht.readTemperature(true); //Leemos la temperatura en grados Fahrenheit
//-----Enviamos las lecturas por el puerto serial-----
//Serial.print("Humedad ");
Serial.print(h);
Serial.print('-');
// Serial.print(" %t");
// Serial.print("Temperatura: ");
Serial.print(t);
Serial.print(':');
// Serial.print(" *C ");
//Serial.print(f);
//Serial.println(" *F")
//Serial.print ("raw = ");
// Serial.println (val);
//float zero = gasSensor.getRZero();
//Serial.print ("rzero: ");
//Serial.println (zero);
int ppm = gasSensor.getPPM();
//Serial.print ("ppm: ");

```

```

Serial.print(ppm);
Serial.println(';');
BT.print(h);
BT.print('-');
BT.print(t);
BT.print(':');
BT.print(ppm);
BT.println(';');
delay(500);

```

Código usado para la tarjeta electrónica que se encargó de recibir los datos y mostrarlos en tiempo real.

```

#include <SoftwareSerial.h> // inicio softwareserial
SoftwareSerial BT(11, 10); //Pines 11,12 para RX y TX

void setup() {
  BT.begin(1200); // Se inicia la comunicacion serial con el bluetooth
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600); //Se inicia el puerto serial de arduino
  pinMode(13, OUTPUT);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  digitalWrite(13, LOW);
  if (BT.available()>0){
    digitalWrite(13, HIGH)
    ; //Serial.print("as");
  /* Se separan los datos distinguiendolos por el caracter final, tomándolos como String */
  String t = BT.readStringUntil('-'); // por ejemplo el valor antes de la "," se toma
  BT.read();

  String f = BT.readStringUntil(':'); // luego el valor antes de los ":" se toma
  BT.read();

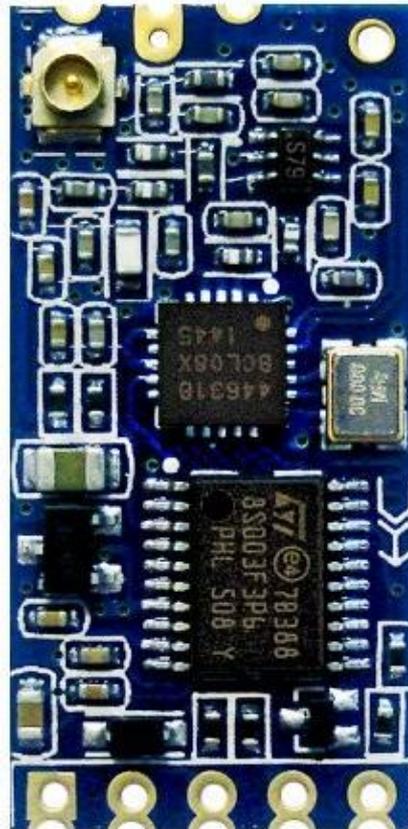
  String g = BT.readStringUntil(';');
  BT.read();

  /* Se convierten los String a entero */
  int q = t.toInt();
  int r = f.toInt();
  int u = g.toInt();
  /* Se imprime lo recibido por el puerto Serial */
  Serial.print(q);
  Serial.print(",");
  Serial.print(r);
  Serial.print(",");
  Serial.println(u);
}

```

B. HC-12 Wireless Serial Port Communication Module

User Manual version 2.3B
(updated from v1.1 English and v2.3 Chinese)



Product Applications

Wireless sensor
Community building security
Robot wireless control
Industrial remote control and telemetry
Automatic data acquisition
Container information management
POS system
Wireless acquisition of gas meter data
Vehicle keyless entry system
PC wireless networking

Document History:

2012/10 version 1.1
2014/09 version 2.3
2016/01 version 2.3B

English, www.seeedstudio.com

Chinese, www.wavesen.com

Translated v2.3 online and merged with

v1.1 by RR

Product Features

Long-distance wireless transmission (FU3: 1000m in open space, baud rate 5000bps in the air. FU4: 1800m in open space, baud rate 500bps in their)

Working frequency range (433.4-473.0MHz, with 100 communication channels)

Maximum 100mW (20dBm) transmitting power (8 levels of power can be set)

Four working modes, adapted to different application situations

Built-in MCU performs communication with external device through serial port, no programming or configuration required for basic use

The number of bytes transmitted continuously is unlimited (FU1 and FU3 modes only)

Update software version through the serial port

Product Introduction

The HC-12 wireless serial port communication module is a new generation of multi-channel embedded wireless data transmission module. Its wireless working frequency band is 433.4-473.0MHz. Multiple channels can be set, with a channel stepping of 400kHz and a total of 100 channels. The maximum transmitting power of the module is 100mW (20dBm), the receiving sensitivity is -117dBm at a baud rate of 5000bps in the air. Communication distance is 1000m (FU3 mode at 4800bps serial speed) in open space, 1800m in FU4 mode at reduced baud rate and volume of data.

The module uses stamp hole packaging to allow for patch soldering, with dimensions of 27.8mm × 14.4mm × 4mm (including antenna cap, excluding spring antenna), making it is very convenient for incorporate into user specific applications. There is a PCB antenna socket ANT1 on the module, so an external 433MHz frequency band antenna can be attached via a coaxial cable; there is also an antenna solder eyelet ANT2 on the module, convenient to solder a spring antenna to. Select one of these antenna options according to user requirements.

The module has an onboard MCU, eliminating the need for user to program the radio section separately, with transparent half-duplex serial transmission provided for receiving and sending serial port data. This making the HC-12 very easy to interface with. The module adopts multiple serial port transparent transmission modes that are user selected by AT commands according to usage requirements. The average working current of the four modes FU1, FU2, FU3, and FU4 in idle state are: 3.6mA, 80uA, 16mA, and 16mA respectively, while the maximum working current in any mode is 100mA (in the transmitting state).

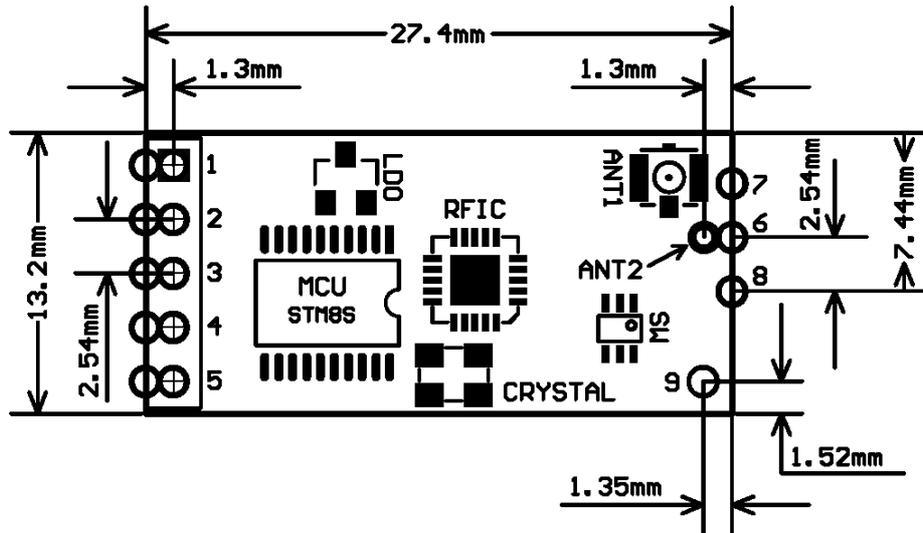
Product Configuration

Standard configuration of the HC-12 module only contains one 433MHz-frequency-band wireless communication module with IPEX20279-001E-03 standard RF socket. Optional accessories are 433MHz frequency band spring antenna, or IPEX-to-BNC coaxial cable and matching 433MHz frequency band omni-directional rubber antenna with BNC connector base. The user can purchase these according to their application requirements.

Technical Details

The HC-12 module uses a Silicon Labs Si4463 to provide the RF communications link. This is a high performance, low current, single-chip “EZRadioPRO” family transceiver with up to 20dBm (100mW) transmitting output power. The Si4463 communicates through an SPI bus with an STMicroelectronics STM8S003F3 8-bit MCU that runs the HC-12 firmware. The STM8S provides a transparent serial data interface for interfacing to the module, allowing two HC-12 modules to act like a wired TTL level serial cable without any attached hardware devices needing to be aware of the RF link. Serial port and transceiver configurations are held in onboard non-volatile flash memory.

Product Dimensions



Definition of Pins

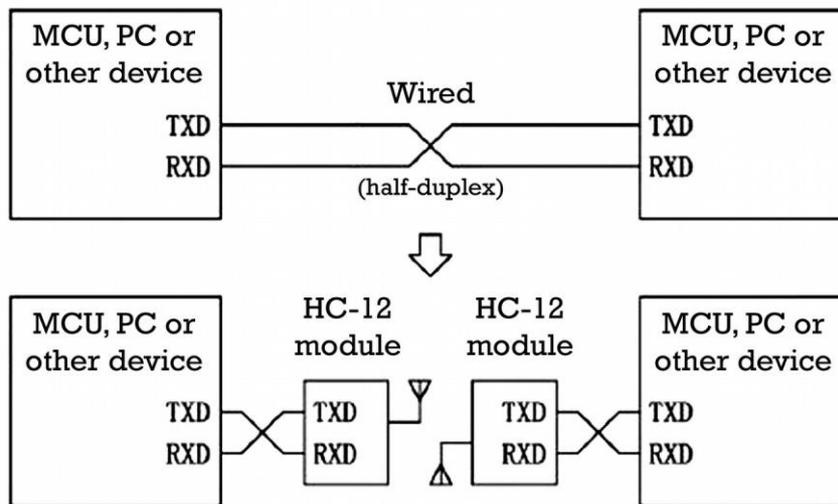
The HC-12 module can be patch soldered, or have a 2.54mm-spacing pin header attached and directly inserted onto the user's PCB. The module has nine pins in total, and one RF antenna socket (ANT1), with definitions as shown in the table below:

Pin	Definition	I/O direction	Notes
1	Vcc		Power supply input, DC3.2V-5.5V, with load capacity not less than 200mA. Note: if the module is working in the transmitting state for an extended time, it is suggested that a 1N4007 diode be connected in series if the supply voltage is greater than 4.5V, so as to avoid overheating the onboard LDO regulator
2	GND		Common ground
3	RxD	Input (weak pullup)	UART data input, TTL level. 1k resistor connected in series inside the module
4	TxD	Output	UART data output, TTL level. 1k resistor connected in series inside the module
5	SET	Input (10k pullup)	Parameter setting control pin, active low level. 1k resistor connected in series inside the module
6	ANT	Input/Output	433MHz antenna pin
7	GND		Common ground
8	GND		Common ground
9	NC		No connection, used in mechanical fixing, compatible with HC-11 module pin position
ANT1	ANT	Input/Output	IPEX20279-001E-03 antenna socket
ANT2	ANT	Input/Output	433MHz spring antenna solder eyelet

Pins 1-6 each have two bonding pads, with the outer half-hole bonding pads intended for patch soldering. When the inner bonding pad ANT2 of Pin 6 is used for connection, the spring antenna can be soldered here by hand. The inner round-hole bonding pads of Pins 1-5 may then be used to solder a 2.54mm-spacing pin header that can be plugged into a PCB socket.

Wireless Serial Port Transparent Transmission

Simple introduction of working principle



As shown in the above diagram, two HC-12 modules can be used in place of physical wiring to replace a wired half-duplex serial communications link carrying TTL level signals. The left device sends serial port data to the module, and after the RXD port of the left module receives the serial port data, it will automatically send the data over the air via radio wave. The right module receives the data, and restores the serial port data originally sent by the left device and sends it out TxD. It is the same from right to left. Only a half-duplex link is available between modules, as they can not receive and send data over the air at the same time.

Serial port transparent transmission

The HC-12 module has four serial port transparent transmission modes, expressed as FU1, FU2, FU3, and FU4. In operation, these modes hide all the details of wireless communications from attached devices. The factory default working mode of the system is FU3 full-speed mode, and in this mode the baud rate in this air is automatically adjusted according to baud rate that the serial port has been set to. The usable communication distance will be the farthest at the lowest baud rate. Different modes can not transmit data to each other, and the user should select the optimal mode according to practical circumstances.

The modules are usually operated in pairs, with data transmitted by means of a half-duplex link. For successful wireless transmission, the transparent transmission mode, serial port baud rate, and wireless communication channel of the two paired modules must be set the same. The factory default module setting are: FU3, 9,600bps (8N1: 8 data bits, no parity, 1 stop bit), CH001(433.4MHz), 20dBm power (100mW).

The number of bytes that can be continuously sent to the serial port of the module is unlimited in modes FU1 and FU3. However, considering ambient interference and other factors, if thousands of data bytes are sent continuously, some number of bytes may be lost. Therefore, the attached devices at each end of the link should have some sort of response and resending mechanism to avoid information loss.

The four serial port transparent transmission modes

When the HC-12 module leaves the factory, its default serial port transparent transmission mode is FU3. In this mode the module remains in full-speed state, with an idle current of about 16mA. The module automatically adjusts the baud rate of wireless transmission in the air according to the serial port baud rate,

with the corresponding relationship as shown in the table below:

Serial port baud rate	1200 bps	2400 bps	4800 bps	9600 bps	19,200 bps	38,400 bps	57,600 bps	115,200 bps
Baud rate in the air	5000bps		15,000bps		58,000bps		236,000bps	

To get the maximum communication distance, the serial port baud rate should be set to be low (1200bps or 2400bps). For short-time transmission of mass data, the serial port baud rate may be set high, but be aware that the communication distance will be reduced accordingly.

The receiving sensitivity of the module at different baud rates in the air is as shown in the table below:

Baud rate in the air	5000bps	15,000bps	58,000bps	236,000bps
Wireless receiving sensitivity	-117dBm	-112dBm	-107dBm	-100dBm

Generally, every time the receiving sensitivity is reduced by 6dB, the communication distance will be reduced by half.

When the “SET” pin of the module is pulled low, the serial port transparent transmission mode and other parameters can be set through AT commands (see the introduction in the following chapter for details).

FU1 mode is a moderate power saving mode, with an idle working current of about 3.6mA. In this mode, the module can also be set to any of the eight serial port baud rates shown in the above table, but the baud rate in the air is a uniform 250,000bps.

FU2 mode is an extreme power saving mode, with an idle working current of about 80uA. In this mode, the module only supports baud rates of 1200bps, 2400bps, and 4800bps, with the baud rate in the air uniform at 250,000bps. If the module is subsequently set to any other serial port baud rate, the module will not be able to conduct wireless communication normally.

When the module is set to FU2 mode, if the currently set baud rate exceeds 4800bps it will be automatically reduced to 4800bps. In FU2 mode, the sending time interval of data packets can not be too short, otherwise data will be lost. It is suggested that the sending time interval between data packets should be no less than 1 second.

FU4 mode is useful for maximum range, up to 1.8km. Only a single baud rate of 1200bps is supported, with the in the air baud rate reduced to 500bps for improved communication distance. This mode can only be used for small amounts of data (each packet should be 60 bytes or less), and the time interval between sending packets must not be too short (preferably no less than 2 seconds) in order to prevent loss of data.

The following table gives typical reference values for the various modes:

Mode	FU1	FU2	FU3	FU4	Remarks
Idle current	3.6mA	80uA	16mA	16mA	Average value
Transmission delay	15-25mS	500mS	4-80mS	1000mS	Sending one byte
Loopback test delay 1	31mS				Serial port baud rate 9600, sending one byte

Loopback test time delay 2	31mS				Serial port baud rate 9600, sending 10 bytes
Operating range at full power (20dBm)	100m	100m	600m at 9600bps 1000m at 2400bps	1800m at 1200bps	Clear line of sight between modules under ideal conditions

Note: Loopback test time delay means the round trip time taken for data that is sent to the input (RxD pin) of one module, to begin to emerge from the output (TxD pin) of the same module, where a second (remote) module has been configured with the TxD and RxD pins connected together.

Module Parameter Setting AT Commands

AT commands are used to set module parameters and switch between module functions when the module is in command mode. After being set, these changes will become valid only after exiting from command mode. Parameters are stored in onboard non-volatile flash memory, so will not be lost when power is removed.

Entering command mode

There are two ways to enter command mode:

while energized, pull Pin 5 (“SET”) low, wait 40ms for command mode to engage

disconnect the power supply, connect Pin 5 (“SET”) to GND, re-energize the module

Note: pin 5 has a 10k pullup resistor connected internally, allowing the pin to be driven by an open-collector output from an attached device.

Either of the above two methods will place the module in command mode ready to accept AT commands; releasing pin 5 (“SET”) in either case exits from command mode. If the module settings have changed after exiting from command mode, it will be switched to the new settings within 80ms.

When the second method (pin 5 “SET” tied to ground before power is applied), the module always enters command mode with the serial port configured for 9600bps, 8 data bits, no parity, 1 stop bit, irrespective of any previously configured settings.

Command instructions

AT

Test command. Send command “AT” to the module, and the module returns “OK”.

AT+Bxxxx

Change the serial port baud rate. The baud rate can be set to 1200bps, 2400bps, 4800bps, 9600bps, 19,200bps, 38,400bps, 57,600bps, or 115,200bps. The default value is 9600bps.

: To set the serial port baud rate of the module to 19,200bps, send command “AT+B19200” to the module, and the module will return “OK+B19200”. After exiting from command mode, the module will begin to communicate at 19,200bps.

AT+Cxxx

Change wireless communication channel, selectable from 001 to 127 (for wireless channels exceeding 100, the communication distance cannot be guaranteed). The default value for the wireless channel is 001, with a working frequency of 433.4MHz. The channel stepping is 400KHz, and the working frequency of channel

100 is 473.0MHz.

: To set the module to work on channel 21, send command “AT+C021” to the module, and the module will return “OK+C021”. After exiting from commandmode, the module will work on channel 21, with a working frequency of 441.4MHz.

Note: As the wireless receiving sensitivity of the HC-12 module is relatively high, when the serial port baud rate is greater than 9600bps five adjacent channels should be staggered for use. Even when the serial port baud rate is not greater than 9600bps, over short distances (less than 10m) also five adjacent channels should be staggered for use.

AT+FUx

Change the serial port transparent transmission mode of the module. Four modes are available, namely FU1, FU2, FU3, and FU4. Only when the serial port speed, channel, and transparent transmission mode of two modules is set to be the same, can normal wireless communications occur. For more details, please see the above section “Wireless Serial Port Transparent Transmission”.

: Send command “AT+FU1” to the module, and the module returns “OK+FU1”.

AT+Px

Set the transmitting power of the module, with x selectable from 1 to 8. The corresponding transmitting power of the module is as shown below:

x value	1	2	3	4	5	6	7	8
Transmitting power of module	-1 dBm (0.8mW)	2 dBm (1.6mW)	5 dBm (3.2mW)	8 dBm (6.3mW)	11 dBm (12mW)	14 dBm (25mW)	17 dBm (50mW)	20 dBm (100mW)

The default value is 8, and the higher the transmitting power, the farther the possible wireless communication distance. When the transmitting power level is set to 1, the transmitting power is at the minimum. Generally speaking, every time the transmitting power is reduced by 6dB, the communication distance will be reduced by half.

: Send command “AT+P5” to the module, and the module returns “OK+P5”. After exiting from command mode, the transmitting power of the module will be set to 11dBm.

AT+Ry

Obtain a single parameter from the module, where y is any letter among B, C, F, and P, respectively representing: baud rate, communication channel, serial port transparent transmission mode, and transmitting power.

Example 1:

Send command “AT+RB” to the module, and if the module returns “OK+B9600” it is confirmed that the serial port baud rate of the module is 9600bps.

Example 2:

Send command “AT+RC” to the module, and if the module returns “OK+RC001” it is confirmed that the communication channel of the module is 001.

Example 3:

Send command “AT+RF” to the module, and if the module returns “OK+FU3” it is confirmed that the module is working in serial port transparent transmission mode FU3.

Example 4:

Send command “AT+RP” to the module, and if the module returns “OK+RP:+20dBm” it is confirmed that the transmitting power of module is set to 20dBm (100mW).

AT+RX

Obtain all parameters from the module. Returns serial port transparent

transmission mode, serial port baud rate, communication channel, and transmitting power in that order.

: Send command “AT+RX” to the module, and the module returns “OK+FU3\r\n OK+B9600\r\n OK+C001\r\n OK+RP:+20dBm\r\n”. (“\r\n” means return/newline)

AT+Udps

Set data bits (d), parity (p), and stop bits (s) for serial port communication. For parity, N means none, O means odd check, and E means even check. For stop bits, 1 means one stop bit, 2 means two stop bits, and 3 means 1.5 stop bits.

: To set the serial port format to eight data bits, odd parity, and one stop bit, send command “AT+U8O1” to the module. The module will return “OK+U8O1”.

AT+V

Request firmware version information from the module.

: Send command “AT+V” to the module, and the module returns “HC-12_V2.3”.

AT+SLEEP

After receiving this command, the module will enter sleep mode upon exiting from command mode, with a working current of about 22uA. This mode doesn't allow serial port data transmission. Upon entering command mode again the module will exit from sleep mode automatically.

: When wireless data transmission is not needed, to save power send command “AT+SLEEP” to the module, and the module will return “OK+SLEEP”. Upon exit from command mode the working current will drop to about 22uA.

AT+DEFAULT

Set serial port baud rate and configuration, communication channel, power, and serial port transparent transmission mode back to the factory default values.

: Send command “AT+DEFAULT” to the module, and the module returns “OK+DEFAULT”, with the factory default values restored. The factory default serial port baud rate is 9600bps, 8 data bits, no parity, 1 stop bit, communication channel is 001, transmitting power is 20dBm, and serial port transparent transmission mode is FU3.

AT+UPDATE

Puts the module in the state of waiting for a software update. After receiving this command the module will not respond to any further AT commands until power has been cycled.

Design Considerations

Do not connect a light-emitting diode and resistor directly to the module's TxD output as this may affect serial port communication.

If using a PC or MCU to dynamically modify the module parameters, after pulling pin 5 (“SET”) low wait at least 40ms before sending any AT commands to the module. After releasing pin 5 (“SET”), wait at least 80ms for the module to return to serial port pass-through mode.

The HC-12 may require up to 100mA of current when transmitting. Ensure sufficient current is available – a USB bridge device may not be able to supply sufficient current. It is recommended that a reservoir capacitor be provided across the power supply of at least 22uF, preferably 1000uF.

edited by Robert Rozee, 15 January 2016