



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **“CONTROL PARA LA NAVEGACIÓN PRE-PROGRAMADA DE TRAYECTORIAS DE UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV) APLICADO A LA SUPERVISIÓN Y TRANSMISIÓN EN LÍNEA DE LA CALIDAD DEL AIRE”**

**JOSÉ LUIS MORALES GORDON**

**Trabajo de Titulación modalidad: Proyecto de Investigación y Desarrollo,  
presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la  
ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:**

**MAGISTER EN SISTEMAS DE CONTROL Y  
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2016**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**CERTIFICACIÓN**

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado: “CONTROL PARA LA NAVEGACIÓN PRE-PROGRAMADA DE TRAYECTORIAS DE UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV) APLICADO A LA SUPERVISIÓN Y TRANSMISIÓN EN LÍNEA DE LA CALIDAD DEL AIRE”, de responsabilidad del Ingeniero José Luis Morales Gordon, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

Ph.D. Fredy Proaño Ortiz

-----

PRESIDENTE

Ing. José Enrique Guerra Salazar M.Sc.

-----

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Mónica Andrea Zabala Haro M.Sc

-----

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. David Raimundo Rivas Lalaleo, M.Sc.

-----

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DOCUMENTALISTA  
SISBIB ESPOCH

-----

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, José Luis Morales Gordon soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

-----  
José Luis Morales Gordon  
No. Cédula: 180321954-0

©2016, José Luis Morales Gordon

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, José Luis Morales Gordon, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

-----  
José Luis Morales Gordon  
No. Cédula: 180321954-0

## **DEDICATORIA**

A Dios, a mis Padres y a todos aquellos que con su apoyo y confianza hicieron posible el culminar este tan anhelado sueño.

## **AGRADECIMIENTO**

Un profundo agradecimiento a Jose, David, Mónica, amigos profesores que con su acertada dirección se logró terminar el presente trabajo de investigación.

A mi familia por su apoyo y comprensión

*José*

## CONTENIDO

PORTADA .....	i
CERTIFICACIÓN .....	ii
DERECHOS INTELECTUALES.....	iii
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I.....	5
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
1.1. Situación Problemática .....	5
1.2. Formulación del problema.....	6
1.3. Preguntas directrices .....	7
1.4. Justificación.....	7
1.5. Objetivos.....	8
1.5.1 <i>Objetivo General</i> .....	8
1.5.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	8
1.6. Hipótesis .....	8
1.6.1 <i>Hipótesis general</i> .....	8
1.6.2 <i>Hipótesis específicas</i> .....	8
CAPITULO II .....	10
2 MARCO TEÓRICO .....	10
2.1. Generalidades.....	10

2.2.	El aire en la Atmosfera.....	10
2.3.	Variables químicas en la atmósfera .....	11
2.4.	Principales contaminantes del aire .....	11
2.5.	Equipos comerciales para determinar calidad de aire.....	12
2.6.	Supervisión de calidad de aire en Riobamba .....	14
2.7.	Normas de calidad del aire ambiente o nivel de emisión en el Ecuador según el ministerio del ambiente. ....	14
2.8.	Niveles de aviso considerados por el ministerio del ambiente ecuatoriano	15
2.9.	Vehículos aéreos no tripulados, UAV's .....	16
2.10.	Aplicaciones de los UAV's .....	16
2.11.	Clasificación de los robots aéreos UAV's .....	17
2.12.	UAV's en aplicaciones de investigación .....	20

### CAPITULO III

3	<b>DISEÑO DEL <i>HARDWARE</i> DEL SISTEMA UAVSCCA .....</b>	<b>21</b>
3.1.	<b>Introducción .....</b>	<b>21</b>
3.2.	<b>Requerimientos del <i>hardware</i> del UAVSCCA.....</b>	<b>21</b>
3.3.	<b>Arquitectura de la red del sistema UAVSCCA.....</b>	<b>21</b>
3.4.	<b>Módulo Recolector de Datos de la Calidad de aire (MRCA) .....</b>	<b>22</b>
3.5.	<b>La estación remota en tierra (ERT) .....</b>	<b>23</b>
3.6.	<b>Diseño de la arquitectura UAVSCCA .....</b>	<b>23</b>
3.6.1	<i>Modulo recolector de datos de calidad aire MRCA.....</i>	<i>23</i>
3.6.2	<i>Estación remota en tierra (ERT).....</i>	<i>24</i>
3.7.	<b>Selección del componentes del conforman sistema UAVSCCA .....</b>	<b>25</b>
3.7.1	<i>Procesador de la información en el módulo MRCA. ....</i>	<i>25</i>
3.7.1.1	<i>Arduino NANO .....</i>	<i>25</i>
3.7.1.2	<i>Sensores utilizados en el módulo recolector de calidad de aire MRCA .....</i>	<i>26</i>
3.7.1.3	<i>Modulo Sensor MQ-7 .....</i>	<i>27</i>
3.7.1.4	<i>Sensor de Temperatura y Humedad .....</i>	<i>27</i>
3.7.1.5	<i>Modulo Sensor MQ131.....</i>	<i>28</i>
3.7.1.6	<i>Modulo Sensor MQ136.....</i>	<i>29</i>
3.7.1.7	<i>Módulos de transmisión y recepción de radiofrecuencia.....</i>	<i>30</i>
3.7.1.8	<i>Esquema de conexión del módulo MRCA.....</i>	<i>31</i>

<b>3.8.</b>	<b>Vehículo aéreo no tripulado (UAV) parte del MRCA.....</b>	<b>32</b>
3.8.1	<i>Velocidad de las hélices en los giros del UAV.....</i>	35
3.8.2	<i>Estrategia de Operación autónoma del UAV Phantom .....</i>	36
3.8.3	<i>Modelado cinemático.....</i>	37
3.8.4	<i>Diseño del controlador .....</i>	39
3.8.5	<i>Resumen del controlador aplicado.....</i>	42

## CAPÍTULO IV

<b>4</b>	<b>DISEÑO DEL SOFTWARE DE SUPERVISIÓN DE CALIDAD DE AIRE CON UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV) .....</b>	<b>44</b>
4.1.	<b>Introducción .....</b>	<b>44</b>
4.2.	<b>Requerimientos del software a desarrollar .....</b>	<b>44</b>
4.2.1	<i>Requerimientos del software para el MRCA .....</i>	44
4.2.2	<i>Requerimiento de software de la ERT. ....</i>	45
4.2.3	<i>Requerimiento de software para la APP, (Phantom Bridge).....</i>	45
4.3.	<b>Descripción del software de Programación y Desarrollo para el UAVSCCA 45</b>	
4.3.1	<i>Entorno integrado de desarrollo libre para la plataforma Arduino .....</i>	46
4.3.2	<i>Herramienta de software MATLAB.....</i>	46
4.3.3	<i>Herramienta de software ANDROID STUDIO.....</i>	46
4.4.	<b>Software del módulo MRCA. ....</b>	<b>47</b>
4.4.1	<i>Diagrama de Flujo del programa principal MRCA. ....</i>	47
4.5.	<b>Software de la aplicación Phantom bridge .....</b>	<b>49</b>
4.6.	<b>Herramientas software para la estación de tierra del sistema UAVSCCA 51</b>	
4.6.1	<i>Software de Control en la ERT. ....</i>	51
4.6.2	<i>Software de recolección en la ERT.....</i>	52

## CAPÍTULO V

<b>5</b>	<b>VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA UAVSCCA .....</b>	<b>53</b>
5.1.	<b>Introducción .....</b>	<b>53</b>
5.2.	<b>Caracterización del módulo MRCA.....</b>	<b>53</b>

5.2.1	<i>Caracterización de las mediciones realizadas por el MRCA</i> .....	53
5.2.2	<i>Caracterización de las mediciones de las temperaturas ambiente y gases de contaminación del aire.</i> .....	54
5.2.3	<i>Repetitividad del módulo de recolección de datos de calidad de aire</i> .....	58
5.2.4	<i>Caracterización de la comunicación del sistema UAVSCCA</i> .....	59
5.2.5	<i>Evaluación de la comunicación del MRCA, en el proceso de recolección de datos por la ERT.</i> .....	59
5.3.	<b>Evaluación de la comunicación del MRCA, en el proceso de control por la ERT.</b>	<b>60</b>
5.3.1	<i>Evaluación del algoritmo de control del sistema UAVSCCA</i> .....	61
5.3.1.1	<i>Errores de posición MRCA</i> .....	62
5.4.	<b>Funcionamiento del sistema UAVSCCA con navegación pre programada para la supervisión y transmisión en línea de calidad del aire.</b> .....	<b>64</b>
5.5.	<b>Análisis económico de la implementación del sistema UAVSCCA</b> .....	<b>64</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....		<b>66</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		<b>67</b>
<b>ABREVIATURAS</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1</b>	Concentraciones de contaminantes, criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire.....	15
<b>Tabla 3-1</b>	Rango de gases del ambiente.....	26
<b>Tabla 3-2</b>	Características técnicas de <i>Hardware</i> UAV Phantom.....	33
<b>Tabla 5-1</b>	Mediciones con los sensores de temperatura y humedad del ambiente ....	55
<b>Tabla 5-2</b>	Error absoluto de CO.....	56
<b>Tabla 5-3</b>	Error absoluto de SO <sub>2</sub> .....	57
<b>Tabla 5-4</b>	Evaluación de repetitividad del sensores del MRCA. ....	58
<b>Tabla 5-5</b>	Costo del prototipo .....	65

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Figura 2-1</b>	Gases Contaminantes del aire. ....	11
<b>Figura 2-2</b>	Equipo comercial Thermo 43 i SO 2 .....	13
<b>Figura 2-3</b>	Analizador Teledyne Advanced pollution. ....	13
<b>Figura 2-4</b>	Comunicación del UAV .....	16
<b>Figura 2-5</b>	Clasificación de los UAV's .....	18
<b>Figura 2-6</b>	Robot con Ala fija.....	18
<b>Figura 2-7</b>	Robot con hélices.....	19
<b>Figura 2-8</b>	Robot con alas flexibles .....	19
<b>Figura 2-9</b>	Robot autosustentable .....	19
<b>Figura 2-10</b>	GRASP Laboratory UPenn, quadrotores de investigación y desarrollo. ....	20
<b>Figura 3-1</b>	Arquitectura de red para el sistema UVASSCA .....	22
<b>Figura 3-2</b>	Diagrama de bloques del MRCA .....	23
<b>Figura 3-3</b>	Diagrama de bloques ERT. ....	24
<b>Figura 3-4</b>	Plataforma Arduino UNO. ....	25
<b>Figura 3-5</b>	Arduino NANO vista superior e inferior. ....	26
<b>Figura 3-6</b>	Módulos MQ7 a) vista frontal b) vista posterior .....	27
<b>Figura 3-7</b>	Módulo DTH11 .....	28
<b>Figura 3-8</b>	Modulo Sensor de ozono MQ-131.....	29
<b>Figura 3-9</b>	Sensor de Calidad de aire MQ-136 SO2.....	30
<b>Figura 3-10</b>	Xbee 900 RPSMA.....	31
<b>Figura 3-11</b>	Diagrama esquemático MRCA .....	32
<b>Figura 3-12</b>	Cuadrotror phantom 3 .....	33
<b>Figura 3-13</b>	ángulos de orientación de los UAV's, .....	35
<b>Figura 3-14</b>	Velocidad de las hélices, ángulos de Euler .....	36
<b>Figura 3-15</b>	Estrategia de control del UAV .....	36
<b>Figura 3-16</b>	Marco Inercial del UAV. ....	38
<b>Figura 3-17</b>	Posición y velocidad deseadas de trayectoria .....	40
<b>Figura 3-18</b>	Diagrama de bloques de lazo de control interno del UAV .....	43
<b>Figura 4-1</b>	Algoritmo del Módulo Recolector de Datos de Calidad de aire MRCA .....	49
<b>Figura 4-2</b>	Pantalla de presentación PhantomBridge Puente de Comunicación.....	50
<b>Figura 4-3</b>	Pantalla del <i>software</i> de control.....	51

<b>Figura 4-4</b>	Panel frontal de la herramienta de supervisión de calidad de aire.....	52
<b>Figura 5-1</b>	Fotografía del módulo MRCA .....	54
<b>Figura 5-2</b>	Supervisión de la comunicación MRCA y ERT .....	60
<b>Figura 5-3</b>	Comprobacion del estado de la red.....	60
<b>Figura 5-4</b>	Trayectoria Pre programada del UAV simulado .....	61
<b>Figura 5-5</b>	Trayectoria Pre programada del vuelo real .....	62
<b>Figura 5-6</b>	Errores de Posición simulado.....	63
<b>Figura 5-7</b>	Errores de Posición Experimental.....	63
<b>Figura 5-8</b>	Integración del <i>hardware</i> y <i>software</i> .....	64

## RESUMEN

Se diseñó un algoritmo de control que permita la navegación pre-programada para el seguimiento de trayectorias de un vehículo aéreo no tripulado (UAV's) para realizar la supervisión y transmisión en línea de la calidad del aire. La estrategia de control propuesta valida el vuelo autónomo de una trayectoria pre-programadas que se aplica experimentalmente a partir de un modelo cinemático. Se integra al UAV sensores inteligentes que permiten la recolección de información sobre la calidad de aire. Esto supervisa variables climáticas y gases contaminantes del ambiente presente en una trayectoria dada. El diseño permite incorporar nuevos sensores, para identificar niveles de gases y otros contaminantes en áreas críticas. Los sensores incorporados a la tarjeta de desarrollo Arduino NANO que con el UAV forman el sistema electrónico de supervisión que se comunica por radio frecuencia con la estación remota en tierra a una distancia máxima de 2 km sin obstáculos y con una alimentación de 5Vcd. Mediante la plataforma virtual de supervisión desarrollado en el *software* GUIDE Matlab 2015a se recibe en tiempo real como una cadena de caracteres ASCII, mediciones obtenidas por los sensores de Temperatura, Humedad, Monóxido de Carbono, Ozono, Dióxido de Nitrógeno y Dióxido de Azufre, que almacena y permite generar un reporte de la información de gases contaminantes registrada Se comprueba que el sistema no incorpora error en las mediciones y se mide la temperatura ambiente y la humedad relativa, con precisión de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $\pm 5\%$  HR y niveles de gases contaminantes como CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y Ozono. Valores que se ajustan al diseño previsto para esta investigación. Ampliar el número de variables a supervisión de la calidad de aire que el UAVSCCA dispone como: Micro partículas PM<sub>10</sub>, Micro partículas PM<sub>2.5</sub>, alcohol, cloro, sulfuros de hidrogeno.

**PALABRAS CLAVES:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <SISTEMA DE CONTROL>;<MODELAMIENTO CINEMÁTICO>;< VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV)>, <MONÓXIDO DE CARBONO>.

## **ABSTRACT**

A control algorithm that allows pre-programed navigation for tracking trajectories of unmanned aerial vehicles (UAVs) to perform monitoring and online transmission of air quality was designed. The proposed control strategy validates the autonomous flight of a pre-programed trajectory experimentally applied from a kinematic model. Intelligent sensors are integrated into UAV that allow the collection of information on air quality. This monitors climatic variables and gaseous pollutants from the environment present in a given path. The design allows to incorporate new sensors to identify levels of gases and other pollutants in critical areas. Sensors built into the Arduino NANO development board with the UAV from the electronic monitoring system that communicates by radio frequency remote ground station at a maximum unhindered distance of 2 km and a 5VDC power. Through virtual monitoring platform developed in the GUIDE Matlab2015a software is received in real-time as a string of ASCII characters, measurements obtained by the sensors of temperature, humidity, carbon monoxide, ozone, nitrogen dioxide and dioxide sulfur, which stored and can generate a report for the information of gaseous pollutants recorded. It is found that the system does not incorporate measurement error and room temperature and relative humidity measured with accuracy  $\pm 2$  °C and  $\pm 5\%$  RH and levels of polluting gases CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> and Ozone. Values that fit the intended design for this research. Expand the number of variables to monitor air quality that the UAVSCCA has as Micro-particles PM-10, Micro-particles PM-2.5, alcohol, chlorine, hydrogen sulfide.

**KEYWORDS:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <CONTROL ENGINEERING >, <SYSTEM CONTROL>, <KINEMATIC MODELING >; <UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)>, <CARBON MONOXIDE>.

## INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en el mes de marzo del 2015 mediante un comunicado de prensa informó que en el año 2012, aproximadamente siete millones de personas una de cada ocho del total de muertes en el mundo, murieron en el mundo por consecuencia de la exposición a la contaminación atmosférica, por lo que se podría decir que la contaminación atmosférica constituye un factor de riesgo ambiental muy importante para la salud del hombre, Es por ello la necesidad de supervisar la calidad del aire y con esta información implementar planes y proyectos que buscan soluciones para reducir la contaminación. (OMS, 2016)

En nuestro país son escasas las investigaciones sobre calidad del aire y los efectos de esta sobre las personas, no se han incluidos en los programas de desarrollo urbano, aun cuando algunas ciudades como Quito y Cuenca supervisan la calidad del aire pero no han generado investigaciones relevantes. En la mayoría de los casos por falta de los equipos por sus altos costos y la ausencia de normativas a nivel local o nacional que promuevan su estudio. (Aire, 2016)

La mayoría de sistemas que supervisan la calidad del aire se encuentran formados por una estación fija, el equipo de recolección de datos y el área de análisis de la información; sus limitaciones son los costos excesivos de los equipos, su gran volumen que dificulta su traslado a diferentes lugares que en su mayoría son de difícil acceso. Por lo que es necesario elaborar diseños que faciliten su movilidad. (Korc & Sáenz, 1999)

Los UAVs están inmersos en la rama de la robótica y se define como ciencia o rama de la tecnología que estudia el diseño y construcción de máquinas, para facilitar al ser humano la realización de las tareas con uso de la ciencia y tecnología.

Un sistema en robótica se puede describir como "Aquel que es capaz de recibir información, de comprender el entorno donde se desenvuelve a través de modelos, de formular y ejecutar planes, y de controlar o supervisar su operación"

Los vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés), son aeronaves que no poseen piloto, estos pueden ser controlados remotamente por un operador desde una

estación base o pueden realizar vuelos autónomos a partir de trayectorias pre-programadas. Estos vehículos han recibido especial atención por parte de los investigadores en los últimos años debido a su facilidad de control comparado con otros vehículos sus capacidades para realizar maniobras agresivas. Una ventaja de los UAVS en que pueden realizar vuelo estacionario, despegue y aterrizaje vertical en áreas reducidas. Su desventaja es su poca capacidad energética limita el tiempo de vuelo, que doce a veintitrés minutos. (Catalan, 2013)

Por lo expuesto anteriormente se desarrollado la investigación, cuyo objetivo es diseñar un algoritmo de control que permita la navegación autónoma de trayectoria pre-programada de un vehículo aéreo no tripulado (UAV's) para realizar la supervisión y transmisión en línea de la calidad del aire. Su implementación es de bajo costo comparado con equipos tradicionales, y su aplicación se enmarca en la búsqueda de soluciones para mejorar la calidad de vida de la población y del medio ambiente para el desarrollo de esta investigación se convino la utilización de los siguientes métodos y técnicas:

#### **Métodos Teóricos:**

- **Revisión documental**, para conocer información relacionada de los gases contaminantes del aire en el medioambiente, trabajos relacionados al objeto de estudio así como avances tecnológicos que presenta el control de vehículos aéreos no tripulados para el seguimiento de trayectorias.
- **Histórico-lógico**, empleado para estudiar la evolución de los sistemas electrónicos para la supervisión de gases contaminantes.
- **Sistematización**, para aplicar la información bibliográfica y experimental al diseño del sistema de Supervisión y control autónomo del UAV.
- **Análisis y síntesis**, para evaluar los resultados, llegar a conclusiones y recomendaciones.

### **Métodos empíricos:**

- Experimentación, para realizar la simulación y comprobación de los módulos que se describen en la investigación.
- Medición, para la evaluación los niveles de gases contaminantes durante la implementación práctica de la investigación.
- Observación, para la validación del sistema diseñado de control aplicado al uav.

### **Métodos Estadísticos:**

- Permiten procesar e interpretar los resultados obtenidos con el prototipo desarrollado y contrastarlos con los parámetros de diseño originales.

**Para cumplir con el objetivo trazado se llevarán a cabo las siguientes tareas de**

### **Investigación:**

- Estudio y selección de las formas de transmisión de información y de los distintos dispositivos electrónicos a emplear.
- Revisión bibliográfica sobre la medición de datos de calidad de aire.
- Revisión bibliográfica de control robots UAVs
- Diseño e implementación del *hardware* y *software*.
- Pruebas y puesta a punto del algoritmo y circuitos de adquisición de datos.
- Valoración de resultados y análisis de errores.

**Resultados esperados:** Utilizar la navegación autónoma de UAV con el seguimiento de trayectoria predefinida, para la supervisión de la calidad del aire

La presente tesis consta de un Resumen e Introducción, cinco capítulos, conclusiones y recomendaciones. El **primer capítulo**, se revisa la problemática y se definen objetivos generales y específicos de esta investigación. El **segundo capítulo** define el marco teórico enfocado al tema de estudio, como los principales contaminantes de aire, equipos comerciales y las aplicaciones con UAVs.

El **tercer capítulo** contempla el *Hardware* del sistema, donde se define la arquitectura, sensores, módulos de comunicación, las características del UAV utilizado, y el desarrollo del algoritmo como estrategia de control, el **Capítulo cuatro** se hará énfasis al *software* a desarrollar; la estación remota en tierra (ERT) , donde se encuentran las plataformas virtuales de supervisión de la calidad de aire y control del UAV, desarrolladas en GUIDE matlab2015a, en el **Capítulo cinco** se integra los sistemas, y se evalúa la adquisición de datos, la comunicación y el desempeño de trayectorias pre programadas, aplicado al UAV, así como el costo del sistema electrónico desarrollad finalmente en las **Conclusiones**, se resumen los resultados fundamentales alcanzados en la investigación y se resaltan aspectos importantes. Y en las **Recomendaciones** se plantea algunos objetivos que se pudieran tener en cuenta para el desarrollo de investigaciones posteriores y trabajos futuros.

## CAPITULO I

### 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se define la situación de la problemática y los objetivos generales como específicos necesarios para el desarrollo de presente investigación.

#### 1.1. Situación Problemática

La calidad del aire en el país presenta graves inconvenientes, de acuerdo con estudios oficiales presentados por SENPLADES en el año 2007, que puntualizan problemas como: la falta de seguimiento de convenios, prototipos y equipos para pruebas, dispersión legislativa, de jurisdicción y competencias, debilidad institucional y presupuestaria han evitado que se gestione soluciones. Las instituciones involucradas en la gestión ambiental del aire poseen información escasa y poco confiable alejada de la realidad nacional; siendo indispensable para que las acciones desarrolladas en el país, por estas instituciones, se enmarquen en las políticas y estrategias que el ministerio del Ambiente ha desarrollado. Las cuales se plasman en el Plan Nacional de la Calidad del Aire (PNCA), que contiene el marco referente a la regulación, seguimiento, control y coordinación de los actores involucrados en la gestión de la calidad del aire. (Ambiente, 2009).

A nivel mundial y nacional el desarrollo tecnológico actual provoca altos índices de contaminación ambiental, deterioro del medioambiente y afecciones a la salud de la población que genera preocupación en varios sectores de la sociedad y la necesidad de buscar alternativas de solución se han convertido en una meta primordial en la mayoría de países desarrollados y en especial aquellos cuyos niveles de contaminación son elevados. En nuestro país son escasas las investigaciones sobre calidad del aire y los efectos que esta causa sobre las personas, pues no existen sistemas que registren información sobre esta temática por los que se ha visto la necesidad de implementar sistemas electrónicos de bajo costo que registre y almacene en base de datos y en tiempo

real esta información. Información que permitirá a expertos en el área generar resultados relevantes que contribuyan a la predicción y solución de este problema.

En la actualidad existen sistemas para medir la calidad del aire con estaciones estáticas que limitan su desplazamiento, y mediciones en lugares remotos o de difícil acceso. Una solución a esta problemática es la combinación de sensores inteligentes con vehículos aéreos no tripulados los (UAV's), que han sido utilizados desde la Primera Guerra Mundial, en entornos militares. Son aeronaves pequeñas, aerodinámicas, y que permiten un desplazamiento ágil (Catalan, 2013). Han sido los protagonistas principales en importantes investigaciones en con sistemas con mayor o menor grado de inteligencia, que posibilitan la comunicación con el controlador enviando información de imágenes, datos referentes a su estado, ubicación, velocidad, altitud entre otras. Disponen de sistemas que se activan en caso de fallo de sus programas o componentes, tomando medidas correctivas y emitiendo en forma autónoma alertas al operador cualidades necesarias para la implementación de esta investigación.

El desarrollo de esta investigación se enmarca en la planificación estratégica del Plan Nacional del buen Vivir del Ecuador para el año 2013-2017 descrito por la Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, menciona en el objetivo 7: “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global.” Específicamente en el literal k) “Fortalecer los mecanismos y las capacidades institucionales nacionales y locales para prevenir y controlar la contaminación de aire, suelo y agua, así como para garantizar la reparación integral de los daños y pasivos socio ambientales que se generen.” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo , 2013) Bajo este contexto se busca contribuir al cumplimiento de estos mandatos mediante la presente investigación “Control para la navegación pre-programada de trayectorias de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) aplicado a la supervisión y transmisión en línea de la calidad del aire”.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo controlar un vehículo aéreo no tripulado con navegación pre-programada de trayectorias para la supervisión y transmisión en línea de la calidad del aire?

### **1.3. Preguntas directrices**

¿Cuáles son los métodos para el control de vehículos aéreos no tripulados UAV's?

¿Cómo establecer una trayectoria pre-programada en el UAV para monitorear la calidad del aire?

¿Cómo se desenvuelve el sistema de control, supervisión y transmisión desarrollado en el UAV para supervisar en línea de la calidad del aire?

### **1.4. Justificación**

En el mundo el problema de la contaminación atmosférica es grave, al punto que el Gobierno chino realiza pruebas con un diseño de UAV's contra la niebla tóxica que asfixia a muchas ciudades del país. Que fueron equipados con dispositivos que mejoran su autonomía y dispersan agentes químicos nocivos al ser humano a fin de congelar las sustancias contaminantes suspendidas en el aire para que caigan al suelo y de esta manera controlar la contaminación. También son empleados para vigilar las industrias más contaminantes y reunir pruebas fotográficas desde el aire para sancionar a aquellas que contaminan. (Bejarano, 2016)

Los UAVs se consideran una solución factible y aplicable a este problema pues permiten que su manipulación sea más fácil; al establecer su autonomía en recorridos de diferentes áreas con instrucciones pre-programadas En esta investigación busca desarrollar un algoritmo de control para que el UAV opere de manera autónoma sobre en una trayectoria pre programada, incluido el despegue y aterrizaje y la supervisión en línea de la calidad del aire.

## **1.5. Objetivos**

### ***1.5.1 Objetivo General***

Diseñar un algoritmo de control que permita la navegación pre-programada para el seguimiento de trayectorias de un vehículo aéreo no tripulado UAV's para realizar la supervisión y transmisión en línea de la calidad del aire.

### ***1.5.2 Objetivos Específicos***

- Estudiar los diferentes métodos de control automático para UAV's y sensores que permitan la supervisión de la calidad del aire.
- Definir las características cinemáticas del UAV a fin de proponer un algoritmo de control para el seguimiento de trayectorias pre programadas en el UAV.
- Implementar un algoritmo de control basado en el modelo cinemático, que permita el seguimiento de trayectorias pre programadas del UAV para la supervisión y transmisión en línea de información de la calidad del aire.
- Simular y evaluar experimentalmente el algoritmo de control propuesto, la supervisión y transmisión en línea de datos de la calidad del aire.

## **1.6. Hipótesis**

### ***1.6.1 Hipótesis general***

La navegación pre programada de trayectoria de un UAV mejora la supervisión y transmisión en línea de la calidad del aire.

### ***1.6.2 Hipótesis específicas***

- Las características cinemáticas de un vehículo aéreo no tripulado UAV establecen la navegación pre programada de trayectoria.
- Un algoritmo de control permite al UAV seguir una trayectoria pre-programada.

- El sistema implementado en el UAV supervisa y transmite los niveles de calidad de aire en línea para ser almacenados en una base de datos.

## **CAPITULO II**

### **2 MARCO TEÓRICO**

Se debe, definir e identificar todos los factores que involucran en la contaminación del aire, desde las variables climáticas y gases contaminantes del medio ambiente. El conocimiento de este tema permitirá desarrollar un sistema electrónico acorde a los objetivos planteados por lo que este capítulo abarca aspectos muy importantes.

#### **2.1. Generalidades**

Es necesario conocer, identificar y definir todos los factores que intervienen en el aire que respiramos, desde las variables climáticas y los gases que afectan a la salud de las personas; la tecnología existente, y otros factores. La investigación del tema permitirá desarrollar un sistema de control para la supervisión de la calidad del aire con un vehículo aéreo no tripulado acorde a los objetivos planteados, por lo que este capítulo abarca aspectos muy importantes.

#### **2.2. El aire en la Atmosfera**

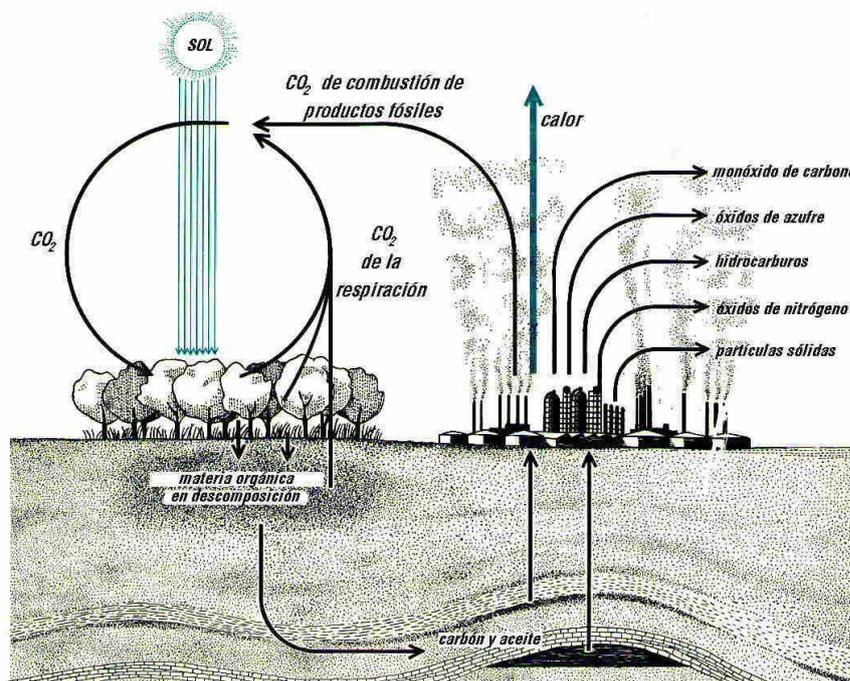
Se denomina como “aire ambiente” a cualquier porción no confinada de la atmósfera, y como mezcla gaseosa a la composición normal que sea, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y nueve por ciento (79%) nitrógeno y uno por ciento (1%) de dióxido de carbono, además de proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, el aire limpio favorece a la salud de los habitantes; valores diferentes a los mencionados podrían ser perjudiciales para la salud de algunos seres vivos.

Años atrás otros países han venido incorporando leyes y normativas que ayudan a prevenir la contaminación ambiental, en nuestro país el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha, el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ), a su vez la Red Metropolitana de Supervisión Atmosférico (REMMAQ) de la Secretaría de Ambiente da a conocer a las autoridades competentes y la ciudadanía

en general información acerca la calidad del aire ambiental, para de esta manera contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes. (AMBIENTE, 2016)

### 2.3. Variables químicas en la atmósfera

El aire es uno de los factores determinantes de la vida en la Tierra. Diariamente todos los seres vivos dependen de estos gases, nuestros pulmones filtran alrededor de 15 kg de aire atmosférico al día, en todo momento. Los seres humanos han arrojado materiales que pueden considerarse como contaminantes atmosféricos (humo, vapores), el crecimiento industrial ha aumentado los contaminantes como son el dióxido de azufre, monóxido de carbono, ozono, dióxido de nitrógeno, como se muestra en la figura 2-1. Todas estas variables influyen en la salud de la población, si sobrepasan los límites permitidos causan enfermedades respiratorias y alergias.



**Figura 2-1** Gases Contaminantes del aire.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos13/univpen/univpen.shtml>

### 2.4. Principales contaminantes del aire

Existe una gran variedad de contaminantes del aire por lo que solo tomaremos algunos basados en el acuerdo ministerial 50 de la Norma de calidad de aire, (Aire, 2016) ambiente o nivel de emisión del ministerio del ambiente de la republica del ecuador, (ver anexo 2) dos se hará énfasis a los siguientes:

***Ozono en el aire***, no debe confundirse con la capa de ozono en la atmósfera en las capas superiores, es el componente principal de la niebla tóxica. Éste se forma por la reacción con la luz solar (fotoquímica) de contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) procedentes de las emisiones de vehículos o la industria, incluso los disolventes, Los niveles de ozono más elevados se registran durante los períodos de tiempo soleado. El efecto del ozono en el aire puede causar problemas como afecciones alérgicas y pulmonares como el asma, percepción olfativa, dolores respiratorios. Estudios en países desarrollados como Europa han revelado que la mortalidad por cardiopatías aumenta un 0,3% por cada 10 µg/m<sup>3</sup> en la concentración de ozono. (OMS, 2016)

***Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)*** , este contaminante de color pardo rojizo, altamente tóxico que se forma debido a la oxidación de nitrógeno atmosférico que se produce por el efecto de la combustión en vehículos y en la industria, estudios han revelado síntomas como bronquitis en niños asmáticos, concentraciones prolongadas afectan al desarrollo de la función pulmonar (OMS, 2016).

***Monóxido de Carbono (CO)*** es un gas, incoloro, inodoro, insípido y tóxico que se produce por la combustión de materia orgánica como la madera, el carbón o el petróleo, gases volcánicos, en cantidades muy elevadas puede provocar asfixia (Juan, 1996).

Otro gas contaminante como el Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) se produce por la combustión de combustibles fósiles, estudios indican que las personas con asma experimentan cambios en la función pulmonar, irritación ocular y síntomas respiratorios tras períodos de exposición al SO<sub>2</sub> de tan sólo 10 minutos, la mortalidad aumenta en los días en que los niveles de SO<sub>2</sub> elevados combinados con el agua se convierte en ácido sulfúrico, principal componente de la lluvia ácida (OMS, 2016).

## **2.5. Equipos comerciales para determinar calidad de aire.**

En la actualidad, La Red Metropolitana de Supervisión Atmosférico de Quito (REMMAQ), cuenta con los siguientes equipos de supervisión de calidad de aire ubicado en diferentes zonas:

**Analizador Modelo 43 i SO<sub>2</sub>.**- Este instrumento de la marca comercial THERMO como se puede observar en la figura 2-2, puede medir dióxido de azufre SO<sub>2</sub> en el aire ambiente hasta 100 ppm. Thermo Scientific Modelo 43, es el primer analizador de gases que utiliza la tecnología de fluorescencia, emitida en impulsos para medir este gas, ofrece alta sensibilidad, bajo nivel de ruido, fiabilidad probada para campo, alta estabilidad del cero y del span para monitorización continua en aire ambiente. Este instrumento es totalmente autónomo (Inc., 2016).



**Figura 2-2** Equipo comercial Thermo 43 i SO 2  
Fuente: Ministerio del Ambiente

**Teledyne Advanced pollution instrumentation Modelo T400.**- Este analizador utiliza absorción, un sistema basado en la ley de *Beer-Lambert* para medir rangos bajos de ozono en el aire ambiente, una señal de luz UV 254 nm, se hace pasar a través de la celda de muestra. Dando un resultado confiable en la medida de ozono en el aire, dispone también de conexión a Ethernet, puertos seriales como RS232, USB; el equipo se puede observar en la figura 2-3 (Instrumentation, 2016).



**Figura 2-3** Analizador Teledyne Advanced pollution.  
Fuente: Ministerio del Ambiente

Estos equipos son parte de la red de supervisión REMMAQ de la ciudad de Quito, y mide un determinado gas, su costo es muy elevado.

## **2.6. Supervisión de calidad de aire en Riobamba**

La dirección de Gestión Ambiental e Higiene de Riobamba instaló un monitor de material particulado en el mercado Mariano Borja “La Merced”; el artefacto permanecerá por cinco años en este sitio, además se han firmado acuerdos con el Ministerio del Ambiente por el mismo periodo de tiempo para recibir asistencia y la instalación de un monitor solo de partículas sedimentadas que monitoreará la calidad del aire, el equipo estadounidense servirá para levantar el Plan de Manejo del Aire en esta ciudad, es un proyecto que aún no se pone en marcha y que por lo tanto no ha dado resultados; por lo que se concluye que en la actualidad no existen datos sobre calidad de aire acerca de los gases en mención. (TELEDPRES, 2008)

Existe un trabajo publicado en el cual se realiza un análisis de concentraciones de contaminantes SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, que usa sensores pasivos, (Telenchana, 2009) por lo tanto, no existe investigaciones realizadas que coincidan con los propósitos planteados en la presente investigación, que busca desarrollar herramientas para monitorear la calidad de aire, por medio de un vehículo aéreo no tripulado, y obtener datos para que las autoridades competentes puedan de ser el caso tomar decisiones en pos de mejorar la calidad de vida de los habitantes del sector.

## **2.7. Normas de calidad del aire ambiente o nivel de emisión en el Ecuador según el ministerio del ambiente.**

El objetivo principal es preservar la salud de las personas, la calidad de aire ambiente, bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, el acuerdo 50 establece los límites máximos de contaminantes en el aire ambiente como se detalla a continuación en la tabla 2-1.

**Tabla 2-1** Concentraciones de contaminantes, criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire.

Contaminante y Período de Tiempo	Alerta	Alarma	Emergencia
Monóxido de Carbono Concentración promedio en ocho horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	15000	30000	40000
Ozono Concentración promedio en ocho horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	200	400	600
Dióxido de Nitrógeno Concentración promedio en una hora ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1000	2000	3000
Dióxido de Azufre Concentración promedio en veinticuatro horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	200	1000	1800

Fuente: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/Acuerdo-50-NCA.pdf>

Realizado Por: José Morales, 2016

## 2.8. Niveles de aviso considerados por el ministerio del ambiente ecuatoriano

**Nivel de Alerta.-** Informar al público, por medios de comunicación locales, del establecimiento del nivel de alerta y restringir la circulación de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alerta para uno o más contaminantes específicos y tomar acciones que podrán consistir en limitar las actividades de mantenimiento de fuentes fijas de combustión, tales como soplado de hollín (AMBIENTE, 2016).

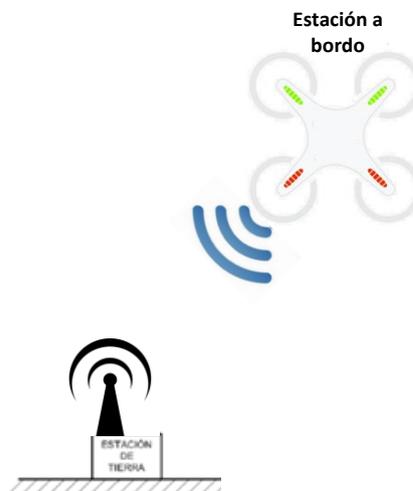
**Nivel de Alarma.-** Informar al público del establecimiento del Nivel de Alarma. Restringir, inclusive prohibir la circulación de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alarma. (AMBIENTE, 2016)

**Nivel de Emergencia.-** Informar al público del establecimiento del Nivel de Emergencia, prohibir la circulación y el estacionamiento de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de emergencia y se deberá considerar extender estas prohibiciones a todo el conjunto de fuentes fijas de combustión, así como vehículos automotores, presentes en la región bajo responsabilidad de la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental (AMBIENTE, 2016).

## 2.9. Vehículos aéreos no tripulados, UAV's

Este tipo de Robots también conocidos como Vehículos Aéreos No Tripulados ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos años. La Segunda Guerra Mundial fue la pionera en el desarrollo de este tipo de vehículos, donde su uso como aviones teledirigidos y vehículos de entrenamiento en operativos de cañones antiaéreos fueron sus aplicaciones iniciales. A finales del siglo XX, el término UAV (*Unmanned Aerial Vehicle por sus siglas en inglés*) (Chicaiza & Rivas, 2006).

Los UAV's pueden estar controlados remotamente desde una estación de tierra por un operador, como se observa en la figura 2-4.



**Figura 2-4** Comunicación del UAV  
Fuente: Jose Morales, 2016

## 2.10. Aplicaciones de los UAV's

**Control de incendios forestales.-** En España se crearon los primeros UAV's especialmente diseñados para la prevención y el control de incendios forestales. Su tarea es reunir la información necesaria para anticiparse en lo posible a la prevención y expansión de incendios.

**Investigaciones Arqueológicas.-** Los UAV's se utilizan para buscar y analizar restos arqueológicos gracias a su capacidad de recorrer y tomar fotografías de áreas extensas.

En Perú se los utilizan para estudiar las ruinas del cerro Chepén con los que se obtuvieron más de 700.000 fotografías en sólo diez minutos, alrededor 50 veces más que se obtienen otros medios. (PRENSA, 2016)

***Fines geológicos.***- la supervisión de volcanes en actividad. Los UAV's pueden tomar muestras de material volcánico como cenizas, que permitirá con modelos matemáticos predecir futuras precipitaciones de gases y ceniza volcánica o una erupción, alertando de manera rápida a las poblaciones cercanas. Otras investigaciones han llevado a la utilización de vehículos aéreos para intentar seguir la ruta del huracán. Un estudio indica que los UAVs fueron enviados al ojo de un huracán en Estados Unidos para medir temperatura y humedad, lo que permitió pronosticar el camino y alertar a la población (PRENSA, 2016).

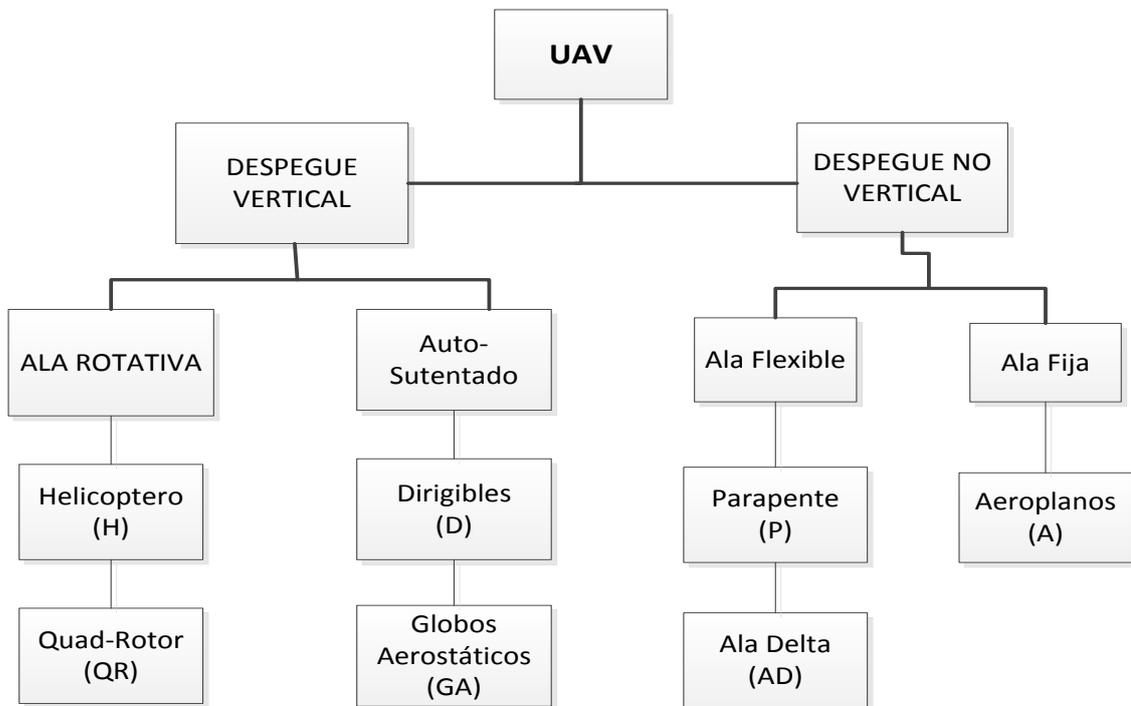
***Investigaciones biológicas.***- Se han utilizado para reproducir la ruta de aves en libertad se registra el vuelo con un GPS incorporado al ave y luego se reproduce con un UAV. Los investigadores pueden determinar de esta manera el porqué de su recorrido al tener la posibilidad de registrar exactamente las características de la zona donde vuela. (PRENSA, 2016)

***Manipulación de materiales nocivos.***- se utilizan para limpieza y estudio de materiales nocivos, En Japón, en Fukushima, se utilizan para obtener una vista precisa del interior del reactor nuclear con el objetivo de elaborar un plan de mantenimiento. La utilización del avión no tripulado permitió acceder, ya que se pudo acceder a zonas que ningún ser humano podría tolerar dado el alto índice de radiación en el área. (PRENSA, 2016)

***Como satélites.***- Se investiga la posibilidad de utilizar UAV's para crear redes de internet en áreas donde aún no llega. Estos vehículos funcionarían con energía solar y podrían cumplir las tareas de los satélites pero más baratos y en una cobertura específica. (PRENSA, 2016)

## **2.11. Clasificación de los robots aéreos UAV's**

Existen diferentes clasificaciones de las cuales pueden ser por el tipo de despegue, de ala rotativa o hélice como un helicóptero como se muestra en la figura 2-5.

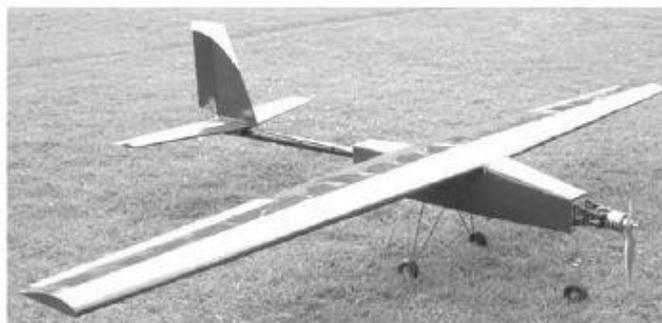


**Figura 2-5** Clasificación de los UAV's

Fuente: José Morales, 2016

Y se describe los algunos tipos de UAVs:

**Ala fija:** Este tipo de robots aéreos brinda un alto desempeño y fiabilidad en diferentes altitudes u condiciones atmosféricas adversas, la desventaja es su maniobrabilidad como se puede ver en la figura 2-6.



**Figura 2-6** Robot con Ala fija

Fuente: <http://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/379/545>

**Alas rotativas o hélices:** este tipo de robot aéreo permiten un vuelo estacionario una gran capacidad de maniobrabilidad en espacios reducidos en esta categoría se encuentran los cuad-rotor y helicópteros como se aprecia en la figura 2-7.



**Figura 2-7** Robot con hélices

Fuente: <http://diariodelaeromodelista./multirroto.html>

**Alas Flexibles:** estos robots aéreos poseen una unidad articulada de torsión activa que, junto con un complejo sistema de control, alcanza un rendimiento sin precedentes en la operación de vuelo como se puede ver en la figura 2-8:



**Figura 2-8** Robot con alas flexibles

Fuente: <http://the-rdn.com/2011/04/smartbird-la-gaviota-robot/>

**Robots auto-sustentables:** estos robots poseen una gran autonomía, sustentación aerostática y esto se logra mediante el llenado de un gas de menor densidad como se puede ver en la figura 2-9.

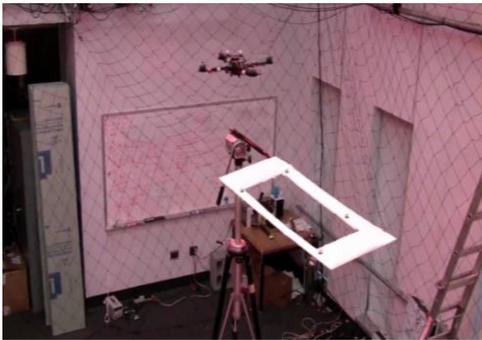


**Figura 2-9** Robot autosustentable

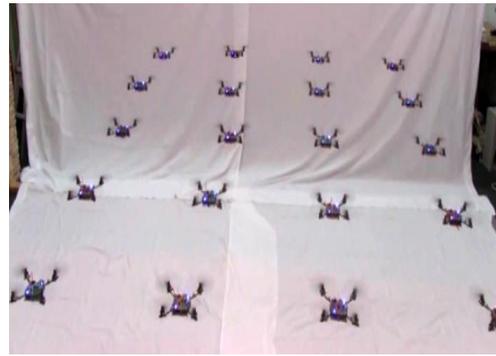
Fuente: <http://edition.cnn.com/2014/04/03/travel/goodyear-zeppelin-blimp/>

## 2.12. UAV's en aplicaciones de investigación

Son adquiridos por universidades para desarrollar investigaciones, entre las que se están desarrollando son: sobrevuelo en formación, enjambres de aeronaves, trabajo colaborativo, nano Quad-rotores, vuelo autónomo aprendizaje, entre otros. En general estas plataformas no se encuentran abiertas para su uso y muchas de ellas dependen de un sistema de navegación basado en visión que lo hace muy costoso. En la figura 2-7 a y b, se muestran los proyectos de investigación del grupo GRASP de la Universidad de Pennsylvania, el cual se basa en sistemas de control de seguimiento de trayectoria y vuelo en formación, respectivamente.



a) Seguimiento de Trayectorias



b) Colaborativo

**Figura 2-10** GRASP Laboratory UPenn, quadrotores de investigación y desarrollo.  
Fuente: UPenn

## CAPITULO III

### 3 DISEÑO DEL *HARDWARE* DEL SISTEMA UAVSCCA

#### 3.1. Introducción

En este capítulo se presenta el *hardware* para el Control de un Vehículo Aéreo no Tripulado de Supervisión y Control de la Calidad del Aire (UAVSCCA). Se definen los requerimientos técnicos tanto de la aeronave como del módulo de recolección de datos (MRCA) y la estación fija en tierra (ERT). Se seleccionan los sensores y componentes, al final se presenta el esquema diseñado.

#### 3.2. Requerimientos del *hardware* del UAVSCCA

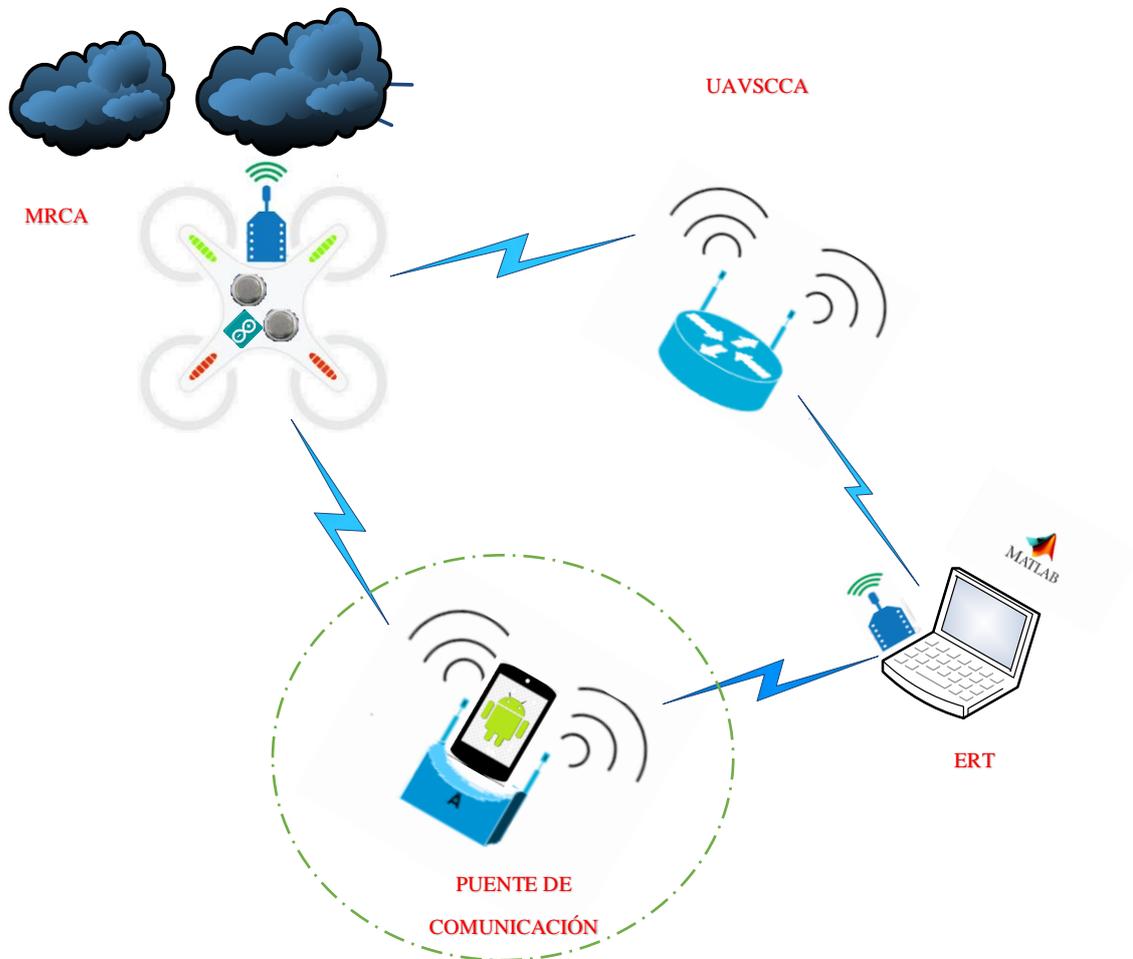
Basado en el estudio del capítulo anterior se puede definir los requerimientos de diseño del sistema *hardware* del módulo recolector de datos de calidad de aire (MRCA):

- Debe ser de bajo costo, liviano y de fácil montaje en la aeronave.
- Monitorear Monóxido de Carbono, Dióxido de Azufre, Ozono, Dióxido de Nitrógeno, además de la temperatura y humedad ambiental.
- La aeronave deberá despegar y realizar su trayectoria cuando el operador necesite monitorear.
- Supervisión por zonas con trayectoria pre-programados, empleando módulos con comunicación inalámbrica.
- Proporcionar información en tiempo real para ser almacenados.

#### 3.3. Arquitectura de la red del sistema UAVSCCA

La propuesta general para el sistema UAVSCCA se presenta en la figura 3-1, el cual consta del módulo de recolección de datos de calidad de aire (MRCA) y la estación remota en tierra ERT. La información que suministran los sensores inteligentes del MRCA es transmitida por RF a la estación remota en tierra ERT la cual almacena la información fundamental en esta investigación. El sistema propuesto dispone de un dispositivo móvil

con sistema operativo Android que permite entrelazarse a la red del UAV y compartir los datos de control suministrados por la estación de tierra.



**Figura 3-1** Arquitectura de red para el sistema UVASSCA  
Fuente: José Morales, 2016

### 3.4. Módulo Recolector de Datos de la Calidad de aire (MRCA)

Su función principal es de supervisar y transmitir la información recolectada por los sensores en tiempo real, midiendo la variación de las cuatro variables como Monóxido de Carbono, Dióxido de Nitrógeno, Dióxido de azufre y Ozono. Para determinar la calidad del aire. Permite transmitir la información recolectada por los sensores a la estación remota en tierra en forma directa al computador por módulos de radiofrecuencia (RF). El módulo está integrado por una fuente de alimentación independiente, un transmisor de RF y un circuito de procesamiento.

### 3.5. La estación remota en tierra (ERT)

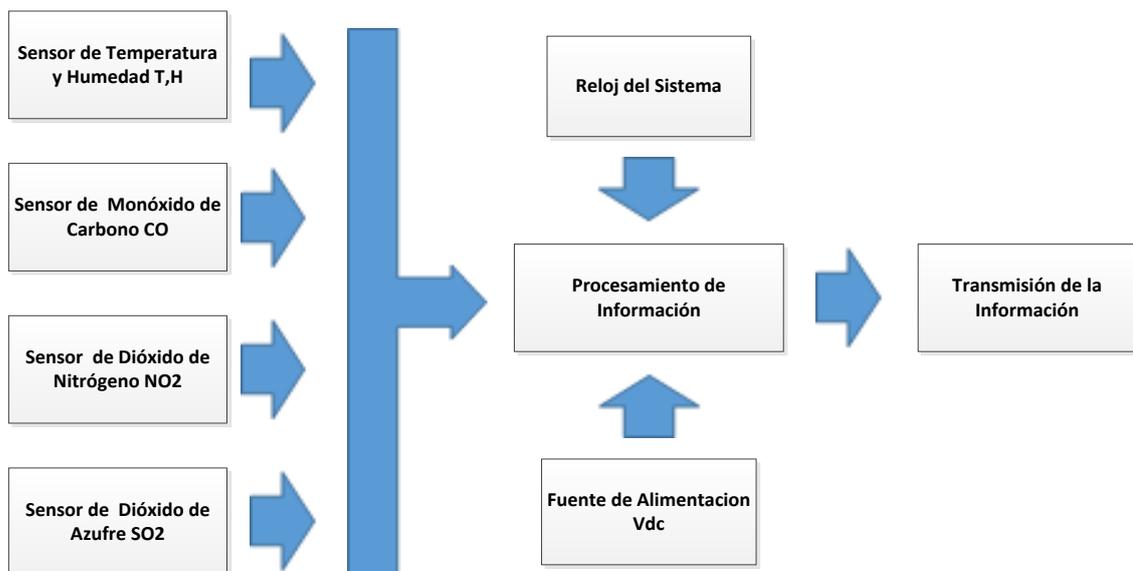
Es una estación fija o móvil que se encarga de concentrar toda la información transmitida por radiofrecuencia desde el modulo recolector MRCA por las zonas donde vaya monitoreando la aeronave, la visualiza y la almacena directamente en el computador, de esta manera se crea una base de datos que el usuario pueda acceder directamente o por medio de reporte.

### 3.6. Diseño de la arquitectura UAVSCCA

Definidos los requerimientos de diseño y estudiada la arquitectura general del sistema UAVSCCA a continuación detalla el diseño que lo integra.

#### 3.6.1 Modulo recolector de datos de calidad aire MRCA

En la figura 3-2 se presenta el diagrama de bloques del MRCA, en la que se aprecia la conexión de los 8 módulos que lo integran, cinco de los cuales representan los sensores inteligentes que miden calidad de aire, el bloque de procesamiento recibe la información de los sensores, la procesa y los envía por radiofrecuencia, a la estación remota para ser visualizada.



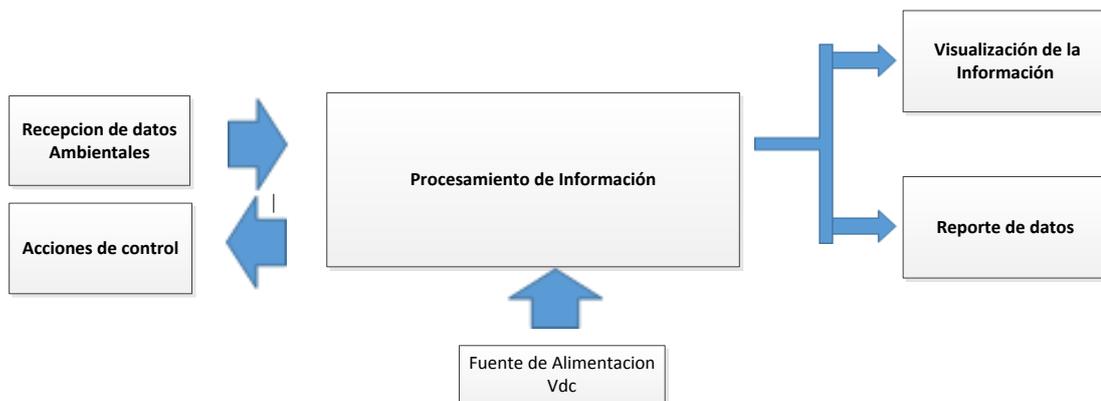
**Figura 3-2** Diagrama de bloques del MRCA

Fuente: José Morales, 2016

El bloque de procesamiento de la información está constituido por una tarjeta Arduino que ha sido reducida conservando todos los elementos que la hacen plenamente funcional, dispone de conector mini USB y de un chip FTDI (*Future Technology Devices International por sus siglas en inglés*) que actúa como convertidor USB a Serie, la tarjeta mini incorpora un microcontrolador ATmega328 en versión SMD. Tiene 14 terminales que actúan como Entradas o Salidas digitales, ocho entradas analógicas. Para el diseño del MRCA se utilizan dos entradas digitales y cuatro analógicas, quedando terminales disponibles que facilitan la escalabilidad del sistema el incrementando el número de sensores. (ShareAlike, 2016)

### 3.6.2 Estación remota en tierra (ERT)

En la figura 3-3 se representa el diagrama de bloques de la estación remota en tierra ERT el cual consta sub- bloques en donde se reciben los datos y se los almacena, la transmisión es bidireccional, el procesamiento se lo realiza utilizando la herramienta Matlab R2015a.



**Figura 3-3** Diagrama de bloques ERT.  
Fuente: José Morales, 2016

Para la comunicación con la MRCA y la se utiliza un receptor de radiofrecuencia, que es el XBee-PRO XSC, trabaja a una frecuencia de 900 MHz, ideal para la transmisión con requerimientos críticos (MCI, 2016). La información es recibida por medio de tramas de caracteres ASCII que son procesadas en el *software* MATLAB 2015a, la que puede ser visualizada en forma de reporte con la herramienta GUIDE-MATLAB.

### 3.7. Selección del componentes del conforman sistema UAVSCCA

A continuación se detallan las principales características de los elementos que conforman el sistema desarrollado, sus hojas de datos técnicos se adjuntan (ver anexo 1).

#### 3.7.1 *Procesador de la información en el módulo MRCA.*

En la actualidad existen muchas ofertas de dispositivos para el procesamiento de información, todas se basan exclusivamente en microcontroladores, implementadas en PCBs directamente para ser utilizadas y que nos facilitan considerablemente el desarrollo de aplicaciones electrónicas, entre estas la placa Arduino se destaca por tener la primera plataforma de *software* abierto de fácil programación en un entorno muy amigable para el usuario, existen varios tipos como son: Arduino UNO, Arduino MEGA y Arduino NANO. En la figura 3.4 se muestra el Arduino UNO



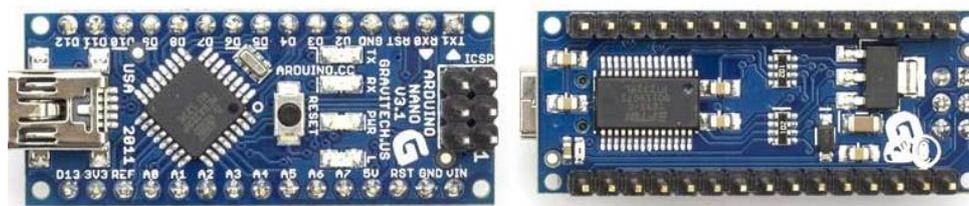
**Figura 3-4** Plataforma Arduino UNO.

Fuente: <https://store.arduino.cc/>

Luego de analizar los requerimientos de diseño se seleccionó el Arduino nano por su poco tamaño y peso.

##### 3.7.1.1 *Arduino NANO*

Como se muestra en la figura 3-5 el Arduino NANO es una placa que incorpora un Microcontrolador ATmega 328 puede ser conectado con una fuente de alimentación recomendado de 5 V o de 7-9 V en el caso de ser requerida. Dispone de 14 terminales digitales que pueden actuar como entrada y salidas 6 de las cuales son PWM, dispone de ocho entradas analógicas, y un botón de reinicio. Y puede conectarse directamente con el computador por medio de un cable mini USB.



**Figura 3-5** Arduino NANO vista superior e inferior.

Fuente: <https://store.arduino.cc/>

### 3.7.1.2 Sensores utilizados en el módulo recolector de calidad de aire MRCA

El MRCA posee sensores que se encargarán de detectar la contaminación existente del aire. Estos sensores pueden definirse como inteligentes ya que realizan internamente la detección y procesamiento de la señal (Custodio Ruiz, 2016) en la tabla 3-1 se presenta el rango de gases del ambiente obtenidas del ministerio del ambiente, tabla que determinan los valores máximos y mínimos que deben garantizar los sensores.

**Tabla 3-1** Rango de gases del ambiente

SENSOR	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
Temperatura	0 C	50 °C
Humedad	0%	100% HR
Monóxido de Carbono (CO)	10 µg/m <sup>3</sup>	30000 µg/m <sup>3</sup>
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	1 µg/m <sup>3</sup>	125 µg/m <sup>3</sup>
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	10 µg/m <sup>3</sup>	200 µg/m <sup>3</sup>
Ozono (O <sub>3</sub> )	10 µg/m <sup>3</sup>	100 µg/m <sup>3</sup>

Fuente: Acuerdo Ministerial 050, Ministerio del Ambiente.

Realizado por: José Morales, 2016.

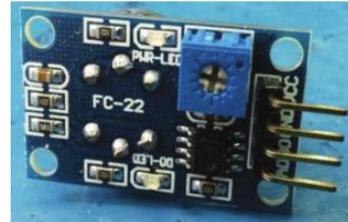
Revisando las características de temperatura y humedad, nivel de Dióxido de Carbono, Dióxido de Azufre, Dióxido de nitrógeno, y Ozono en la tabla 3-1, se seleccionó los siguientes sensores que cumplen con estas características y que a continuación se detallan:

### 3.7.1.3 Módulo Sensor MQ-7

El sensor MQ-7 que se muestra en la figura 3-6, mide la cantidad de monóxido de carbono en el ambiente, es fabricado por la empresa china HANWEI ELECTRONICS Co Ltd.



a) Encapsulado vista frontal



b) Encapsulado vista Posterior

**Figura 3-6** Módulos MQ7 a) vista frontal b) vista posterior

Fuente: José Morales, 2016

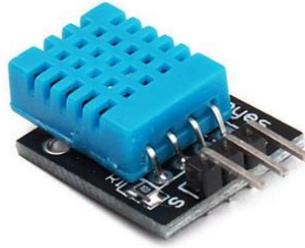
Este tipo de sensor tiene propiedades electroquímicas; compuesto por tubo de cerámica de  $Al_2O_3$ , Dióxido ( $SnO_2$ ) como capas sensibles que varían su resistencia cuando se exponen a un determinado como el CO, internamente posee un calentador encargado de aumentar la temperatura interna que le hace reaccionar e este gas y se genere un cambio en el valor de la resistencia interna, la ecuación caracteriza para obtener CO2 se lo puede revisar (ver anexo 7) y su sus carteristas técnicas (ver anexo 1).

Entre las principales características técnicas están:

- Encapsulamiento estándar plástico.
- Gas específico Monóxido de carbono.
- Concentración de 10-10000 PPM.
- Voltaje menor o igual a 10V DC.
- Resistencia de carga ajustable RL Ajustable
- Sensibilidad  $R_s$  (en aire)/ $R_s$  (100ppm CO) mayor o igual a 5.
- Pendiente característica  $\alpha$  menor o igual 0.6 x ( $R_{300ppm}/R_{100ppm}$  CO)
- Resistencia a un determinado gas se calcula con ( $R_s$ ):  $R_s = (V_c/V_{RL} - 1) \times RL$

### 3.7.1.4 Sensor de Temperatura y Humedad

Sensor DTH11 que se muestra en la figura 3-7, mide la temperatura y la humedad ambiental, es fabricado por la empresa china Aosong Electronics Co.Ltd.



**Figura 3-7** Módulo DTH11

**Fuente:** [www.micropik.com/PDF/dht11.pdf](http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf)

Este sensor se caracteriza por tener la señal digital por lo que asegura una alta calidad y una fiabilidad a lo largo del tiempo, ya que contiene un conversor de 16 bits integrado, está constituido por dos sensores resistivos (NTC y humedad), viene calibrado, teniendo una excelente precisión. El protocolo de comunicación es a través de un único hilo (protocolo *1-wire*) Además presenta un tamaño reducido, un bajo consumo de energía y la capacidad de transmitir la señal hasta 20 metros de distancia y otras características (ver anexo 1) (Export department of Aosong Electronics Co., 2016) .

Entre las principales características están:

- Rango de medida de humedad relativa 20-90% RH
- Rango de temperatura 0-50 °C
- Exactitud  $\pm 5\%$  HR  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Corriente de alimentación: medida 0.3mA espera 60 $\mu$  A
- Periodo de muestreo: más de 2 segundos
- Fuente de alimentación: CC 3.5 ~ 5.5V
- Repetibilidad:  $\pm 1\%$  HR
- Como elemento externo se requiere conectar una resistencia de 4.7K entre los terminales de VCC y DAT.

#### 3.7.1.5 Módulo Sensor MQ131

El sensor MQ131 que se muestra en la figura 3-8, mide la cantidad de ozono y dióxido de nitrógeno en el aire, es fabricado por la empresa china HANWEI ELECTRONICS Co Ltd.



a) Vista lateral



b) Vista Posterior

**Figura 3-8** Modulo Sensor de ozono MQ-131.

Fuente: <http://eph.ccs.miami.edu/precise/GasSensorSpecs/Ozone.pdf>

Sensor de tipo electrolito sólido, donde la conductividad disminuye con el aire limpio, alta sensibilidad al ozono y NO<sub>2</sub>, de bajo costo y un sencillo circuito de acoplamiento, que se puede revisar con La ecuación característica para escalar al gas deseado(ver anexo 7) y su sus carteristas técnicas (ver anexo 1).

***Entre las principales características técnicas están:***

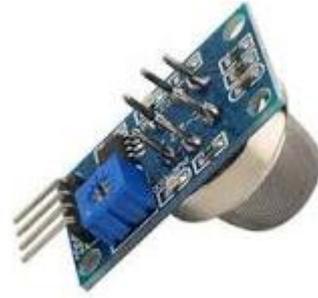
- Encapsulamiento baquelita negra
- Gas específico Ozono, NO<sub>2</sub>
- Concentración de 10-1000 ppm
- Resistencia RL ajustable.
- Sensibilidad  $R_s$  (in air)/ $R_s$ (in 50 ppm O<sub>3</sub>) mayor o igual a 3
- Temperatura y humedad 20°C±2°C ; 65% ±5% RH
- Pendiente característica:  $\alpha$  menor o igual a 0.6 (R300ppm/R100ppm CO)
- Resistencia a un determinado gas se calcula con ( $R_s$ ):  $R_s=(V_c/V_{RL}-1)\times RL$

#### 3.7.1.6 Modulo Sensor MQ136

El sensor MQ136 que se muestra en la figura 3-9, ideal para medir Dióxido de Azufre fabricado por la empresa china HANWEI ELECTRONICS Co Ltd.



a) Vista lateral



b) Vista Posterior

**Figura 3-9** Sensor de Calidad de aire MQ-136 SO<sub>2</sub>

Fuente: <http://eph.ccs.miami.edu/precise/GasSensorSpecs/Ozone.pdf>

Ideal para medir dióxido de Azufre, de rápida respuesta, buena sensibilidad, un circuito de accionamiento sencillo, larga duración y bajo costo, sus datos técnicos se pueden ver en detalle (ver anexo 1). La ecuación característica y el escalado de los sensores (ver anexo 7)

**Entre las principales características técnicas están:**

- Encapsulamiento baquelita negra.
- Gas específico Dióxido de Azufre.
- Concentración de 1–200 ppm
- Resistencia RL ajustable
- Sensibilidad  $R_s(\text{in air})/R_s(50 \text{ ppm H}_2\text{S})$  mayor o igual que 3
- Temperatura y humedad de trabajo  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  ;  $55\% \pm 5\% \text{ RH}$
- Pendiente característica menor o igual  $0.6(R_{200 \text{ ppm}}/R_{50 \text{ ppm H}_2\text{S}})$
- Resistencia a un determinado gas se calcula con (Rs):  $R_s = (V_c/V_{RL} - 1) \times R_L$

*3.7.1.7 Módulos de transmisión y recepción de radiofrecuencia*

El XBee-PRO 900 OEM del fabricante DiGi International, Inc. Módulos de RF que se aprecian en la figura 3- 10 es de bajo costo, permite implementar redes de sensores inalámbricos de baja potencia. Requieren un mínimo de energía y proporciona integridad de datos entre los dispositivos.



**Figura 3-10** Xbee 900 RPSMA  
Fuente: xbee.cl

Estos módulos utilizan el estándar de red IEEE 802.15.4 para crear redes FAST, punto a multipunto y punto a punto, diseñado para aplicaciones donde requieren de un alto tráfico de datos. (International, 2008)

**Entre las principales características técnicas están:**

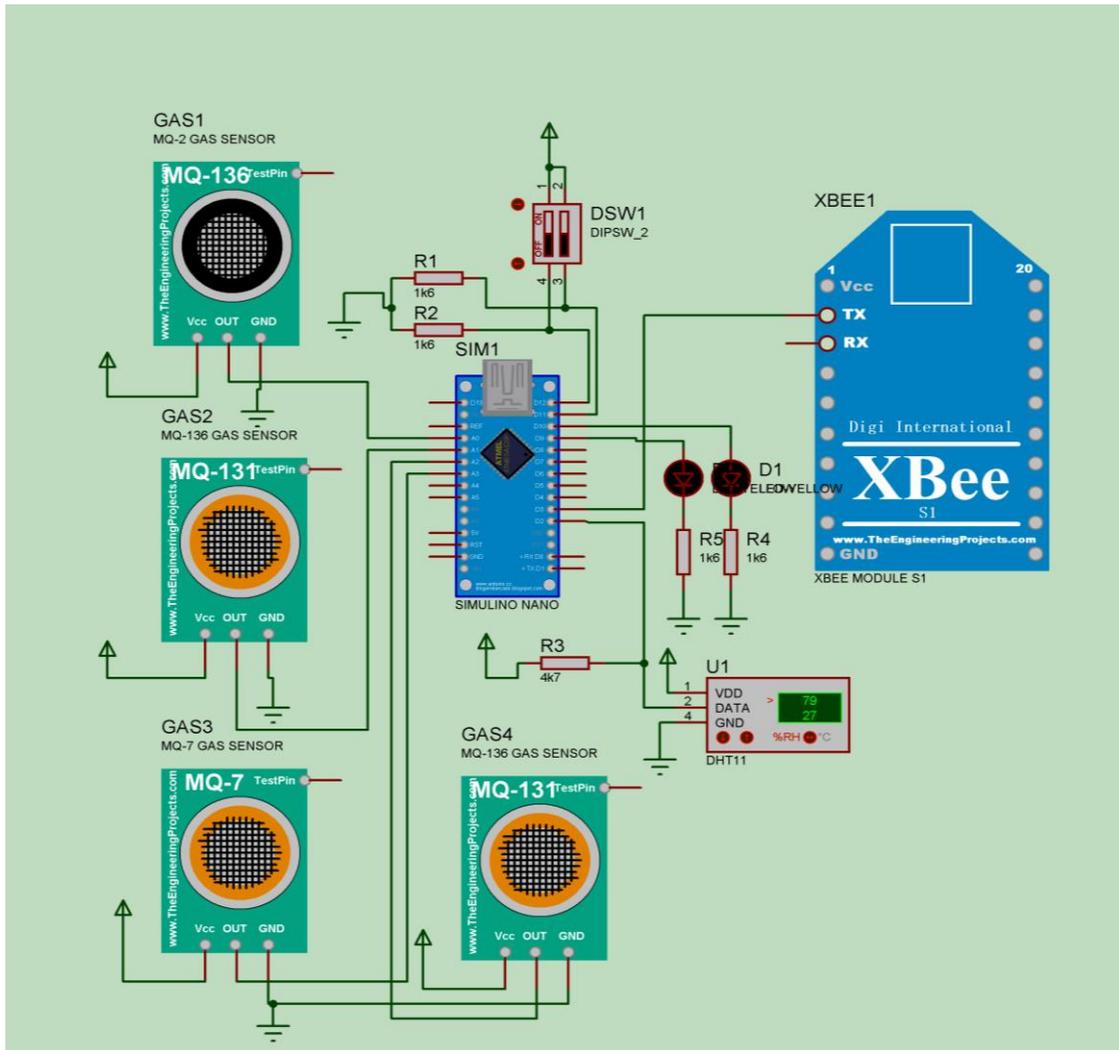
- Línea de vista directa al aire libre: 10 km.
- Transmitir potencia de salida: 50 mW
- Sensibilidad del receptor: -100 dBm.
- Velocidad de datos RF: 156,25 kbps.
- Corriente de TX: 210 mA a 3.3 V.
- Corriente de RX: 80 mA a 3.3 V.

*3.7.1.8 Esquema de conexión del módulo MRCA*

En la figura 3-11, se muestra el diagrama de conexión del módulo recolector de calidad del aire MRCA, el principal elemento es un Arduino NANO, que se comunica con cada uno de sus componentes de la siguiente manera:

- El sensor de temperatura y humedad DHT11 (U1) se conecta directamente al terminal digital (D2), se debe conectar una resistencia de 4.7K entre el terminal Vcc y Data.
- El Sensor de Monóxido de Carbono MQ7 (GAS3) se conecta al pin A3 de la placa Arduino.
- El Sensor de Ozono MQ131 (GAS3) se conecta al pin A2 de la placa Arduino.
- El Sensor de Dióxido de Nitrógeno MQ131 (GAS4) se conecta al pin A1 de la placa Arduino.
- El Sensor Dióxido de azufre MQ136 (GAS1) se conecta al pin A0 de la placa Arduino.

- Para la transmisión de datos de calidad de aire se conecta el XBEE 900 Pro al pin (A2) de la tarjeta Arduino.



**Figura 3-11** Diagrama esquemático MRCA  
Fuente: José Morales, 2016

### 3.8. Vehículo aéreo no tripulado (UAV) parte del MRCA

El UAV utilizado en esta investigación es un Cuad-Rotor comercial del fabricante DJI Phantom 3e aprecia en la figura 3-2, diseñado para uso civil que incorpora un microprocesador, sensores como acelerómetros, GPS, y un dispone de un mando físico por radiocontrol y se vincula a través de WiFi a un dispositivo móvil.



**Figura 3-12** Cuadrotor phantom 3  
Fuente: [DJI.com/es/product/phantom-3-pro](http://DJI.com/es/product/phantom-3-pro)

Como características técnicas principales de este UAV se presentan en la tabla 3-2, y otras características (ver anexo 8).

**Tabla 3-2** Características técnicas de *Hardware* UAV Phantom.

UAV's PHANTOM 3	
<b>Peso (Batería y Hélices Incluidas)</b>	1280 g
<b>Tamaño Diagonal (Hélices Excluidas)</b>	350 mm
<b>Velocidad Máx. en Ascenso</b>	5 m/s
<b>Velocidad Máx. en Descenso</b>	3 m/s
<b>Velocidad Máx.</b>	16 m/s sin viento
<b>(Límite de altura por defecto: 120 m sobre el punto de despegue)</b>	120m
<b>Temperatura de Funcionamiento</b>	0°C a 40°C
<b>Posicionamiento</b>	GPS/GLONASS
<b>Máx. Duración de Vuelo</b>	Aproximadamente 23 minutos
BATERÍA DE VUELO	
<b>Capacidad</b>	4480 mAh
<b>Voltaje</b>	15.2 V
<b>Tipo de Batería</b>	LiPo 4S
<b>Energía</b>	68 Wh
<b>Peso Neto</b>	365 g
<b>Temperatura de Funcionamiento</b>	de -10°C a 40°C
<b>Potencia de Carga Máx.</b>	100 W

Continuación de la Tabla 3-3 Características técnicas de *Hardware* UAV Phantom.

MANDO DE CONTROL REMOTO	
<b>Frecuencia</b>	2.400 GHz-2.483 GHz
<b>Distancia Máxima</b>	Hasta 5 km , sin obstáculos ni interferencias según normas FCC y Hasta 3.5 km sin obstáculos ni interferencias con la norma CE
<b>Temperatura de Funcionamiento</b>	de 0°C a 40°C
<b>Batería</b>	6000 mAh LiPo 2S
Transmisor de Potencia (PIRE)	
<b>FCC: 20 dBm</b>	FCC: 20 dBm
<b>CE:</b>	16 dBm
<b>Voltaje de Funcionamiento</b>	1.2 A @7.4 V

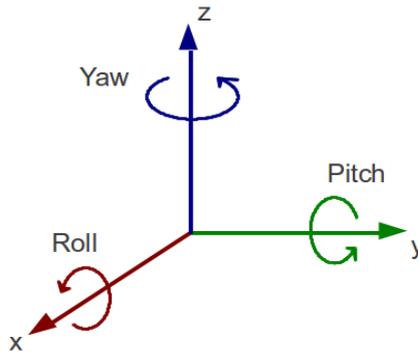
Fuente: <http://www.thrivertrack.net/out/dji.com>

Realizado por: José Morales 2016

Este vehículo, pueden navegar en sus tres dimensiones, para lo cual se debe controlar la posición y orientación, para esto se requiere definir un sistema de coordenadas a través del centro de gravedad, donde cada eje debe ser perpendicular a los dos ejes opuestos, definiendo la orientación del UAV por la cantidad de rotación de las partes de la aeronave a lo largo de los ejes, se requiere de tres ángulos denominados ángulos de Euler los mismos que son:

- **Pitch:** rotación con respecto al eje “y” como se puede ver en la figura 3-13
- **Roll:** rotación con respecto al eje “x” como se puede ver en la figura 3-13
- **Yaw:** rotación con respecto al eje “z” como se puede ver en la figura 3-13

Son tres rotaciones, relativas al sistema móvil de gran utilidad cuando el piloto de una aeronave quiere describir una maniobra, estos se pueden apreciar en la figura 3-13.

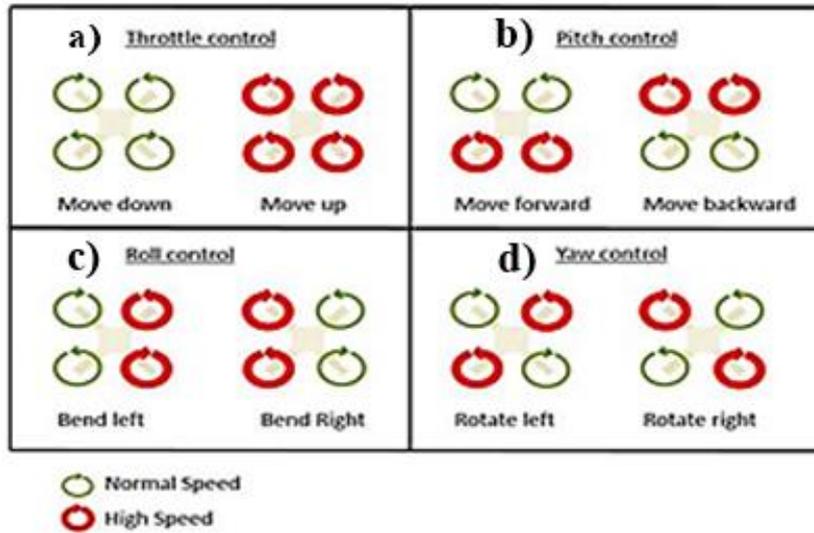


**Figura 3-13** ángulos de orientación de los UAV's,  
**Fuente:** machinedesign.com/ -s-difference-between-pitch-roll-and-yaw

### 3.8.1 *Velocidad de las hélices en los giros del UAV*

En la figura 3-14 se aprecian las velocidades de giro de las hélices, que son capaces de cambiar la trayectoria y posición del UAV cuya combinación permite el desplazamiento en sus tres ejes. Las hélices en color rojo determinan la velocidad alta con que giraran las hélices para subir y verde siendo velocidad baja para cuando quiera descender.

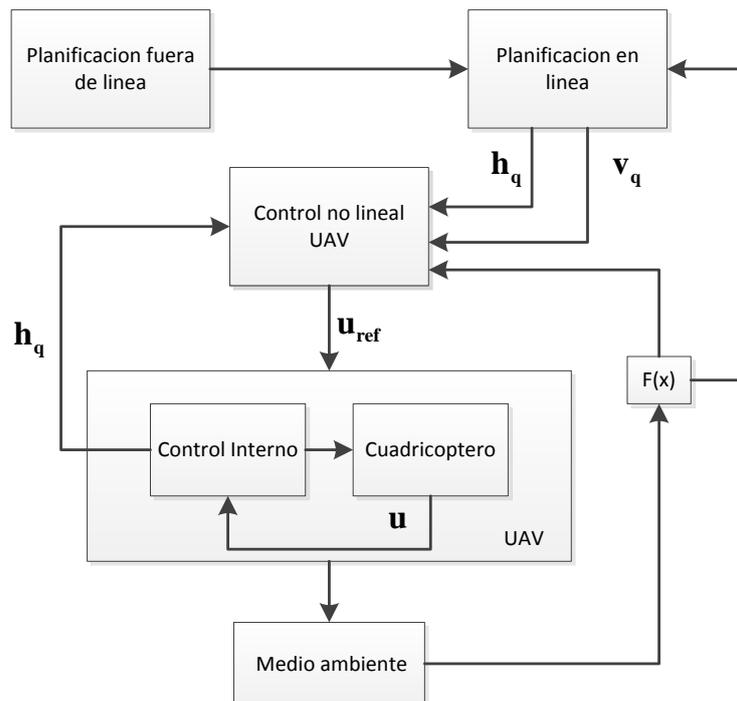
- **El ángulo Pitch.-** Es muy similar al movimiento de Roll y es proporcionado por el aumento o disminución en las velocidades de las hélices trasera en diagonal como se puede ver en el figura 3-7 b “*Pitch control*”.
- **El giro Roll.-** Es proporcionado por el incremento o disminución de la velocidad de las hélices izquierda y derecha. Generando un momento con respecto al eje que hace girar al cuadricóptero como se muestra en la figura 3-7 c “*Roll Control*”.
- **El ángulo Yaw .-** Es creado por la velocidad de las hélices delantera y trasera en aumento o disminución en diagonal como se puede ver en la figura 3-7 d “*Yaw control*”



**Figura 3-14** Velocidad de las hélices, ángulos de Euler  
 Fuente: <http://www.droningenieria.com/montaje-dron-de-carreras-zmr250/>

### 3.8.2 Estrategia de Operación autónoma del UAV Phantom

El control de UAV debe ser de forma autónoma, o tele operada de ser necesario, en la figura 3-15 se muestra un esquema propuesto de control multicapa que se implementó en del sistema de control.



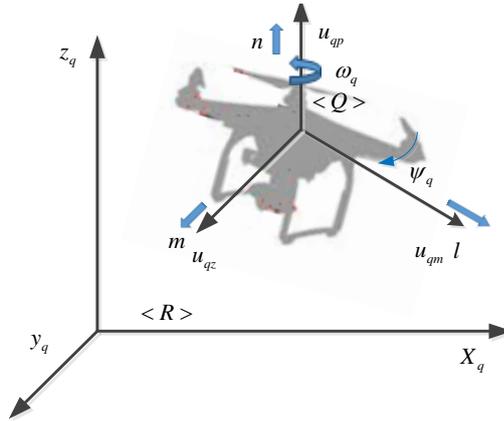
**Figura 3-15** Estrategia de control del UAV  
 Fuente: Jose Morales, 2016

### **La estrategia de control propuesta consta de:**

- La capa de planificación fuera de línea será la responsable de la creación de la primera condición, generando así la trayectoria.
- La capa de planificación en línea es capaz de cambiar la referencia con el objeto de que el UAV pueda reaccionar con el medio ambiente, modificar la ruta en posibles obstáculos u emergencia.
- La capa de control no lineal será donde se genera las señales de control al UAV, considerando que no tendrá ningún problema de control de velocidad, por una selección apropiada de las referencias de control.
- El bloque UAVs representa la cinemática y dinámica de la aeronave.
- El bloque de Medio Ambiente representa todos los objetos circundante será por donde sobrevuele la aeronave en supervisión de calidad de aire.

#### **3.8.3 Modelado cinemático**

La cinemática detalla la geometría del movimiento y no considera las fuerzas que lo ocasiona, para analizar el comportamiento del UAV es necesario definir el siguiente sistema de referencia que describe el movimiento, este trabajo está representado por tres velocidades en el espacio  $\langle Q \rangle$ , el desplazamiento del UAV está guiada, por dos velocidades lineales  $u_{qp}$ ,  $u_{qz}$  y una angular  $\omega_q$  que constituye el marco inercial del UAV como se muestra en la figura 3-16, En donde  $z_q$ ,  $x_q$ ,  $y_q$ , y  $\psi_q$ , son medidas con respecto al marco inercial  $\langle R \rangle$ . El punto de interés que será la posición a ser controlada, es el centro de gravedad del UAV (V. H. Andaluz, 2015)



**Figura 3-16** Marco Inercial del UAV.  
**Fuente:** José Morales, 2016

Los grados de libertad que considero en el UAV de esta investigación para el seguimiento de trayectoria lo definimos en el siguiente vector:

$$\dot{\mathbf{u}}_q = (\mathbf{u}_{qm}, \boldsymbol{\omega}_q, \mathbf{u}_{qp}) \quad (1)$$

Donde

$\mathbf{u}_{qm}$  Es el vector de desplazamiento frontal y  $\mathbf{u}_{qp}$  vector de velocidad ascenso  $\boldsymbol{\omega}_q$  representa un vector velocidad angular de guiñada y significa la orientación del UAV. Y es necesario entonces definir la relación de velocidades que existe entre el marco inercial  $\langle R \rangle$  y  $\langle Q \rangle$  y tenemos la siguiente ecuación:

$$\dot{\mathbf{h}}_q = \mathbf{J}(\psi_q) * \dot{\mathbf{u}}_q \quad (2)$$

Siendo:

$\dot{\mathbf{h}} = (\dot{x}_q, \dot{y}_q, \dot{\psi}_q, \dot{z}_q) \in R^n$  Con  $n=4$  representa el vector de velocidad con respecto a los ejes de referencia  $\langle R \rangle$ ,  $\mathbf{J}(\psi_q) \in R^{n \times m}$  representa una matriz de rotación, y las maniobras de control de la aeronave se resume en  $\dot{\mathbf{u}}_q \in R^n$ . obteniendo el término J de la ecuación tenemos la matriz:

$$\mathbf{J}(\psi_q) = \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -a*\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & -a*\cos(\psi) & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Utilizando los resultados de la ecuación 3 aplico en la ecuación 2, y se obtiene el espacio de estados:

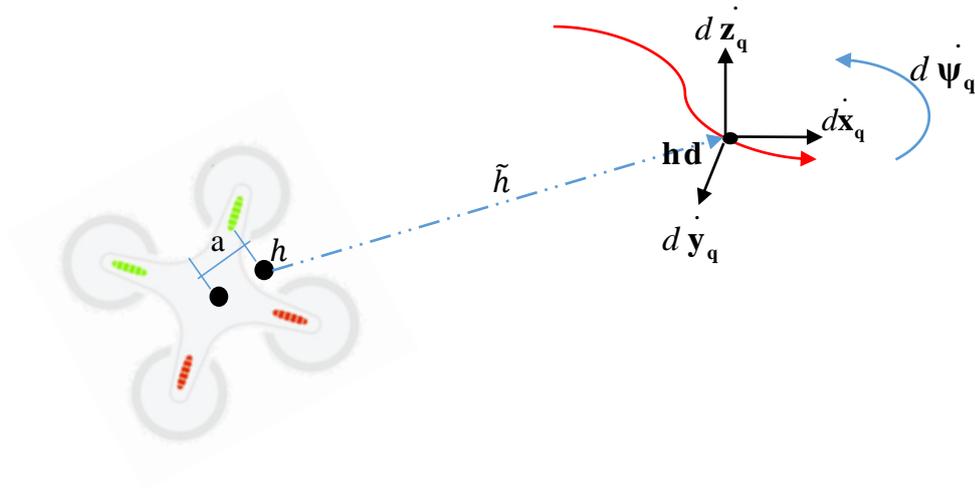
$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}}_q \\ \dot{\mathbf{y}}_q \\ \dot{\Psi}_q \\ \dot{\mathbf{z}}_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -a*\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & -a*\cos(\psi) & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \mathbf{u}_{qm} \\ \boldsymbol{\omega}_q \\ \mathbf{u}_{qp} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Obteniendo las variables de salida de la ecuación (4) se tiene:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}_q &= \mathbf{u}_{qz}\cos(y_q) - a\boldsymbol{\omega}_q\sin(y_q) \\ \dot{\mathbf{y}}_q &= \mathbf{u}_{qm}\sin(y_q) - a\boldsymbol{\omega}_q\cos(y_q) \\ \dot{\Psi}_q &= \boldsymbol{\omega}_q \\ \dot{\mathbf{z}}_q &= \mathbf{u}_{qn} \end{aligned}$$

#### 3.8.4 *Diseño del controlador*

El movimiento del UAV expresado en la ecuación (2) en función de las tres velocidades  $\dot{\mathbf{u}}_q$  y el punto de control se encuentran desfasada a una distancia  $a$  con el centro de masa del cuerpo. Se conoce que la posición deseada para el UAV es tangente a la trayectoria, como se muestra en la figura 3-17, se define que las velocidades en cada instante de tiempo son las derivadas de la trayectoria.



**Figura 3-17** Posición y velocidad deseadas de trayectoria  
**Fuente:** José Morales, 2016

Definiendo

$\mathbf{hd} = \left( x_q, y_q, \psi_q, z_q \right)^T$  Como el vector de la posición deseada, su primera derivada respecto al tiempo es  $\dot{\mathbf{hd}} = \left( \dot{x}_q, \dot{y}_q, \dot{\psi}_q, \dot{z}_q \right)^T$  y para calcular el error de trayectoria se aplica la siguiente ecuación:

$$\tilde{\mathbf{h}} = \mathbf{hd} - \mathbf{h} \quad (5)$$

El control se diseña a partir de la cinemática inversa aplicada a la ecuación (2) y se propone:

$$\dot{\mathbf{u}}_q = \mathbf{J}^\# * \dot{\mathbf{h}}_q \text{ ref} \quad (6)$$

Donde:

$\mathbf{J}^\#$  Es la pseudoinversa de la matriz Jacobiano, debido a que no es una matriz cuadrada,

$\dot{\mathbf{u}}_q$  Son las velocidades lineales y angulares necesarias para que el UAV siga la trayectoria deseada y

$\dot{\mathbf{h}}_q \text{ ref}$  Son las velocidades de referencia para el seguimiento de trayectoria.

**Las velocidades de  $\dot{\mathbf{h}}_{ref}$  deberán cumplir dos objetivos:**

- Corregirá el error de posición cuando el UAV este fuera de la trayectoria, para lo cual se aplica un compensador multiplicado al error de posición  $\tilde{\mathbf{h}}$ , y una constante K de compensación, tal como :

$$\mathbf{k} * \tanh(\tilde{\mathbf{h}}) \quad (7)$$

- Mantener las velocidades deseadas cuando la aeronave esté dentro de la trayectoria, se consigue con la derivada de las posiciones deseadas para la trayectoria  $\dot{\mathbf{h}}$ .

Sumando estos dos objetivos se tienen la siguiente ecuación:

$$\dot{\mathbf{h}}_q \text{ ref} = \mathbf{K} * \tanh(\tilde{\mathbf{h}}) + \dot{\mathbf{h}} \quad (8)$$

Obteniendo de esta manera la ecuación de control autónomo de trayectoria:

$$\dot{\mathbf{u}}_q = \mathbf{J}^\# * (\mathbf{K} * \tanh(\tilde{\mathbf{h}}) + \dot{\mathbf{h}}) \quad (9)$$

Desarrollando la ecuación (9) se obtiene:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{u}_{qm} \\ \boldsymbol{\omega}_q \\ \mathbf{u}_{qp} \end{bmatrix} = \mathbf{J}^\# \begin{bmatrix} k1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k4 \end{bmatrix} \tanh \begin{pmatrix} dx_q \\ hy_d \\ dy_q \\ dz_q \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} d\dot{x}_q \\ h\dot{y}_q \\ d\dot{y}_q \\ d\dot{z}_q \end{pmatrix} \quad (13)$$

Se considera importante indicar el planteamiento de condiciones ideales de velocidad, es decir que las velocidades ingresadas, son las velocidades que la aeronave tiene en ese instante de tiempo (14).

$$\dot{\mathbf{h}} = \dot{\mathbf{h}}_q \text{ ref} \quad (14)$$

Condiciones de estabilidad partiendo del error  $\tilde{\mathbf{h}}$  y obteniendo la primera derivada, se obtiene:

$$\tilde{\dot{\mathbf{h}}} = \dot{\mathbf{h}} - \dot{\mathbf{h}}_q \text{ ref} \quad (15)$$

El objetivo del controlador es que  $\tilde{h} = 0$ , para verificar la estabilidad de este sistema no lineal se usa el método de Lyapunov, para lo cual. Se define la función definida positiva como candidata.

$$V = \frac{1}{2} \tilde{\mathbf{h}}^T \tilde{\mathbf{h}} > 0 \quad (16)$$

Tomando su primera derivada y reemplazando (15) en (16), se obtiene:

$$\dot{V} = \tilde{\mathbf{h}}^T \dot{\tilde{h}} = \tilde{\mathbf{h}}^T (\mathbf{h}\dot{\mathbf{d}}) - \mathbf{J}^* \dot{\mathbf{q}} \quad (17)$$

El control propuesto tiene como señal de entrada:

$$\dot{\mathbf{u}}_q = \mathbf{J}^\# * (K * \tanh(\tilde{h}) + \mathbf{h}\dot{\mathbf{d}}) \quad (18)$$

Obteniendo:

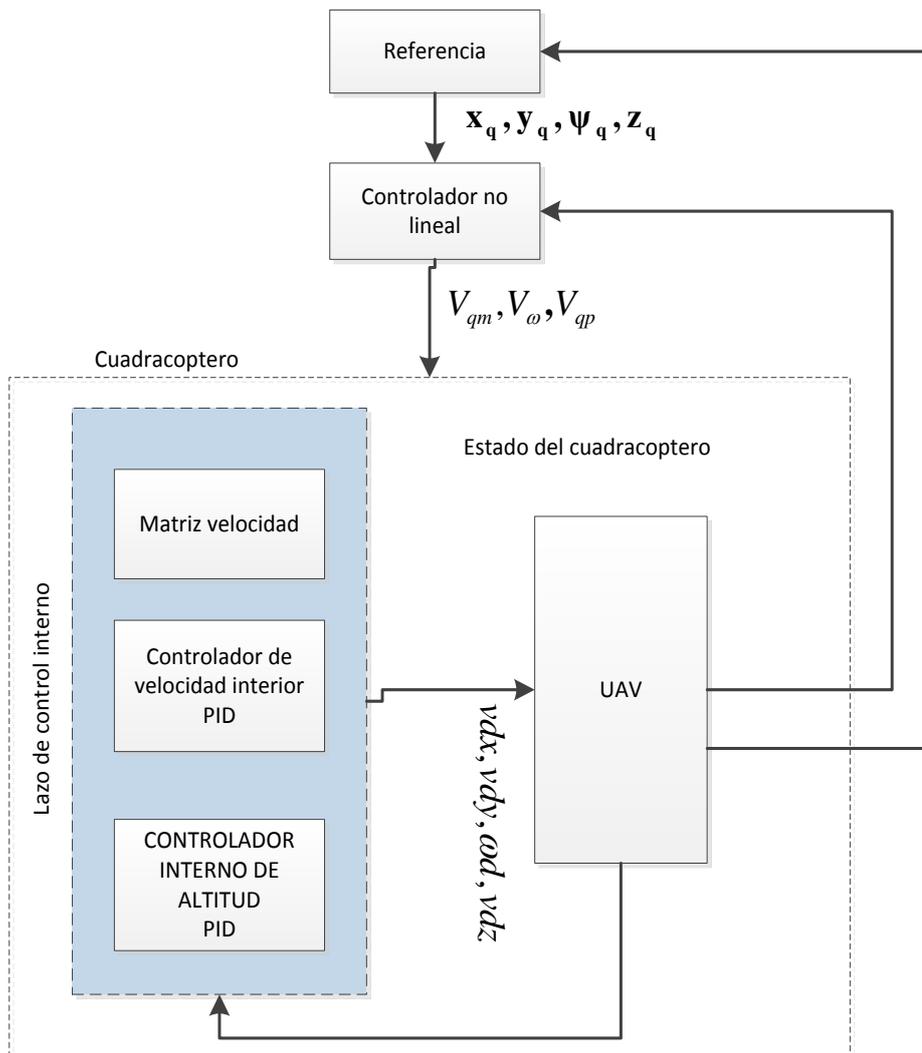
$$\dot{V} = \tilde{\mathbf{h}}^T (-K * \tanh(\tilde{h})) \quad (19)$$

Y según Lyapunov el sistema es estable si  $\dot{V} < 0$ , la condición para ello es posible debido a:

$$\tilde{\mathbf{h}}^T K \tanh(\tilde{h}) > 0 \quad (20)$$

### 3.8.5 *Resumen del controlador aplicado*

Se considera los errores en el seguimiento de camino, el mismo que motiva la compensación dinámica del proceso, que debe ser capaz de realizar un seguimiento de forma independiente de cuatro consignas: delantero, lateral, arriba / abajo, y ángulo de partida para generar los valores de velocidades deseados, que son interpretados por el modelo cinemático, que entrega las señales de velocidad requeridas para el correcto funcionamiento del proceso como se muestra en la figura 3.18



**Figura 3-18** Diagrama de bloques de lazo de control interno del UAV  
Fuente: José Morales, 2016

## CAPÍTULO IV

### 4 DISEÑO DEL *SOFTWARE* DE SUPERVISIÓN DE CALIDAD DE AIRE CON UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV)

#### 4.1. Introducción

En este capítulo se presenta el *software* para un vehículo aéreo no tripulado de control y supervisión de la calidad del aire (UAVSCCA). Se definen los requerimientos de *software* del módulo (MRCA) y la estación fija en tierra (ERT).

#### 4.2. Requerimientos del *software* a desarrollar

En esta sección se describe los requerimientos que debe cumplir el *software* de los diferentes módulos que conforman el sistema.

##### 4.2.1 *Requerimientos del software para el MRCA*

- Leer las coordenadas de la ubicación del UAV y determinar su posición actual.
- Leer las medidas de cada uno de los sensores de temperatura, humedad, monóxido de carbono, dióxido de azufre, ozono, dióxido de nitrógeno. de forma secuencial en un periodo de tiempo definido.
- Transformar las lecturas obtenidas de los sensores a unidades químicas acorde al sistema métrico Internacional.
- Inicializar la comunicación con la ERT.
- Transmitirlas la cadena de caracteres ASCII los valores obtenidos en forma individual y secuencial, de los sensores en periodo de tiempos programados.
- Finalizar la comunicación con la ERT.

#### **4.2.2      *Requerimiento de software de la ERT.***

- Conectarse con la red del UAVSCCA
- Leer las coordenadas del UAV,
- Leer por radiofrecuencia, los datos recibidos por la MRCA.
- Transmitir al computador por el puerto USB valores recibidos.
- Graficar los datos recibidos en la pantalla de computador.
- Almacenar los datos recibidos de los módulos sensores, la ubicación, y la hora en que se realizó la lectura, en formato acorde a hojas de cálculo o procesadores e texto.
- Mostrar el recorrido y trayectoria realizada por el UAV.

#### **4.2.3      *Requerimiento de software para la APP, (Phantom Bridge)***

- Conectarse a la red UAVSCCA
- Establecer la comunicación con el UAV.
- Leer en tiempo real los valores de los sensores del UAV. Como GPS latitud, longitud y altura del UAV.
- Leer en forma secuencial los ángulos de Euler (Pitch, Roll, Yaw)
- Graficar los estados de la red, y valores de los sensores.

#### **4.3.      *Descripción del software de Programación y Desarrollo para el UAVSCCA***

El *software* que integra los diferentes módulos del sistema UAVSCCA, se desarrolló aplicando programación estructurada, y entornos de desarrollo para aplicaciones móviles los cuales se describen a continuación.

#### **4.3.1 Entorno integrado de desarrollo libre para la plataforma Arduino**

Esta herramienta conocida como IDE de Arduino se utilizó para implementar el programa que se ejecuta en el módulo MRCA, que constituye parte del sistema UAVSCCA, se trabajó con el IDE 1.6.5. Es de libre acceso de fácil manejo y para diferentes sistemas operativos. Con esta se crean programas denominados Sketch que son un conjunto de instrucciones de código fuente parecido al lenguaje C o C++. Posee ejemplos de Sketch, una fácil actualización y la supervisión de los puertos para envío y recepción de datos. (ShareAlike, 2016)

#### **4.3.2 Herramienta de software MATLAB**

Es una herramienta de *software* matemático que ofrece un IDE con un lenguaje de programación propio del lenguaje m; que es de tipo interpretado y puede ejecutarse tanto en el entorno interactivo o a través de un archivo de *script*, que tienen una extensión \*.m presenta entre sus instrucciones la visualización de datos en 2D y 3D ideal para aplicaciones de investigación, resuelve problemas de ingeniería y matemáticas, con un gran énfasis en aplicaciones de diseño de sistemas de control. Dispone de herramientas como *Simulink*, que es una plataforma de simulación y *GUIDE* que es un editor de interfaces de usuario, muy usado en universidades y centros de investigación.

El IDE de Matlab entre sus características básicas permite: ( Borrell, 2007)

- Manipulación de Matrices.
- Representación de datos y funciones.
- Creación de interfaces de usuario (GUI).
- Comunicación con programas en otros lenguajes de programación y dispositivos *hardware*.

#### **4.3.3 Herramienta de software ANDROID STUDIO**

Desarrollado por GOOGLE permite el desarrollo de aplicaciones móviles. El lenguaje de programación que maneja es similar Java. Dispone de un conjunto de herramientas de

desarrollo SDK (*Software Development Kit por sus siglas en inglés*). Con ellas se puede desarrollar aplicaciones y ejecutar en emuladores para Android (Ribas Lequerica, 2013).

#### **4.4. Software del módulo MRCA.**

El programa que se ejecuta en el MRCA (ver anexo 3), fue implementada con el IDE de ARDUINO 1.6.5. Se detalla a continuación el diagrama de flujo, las funciones y librerías que lo integran.

##### **4.4.1 Diagrama de Flujo del programa principal MRCA.**

El diagrama de flujo que se muestra en la figura 4-1, detalla la estructura del programa del MRCA.

#### **Encabezado del programa:**

- Se incluyen la biblioteca **<dht11.h>** que permite el manejo del sensor DTH11
- Se declara las funciones que se utilizaran.
- Se declara e inicializa los puertos de entrada/ salida (A/D)
- Se declaran las variables Globales y la Inicialización de los sensores.

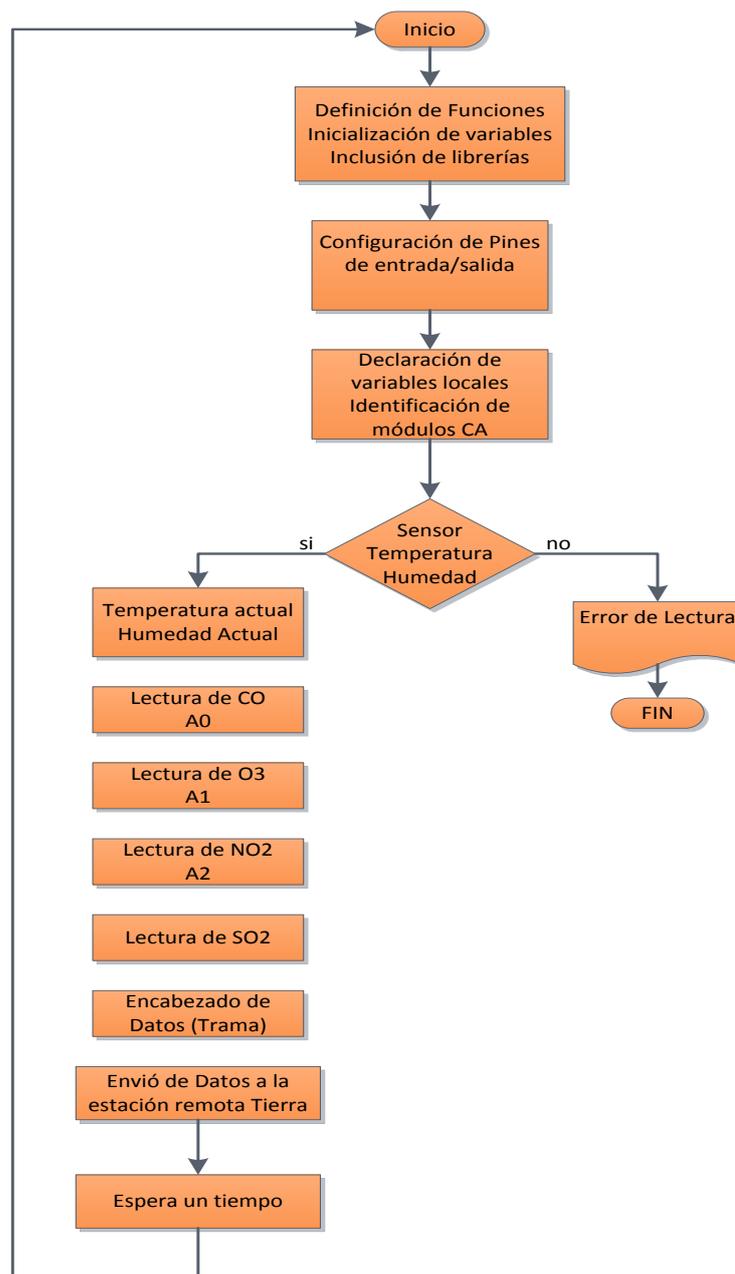
#### **Cuerpo del programa:**

Se enceran las variables y se llama a las funciones de censado del aire. El algoritmo verifica si no existe error en la adquisición de los datos de temperatura y humedad si los resultados son correctos se llama a las funciones siguientes:

- **TempHum ()**, devuelve la Temperatura y Humedad registrada en el sensor en grados Centígrados y en porcentaje respectivamente.
- **CalidadCO ()**, devuelve el valor medido del sensor de Monóxido de carbono presente en el aire en unidades de mg/m<sup>3</sup>.

- **CalidadNO2 ()**, devuelve el valor medido de Dióxido de Nitrógeno presente en el aire en  $\text{ug/m}^3$ .
- **CalidadSO2 ()**, devuelve el valor medido de Dióxido de Azufre presente en el aire en unidades de  $\text{ug/m}^3$ .
- **CalidadCO3 ()**, devuelve el valor medido de ozono en el aire en  $\text{ug/m}^3$ .

Con los valores de lectura de los sensores, se genera por cada valor una trama de caracteres ASCII que es enviada por RF. El algoritmo dispone de un tiempo de espera y reinicio el cual permite observar los datos por el puerto USB y generar espacio de espera entre envíos.



**Figura 4-1** Algoritmo del Módulo Recolector de Datos de Calidad de aire MRCA  
Realizado por: José Morales, 2016

#### 4.5. *Software* de la aplicación Phantom bridge

El *software* Phantom bridge, se ejecuta en un dispositivo móvil compatible con sistema operativo Android. Se estructura en base a cinco funciones que a continuación se describen:

**SERVER.SIN\_ADDR.S\_ADDR()**, esta función no requiere parámetros y permite obtener la dirección red comunicación activo que es de tipo string.

**SERVER.SIN\_PORT ()**: esta función no requiere parámetros y permite elegir el puerto de comunicación de manera aleatoria.

**HTONS (12370)** esta función envía datos desde la red de tipo int, conversión necesaria para la comunicación con otras arquitecturas, envía un valor fijo que representa el número de puerto para la comunicación.

**Iniciar (dirección)** .- esta función obtiene la dirección IP de la red del sistema UVASSCA, que es devuelta en la variable dirección que es de tipo string., que es el valor requerido para establecer la comunicación con el UAV's.

**EnvioValores (rollcito, pitchcito, yawcito,)**. Esta función maneja cuatro parámetros de tipo string es encargada de enviar valores de posición donde: rollcito representa el valor del ángulo de roll, pitchcito representa el valor del ángulo de pitch, yawcito representa el valor del ángulo de yaw, la pantalla de visualización que presenta esta aplicación se aprecia en la figura 4-2



**Figura 4-2** Pantalla de presentación PhantomBridge Puente de Comunicación  
Fuente: José Morales, 2016

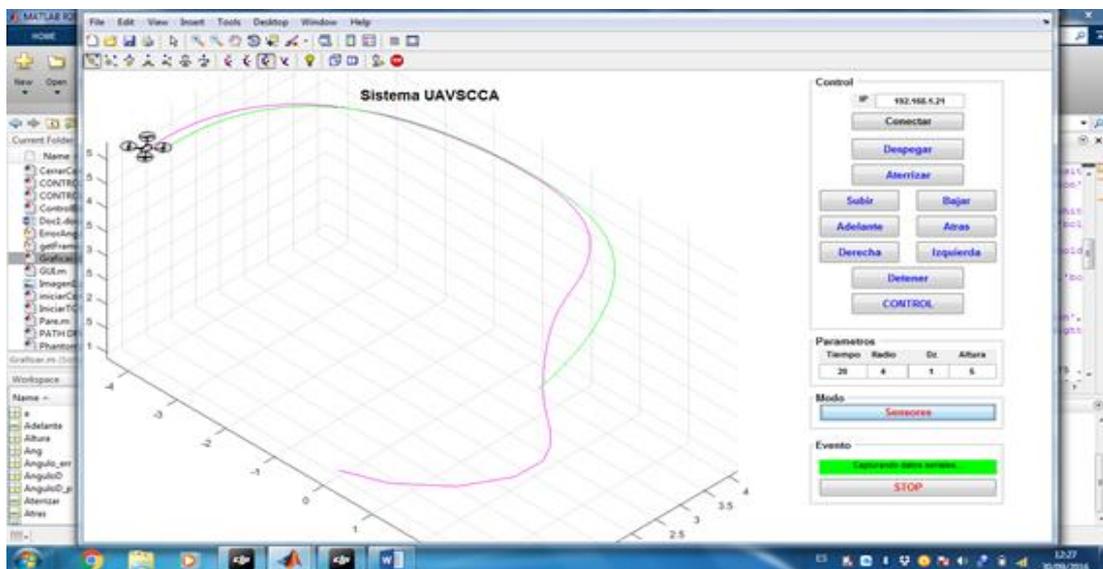
#### 4.6. Herramientas *software* para la estación de tierra del sistema UAVSCCA

El código del *software* que se ejecuta en la estación remota de tierra ERT (ver anexo 6) al final de este documento, fue desarrollado en el entorno GUIDE de Matlab versión R2015a, el mismo que a continuación se describe consta de dos aplicaciones que a continuación se describen:

##### 4.6.1 *Software de Control en la ERT.*

Es el programa encargado de controlar el desplazamiento pre programado del UAV, esta aplicación con GUIDE de Matlab R2015a. permite conectarse por medio de la red WIFI del sistema UAVSCCA al computador, para el envío y recepción de los parámetros de latitud, longitud, altura y ángulos de Euler. La herramienta virtual desarrollada se encarga de tomar una cadena de caracteres ASCII, la información recibida es procesada por el algoritmo de control para cumplir su objetivo.

En la figura 4-3 se muestra la pantalla se genera al ejecutar este *software* de control en la ERT. En esta se visualiza el área y altura de supervisión y por seguridad se incorpora controles manuales de despegue aterrizaje y detención en el caso de ser necesario la programación del algoritmo de control (ver anexo 4).

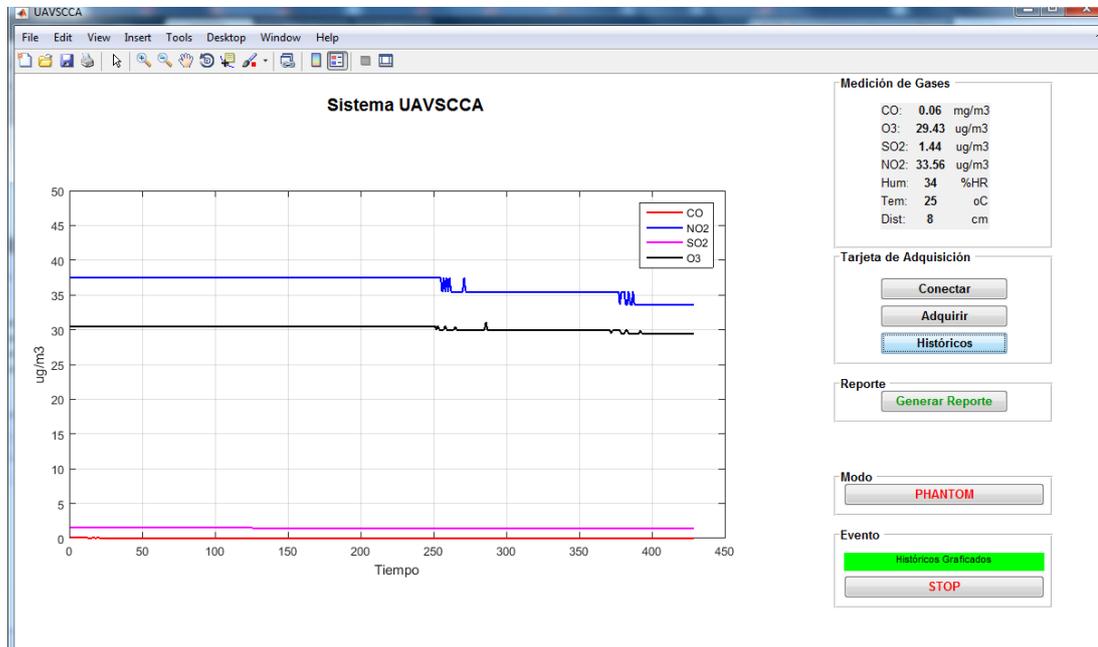


**Figura 4-3** Pantalla del *software* de control.

Fuente: José Morales, 2016

#### 4.6.2 Software de recolección en la ERT.

El *software* de supervisión fue desarrollado en el entorno GUIDE de Matlab R2014a, permite obtener información de los sensores por el puerto USB en el computador como muestra en la figura 4-3. Es la encargada de tomar una cadena de caracteres ASCII suministrada por el MRCA, la información recibida es presentada en forma numérica y gráfica en pantalla del computador y a la vez es almacenada como archivo en un disco duro. El archivo creado puede ser procesado en hojas de cálculo (Excel) y procesadores de texto. En la figura 4-4 se presenta la pantalla que genera al ejecutar el *software* desarrollado, en esta se visualiza los gases contaminantes del aire como, Monóxido de carbono, Dióxido de Nitrógeno, Dióxido de Azufre, y Ozono presentados en unidades químicas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y variables climatológicas como Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y Humedad (%HR).



**Figura 4-4** Panel frontal de la herramienta de supervisión de calidad de aire.  
Fuente: José Morales, 2016

## CAPÍTULO V

### 5 VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA UAVSCCA

#### 5.1. Introducción

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos de las pruebas realizadas tanto en simulación con el sistema UAVSCCA implementado, se evaluó el *Hardware y Software* integrados a en los módulo MRCA y ERT, así como la comunicación de la red implementada se caracteriza la respuesta de los módulos y del algoritmo de control en función a los requerimientos de la investigación.

#### 5.2. Caracterización del módulo MRCA.

Para comprobar que el MRCA cumple con los resultados esperados, se caracterizan las mediciones y las comunicaciones que realizan las que se detallan a continuación:

##### 5.2.1 *Caracterización de las mediciones realizadas por el MRCA*

En la figura 5-1 se muestran una fotografía del módulo MRCA, en la cual se aprecia el UAV y los sensores que lo constituyen, y en la parte inferior se aprecia la antena que permite la comunicación con la ERT.



**Figura 5-1** Fotografía del módulo MRCA  
Fuente: José Morales, 2016

Al no disponer de equipos de referencia por los altos costo; para realizar las comparaciones de las mediciones y con el objetivo de evaluar las mismas se decidió para esta investigación comparar las respuestas de datos de temperatura, humedad y CO con equipos comerciales de bajo costo y de características muy similares.

Para evaluar las medidas obtenidas por los sensores NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> se consideró las medidas estacionarias obtenidas cerca de los equipos del ministerio del ambiente.

### **5.2.2** *Caracterización de las mediciones de las temperaturas ambiente y gases de contaminación del aire.*

En la tabla 5-1 se presentan los valores del resultado de las mediciones realizadas con los sensores ambientales incorporados al MRCA que presentan una exactitud de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  en la medida de temperatura  $\pm 5\% \text{RH}$  en la medida de humedad ambiental.

Se toma como referencia el equipo (Electronic Thermo-Hygrometer Model: ETHG912) que tiene una exactitud de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $\pm 1\% \text{HR}$  (Scientific, 2016). Las mediciones se obtuvieron sometiendo a funcionamiento continuo al MRCA, durante un tiempo estimado de cinco días sin considerar el horario, se obtiene 20 muestras para su análisis para comprobar si el sistema no incorpora más error del introducido por el sensor correspondiente.

Los errores máximos son de  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  en la temperatura y  $\pm 6\%$  HR en humedad relativa. Una vez obtenidos los datos se analizan y se verifica que el sistema diseñado no introduce error al medir la temperatura ambiente y la humedad relativa, presentando errores máximos de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $\pm 5\%$ , que corresponden a los errores de medida de los sensores utilizados en esta investigación.

**Tabla 5-1** Mediciones con los sensores de temperatura y humedad del ambiente

Nro	REFERENCIA ETHG912		MÓDULO DE RECOLECCIÓN CALIDAD DE AIRE		Error Absoluto de Temperatura	Error Absoluto Humedad
	TEMPERATU RA $^{\circ}\text{C}$	HUMEDAD %HR	TEMPERATUR A $^{\circ}\text{C}$	HUMEDAD %HR		
1	19	47	20	44	-1	3
2	17	47	17	44	0	3
3	18	47	18	44	0	3
4	16	47	18	44	-2	3
5	21	47	22	44	-1	3
6	17	47	17	44	0	3
7	21	46	21	44	0	2
8	21	50	22	47	-1	3
9	16	47	17	44	-1	3
10	16	45	17	41	-1	4
11	21	47	22	44	-1	3
12	16	47	17	44	-1	3
13	16	47	17	44	-1	3
14	16	47	17	44	-1	3
15	18	47	19	44	-1	3
16	19	49	21	45	-2	4
17	19	47	19	44	0	3
18	18	50	18	47	0	3
19	17	50	17	47	0	3
20	19	50	18	46	1	4

**Fuente:** Datos tomados durante las pruebas de medición.

**Realizado por:** José Morales, 2016

En la tabla 5-2 se presentan los valores del resultado de las mediciones de monóxido de carbono realizadas con los sensores ambientales incorporados al MRCA

Se tomó como referencia el equipo El QRAE II que previamente fue (Systems, 2016) calibrado para realizar la comparación de los resultados. Las mediciones se obtuvieron sometiendo a funcionamiento continua al MRCA, durante un tiempo estimado de cinco días sin considerar el horario, se tomaron 24 muestras para su análisis. De los resultados obtenidos se determinando que los error absolutos tiende a cero.

**Tabla 5-2** Error absoluto de CO

<b>Nro.</b>	<b>REFERENCIA QRAE II CO</b>	<b>MQ7-CO mg/m3</b>	<b>ERROR ABSOLUTO CO</b>
1	0.65	0.67	0.02
2	0.65	0.65	0
3	0.63	0.64	0.01
4	0.62	0.65	0.03
5	0.59	0.58	0.01
6	0.56	0.57	0.01
7	0.56	0.57	0.01
8	0.61	0.6	0.01
9	0.62	0.65	0.03
10	0.61	0.64	0.03
11	0.59	0.58	0.01
12	0.58	0.57	0.01
13	0.57	0.56	0.01
14	0.57	0.57	0
15	0.53	0.58	0.05
16	0.47	0.61	0.14
17	0.46	0.59	0.13
18	0.48	0.58	0.1
19	0.51	0.64	0.13
20	0.53	0.59	0.06
21	0.56	0.58	0.02
22	0.6	0.6	0
23	0.67	0.58	0.09
24	0.73	0.77	0.04

**Fuente:** Datos tomados durante las pruebas de medición.

**Realizado por:** José Morales, 2016

De la misma manera se tomó como referencia los resultados diarios del Ministerio del Ambiente, (AMBIENTE, 2016) para comparar los datos de los gases.

Las mediciones se obtuvieron sometiendo a funcionamiento continuo al sistema cerca de los equipos que dispone dicha institución y sus resultados se muestran en la tabla 5-3 obteniéndose como valores absolutos valores no mayores a 0.09 y 1.1.

**Tabla 5-3** Error absoluto de SO<sub>2</sub>

Nro.	SECRETARIA AMBIENTE SO <sub>2</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	MQ-136 SO <sub>2</sub>	ERROR ABSOLUTO DE SO <sub>2</sub>
1	26.55	27.3	0.75
2	19.44	19.26	0.18
3	8.98	8.19	0.79
4	15.72	15.3	0.42
5	12.34	11.9	0.44
6	10.94	10.2	0.74
7	10.75	10.2	0.55
8	11.4	10.9	0.5
9	39.74	40.2	0.46
10	20.22	19.5	0.72
11	23.3	22.2	1.1
12	8.45	8.2	0.25
13	1.16	1.1	0.06
14	1.24	1.18	0.06
15	1.16	1.2	0.04
16	1.26	1.2	0.06
17	1.41	1.34	0.07
18	2.77	2.65	0.12
19	1.91	1.48	0.43
20	6.07	6.7	0.63
21	14.27	13.56	0.71
22	1.34	1.25	0.09

**Fuente:** Datos tomados durante las pruebas de medición.

**Realizado por:** José Morales, 2016

### 5.2.3 Repetitividad del módulo de recolección de datos de calidad de aire

Para el estudio se extrajeron 25 muestras consecutivas de las seis variables supervisadas como se presentan en la tabla 5-2, que fueron obtenidas del archivo que genera el sistema al ser tomadas en un ambiente cerrado a intervalos de un minuto (Ver anexo 5).

El análisis estadístico se realizó con la ayuda de Microsoft Excel 2010, en el que se calculó la media ( $\bar{x}$ ), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el coeficiente de variación ( $C.V = (\sigma/\bar{x}) * 100\%$ ) como se muestra en la tabla 5-2. Se resalta que el coeficiente de variación obtenido en las lecturas de los sensores temperatura, humedad que son de 1.38% y 0.87% respectivamente, y en los sensores de gases con 3.86% en CO, 3.49% en SO<sub>2</sub>, de 4.2% en NO<sub>2</sub> y de 1.39% en O<sub>3</sub>, valores que presentan poca variabilidad según lo reportado. (RIUS DIAZ & WÄRNBERG WÄRNBERG, 2014)

**Tabla 5-4** Evaluación de repetitividad del sensores del MRCA.

Nro.	Hora	Temperatura ambiente °C	Humedad Relativa %HR	Monóxido de Carbono CO mg/m3	Dióxido de Azufre SO <sub>2</sub> ug/m3	Dióxido de Nitrógeno NO <sub>2</sub> ug/m3	Ozono O <sub>3</sub> ug/m3
1	6:30	20	50	0.58	3.37	5.64	53.23
2	6:32	20	50	0.57	3.29	5.89	53.23
3	6:33	20	50	0.56	3.37	5.89	53.23
4	6:34	20	50	0.55	3.08	5.64	50.55
5	6:35	20	50	0.55	3.08	5.64	51.89
6	6:36	19	50	0.55	3.21	5.64	53.23
7	6:37	19	50	0.55	3.17	5.64	53.23
8	6:38	20	50	0.54	3.12	5.89	53.23
9	6:39	20	50	0.53	3.08	5.64	51.89
10	6:40	20	50	0.53	3.08	5.89	53.23
11	6:41	20	50	0.53	3.04	5.64	53.23
12	6:42	20	50	0.53	3.08	5.89	54.57
13	6:43	20	50	0.52	3.08	5.64	53.23
14	6:44	20	49	0.52	3.08	5.89	53.23
15	6:44	20	49	0.52	3.04	5.89	53.23
16	6:46	20	49	0.52	3.08	6.15	53.23
17	6:47	20	49	0.52	3.04	5.89	53.23
18	6:48	20	49	0.52	3.08	6.15	53.23
19	6:49	20	49	0.51	3.04	6.15	53.23

20	6:50	20	50	0.51	3.08	6.15	53.27
21	6:51	20	50	0.51	3.08	6.41	53.23
22	6:52	20	50	0.51	3.04	6.41	51.89
23	6:53	20	50	0.51	3.04	6.15	53.23
24	6:54	20	50	0.51	3.04	6.15	53.23
25	6:55	20	50	0.51	3.37	5.64	53.23
Media		19.92	49.76	0.5304	3.122	5.90	53.01
Desviación Estándar		0.27	0.43	0.0205	0.109	0.250	0.74
Coeficiente de variación:		1.38%	0.87%	3.86%	3.49%	4.2%	1.39%

Fuente: Jose morales,2016

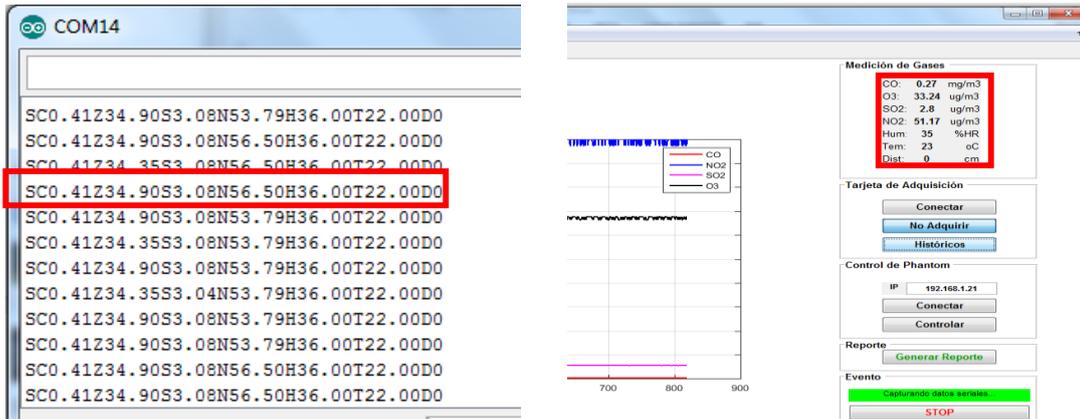
Realizado por: José Morales, 2016

#### 5.2.4 *Caracterización de la comunicación del sistema UAVSCCA*

Para verificar la correcta comunicación del MRCA realizó en dos fases: una durante la implementación y otra en vuelo con la aeronave, durante el proceso se realizaron pruebas y simulaciones para cumplir los requerimientos de diseño las que se detallan a continuación:

#### 5.2.5 *Evaluación de la comunicación del MRCA, en el proceso de recolección de datos por la ERT.*

El puerto de comunicaciones y el computador se utilizaron para evaluar esta comunicación, las pruebas consistieron en la supervisión de los datos transmitidos durante el sobrevuelo del MRCA, como se puede observar en la figura 5-2 que muestra los datos obtenidos del módulo recolector MRCA y la ERT, de las pruebas realizadas se comprobó que no existen pérdida del enlace y que la comunicación se la puede realizar hasta 2km con una alimentación de 5V.

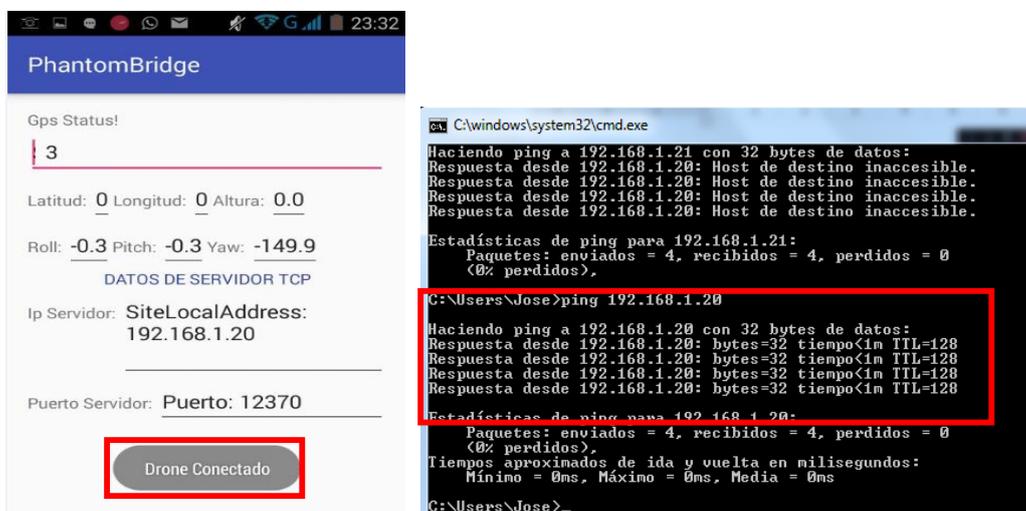


**Figura 5-2** Supervisión de la comunicación MRCA y ERT  
Fuente: José Morales, 2016

### 5.3. Evaluación de la comunicación del MRCA, en el proceso de control por la ERT.

Las pruebas se realizaron en dos etapas: una durante el desarrollo de la APP móvil con el simulador de vuelo y la otra al realizar un vuelo real en espacios abiertos.

En la aplicación Phantom Bridge se muestra el estado de conexión activo con el mensaje <<Drone Conectado>>. Para la prueba se utilizó el comando ping que permite comprobar el enlace de datos en la red UAVSCCA como se aprecia en la figura 5-3. Se realizó el envío y recepción de datos de control comprobando de esta manera el enlace de comunicación.

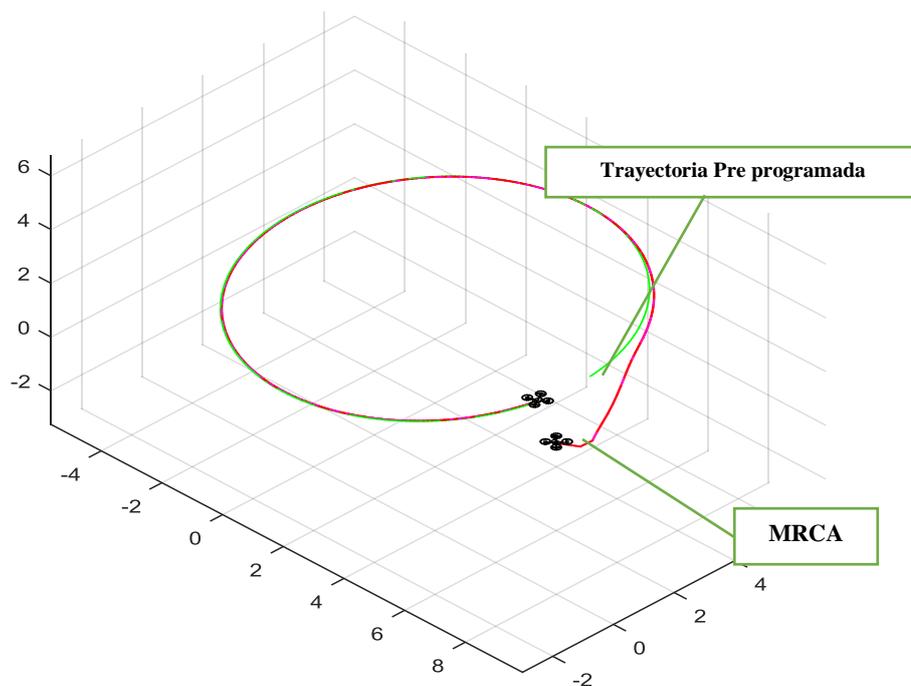


**Figura 5-3** Comprobación del estado de la red  
Fuente: José Morales, 2016

### 5.3.1 Evaluación del algoritmo de control del sistema UAVSCCA

La evaluación consistió en dos pruebas, con simulación y en vuelo real:

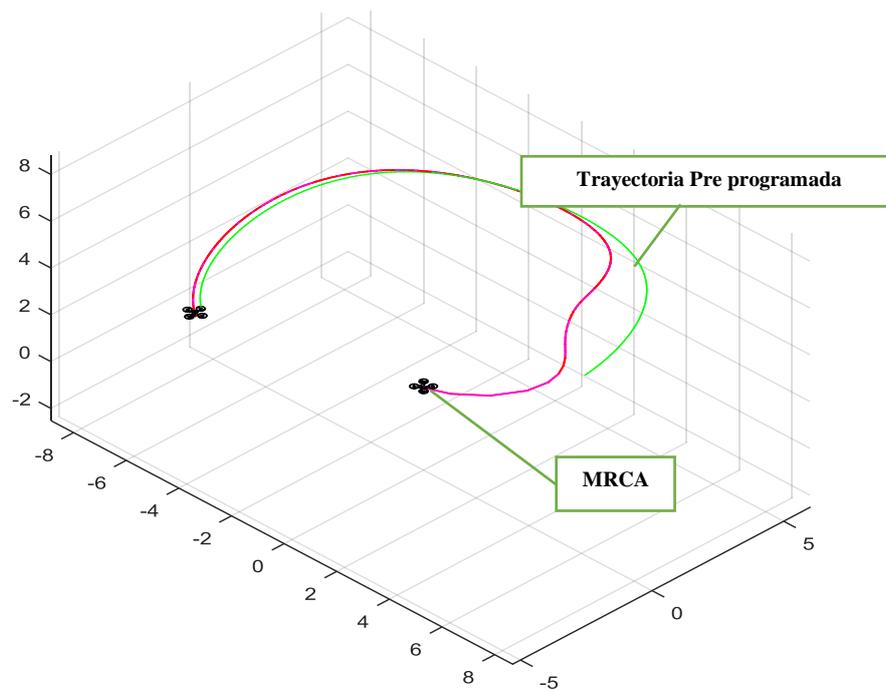
La respuesta que presenta el algoritmo de control se evaluó por medio de simulación como parámetros iniciales en los ejes, al ser registrada las coordenadas “x”, “y”, “z”; y el ángulo inicial. Como resultado se obtiene el comportamiento que presenta el MRCA con relación a la trayectoria propuesta, comparación que se aprecia en la figura 4-2, en donde MRCA responde en forma similar a la trayectoria.



**Figura 5-4** Trayectoria Pre programada del UAV simulado .

Fuente: José Morales, 2016

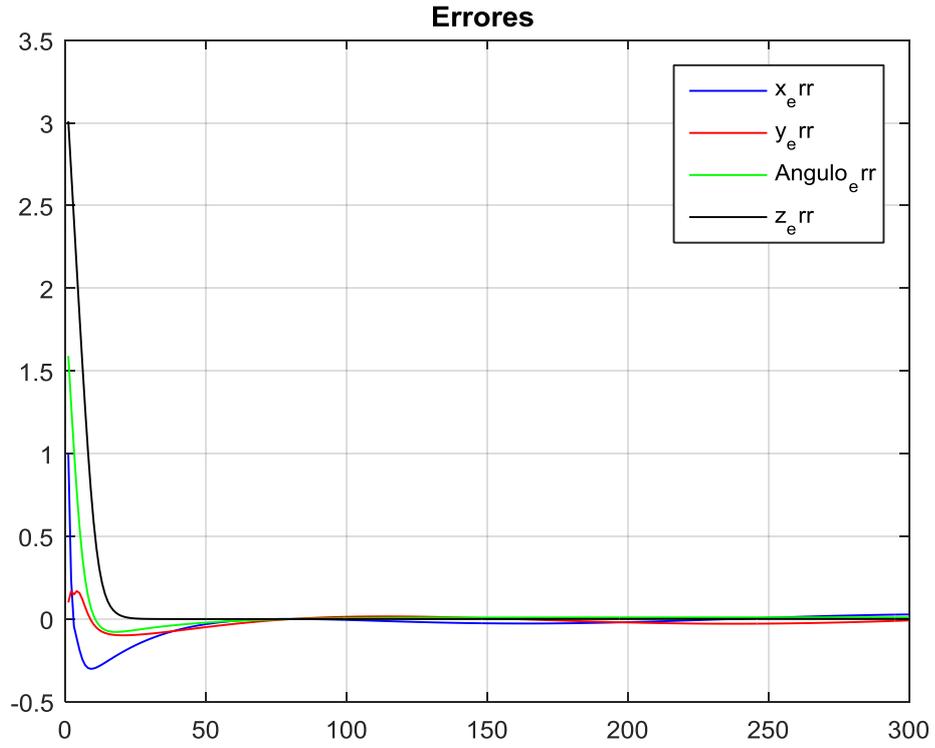
La evaluación en vuelo real se realizó ingresando los parámetros utilizados en las pruebas vuelo simulado. La respuesta del algoritmo de control se muestra en la figura 5-5, donde se aprecia que el MRCA se ajusta a la trayectoria con un ligero desvío debido a las condiciones externas, propio de la navegación como errores de instrumentación, de alineación, ambiente, cálculos e inicialización. Observándose la respuesta en la recuperación de su trayectoria como resultado de estas pruebas se obtiene que el UAV con el algoritmo de control busca corregir y mantener su trayectoria cuando se presenta eventos externos, lo que se ajusta a los objetivos planteados en esta investigación.



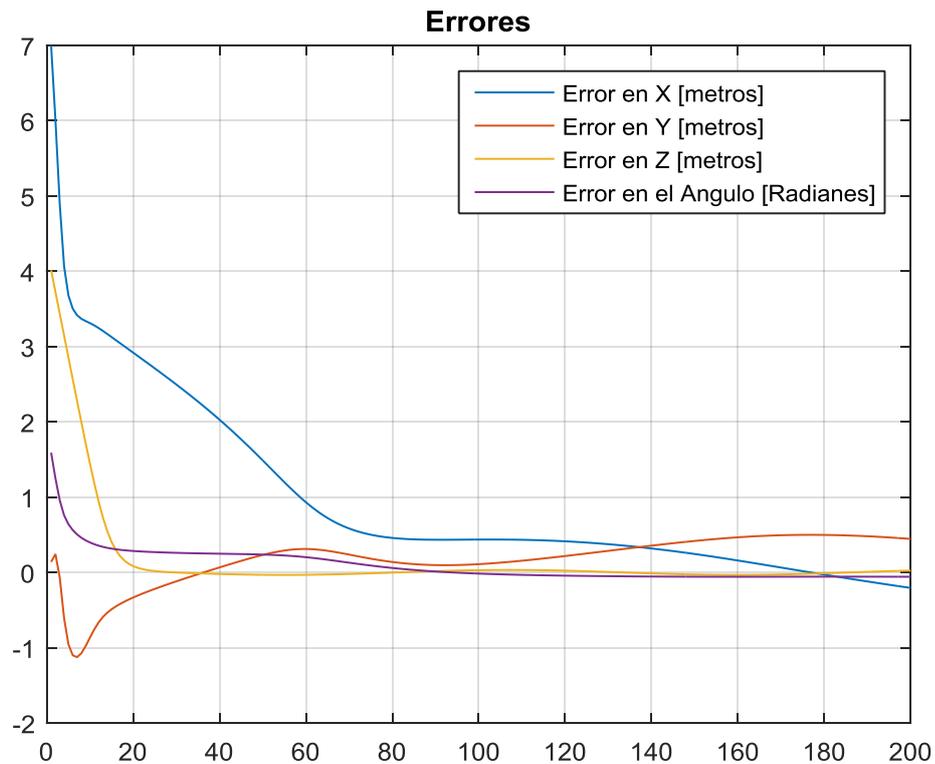
**Figura 5-5** Trayectoria Pre programada del vuelo real  
 Fuente: José Morales, 2016

### 5.3.1.1 Errores de posición MRCA

Los errores de posición se determinan desde que el MRCA despegue hasta que se ubica en la trayectoria pre-programada. Al aplicar la ecuación de error de posición ecuación (5) desarrollada en los epígrafes anteriores tiende a cero porque el cálculo de del posicionamiento se basa en algoritmos iterativos que utiliza la medida anterior ya corregida y la compara con la actual provocando la tendencia a cero del error de posicionamiento, y en cada uno de ellos el error disminuye hasta alcanzar el mínimo lo que demuestra que se ubica en la trayectoria en la figura 5-6 y 5-7 se aprecia los errores de posición simulado y experimental respectivamente.



**Figura 5-6** Errores de Posición simulado  
 Fuente: José Morales, 2016

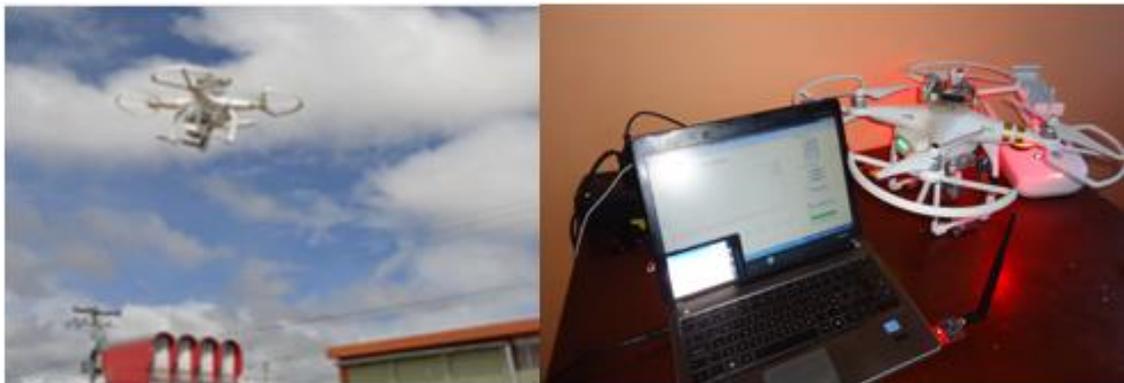


**Figura 5-7** Errores de Posición Experimental  
 Fuente: José Morales, 2016

De la figura 5-7 Se puede observar que el error de trayectoria máximo que se genera es de  $\pm 1$  metro y se aprecia el proceso de corrección trayectoria que el algoritmo ejecuta, los errores de trayectoria no afecta al posicionamiento por GPS pero si afectan al posicionamiento inercial debido a perturbaciones externas como viento fuerte, hélices en mal estado.

#### **5.4. Funcionamiento del sistema UAVSCCA con navegación pre programada para la supervisión y transmisión en línea de calidad del aire.**

Luego de las pruebas desarrolladas en este capítulo, las pruebas en conjunto verificaron que el sistema UAVSCCA mantiene una adecuada comunicación de los módulos MRCA y ERT, y conectividad con la aplicación móvil, no se genera interferencia entre ellos y se comprueba la existencia de la integridad de los datos transmitidos. En la fotografía 5-8 se observa la integración del sistema UVASCCA



**Figura 5-8** Integración del *hardware* y *software*  
Fuente: José Morales, 2016

#### **5.5. Análisis económico de la implementación del sistema UAVSCCA**

A continuación se presenta un análisis de económico de la implementación del sistema desarrollado en esta investigación, con elementos adquiridos en el país. En la tabla 5-5 se aprecia que el costo total de la implementación es de \$1662.85 dólares americanos donde el elemento de mayor costo es el UAV con 1300 dólares que representa 78.7% de esta investigación.

**Tabla 5-5** Costo del prototipo

Cantidad	Componentes	Costo (USD)
1	Arduino Nano	35.00
1	Sensor de Temperatura y humedad (DTH11)	10.00
1	Módulo MQ131	68.00
1	Módulo MQ136	68.00
1	Módulo MQ7	15.00
1	Módulo MQ135	10.00
1	Microswitch	1.50
3	Resistencias 330ohm	0.25
2	Conectores M,H	0.10
2	Xbee 900 Pro	135.00
1	Placa de Cobre	5.00
2	Baterías Lipo	15.00
1	UAV <i>Phanton Drone</i>	1300
<b>Costo Total</b>		<b>1662.85</b>

Fuente: <http://www.apmmicro.com/index.php/productos>

Realizado Por: José Morales, 2016

## CONCLUSIONES

- Se implementa el sistema UAVSCCA que controla el vuelo pre programado de trayectoria de un MRCA, se presenta una estrategia de control que logra el seguimiento de trayectorias pre programadas por parte de un UAV de 4 Rotores Phantom 3, y permite la supervisión en línea de la calidad del aire en lugares de difícil acceso. Por medio de comunicación WiFi y radiofrecuencia.
- Se comprueba que el sistema no incorpora error en las mediciones y se mide la temperatura ambiente y la humedad relativa, con precisión de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $\pm 5\%$  HR y niveles de gases contaminantes como CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y Ozono. Valores que se ajustan al diseño previsto para esta investigación.
- De las pruebas realizadas la comunicación por RF esta está ligada a la altitud del UAV que alcanza los 120 m. aun cuando el dispositivo XBEE utilizado pueda alcanzar distancias de hasta 10 KM.
- El sistema desarrollado presenta escalabilidad, debido a que en su diseño dispone de 6 terminales libres para incorporar sensores digitales u analógicos. Pero esta estará en dependencia del peso que pueda levantar la aeronave.
- En la simulación determina que el algoritmo diseñado sigue la trayectoria y en la experimentación se determina que a pesar de existir condiciones que afectan tanto en posición como en orientación, el algoritmo busca corregir su trayectoria lo que demuestra la validez de su diseño en esta investigación.
- La información de las 6 variables de calidad de aire que suministra el UAVSCCA se almacenan en un archivo que constituye un elemento de ayuda para generar bases de datos históricas que permita incorporar nuevas investigaciones y políticas del cuidado del medio ambiente.

## RECOMENDACIONES

- Ampliar el número de variables a supervisión de la calidad de aire que el UAVSCCA dispone como: Micro partículas PM10, Micro partículas PM2.5, alcohol, cloro, sulfuros de hidrogeno.
- Incorporar al sistema la posibilidad de compartir en tiempo real en la web la información suministrada de calidad de aire para que sea compartida para investigaciones futuras.
- Investigar la posibilidad de ampliar el tiempo de vuelo de la aeronave la durabilidad de las baterías y la autonomía con energías renovables.
- Buscar la autonomía de UAVs aplicado en otras actividades como monitoreo de tráfico, busca e identificación de personas.
- El MRCA debe ser utilizado para supervisar calidad de aire en condiciones atmosféricas ideales para el vuelo, para precautelar integridad de la aeronave y la seguridad de las personas.

## **Bibliografía**

**AMBIENTE, M. D. (2009).** *Programa Calidad del Aire Fase III*. Obtenido de Ambiente:  
<http://www.ambiente.gob.ec/programa-calidad-del-aire-fase-iii/>

**AMBIENTE, S. D. (2016).** <http://www.quitoambiente.gob.ec/>. Recuperado el 2016, de  
<http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/norma-ecuatoriana-de-la-calidad-del-aire>

**BEJARANO, P. (2016).** *Monitorizacion Polucion Drones*. Obtenido de todrones:  
<http://www.todrone.com/monitorizacion-polucion-drones/>

**BORRELL, G. (2007).** *Introduccion Informal a Matlab y Octave*. Madrid.

**CATALAN, I. M. (2013).** *Desarrollo de un cuadricóptero*. Zaragoza.

**CUSTODIO RUIZ, A. (2016).** *sensores inteligentes : la revolución de la instrumentacion*. Obtenido de  
<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/9745/Article015.pdf?sequence=1>

**CHICAIZA, F., & RIVAS, D. (2006).** *repositorio digital espe*. Obtenido de  
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9302/1/AC-ESPEL-ENI-0335.pdf>

**ESPINOSA RUBIO, M. E. (2007).** *Revisión y estructuración de los manuales de monitoreo atmosférico para fortalecer la operación y mantenimiento de las redes de monitoreo de la calidad el aire que operan en el país*. Mexico: Asesoría INE/ADE-037/2007.

**ESPINOZA MOLINA, A.** (2011). Diseño de un sistema de monitoreo de información geográfica para la Red de Monitoreo Ambiental de la ciudad de Cuenca. Cuenca, Azuay, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito.

**EXPORT DEPARTMENT OF AOSONG ELECTRONICS CO., L.** (2016). *aosong*. Obtenido de <http://www.aosong.com/en/home/index.asp>

**GROSJEAN, E., GROSJEAN, D., & RASMUSSEN, R.** (1998). *Ambient concentration, sources emission rates, and photochemical reactivity of C2-C10 hydrocarbons in Porto Alegre, Brazil*. Brazil: Environ. Sci. Technology.

**Inc., T. F.** (2016). *thermofisher*. Obtenido de [https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/\(2008\).sparkfun](https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/(2008).sparkfun). Obtenido de <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-900-Manual.pdf>

**JUAN, M.** (1996). *Contaminación del aire en la Argentina*. (E. Universo, Editor) Obtenido de <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/MonoxiCar.htm>

**KHARSANSKY, A.** (2013). <http://laboratorios.fi.uba.ar>. Obtenido de <http://laboratorios.fi.uba.ar/lse/tesis/LSE-FIUBA-Tesis-Grado-Alan-Kharsansky-2013-Presentacion.pdf>

**KORC, M. E., & SÁENZ, R.** (1999). *Monitoreo de la calidad del aire en América Latina*. Lima: Programa de Control de Contaminación del Aire.

**MARTINEZ, BOLIVAR, A., & ROMIEU, I.** (1996). *Introducción al monitoreo atmosférico*. México: ECO/GTZ/Departamento del Distrito Federal.

- MCI,I.** (2016). *http://xbee.cl/*. Obtenido de <http://xbee.cl/xbee-pro-900-xsc-rpsma/>
- MIDUVI, M. d.** (1996). *Informe del Ecuador: Reunión GEMS Aire*. Quito: Subsecretaría de Saneamiento Ambiental.
- OMS, O. M.** (2016). *Organizacion mundial de la salud*. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
- PINEDA, J.** (2012). *TODO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE*. Obtenido de <http://todosobreelmedioambiente.jimdo.com>
- PRENSA, D. A.** (2016). *DonWeb*. Obtenido de <http://agencia.donweb.com/los-14-usos-de-drones-que-seguro-no-conocias/>
- RAMÓN , P. A.** (1993). *Adquisición y Distribucion de Señales*. barcelona españa: Marcombo,S.A.
- RIBAS LEQUERICA, J.** ( 2013). *Desarrollo de aplicaciones para Android*. Anaya Multimedia-Anaya Interactiva.
- RIUS DIAZ, F., & WÄRNBERG WÄRNBERG, J.** (2014). *Bioestadística*. España: Ediciones Paraninfo, S.A.
- SCIENTIFIC, O.** (2016). *Electronic Thermo-Hyrometer*. Obtenido de [distec1.be: http://www.distec1.be/gs/handler/getmedia.ashx?moid=814&dt=3&g=1](http://www.distec1.be/gs/handler/getmedia.ashx?moid=814&dt=3&g=1)

**SECRETARÍA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO** . (2013).

*Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 - 2017*. Quito, Ecuador: Senplades.

**SHAREALIKE, C. C.** (2016). *Arduino*. Obtenido de

<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>

**STOCKER, H. y.** (1981). *Química Ambiental. Contaminación del Aire y Agua*.

Barcelona: Blume. Recuperado el 2016

**SYSTEMS, R.** (2016). *QRAE II*. Obtenido de [http://www.raesystems.es/products/qrae-](http://www.raesystems.es/products/qrae-ii-pump)

[ii-pump](http://www.raesystems.es/products/qrae-ii-pump)

**TELEDPRES.** (2008). *Diario Opinión*. Obtenido de

<http://www.diariopinion.com/nacional/verArticulo.php?id=39490>

**TELENCHANA, L.** (2009). *Análisis de la Concentración de Contaminantes SO<sub>2</sub> y BTX*

*Usando Sensores Pasivos*. Obtenido de <http://bibliotecas.esPOCH.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=44036%20thumbnail-shelfbrowser>

**TERRENCE, T.** (1998). *Informe Sobre Monitoreo de la Calidad del Aire del Año 1997*.

Quito: PAHO/WHO Interoffice Memorandum.

**V. H. ANDALUZ, F. A.** (2015). *Construction of a Quadcopter for Autonomous and*

*Teleoperated Navigation*. Estoril: IEEE .

## GLOSARIO

**APP.-** Una aplicación móvil informática, también conocida como app del inglés (*“Application”*) diseñada para ser ejecutada en teléfonos inteligentes.

**CO.-** Monóxido de Carbono, gas incoloro inodoro, no irritante y altamente toxico.

**CORPAIRE.-** Corporación Municipal para el Mejoramiento del Aire de Quito.

**ERT.-** Abreviatura, Estación remota en tierra, hace referencia a el modulo desarrollado en esta investigación.

**GPS.-** Sistema de posicionamiento global, (*Global Positioning System*) es un sistema de navegación basado en satélites.

**ISO.-** Organización Internacional para la Normalización.

**IP.-**Protocolo de internet, es un número que identifica, de manera lógica y jerárquica, a una Interfaz en red. Elemento de comunicación/conexión.

**COM.-** Puerto de Comunicación, que nos asigna el sistema operativo para el intercambio de datos.

**NO<sub>2</sub>.-** Dióxido de nitrógeno, gas de color marrón-amarillento. Se forma como subproducto en los procesos de combustión a altas temperaturas.

**NCA.-** Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión hace referencia a niveles de gases en el ambiente.

**mA/h.-** Miliamperios por cada hora, unidad de medida de la corriente eléctrica

**MRCA.-** Abreviatura referente modulo recolector de calidad de aire utilizado en esta investigación.

**PNCA.-** Plan Nacional de calidad de aire estrategia propuesta por el gobierno ecuatoriano.

**SEMPLADES.-** Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Ecuador.

**O<sub>3</sub>.-** Gas Ozono, generalmente incoloro, pero en grandes concentraciones puede volverse ligeramente azulado.

**SO<sub>2</sub>.-** Dióxido de azufre, Es un gas incoloro con un característico olor asfixiante.

**TCP.-** Protocolo de Control de Transmisión. Es la capa intermedia el protocolo de red.

**µg/m<sup>3</sup>.-** microgramos / metro cubico, que es la cantidad de gas en el aire por cada metro cubico medido en microgramos.

**UAV.-** Por sus siglas en inglés (*Unmanned Aerial Vehicle*). Dron o avión no tripulado de uso civil.

**USB:** Bus universal en serie (*Universal Serial Bus*). Interfaz de *hardware* que permite conectar dispositivos electrónicos entre sí.

**UAV.-** (*Unmanned Aerial Vehicle*, UAV) por sus siglas en inglés, aeronave de uso civil.

# Anexo 1 Hojas técnicas de los sensores de gases contaminantes MQ.

HANWEI ELECTRONICS CO., LTD MQ-7 <http://www.hanwei.com>

## TECHNICAL DATA MQ-7 GAS SENSOR

### FEATURES

- \* High sensitivity to carbon monoxide
- \* Stable and long life

### APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide(CO) in family and industry or car.

### SPECIFICATIONS

#### A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remark
Vc	circuit voltage	5V ± 0.1	Ac or Dc
V <sub>in</sub> (H)	Heating voltage (high)	5V ± 0.1	Ac or Dc
V <sub>in</sub> (L)	Heating voltage (low)	1.4V ± 0.1	Ac or Dc
R <sub>L</sub>	Load resistance	Can adjust	
R <sub>s</sub>	Heating resistance	33 Ω ± 5%	Room temperature
T <sub>in</sub> (H)	Heating time (high)	60 ± 1 seconds	
T <sub>in</sub> (L)	Heating time (low)	90 ± 1 seconds	
PH	Heating consumption	About 350mW	

#### b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
T <sub>ao</sub>	Using temperature	-20°C~50°C	
T <sub>st</sub>	Storage temperature	-20°C~50°C	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O <sub>2</sub>	Oxygen concentration	21%(standard condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

#### c. Sensitivity characteristic

symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
R <sub>s</sub>	Surface resistance OF sensitive body	2~20k	In 100ppm C carbon Monoxide
+	Concentration slope rate	Less than 0.5	Ra (100ppm) Rot (100ppm)
Standard working condition	Temperature -20°C ~ +2°C relative humidity 65% ± 5%		R <sub>L</sub> 10K Ω ± 5%
Precat time	V <sub>c</sub> 5V ± 0.1V V <sub>HE</sub> 5V ± 0.1V	Detecting range	20ppm~2000ppm carbon monoxide

#### D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-7 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic tube, Tin Dioxide (SnO<sub>2</sub>) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-7 have

TEL:86-371-67169070 67169080 FAX:86-371-67169080 Email: [ales@hanwei.com](mailto:ales@hanwei.com)

HANWEI ELECTRONICS CO., LTD MQ-7 <http://www.hanwei.com>

6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Pin	Material
1	Gas sensing
2	Heater
3	Sensing layer
4	Sensing layer
5	Heater
6	Tin dioxide

### Standard circuit:

As shown in Fig. 2, standard measuring circuit of MQ-7 sensitive components consists of 2 parts, one is heating circuit having time control function (the high voltage and the low voltage work circularly). The second is the signal output circuit, it can accurately respond changes of surface resistance of the sensor.

### Electric parameter measurement circuit is shown as Fig. 2

#### E. Sensitivity characteristic curve

Fig. 3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-7 for several gases.

Inhibit: Temp: 20°C  
Humidity: 65%  
O<sub>2</sub> concentration: 21%  
R<sub>L</sub>: 10K Ω  
R<sub>s</sub>: sensor resistance at 100ppm  
CO in the clean air.

TEL:86-371-67169070 67169080 FAX:86-371-67169080 Email: [ales@hanwei.com](mailto:ales@hanwei.com)

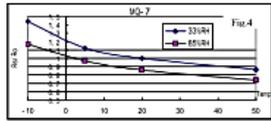


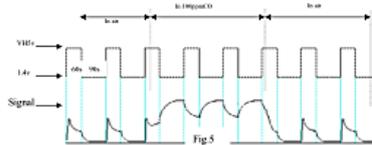
Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-7 on temperature and humidity.  
 Rs: sensor resistance at 100ppm CO in air at 33%RH and 25 degree.  
 Rs: sensor resistance at 100ppm CO at different temperature and humidity.

**OPERATION PRINCIPLE**

The surface resistance of the sensor  $R_s$  is obtained through effected voltage signal output of the load resistance  $R_L$  which series-wound. The relationship between them is described:

$$R_s R_L = (V_s - V_{RL}) / V_{RL}$$

Fig. 5 shows alterable situation of  $R_L$  signal output measured by using Fig. 2 circuit output



signal when the sensor is shifted from clean air to carbon monoxide (CO), output signal measurement is made within one or two complete heating period (2.5 minute from high voltage to low voltage).

Sensitive layer of MQ-7 gas sensitive components is made of  $SnO_2$  with stability, So, it has excellent long term stability. Its service life can reach 3 years under using condition.

**SENSITIVITY ADJUSTMENT**

Resistance value of MQ-7 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary, we recommend that you calibrate the detector for 200ppm CO in air and use value of Load resistance that ( $R_L$ ) about 10K $\Omega$  (5K $\Omega$  to 47K $\Omega$ ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence. The sensitivity adjusting program

- Connect the sensor to the application circuit.
- Turn on the power, keep preheating through electricity over 48 hours.
- Adjust the load resistance  $R_L$  until you get a signal value which is respond to a certain carbon monoxide concentration at the end point of 90 seconds.
- Adjust the another load resistance  $R_L$  until you get a signal value which is respond to a CO concentration at the end point of 60 seconds.

[Supplying special IC solutions, More detailed technical information, please contact us](#)

**TECHNICAL DATA**

**MQ-131 GAS SENSOR**

**FEATURES**

- Fast response and High sensitivity
- Stable and long life
- Simple drive circuit
- Wide detecting range

**APPLICATION**

They are used in air quality control equipments for buildings/offices, are suitable for detecting OF  $O_2$ .

**SPECIFICATIONS**

**A. Standard work condition**

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
$V_{cc}$	Circuit voltage	5V±0.1	AC or DC
$V_{in}$	Heating voltage	6V±0.1	AC or DC
$R_L$	Load resistance	Variable	
$R_s$	Heater resistance	51Ω±5%	Room Temp
$P_{in}$	Heating consumption	Less than 1100mW	

**B. Environment condition**

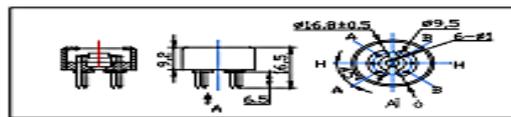
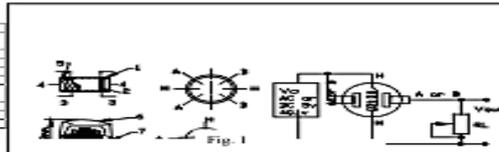
Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
$T_{op}$	Using Temp	-10 ~ 50	
$T_{stg}$	Storage Temp	-20 ~ 70	
$R_H$	Relative humidity	Less than 95%RH	

**C. Sensitivity characteristic**

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
$R_s$	Sensing Resistance	1000Ω-2100Ω (50ppb $O_2$ )	Detecting concentration scope: 10ppb-2ppm $O_2$
$@ O_2$ (100ppb/50ppb)	Concentration Slope rate	≥0.65	
Standard Detecting Conditions	Temp: 20 ±0.2 Humidity: 65%±0.5% $V_{cc}$ : 5V±0.1 $V_{in}$ : 6V±0.1		
Preheat time	Over 24 hour		

**D. Structure and configuration, basic measuring circuit**

Parts	Materials
1 Case housing	Stainless Steel
2 Electrode	Ag
3 Electrode lead	Pt
4 Heater coil	Sn-Cr alloy
5 Protective ceramic	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
6 Sensing element	Wide-area metal gas sensor (SnO <sub>2</sub> -SnO <sub>2</sub> -Pd) or Cermet (SnO <sub>2</sub> -SnO <sub>2</sub> -Pd)
7 Heating wires	Copper (Cu) or Ni-Cr
8 Base frame	Aluminum
9 Label/Mark	Enamel printing, Ink



Structure and configuration of MQ-131 gas sensor is shown as Fig.1, sensor composed by micro  $Al_2O_3$  ceramic tube. Metal-oxide semiconductor sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust, made by nylon and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-131 have 6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as above Fig.1.

#### E. Sensitivity characteristic curve

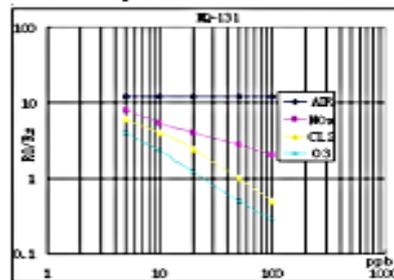


Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-131

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-131 for several gases, in this: Temp: 200 °C  
Humidity: 65%  
 $O_2$  concentration 21%  
 $R_L=20k\Omega$

$R_a$ : sensor resistance in the clean air.  
 $R_s$ : sensor resistance at various concentrations of gases.

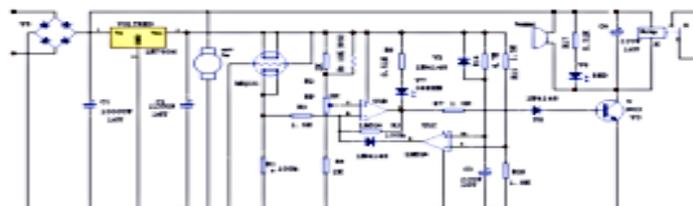
#### APPLICATION

Resistance value of MQ-131 is difference to various kinds and various

Concentration gases. When using this components, sensitivity adjustment is very necessary, we recommend that you calibrate the detector for 50ppb  $O_3$  in air and use value of Load resistance than  $R_L$  about 100 K $\Omega$ (50K $\Omega$  to 200 K $\Omega$ ). When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

Noting: there are a round hole in the up and down side of the sensors, this design enable the sensor inner gas to exchange better with outside air, and the sensor shall has higher sensitivity, quicker response and resume time with a fan.

#### REFERENCE APPLICATION CIRCUIT:



## MQ136 Semiconductor Sensor for Sulfur Dioxide

Sensitive material of MQ136 gas sensor is SnO<sub>2</sub>, which with lower conductivity in clean air. When the target SO<sub>2</sub> gas exist, the sensor's conductivity is more higher along with the gas concentration rising. Please use simple electrocircuit, Convert change of conductivity to correspond output signal of gas concentration.

MQ136 gas sensor has high sensitivity to SO<sub>2</sub>, also could be used to detect other vapor which contains Sulfur. It has low sensitivity to normal combustible gases, which is with low cost and suitable for different application.

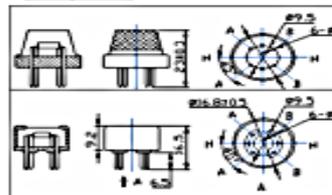
### Character

- \* Good sensitivity to SO<sub>2</sub>
- \* Long life and low cost
- \* Simple drive circuit

### Application

- \* Domestic SO<sub>2</sub> concentration detector
- \* Industrial SO<sub>2</sub> leakage detector
- \* Portable SO<sub>2</sub> detector

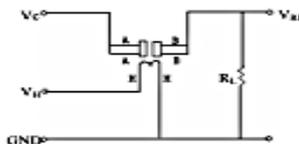
### Configuration



### Technical Data

#### Basic test loop

Model No.		MQ136	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Bakelite (Black Bakelite)	
Detection Gas		SO <sub>2</sub>	
Concentration		1-200ppm (SO <sub>2</sub> )	
Circuit	Loop Voltage	V <sub>L</sub>	5.0V±0.2V AC or DC
	Heater Voltage	V <sub>H</sub>	5.0V±0.2V AC or DC
	Load Resistance	R <sub>L</sub>	Adjustable
Character	Heater Resistance	R <sub>H</sub>	31Ω±3Ω (Room Tem.)
	Heater consumption	P <sub>H</sub>	≈900mW
	Sensing Resistance	R <sub>S</sub>	2KΩ-20KΩ (in 50ppm SO <sub>2</sub> )
	Sensitivity	S	$R_s / (R_s + R_L) > 10$ (in 50ppm SO <sub>2</sub> )
	Slope	α	≤ 0.6 (R <sub>max</sub> / R <sub>min</sub> )
Condition	Temp. Humidity	20±2°C, 65%±5%RH	
	Standard test circuit	V <sub>L</sub> : 5.0V±0.1V V <sub>H</sub> : 5.0V±0.1V	
	Preheat time	Over 48 hours	



The above is basic test circuit of the sensor. The sensor need to be put 2 voltage, heater voltage (V<sub>H</sub>) and test voltage (V<sub>C</sub>). V<sub>H</sub> used to supply certified working temperature to the sensor, while V<sub>C</sub> used to detect voltage (V<sub>RL</sub>) on load resistance (R<sub>L</sub>) whom is in series with sensor. The sensor has light polarity, V<sub>C</sub> need DC power, V<sub>C</sub> and V<sub>H</sub> could use same power circuit with precondition to assure performance of sensor. In order to make the sensor with better performance, suitable R<sub>L</sub> value is needed.

Power of Sensitivity body(P<sub>S</sub>):  $P_S = V_C^2 \times R_S / (R_S + R_L)^2$

Resistance of sensor(R<sub>S</sub>):  $R_S = (V_C / V_{RL} - 1) \times R_L$

### Sensitivity Characteristics

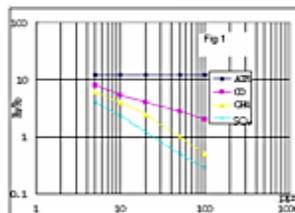


Fig 1 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ136, ordinate means resistance ratio of the sensor (R<sub>S</sub>/R<sub>0</sub>), abscissa is concentration of gases, R<sub>S</sub> means resistance in different gases, R<sub>0</sub> means resistance of sensor in 50ppm SO<sub>2</sub>. All test are under standard test conditions.

### Influence of Temperature/Humidity

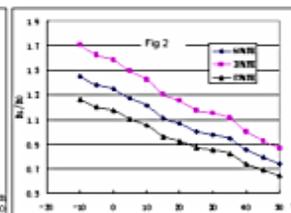
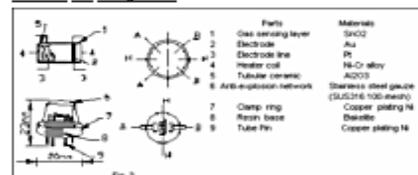


Fig 2 shows the typical temperature and humidity characteristics. Ordinate means resistance ratio of the sensor (R<sub>S</sub>/R<sub>0</sub>), R<sub>S</sub> means resistance of sensor in 50ppm SO<sub>2</sub> under different tem. and humidity, R<sub>0</sub> means resistance of the sensor in environment of 50ppm SO<sub>2</sub>, 20°C/65%RH

### Structure and configuration



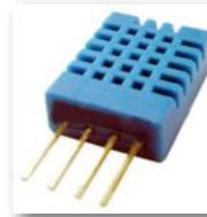
Structure and configuration of MQ136 gas sensor is shown as Fig. 3, sensor composed by micro Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic tube, Tin Dioxide (SnO<sub>2</sub>) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-4 have 6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

## DHT 11 Humidity & Temperature Sensor



### 1. Introduction

This DFRobot DHT11 Temperature & Humidity Sensor features a temperature & humidity sensor complex with a calibrated digital signal output. By using the exclusive digital-signal-acquisition technique and temperature & humidity sensing technology, it ensures high reliability and excellent long-term stability. This sensor includes a resistive-type humidity measurement component and an NTC temperature measurement component, and connects to a high-performance 8-bit microcontroller, offering excellent quality, fast response, anti-interference ability and cost-effectiveness.



Each DHT11 element is strictly calibrated in the laboratory that is extremely accurate on humidity calibration. The calibration coefficients are stored as programmes in the OTP memory, which are used by the sensor's internal signal detecting process. The single-wire serial interface makes system integration quick and easy. Its small size, low power consumption and up-to-20 meter signal transmission making it the best choice for various applications, including those most demanding ones. The component is 4-pin single row pin package. It is convenient to connect and special packages can be provided according to users' request.

### 2. Technical Specifications:

#### Overview:

Item	Measurement Range	Humidity Accuracy	Temperature Accuracy	Resolution	Package
DHT11	20-90%RH 0-50 °C	±5%RH	±2°C	1	4 Pin Single Row

### Detailed Specifications:

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
<b>Humidity</b>				
Resolution		1%RH	1%RH	1%RH
Repeatability			±1%RH	
Accuracy	25°C		±4%RH	
	0-50°C			±5%RH
Interchangeability	Fully interchangeable			
Measurement Range	0°C	30%RH		90%RH
	25°C	20%RH		90%RH
	50°C	20%RH		80%RH
Response Time (Seconds)	1/4(63%)(25°C, 1m/s Air)	6 S	10 S	15 S
Hysteresis			±1%RH	
Long-Term Stability	Typical		±1%RH/year	
Temperature				
Resolution		1°C	1°C	1°C
		8 Bit	8 Bit	8 Bit
Repeatability			±1°C	
Accuracy		±1°C		±2°C
Measurement Range		0°C		50°C
Response Time (Seconds)	1/e(63%)	6 S		30 S

### 3. Typical Application (Figure 1)

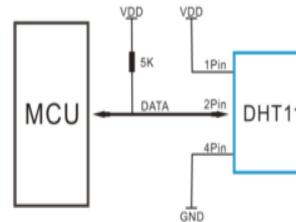


Figure 1 Typical Application

Note: 3Pin - Null; MCU = Micro-computer Unite or single chip Computer

When the connecting cable is shorter than 20 metres, a 5K pull-up resistor is recommended; when the connecting cable is longer than 20 metres, choose an appropriate pull-up resistor as needed.

### 4. Power and Pin

DHT11's power supply is 3-5.5V DC. When power is supplied to the sensor, do not send any instruction to the sensor in within one second in order to pass the unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for power filtering.

### 5. Communication Process: Serial Interface (Single-Wire Two-Way)

Single-bus data format is used for communication and synchronization between MCU and DHT11 sensor. One communication process is about 4ms.

Data consists of decimal and integral parts. A complete data transmission is **40bit**, and the sensor sends **higher data bit** first.

**Data format:** 8bit integral RH data + 8bit decimal RH data + 8bit integral T data + 8bit decimal T data + 8bit check sum. If the data transmission is right, the check-sum should be the last 8bit of "8bit integral RH data + 8bit decimal RH data + 8bit integral T data + 8bit decimal T data".

## Anexo 2 Acuerdo ministerial 50 Ministerio del ambiente



VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, de conformidad al texto que se transcribe a continuación:

### **NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE O NIVEL DE INMISIÓN LIBRO VI ANEXO 4 INTRODUCCIÓN**

La presente norma técnica es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica establece:

- Los objetivos de calidad del aire ambiente.
- Los límites permisibles de los contaminantes criterio y contaminantes no convencionales del aire ambiente.
- Los métodos y procedimientos para la determinación de los contaminantes en el aire ambiente.

#### **1. OBJETO**

La presente norma tiene como objeto principal el preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente a nivel de suelo. La norma también provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente.

#### **2. DEFINICIONES**

Para el propósito de esta norma se consideran las definiciones establecidas en el Reglamento a la Ley de Prevención y Control de la Contaminación, y las que a continuación se indican:

**2.1 Aire.-** También denominado "aire ambiente", cualquier porción no confinada de la atmósfera, y se define como mezcla gaseosa cuya composición normal es, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y nueve por ciento (79%) nitrógeno y uno por ciento (1%) de dióxido de carbono, además de proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica.

materiales para diferentes periodos de tiempo

**2.8 Contaminante peligroso del aire (no convencionales).**- Son aquellos contaminantes del aire que pueden presentar una amenaza de efectos adversos en la salud humana o en el ambiente.

**2.9 Contaminación del aire.**- La presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente.

**2.10 Diámetro aerodinámico.**- Para una partícula específica, es el diámetro de una esfera con densidad unitaria (densidad del agua) que se sedimenta en aire quieto a la misma velocidad que la partícula en cuestión.

**2.11 Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**- Gas incoloro e irritante formado principalmente por la combustión de combustibles fósiles.

**2.12 Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**- Gas de color pardo rojizo, altamente tóxico, que se forma debido a la oxidación del nitrógeno atmosférico que se utiliza en los procesos de combustión en los vehículos y fábricas.

**2.13 Emisión.**- La descarga de sustancias gaseosas, puras o con sustancias en suspensión en la atmósfera. Para propósitos de esta norma, la emisión se refiere a la descarga de sustancias provenientes de actividades humanas.

**2.14 Episodio crítico de contaminación del aire.**- Es la presencia de altas concentraciones de contaminantes criterio del aire y por periodos cortos de tiempo, como resultado de condiciones de emisiones de gran magnitud y/o meteorológicas desfavorables que impiden la dispersión de los contaminantes previamente emitidos.

**2.15 Fuente fija de combustión.**- Es aquella instalación o conjunto de instalaciones, que tiene como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios, y que emite o puede emitir contaminantes al aire, debido a proceso de combustión, desde un lugar fijo o inamovible.

**2.16 Línea base.**- Denota el estado de un sistema alterado en un momento en particular, antes de un cambio posterior. Se define también como las condiciones en el momento de la investigación dentro de un área que puede estar influenciada por actividades humanas.

**2.19 Monitoreo.-** Es el proceso programado de coleccionar muestras, efectuar mediciones, y realizar el subsiguiente registro, de varias características del ambiente, a menudo con el fin de evaluar conformidad con objetivos específicos.

**2.20 Monóxido de carbono (CO).-** Gas incoloro, inodoro y tóxico producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles.

**2.21 Nivel de fondo (background).-** Expresa las condiciones ambientales imperantes antes de cualquier perturbación originada en actividades humanas, esto es, sólo con los procesos naturales en actividad.

**2.22 Norma de calidad de aire ambiente o nivel de inmisión.-** Es el valor que establece el límite máximo permisible de concentración, a nivel de suelo, de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, definido con el propósito de proteger la salud y el ambiente. Los límites permisibles descritos en esta norma de calidad de aire ambiente se aplicarán para aquellas concentraciones de contaminantes que se determinen fuera de los límites del predio de los sujetos de control o regulados.

**2.23 Norma de emisión.-** Es el valor que señala la descarga máxima permisible de los contaminantes del aire definidos, provenientes de una fuente fija o móvil.

**2.24 Olor ofensivo.-** Es el olor, generado por sustancias o actividades industriales, comerciales o de servicio, que produce molestia aunque no cause daño a la salud humana.

**2.25 Partículas Sedimentables.-** Material particulado, sólido o líquido, en general de tamaño mayor a 10 micrones; por su peso tienden a precipitarse con facilidad, razón por lo cual pueden permanecer en suspensión temporal en el aire ambiente.

**2.26 Percentil "q".- En una población o conjunto de datos, el percentil "q" es el valor tal que por lo menos el "q" por ciento de los datos recopilados son iguales o menores a dicho valor.**

**2.27 US EPA.-** Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.

### **3. CLASIFICACIÓN**

Esta norma establece los límites máximos permisibles de concentraciones de contaminantes criterio y contaminantes no convencionales, a nivel de suelo en el aire ambiente. La norma establece la presente clasificación:

- Norma de calidad de aire ambiente:

RE  
/

#### **4.1.1 De los contaminantes del aire ambiente**

4.1.1.1 Para efectos de esta norma se establecen como contaminantes criterio del aire ambiente a los siguientes:

- Partículas Sedimentables.
- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 (diez) micrones. Se abrevia PM10.
- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 2,5 (dos enteros cinco décimos) micrones. Se abrevia PM2,5.
- Dióxido de Nitrógeno NO<sub>2</sub>.
- Dióxido de Azufre SO<sub>2</sub>.
- Monóxido de Carbono CO
- Ozono O<sub>3</sub>

4.1.1.2 Para efectos de esta norma se establecen como contaminantes no convencionales con efectos tóxicos y/o carcinogénicos a los siguientes:

- Benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)
- Cadmio (Cd)
- Mercurio inorgánico (vapores) (Hg)

4.1.1.3 La Autoridad Ambiental Nacional en coordinación con las Autoridades Ambientales de Aplicación Responsable acreditadas al Sistema Único de Manejo Ambiental, desarrollará e implementará a nivel nacional los programas de monitoreo para el cumplimiento de la presente norma.

4.1.1.4 La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental verificará, mediante sus respectivos programas de monitoreo, que las concentraciones a nivel de suelo en el aire ambiente de los contaminantes criterio no excedan los valores estipulados en esta norma. Dicha Entidad queda facultada para establecer las acciones necesarias para, de ser el caso de que se excedan las concentraciones de contaminantes criterio y no convencionales del aire, hacer cumplir con la presente norma de calidad de aire. Caso contrario, las acciones estarán dirigidas a prevenir el deterioro a futuro de la calidad del aire.

4.1.1.5 La responsabilidad del monitoreo de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente recaerá en la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental. Los equipos, métodos y procedimientos a utilizarse, tendrán como referencia a aquellos descritos en la legislación ambiental federal de los Estados Unidos de América (Code of Federal Regulations, Anexos 40 CFR 50), por las Directivas de la Comunidad Europea y Normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM).



4.1.1.6 La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental y los gestores acreditados para prestar sus servicios deberán demostrar, ante la Autoridad Ambiental Nacional, que sus equipos, métodos y procedimientos cumplan con los requerimientos descritos en esta norma. De existir otros tipos de métodos, equipos y procedimientos, se deberá justificar técnicamente para establecer la validez en uso oficial de los resultados.

4.1.1.7 La información que se recabe, como resultado de los programas públicos de medición de concentraciones de contaminantes del aire, serán de carácter público.

4.1.1.8 La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental establecerá sus procedimientos internos de control de calidad y aseguramiento de calidad del sistema de monitoreo de calidad del aire ambiente en la jurisdicción bajo su autoridad. Así mismo, la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental deberá definir la frecuencia y alcance de los trabajos, tanto de auditoría interna como externa, para su respectivo sistema de monitoreo de calidad de aire ambiente.

4.1.1.9 La Autoridad Ambiental Nacional promoverá el desarrollo y establecimiento de un sistema nacional de acreditación para redes de monitoreo de aire ambiente en coordinación con el Organismo de Acreditación Ecuatoriano (OAE).

#### **4.1.2 Normas generales para concentraciones de contaminantes criterio en el aire ambiente**

4.1.2.1 Para los contaminantes criterio del aire, definidos en 4.1.1.1, se establecen las siguientes concentraciones máximas permitidas. La Autoridad Ambiental Nacional establecerá la frecuencia de revisión de los valores descritos en la presente norma de calidad de aire ambiente. La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental utilizará los valores de concentraciones máximas de contaminantes del aire ambiente aquí definidos, para fines de elaborar su respectiva ordenanza o norma sectorial. La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental podrá establecer normas de calidad de aire ambiente de mayor exigencia que los valores descritos en esta norma nacional, esto si los resultados de las evaluaciones de calidad de aire que efectúe dicha Autoridad indicaren esta necesidad.

**Partículas sedimentables.-** La máxima concentración de una muestra, colectada durante 30 (treinta) días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado (1 mg/cm<sup>2</sup> x 30 d).

Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado PM10 cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un periodo anual en cualquier estación monitorea sea mayor o igual a ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

**Material particulado menor a 2,5 micrones (PM2,5).**- El promedio aritmético de la concentración de PM2,5 de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado PM2.5 cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un periodo anual en cualquier estación monitorea sea mayor o igual a ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

**Dióxido de azufre (SO2).**- La concentración SO2 en 24 horas no deberá exceder ciento veinticinco microgramos por metro cúbico ( $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), la concentración de este contaminante para un periodo de diez minutos, no debe ser mayor a quinientos microgramos por metro cúbico ( $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

El promedio aritmético de la concentración de SO2 de todas las muestras en un año no deberá exceder de sesenta microgramos por metro cúbico ( $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**Monóxido de carbono (CO).**- La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de forma continua, en un periodo de 8 (ocho) horas, no deberá exceder diez mil microgramos por metro cúbico ( $10\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) no más de una vez al año. La concentración máxima en (1) una hora de monóxido de carbono no deberá exceder treinta mil microgramos por metro cúbico ( $30\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) no más de una vez al año.

**Ozono.**- La máxima concentración de ozono, obtenida mediante muestra continua en un periodo de (8) ocho horas, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), más de una vez en un año.

**Dióxido de nitrógeno (NO2).**- El promedio aritmético de la concentración de Dióxido de nitrógeno, determinado en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cuarenta microgramos por metro cúbico ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

La concentración máxima en (1) una hora no deberá exceder doscientos microgramos por metro cúbico ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

4.1.2.2 Los valores de concentración de contaminantes criterio del aire, establecidos en esta norma, así como los que sean determinados en los programas públicos de medición, están sujetos a las condiciones de referencia de  $25\text{ }^\circ\text{C}$  y  $760\text{ mm Hg}$ .

4.1.2.3 Las mediciones observadas de concentraciones de contaminantes criterio del aire deberán corregirse de acuerdo a las condiciones de la localidad en que se efectúen dichas mediciones, para lo cual se utilizará la siguiente ecuación:



#### 4.1.3 De los planes de alerta, alarma y emergencia de la calidad del aire

4.1.3.1 La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental establecerá un Plan de Alerta, de Alarma y de Emergencia ante Situaciones Críticas de Contaminación del Aire, basado en el establecimiento de tres niveles de concentración de contaminantes. La ocurrencia de estos niveles determinará la existencia de los estados de Alerta, Alarma y Emergencia.

4.1.3.2 Se definen los siguientes niveles de alerta, de alarma y de emergencia en lo referente a la calidad del aire. Cada uno de los tres niveles será declarado por la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental cuando uno o más de los contaminantes criterio indicados exceda la concentración establecida en la (Tabla 1) o cuando se considere que las condiciones atmosféricas que se esperan sean desfavorables en las próximas 24 horas.

**Tabla 1. Concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire [1]**

CONTAMINANTE Y PERIODO DE TIEMPO	ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
<b>Monóxido de Carbono</b> Concentración promedio en ocho horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	15000	30000	40000
<b>Ozono</b> Concentración promedio en ocho horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	200	400	600
<b>Dióxido de Nitrógeno</b> Concentración promedio en una hora ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1000	2000	3000
<b>Dióxido de Azufre</b> Concentración promedio en veinticuatro horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	200	1000	1800
<b>Material particulado PM 10</b> Concentración en veinticuatro horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	250	400	500
<b>Material Particulado PM 2,5</b> Concentración en veinticuatro horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	150	250	350

## Anexo 3 Programación Arduino

```
#include <DHT11.h>
#define ledAzul 3
#define ledRojo 4
#define echoPin 9 // Echo Pin
#define trigPin 10 // Trigger Pin
#define sensorCO A0
#define sensorCO2 A1
#define sensorO3 A2
#define sensorSO2 A3
#define SensorTH 5

DHT11 dht11(SensorTH);

boolean stateLed = true;
int distancia=0;
float CO=0;
float CO2=0;
float O3=0;
float SO2=0;
float ppmCO=0;
float ppmCO2=0;
float ppmO3=0;
float ppmSO2=0;
float temperatura=0;
float humedad=0;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(3,OUTPUT);
  pinMode(4,OUTPUT);
  pinMode(echoPin,INPUT);
  pinMode(trigPin,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  distancia= ultrasonico();
  CO= calidadCO();
  CO2= calidadCO2();
  O3= calidadO3();
  SO2= calidadSO2();
  TempHum();
  Serial.print("S");
  Serial.print("C");
  Serial.print(CO);
  Serial.print("o");
  Serial.print(ppmCO2);
  Serial.print("Z");
  Serial.print(O3);
  Serial.print("S");
  Serial.print(SO2);
  Serial.print("H");
  Serial.print(humedad);
  Serial.print("T");
  Serial.print(temperatura);
  Serial.print("D");
  Serial.println(distancia);

  digitalWrite(ledAzul,~stateLed);
  delay(10);
}

int TempHum(){
  int err;
```

```

float temp, humi;
if((err=dht11.read(humi, temp))==0){
    temperatura= temp;
    humedad= humi;
}
}

int ultrasonico(){
int dist1=0, duration=0;
digitalWrite(trigPin, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, LOW);
duration = pulseIn(echoPin, HIGH,20000);
dist1 = duration/58.2;
return dist1;
}

float calidadCO(){
// Monoxido de carbono CO
int adc_MQ7 = analogRead(sensorCO); //Leemos la salida analógica del MQ
float volref = adc_MQ7 * (5.0 / 1023.0); //Convertimos la lectura en un valor de voltaje

float Rsmq7=1000*((5-volref)/volref); //Calculamos Rs con un RL de 1k
ppmCO=75.855*pow(Rsmq7/260.73, -1.334); // calculamos la concentración de alcohol con la ecuación obtenida.
double co=((ppmCO*(28.01))/24.45); // Medido en miligramos/m3, el resto es en microgramos/m3

return co;
}

float calidadO3(){
// Azufre
int adc_MQ131 = analogRead(sensorO3); //Lemos la salida analógica del MQ
float voltajemq131 = adc_MQ131 * (5.0 / 1023.0); //Convertimos la lectura en un valor de voltaje
float Rsmq131=20000*((5-voltajemq131)/voltajemq131); //Calculamos Rs con un RL de 1k
ppmO3=43.946*pow(Rsmq131/18.32, -1.154); // calculamos la concentración de alcohol con la ecuación obtenida.
double o3=((ppmO3*(48)*1000)/24.45);
return o3;
}

float calidadSO2(){
// Dioxido de azufre
int adc_MQ136 = analogRead(sensorSO2); //Lemos la salida analógica del MQ
float voltajemq136 = adc_MQ136 * (5.0 / 1023.0); //Convertimos la lectura en un valor de voltaje
float Rsmq136=20000*((5-voltajemq136)/voltajemq136); //Calculamos Rs con un RL de 1k
ppmSO2=45.42*pow(Rsmq136/5.74, -1.126); // calculamos la concentración de alcohol con la ecuación obtenida.
double so2=((ppmSO2*(64,066)*1000)/24.45);
return so2;
}

```

## Anexo 4 Algoritmo de control

```
%*****Seguimiento de TRAYECTORIA*****
%*****Phantom*****
*
%*****
*****
    clc;clear all; close all;
%POSICION INICIAL DEL ROBOT
x_real(1) = 6;           %posición en x de la aeronave
y_real(1) = 2;           %posición en y de la aeronave
z_real(1) = 0;           %posición en z de la aeronave

Ang(1) = 0*pi/180;      %orientación del Helicóptero,
a=0.1;

%*****
%*****TRAYECTORIAS*****
*****
%a) Trayectoria de un círculo en xy, un 8 en xz (silla de montar)
ts=.1; tfin=30;
t=[.1:ts:tfin];
tt=t;
Xd = 5*cos(0.2*tt)+2;   Xd_p = -5*0.2*sin(0.2*tt); Xd_pp = -
5*0.2*0.2*cos(0.2*tt);
Yd = 5*sin(0.2*tt)+2;   Yd_p = 5*0.2*cos(0.2*tt); Yd_pp = -
5*0.2*0.2*sin(0.2*tt);
Zd = 0.5*sin(0.2*tt)+3; Zd_p = 0.5*0.2*cos(0.2*tt); Zd_pp = -
0.5*0.2*0.2*sin(0.2*tt);
AnguloD= atan2(Yd_p,Xd_p);
AnguloD_p = (1./((Yd_p./Xd_p).^2+1)).*(Yd_pp.*Xd_p-
Yd_p.*Xd_pp)./Xd_p.^2);

%*****
*****
%*****CONTROLADOR*****
*****
%%
*****
for k=1:length(t)
    % Error en los ejes: x, y, z
    x_err(k) = Xd(k)-x_real(k); %%CALCULO DEL ERROR EN X
    y_err(k) = Yd(k)-y_real(k); %%CALCULO DEL ERROR EN Y
    z_err(k) = Zd(k)-z_real(k); %%CALCULO DEL ERROR EN Z
    Angulo_err(k)= Angulo(AnguloD(k)-Ang(k));

    x_p =10*tanh(x_err(k)) + Xd_p(k); % SETEA EL VALOR HASTA 10
    y_p = 10*tanh(y_err(k)) + Yd_p(k);
    psi_p= 3*tanh(Angulo_err(k))+AnguloD_p(k); %%CORRIJE EL ANGULO
    z_p = 3*tanh(z_err(k)) + Zd_p(k);

    XYZ_p = [x_p, y_p, psi_p, z_p]';

    % CÁLCULO DE LAS ACCIONES DE CONTROL del CONTROLADOR CINEMÁTICO
    % a) Matriz del helicóptero
    J = [[cos(Ang(k)) -a*sin(Ang(k)) 0];...
          [sin(Ang(k)) a*cos(Ang(k)) 0];...
          [ 0 1 0];...
          [ 0 0 1]];
end
```

```

% b) Cálculo de control
solucion = pinv(J)*(XYZ_p);

% c) Separa las acciones de control
vl(k) = solucion(1);           %en m/s
w(k) = solucion(2);           %en rad/s
vz(k) = solucion(3);         %en m/s

%6) APLICAR LAS ACCIONES DE
% a) Al modelo cinemático del Helicoptero
x_real(k+1) = x_real(k)+ts*(vl(k)*cos(Ang(k))-a*w(k)*sin(Ang(k)));
y_real(k+1) = y_real(k)+ts*(vl(k)*sin(Ang(k))+a*w(k)*cos(Ang(k)));
z_real(k+1) = z_real(k)+vz(k)*ts;
Ang(k+1) = Angulo(Ang(k)+w(k)*ts);
end

%%*****ANIMACIÓN
i=1; paso=1; fig=figure; %290
set(fig,'position',[100 60 980 600]);
axis equal; cameratoolbar

ArDrone_parametros;
H1 = Phantom([x_real(1),y_real(1),z_real(1),0,0,Ang(1)]);hold on

H2 = plot3(Xd(1),Yd(1),Zd(1),'g','MarkerSize',20);
H3 = plot3(x_real(1),y_real(1),z_real(1),'m');
view(45,40)
% axis([-1 15 -2 6]);
for nn=i:paso:length(t)
    drawnow
    delete(H1);
    delete(H2);
    delete(H3);
    H1 = Phantom([x_real(nn),y_real(nn),z_real(nn),0,0,Ang(nn)]);
hold on
    H2 = plot3(Xd,Yd,Zd,'g'); hold on,grid on
    H3=plot3(x_real(1:nn),y_real(1:nn),z_real(1:nn),'m'); %es la
trayectoria que hace
end
H1=Phantom([x_real(1),y_real(1),z_real(1),0,0,Ang(1)]);hold on
plot3(x_real,y_real,z_real,'r','LineWidth',1); hold on;

%%*****GRÁFICAS
figure(3);
plot3(x_real,y_real,z_real,'r','LineWidth',2); hold on;
plot3(Xd,Yd,Zd,'g','LineWidth',1); grid
xlabel('x [m]'), ylabel('y [m]'), zlabel('z [m]')
title('RECORRIDO ');
figure(4);
plot(x_err,'b');
hold on;grid on
plot(y_err,'r');plot(Angulo_err,'g');plot(z_err,'k');
l = legend('x_err','y_err','Angulo_err','z_err');
title(l,'ERRORES');

```

## Anexo 5 Reporte MRCA

**REPORTE DE MEDICIÓN DE GASES UAVSCCA**

Reporte Nro: 1  
 Fecha: 23/09/2016 Latitud de Inicio: 22.537018  
 Hora de generación: 2:01:47 PM Longitud de inicio: 113.95364

\*\*\*\*\*

Standards			
Gas	Min	Nom	Max
Monóxido de Carbono			
Ozono			
Dióxido de Azufre			
Dióxido de Nitrógeno			
Humedad Relativa			
Temperatura			

Reporte de Mediciones								
Hora	CO (ug/m3)	O3 (ug/m3)	SO2 (ug/m)	NO2 (ug/m)	Hum. (%H)	Temp. (oC)	Latitud	Longitud
14:00:10	0.18	16.02	2.42	5.23	33.9	26.1	22.537	113.954
14:00:11	0.18	16.16	2.42	5.29	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:13	0.18	16.22	2.42	5.29	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:14	0.18	16.13	2.41	5.35	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:15	0.18	16.02	2.41	5.46	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:16	0.18	16.13	2.41	5.37	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:17	0.18	16.16	2.41	5.37	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:18	0.18	16.02	2.41	5.37	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:19	0.18	16.10	2.41	5.20	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:20	0.18	16.13	2.41	5.32	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:22	0.18	16.04	2.41	5.37	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:23	0.18	16.13	2.42	5.29	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:24	0.18	16.19	2.42	5.40	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:25	0.18	16.19	2.41	5.43	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:26	0.18	16.10	2.42	5.35	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:27	0.18	16.19	2.42	5.35	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:28	0.18	16.10	2.41	5.37	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:29	0.18	16.19	2.42	5.32	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:30	0.18	16.19	2.42	5.32	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:32	0.18	16.22	2.42	5.46	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:33	0.18	16.22	2.41	5.40	33.0	27.0	22.537	113.954
14:00:34	0.18	16.25	2.41	5.43	33.0	26.0	22.537	113.954
14:00:48	0.18	16.25	2.41	5.52	33.0	26.1	22.537	113.954

## ANEXO 6: Programación software sistema UAVSCCA

```
tic
actualizar = 0;
ts_actualizacion = 1; % Cada cuanto se actualizan los datos (segundos)
ts_actualizacion = 1*15;
k=1;
if capturaState
    set(btn_captura, 'String', 'No Adquirir')
else
    set(btn_captura, 'String', 'Adquirir')
end

while capturaState
    dt(i)=toc;
    tic
    % try
        tramita= getFrame('S',ps)
        if tramita(1) && (length(tramita)==8)
            CO(i)= tramita(2);
            O3(i)= tramita(3);
            SO2(i)= tramita(4);
            NO2(i)= tramita(5);
            Hum(i)= tramita(6);
            Temp(i)= tramita(7);
            Dist(i)= tramita(8);

            if actualizar > ts_actualizacion
                t= [datetime('now')];
                reloj(k,:) = datestr(t);
                CO_rep(k)= mean(CO(i-ts_actualizacion:i));
                O3_rep(k)= mean(O3(i-ts_actualizacion:i));
                SO2_rep(k)= mean(SO2(i-ts_actualizacion:i));
                NO2_rep(k)= mean(NO2(i-ts_actualizacion:i));
                Hum_rep(k)= mean(Hum(i-ts_actualizacion:i));
                Temp_rep(k)= mean(Temp(i-ts_actualizacion:i));
                % Dist_rep(k)= Dist(i-ts_actualizacion:i)/ts_actualizacion;
            set(txt_CO, 'String', num2str(CO(i)))
            set(txt_O3, 'String', num2str(O3(i)))
            set(txt_SO2, 'String', num2str(SO2(i)))
            set(txt_NO2, 'String', num2str(NO2(i)))
            set(txt_hum, 'String', num2str(Hum(i)))
            set(txt_temp, 'String', num2str(Temp(i)))
            set(txt_dist, 'String', num2str(Dist(i)))
            k=k+1;
        end

        if actualizar==ts_actualizacion+1
            actualizar=0;
        end

        bandera= 'CapturaSerial';
        actualizar=actualizar+1;
        i=i+1;
    else
        bandera= 'errorCapturaSerial';
    end
end
% catch
% bandera= 'noInitSerial';
```

```

%     end
ControlBanderas
%     if plotState
%         plotSensores
%     end
pause(0.01)

end
% figure,plot(dt)
f exist('CO')
    ax;
%     subplot(2,2,[1 2])
plot(CO,'r','LineWidth',1.2),hold on,plot(NO2,'b','LineWidth',1.2)
plot(SO2,'m','LineWidth',1.2),hold on,plot(O3,'k','LineWidth',1.2)
legend('CO','NO2','SO2','O3')
xlabel('Tiempo'), ylabel('ug/m3')
grid on, ylim([0 50])

bandera= 'plotDatos';
else
    bandera='NoDatosSensores';
end
ControlBanderas
bandera= 'excelInit'
ControlBanderas
pause(0.1)

try
    copyfile('ReporteBasic.xlsx','Reporte.xlsx')
    filename = 'Reporte.xlsx';
    sheet = 1;

    fecha= [datetime('now')];
    Fecha = {datestr(fecha)};
    xlRange = 'B3';
    xlswrite(filename,Fecha,sheet,xlRange)
    xlRange = 'B4';
    xlswrite(filename,Fecha,sheet,xlRange)

    % A = {'Fecha','Monóxido de Carbono','Ozono','Dióxido de
Azufre','Dióxido de Nitrógeno'};
    fila=18;
    for m=1:length(O3_rep)
        strfila= num2str(fila);

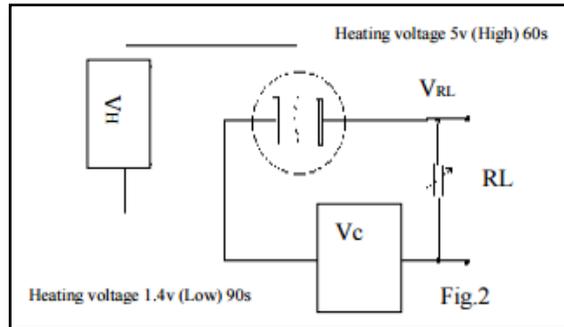
B={reloj(m,:),CO_rep(m),O3_rep(m),SO2_rep(m),NO2_rep(m),Hum_rep(m),Tem
p_rep(m)};
        xlRange = strcat('A',strfila);
        xlswrite(filename,B,sheet,xlRange)
        fila=fila+1;
    end
    bandera= 'excelOk'
catch
    bandera= 'excelAbierto';
end

```

## **Anexo 7 Escalado de Sensores MQ utilizados MRCA**

Modulo sensor de Monóxido de Carbono MQ-7

- a) Circuito Electrónico
- b) Linealización
- a) Circuito Electrónico



**Figura:** Diagrama de Conexión MQ-7

Fuente: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>

- b) **Linealización**

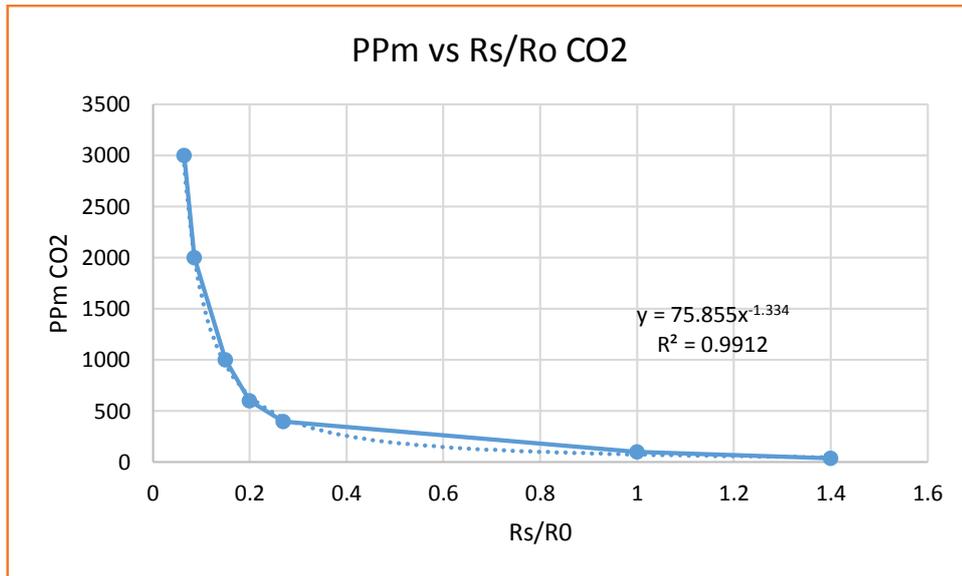
**Tabla** Rs/Ro vs PPM de Monóxido de Carbono

Rs/Ro	PPm CO Monóxido de Carbono
1.4	40
1	100
0.27	400
0.2	600
0.15	1000
0.086	2000
0.065	3000

**Fuente:** hoja de datos MQ7 (anexo 2)

**Realizado por:** Jose Morales, 2016

Mediante esta tabla se obtiene por regresión una ecuación que satisface a todos los puntos como se observa la correlación de datos tiende a uno lo que no da una muy buena aproximación.



**Figura:** Curva del sensor MQ7 para Monóxido de Carbono (CO).  
Fuente: el autor

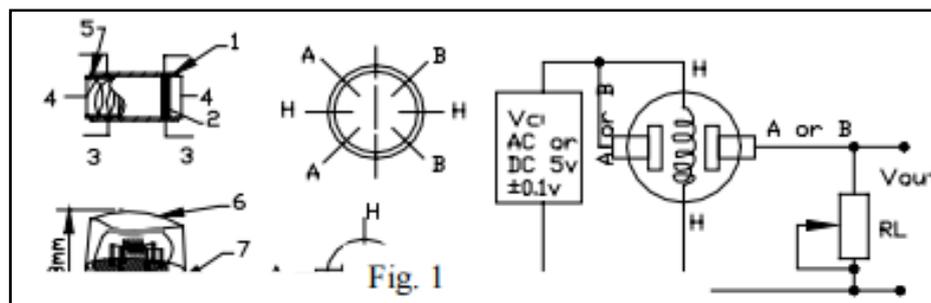
Y se obtiene la siguiente ecuación por regresión:

$$ppm = 75.855 \left( \frac{Rs}{Ro} \right)^{-1.334}$$

## SENSOR DE OZONO MQ-131

### Circuito

En la figura se puede observar el acondicionamiento del circuito tanto los pines de conexión como son: VCC, GND, AC, DC y la resistencia de carga.



**Figura:** Diagrama eléctrico Sensor MQ-131 Ozono  
Fuente: <http://eph.ccs.miami.edu/precise/GasSensorSpecs/Ozone.pdf>

## Linealización

Obtenemos obtenien los siguientes valores del gas deseado que se muestran en la tabla:

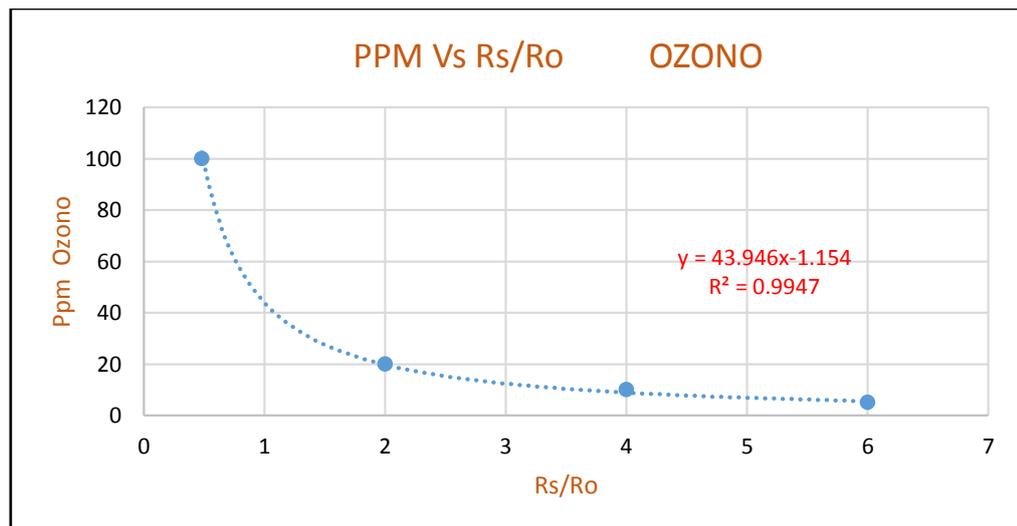
*Tabla: Rs/Ro vs Partes por millón de concentración de Ozono.*

Mq131	Ozono
Rs/Ro	PPM o3
0.48	100
2	20
4	10
6	5

**Fuente:** Hoja de datos MQ131 (anexo 3)

Realizado por: Jose Morales, 2016

Por regresión obtenemos una ecuación que satisfaga todos los puntos más cercanos posibles por medio de una ecuación potencial como se observa en la figura



**Figura:** PPM Vs Rs/Ro para Ozono

Fuente: El autor

Obteniendo PPM en función de las resistencias características  $R_s/R_o$  en el grafico 3-20 se obtiene la ecuación:

$$PPM = 43.946 \left( \frac{R_s}{R_o} \right)^{-1.154} \quad (21)$$

Aplicamos la ecuación para obtener la resistencia  $R_s$  formula obtenida la hoja de datos del fabricante:

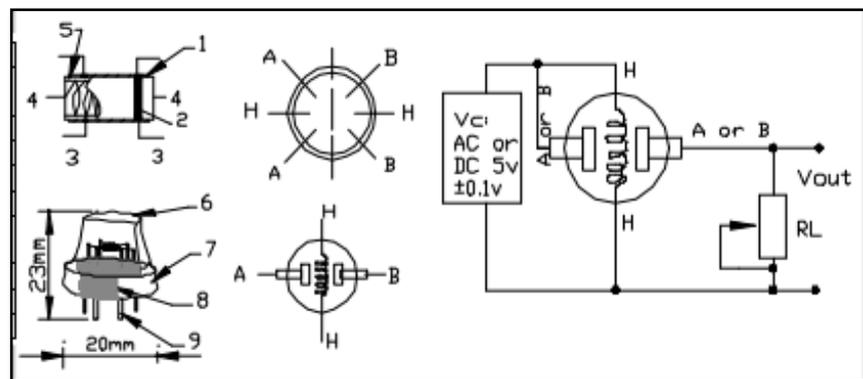
$$\frac{R_s}{R_l} = \frac{V_c - V_{rl}}{V_{rl}} \quad (22)$$

Despejando obtenemos  $R_o$  con la siguiente ecuación:

$$R_o = R_s * e^{\left(\frac{\ln \frac{a}{PPM}}{b}\right)}$$

## SENSOR DE DIÓXIDO DE AZUFRE MQ-136

### a) Circuito



**Figura :** Diagrama eléctrico Sensor MQ-136 Ozono.

Fuente: <http://www.sensorica.ru/pdf/MQ-136.pdf>

### b) Linealización

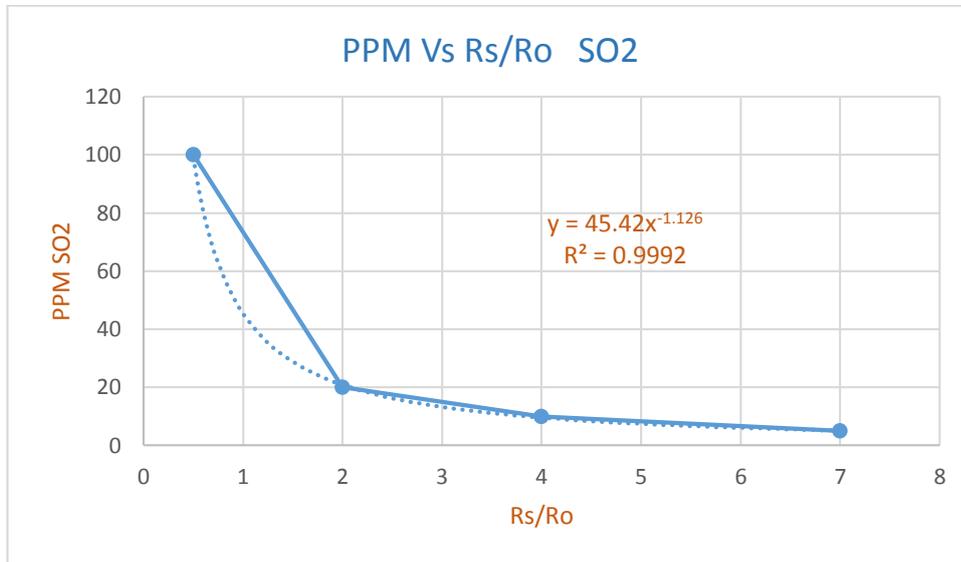
El procedimiento a seguir será como ya lo hemos realizado, se obtiene datos de la curva característica y se muestra datos de concentración de Dióxido de azufre Vs  $R_s/R_o$  como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla:**  $R_s/R_o$  vs Partes por millón de concentración de Dióxido de Azufre.

Mq136	SO2
RS/RO	PPM
0.5	100
2	20
4	10
7	5

**Fuente:** hoja de datos MQ136  
**Realizado por:** Jose Morales, 2016

Por regresión obtenemos una ecuación que satisfaga todos los puntos más cercanos posibles por medio de una ecuación potencial para medir Dióxido de azufre en el ambiente.



**Figura:** PPM en función de las resistencias características Rs/Ro SO2.

**Fuente:** El autor

$$PPM = 45.42 \left( \frac{R_s}{R_o} \right)^{-1.126} \quad (23)$$

En la ecuación (23) obtenida en función de las Resistencia de aire limpio (RS) / Resistencia a una determinada porción de Dióxido de azufre (Ro), en PPM.

Despejamos Ro y obtenemos la siguiente ecuación como lo hemos realizado con el sensor anterior obteniendo:

$$R_o = R_s * e^{\left( \frac{\ln \frac{a}{PPM}}{b} \right)}$$

# Anexo 8 UAV Phantom 3

Phantom 3 Profesional - Manual de usuario.pdf

### Diagrama de la aeronave

- [1] GPS
- [2] Hélice
- [3] Motor
- [4] LED delantero
- [5] Tren de aterrizaje
- [6] Gimbal y cámara
- [7] Puerto MicroUSB de la aeronave
- [8] Indicador de estado de la aeronave
- [9] Batería de vuelo inteligente
- [10] Sensores de posicionamiento visual
- [11] Antenas
- [12] Ranura para tarjeta MicroSD
- [13] Puerto MicroUSB de la cámara
- [14] Botón de vinculación

### Diagrama del controlador remoto

- [1] Antenas  
Transmiten el control de la aeronave y la señal de vídeo.
- [2] Soporte para dispositivo móvil  
Permite anclar el dispositivo móvil al controlador remoto.
- [3] Palanca de control  
Controla la orientación y el movimiento de la aeronave.
- [4] Botón de regreso al punto de origen (RTH)

8 © 2015 DJI. All Rights Reserved.

### Uso de este manual

#### Leyendas

- ⚠ Advertencia
- 🔔 Importante
- 💡 Sugerencias
- 📖 Referencia

#### Leer antes del primer vuelo

Lea los siguientes documentos antes de utilizar el Phantom 3 Profesional por primera vez.

- Contenido del embalaje
- Manual del usuario del Phantom 3 Profesional
- Guía de inicio rápido del Phantom 3 Profesional
- Directrices de seguridad y renuncia de responsabilidad del Phantom 3 Professional/Advanced
- Directrices de seguridad de la batería de vuelo inteligente del Phantom 3 Professional/Advanced

Se recomienda ver todos los videotutoriales del sitio web oficial de DJI, y leer las *Directrices de seguridad y renuncia de responsabilidad del Phantom 3 Professional/Advanced* antes del primer vuelo. Prepárese para el primer vuelo con la *Guía de inicio rápido del Phantom 3 Profesional*. Consulte el *Manual del usuario del Phantom 3 Profesional* para obtener información más detallada.

#### Videotutoriales

Vea el videotutorial siguiente para aprender a utilizar el Phantom 3 Profesional con seguridad:

<http://www.dji.com/product/phantom-3/video>

#### Descarga de la aplicación DJI Pilot

Descargue e instale la aplicación DJI Pilot antes del uso. Escanee el código QR siguiente para ir a la descarga.

Para Android, la aplicación DJI Pilot es compatible con la versión Android 4.1.2 o posterior.  
Para iOS, la aplicación DJI Pilot es compatible con la versión Android 8.0 o posterior.

2 © 2015 DJI. All Rights Reserved.

### Aeronave

#### Controlador de vuelo

El controlador de vuelo del Phantom 3 Profesional incluye varias actualizaciones importantes, incluido un nuevo modo de vuelo. Los modos de seguridad incluyen el mecanismo de seguridad y el regreso al punto de origen. Estas funciones garantizan el regreso seguro de la aeronave si se pierde la señal de control. El controlador de vuelo también puede guardar datos cruciales de cada vuelo en el dispositivo de almacenamiento de a bordo.

#### Modo de vuelo

Hay tres modos de vuelo disponibles. Los detalles de cada modo de vuelo se encuentran en la siguiente sección:

**Modo P (posicionamiento):** el modo P funciona mejor con señal GPS intensa. El modo P tiene tres estados diferentes que el Phantom 3 Profesional seleccionará automáticamente dependiendo de la intensidad de la señal de los sensores de GPS y posicionamiento mediante visión.

- P-GPS:** se encuentran disponibles tanto GPS como posicionamiento visual, y la aeronave utiliza GPS para el posicionamiento.
- P-OPTI:** está disponible el posicionamiento visual, pero la señal GPS no es suficiente. La aeronave solo utiliza el sistema de posicionamiento visual para el vuelo estacionario.
- P-ATTI:** no están disponibles ni GPS ni el posicionamiento visual. La aeronave utiliza solo el barómetro para el posicionamiento, de modo que solo se controla la altitud.

**Modo A (altitud):** no se utilizan ni GPS ni el sistema de posicionamiento visual para la estabilización. La aeronave solo utiliza el barómetro para estabilizarse. La aeronave puede volver automáticamente al punto de origen si se pierde la señal de control remoto siempre que el punto de origen esté correctamente registrado.

**Modo F (función):** el control de orientación inteligente (IOC) se activa en este modo. Para obtener más información sobre el IOC, consulte la sección de IOC en el apéndice.

Utilice el controlador de modo del controlador de vuelo para cambiar el modo de vuelo de la aeronave. Consulte "Controlador de modo de vuelo" en la pág. 26 para obtener más información.

#### Indicador de estado de vuelo

El Phantom 3 Profesional incluye LED delantero e indicador de estado de la aeronave. Las posiciones de estos LED se muestran en la imagen siguiente:

Los LED delanteros muestran la orientación de la aeronave. Los LED delanteros se quedan encendidos en rojo cuando la aeronave se activa para indicar la parte delantera (o morro) de la aeronave. Los indicadores de estado de la aeronave comunican el estado del sistema de control de vuelo. Consulte la tabla siguiente para obtener más información sobre los indicadores de estado de la aeronave:

© 2015 DJI. All Rights Reserved. 11

Phantom 3 Profesional Manual del usuario

- ⚠ Asegúrese de que las hélices se han montado en sus motores correspondientes; de lo contrario, la aeronave no podrá despegar.
  - Use guantes al manipular las hélices.
  - Apriete a mano cada una de las hélices en su motor correspondiente para asegurarse de que están bien fijas.

#### Extracción de las hélices

Mantenga el motor inmóvil y, a continuación, haga girar la hélice en la dirección de desbloqueo indicada en la propia hélice.

- Compruebe que las hélices y los motores están instalados correcta y firmemente antes de cada vuelo.
- Asegúrese de que todas las hélices se encuentren en buen estado antes de cada vuelo. NO utilice hélices desgastadas, astilladas o rotas.
- Para evitar lesiones, MANTÉNGASE LEJOS de las hélices y los motores, y NO los toque cuando estén girando.
- Utilice SÓLO hélices DJI originales para experimentar un vuelo mejor y más seguro.

#### Batería de vuelo inteligente DJI

La batería de vuelo inteligente DJI tiene una capacidad de 4480 mAh, un voltaje de 15.2 V y función de carga-descarga inteligente. Solo se debe cargar mediante un cargador adecuado aprobado por DJI.

- ⚠ La batería debe estar completamente cargada antes de usarla por primera vez. Consulte "Carga de la batería de vuelo inteligente" para obtener más información.
- 💡 Tenga en cuenta que la potencia de salida del cargador del Phantom 3 Profesional suministrado es de 100 W.

#### Funciones de la batería de vuelo inteligente DJI

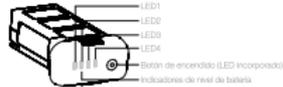
- Pantalla de nivel de batería: los LED muestran el nivel actual de la batería.
- Pantalla de vida de la batería: los LED muestran el ciclo de energía actual de la batería.
- Función de descarga automática: La batería se descarga automáticamente por debajo del 65 % de la carga total cuando está inactiva durante más de 10 días, para evitar que se hinche. La batería tarda unos 2 días en descargarse hasta el 65 %. Es normal notar un calor moderado procedente de la batería durante el proceso de descarga. Los umbrales de descarga se pueden definir en la aplicación DJI Pilot.
- Carga equilibrada: equilibra automáticamente el voltaje de cada celda de la batería durante la carga.
- Protección contra sobrecarga: la carga se detiene automáticamente cuando la batería está completamente cargada.
- Detección de temperatura: La batería solo se carga cuando la temperatura está entre 0 °C (32 °F) y 40 °C (104 °F).
- Protección contra sobrecorriente: la batería deja de cargar cuando se detecta un alto amperaje (más de 8 A).

© 2015 DJI. All Rights Reserved. 17

8. Protección contra exceso de descarga: para evitar daños por exceso de descarga, la descarga se detiene automáticamente cuando el voltaje de la batería llega a 12 V.
9. Protección contra cortocircuitos: corta automáticamente el suministro eléctrico al detectarse un cortocircuito.
10. Protección contra daños de las celdas de la batería: la aplicación DJI Pilot muestra un mensaje de advertencia cuando se detecta una celda dañada.
11. Historial de errores de la batería: explore el historial de errores de la batería en la aplicación DJI Pilot.
12. Modo de suspensión: para ahorrar energía, la batería entra en modo de suspensión después de 20 minutos de inactividad.
13. Comunicación: la información relativa a voltaje, capacidad, corriente y otros datos de la batería se transmite al controlador principal de la aeronave.

⚠ Consulte *Directrices de seguridad de la batería de vuelo inteligente del Phantom 3 Professional/Advanced* antes de su uso. Los usuarios asumen la responsabilidad completa de todas las operaciones y el uso.

#### Uso de la batería



#### Encendido/apagado

**Encendido:** pulse el botón de encendido una vez; a continuación, vuelva a pulsarlo y manténgalo así durante 2 segundos para encender. El LED de encendido cambiará a color rojo y los indicadores de nivel de batería mostrarán el nivel actual de la batería.

**Apagado:** pulse el botón de encendido una vez; a continuación, vuelva a pulsarlo y manténgalo así durante 2 segundos para apagar.

#### Aviso de temperatura baja:

1. La capacidad de la batería se reduce considerablemente al volar en entornos con baja temperatura (< 0 °C).
2. No se recomienda utilizar de la batería en entornos con temperatura extremadamente baja (< -10 °C). El voltaje de la batería debe alcanzar el nivel adecuado al utilizarla en entornos en los que la temperatura oscile entre -10 °C y 5 °C.
3. Termine el vuelo en cuanto la aplicación DJI Pilot muestre la advertencia "Low Battery Level Warning" en entornos de baja temperatura.
4. Mantenga la batería en el interior para que se caliente antes de volar en entornos de baja temperatura.
5. Para garantizar el rendimiento de la batería, mantenga la temperatura de la batería por encima de 20 °C.
6. El cargador dejará de cargar la batería si la temperatura de la celda de la batería no se encuentra dentro del intervalo de funcionamiento (0 °C-40 °C).

#### Lista de comprobación previa al vuelo

1. El controlador remoto, la batería de vuelo inteligente y el dispositivo móvil están completamente cargados.
2. Las hélices están correcta y firmemente montadas.
3. La tarjeta microSD se ha introducido, en caso necesario.
4. El gimbal funciona con normalidad.
5. Los motores pueden arrancar y funcionan con normalidad.
6. La aplicación DJI Pilot está correctamente conectada a la aeronave.

#### Calibración de la brújula

**IMPORTANTE:** Calibre siempre la brújula para cada nueva ubicación de vuelo. La brújula es muy sensible a las interferencias electromagnéticas, lo que puede generar datos de brújula anómalos y afectar al vuelo o impedirlo. Es necesario realizar la calibración con regularidad para obtener un rendimiento óptimo.

- No calibre la brújula donde exista la posibilidad de que se produzcan fuertes interferencias magnéticas. Los posibles fuentes de interferencias incluyen magnetita, estructuras de aparcamientos y estructuras metálicas subterráneas.
- No lleve consigo materiales ferromagnéticos durante la calibración, como llaves o teléfonos móviles.
- NO realice la calibración junto a grandes objetos metálicos.
- NO realice la calibración en interiores.

#### Procedimientos de calibración

Seleccione un espacio abierto para llevar a cabo los siguientes procedimientos.

1. Asegúrese de que la brújula esté calibrada. Si no ha calibrado la brújula con la lista de comprobación o si ha cambiado de posición desde la última calibración, toque "MODE" en la aplicación y seleccione "Compass Calibration" para calibrar la brújula. A continuación, siga las instrucciones en pantalla.
2. Mantenga y gire la aeronave horizontalmente 360 grados. El indicador de estado de la aeronave se quedará fijo en verde.



3. Mantenga la aeronave en posición vertical con el morro apuntando hacia abajo y gire 360 grados alrededor del eje central. Vuelva a calibrar la brújula si el indicador de estado de la aeronave se queda fijo en rojo.



⚠ Si el indicador de estado de la aeronave parpadea en rojo y amarillo después del procedimiento de calibración, mueva la aeronave a una ubicación diferente y vuelva a intentarlo.

🔧 Calibre la brújula antes de cada vuelo. Inicie la aplicación DJI Pilot y siga las instrucciones que aparecen en pantalla para calibrar la brújula.

#### Cuándo realizar la recalibración

1. Cuando los datos de la brújula sean anómalos y el indicador de estado de la aeronave parpadee en rojo y amarillo.
2. Al volar en una nueva ubicación o en una ubicación distinta a la del último vuelo.
3. Cuando haya cambiado la estructura mecánica del Phantom 3 Professional.
4. Cuando se produzca un desvío considerable en el vuelo, es decir, cuando el Phantom 3 Professional no vuele en línea recta.

#### Despegue y aterrizaje automáticos

##### Despegue automático

Utilice el despegue automático solo si los indicadores de estado de la aeronave parpadean en verde. Realice los pasos siguientes para utilizar la función de despegue automático:

1. Inicie la aplicación DJI Pilot y acceda a la página "Camera".
2. Asegúrese de que la aeronave esté en modo "FPV".
3. Realice todos los pasos de la lista de comprobación previa al vuelo.
4. Toque y confirme las condiciones de vuelo. Déjelo para confirmar y despegue.
5. La aeronave despegue y vuelva en modo estacionario a 1,5 metros por encima del suelo.

⚠ El indicador de estado de la aeronave parpadea rápidamente cuando se utiliza el sistema de posicionamiento visual para la estabilización. La aeronave volará en modo estacionario automáticamente por debajo de 3 metros. Se recomienda esperar hasta conseguir una buena señal GPS antes de usar la función de despegue automático.

#### Señal GPS intensa ..... Parpadeo en verde

	Límites de vuelo	Aplicación DJI Pilot	Indicador de estado de la aeronave
Altitud de vuelo máxima	La altitud de la aeronave no puede superar el valor especificado.	Warning: Distance limit reached.	Ninguno.
Radio máximo	La distancia de vuelo debe estar dentro del radio de máx.	Warning: Limite de distancia alcanzado.	Parpadeo rápido en rojo  al acercarse al límite de radio máximo.

#### Señal GPS débil ..... Parpadeo en amarillo

	Límites de vuelo	Aplicación DJI Pilot	Indicador de estado de la aeronave
Altitud de vuelo máxima	La altura está restringida a 120 metros (400 pies) como máximo.	Warning: Height limit reached.	Ninguno.
Radio máximo	Sin límite		

- Si vuela fuera del límite, aún puede controlar el Phantom 3 Advanced, pero no puede seguir volando.
- Si la aeronave vuela fuera del radio máximo en el modo de vuelo seguro (sin GPS), regresará automáticamente dentro del intervalo.

#### Zonas de exclusión aérea

Todas las zonas de exclusión aérea se indican en el sitio web oficial de DJI en <http://flysafe.dji.com/no-fly>. Las zonas de exclusión aérea se dividen en aeropuertos y zonas restringidas. Los aeropuertos incluyen los principales aeropuertos y campos de vuelo en los que las aeronaves tripuladas operan a baja altura. Las zonas restringidas incluyen fronteras entre países o entidades especiales. Los detalles de las zonas de exclusión aérea se explican a continuación:

##### Aeropuerto

- (1) Las zonas de exclusión aérea sobre aeropuertos están formadas por zonas de despegue restringido y zonas de altitud restringida. Cada zona incluye círculos de varios tamaños.
- (2) R1 millas (el valor de R1 depende del tamaño y la forma del aeropuerto) alrededor del aeropuerto corresponden a la zona de despegue restringido, dentro de la cual se impide despegar.
- (3) Entre R1 millas y R1 + 1 milla alrededor del aeropuerto, el límite de altitud de vuelo tiene una inclinación de 15 grados, partiendo de 20 metros (65 pies) en el borde del aeropuerto hacia el exterior. La altitud de vuelo está limitada a 500 metros (1640 pies) a R1+1 milla.
- (4) Cuando la aeronave se acerque a menos de 100 metros (320 pies) de las zonas de exclusión aérea, aparecerá un mensaje de advertencia en la aplicación DJI Pilot.