



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
Revista Publicando, 3(9). 2016, 61-80. ISSN 1390-9304

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

Jose Luis Morales Gordon¹; Jose Enrique Guerra Salazar²; Wilson Armando Zuniga Vinueza³;

; Ruth Genoveba Barba Vera⁴; Franklin Moreno Montenegro⁵;

1 Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Informatica y Electronica, Riobamba; j_morales@epoch.edu.ec

2 Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Informatica y Electronica, Riobamba; j_guerra@epoch.edu.ec

3 Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Informatica y Electronica, Riobamba; wzuniga@epoch.edu.ec

4 Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Informatica y Electronica, Riobamba; ruth.barba@epoch.edu.ec

5 Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Informatica y Electronica, Riobamba; fmoreno@epoch.edu.ec

RESUMEN

Los vehículos aéreos no tripulados, UAV's no poseen piloto a bordo y puede ser controlados remotamente por un operador en tierra, la presente investigación está enfocada al control de seguimiento de trayectorias para un UAV de cuatro rotores; en particular, para el prototipo comercial llamado Phantom 3 fabricado por la empresa DJI de china. La estrategia de control propuesta valida el vuelo autónomo de una trayectoria pre-programadas que se aplicada experimentalmente a partir 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



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

Revista Publicando, 3(9). 2016, 61-80. ISSN 1390-9304

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 .

Palabras claves: UAV, Supervisión Ambiental, Arduino, Matlab, control Cinemático.



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
Revista Publicando, 3(9). 2016, 61-80. ISSN 1390-9304

Pre-programmed navigation of trajectories of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) applied to on-line monitoring and transmission of air quality

ABSTRACT

Unmanned aerial vehicles, UAVs do not have a pilot on board and can be controlled by an operator on the ground, this research is focused on the trajectory tracking control for four-rotor UAV remotely; in particular for commercial prototype called Phantom 3 DJI manufactured by Chinese. The proposed control strategy validates the autonomous flight of a pre-programmed experimentally applied from kinematic model trajectory. It integrates the UAVs intelligent sensors that allow the collection of information on air quality. This monitor climate 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 development board with the UAV NANO form the electronic monitoring system that communicates by radio frequency remote ground station at a maximum distance of 2 km unhindered and a 5VDC power. Through virtual monitoring platform developed in the GUIDE Matlab 2015a 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 sulfur dioxide, which stored and can generate a report of the information recorded polluting gases.

Keywords: UAV, Environmental Supervision, Arduino, Matlab, Cinematic control.



I. INTRODUCCIÓN

En el mundo el problema de la contaminación atmosférica es grave, al punto que el Gobierno chino decidió probar un diseño de UAVs contra la niebla tóxica que asfixia a muchas ciudades del país; los mismos fueron equipados con dispositivos que mejoran su autonomía y dispersan agentes químicos a fin de congelar las sustancias contaminantes suspendidas en el aire para que caigan al suelo y de esta manera solucionar un poco esta problemática. También son empleados para vigilar las industrias más contaminantes y reunir pruebas fotográficas desde el aire para sancionar aquellas que contaminan. (Bejarano, 2016)

La mayoría de sistemas de medición de la calidad del aire son estaciones fijas que representan un alto costo para la supervisión de zonas extensas, es por ello la necesidad de combinarlos con unidades móviles de fácil manejo e independencia. Los UAV se consideran una solución factible y aplicable (Bejarano, 2016) a este problema pues permiten que su manipulación sea más fácil; al establecer su autonomía en recorridos de diferentes áreas con instrucciones pre-programadas (Catalan, 2013). Su costo es relativamente accesible y su aplicación puede definirse como un logro más de la robótica en la búsqueda de soluciones para mejorar la calidad de vida de la población (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo , 2013)

II. ARQUITECTURA DEL SISTEMA UAVSCCA

Como se muestra en la Figura.1 la arquitectura general del sistema lo llamaremos UAVSCCA y está compuesta por: Módulo Recolector de Datos de la Calidad de aire (MRCA), Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) y la Estación Fija en Tierra (ERT).

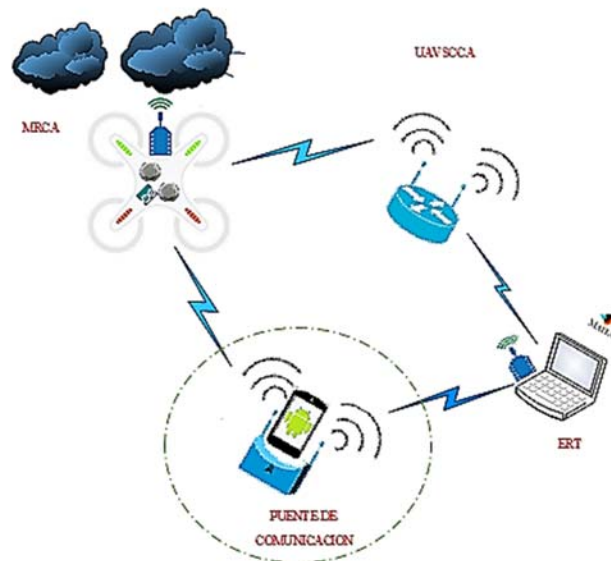


Figura. 1. Arquitectura de red del Sistema UAVSCCA

A. Módulo Recolector de Datos de la Calidad de aire (MRCA)

Su función es supervisar y transmitir la información recolectada por los sensores (Custodio Ruiz, 2016) en tiempo real, midiendo el Monóxido de Carbono, Dióxido de Azufre, Ozono, Dióxido de Nitrógeno, temperatura y humedad relativa ambiente para determinar la calidad del aire en una trayectoria pre-definida y transmitirla en tiempo real hacia la ERT (AMBIENTE, 2016).

En la Figura. 2 se muestra el diagrama de bloques del MRCA y la conexión los sensores que miden calidad de aire, la procesa y los envía por radiofrecuencia, a la estación remota para ser visualizada.



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

Revista Publicando, 3(9). 2016, 61-80. ISSN 1390-9304

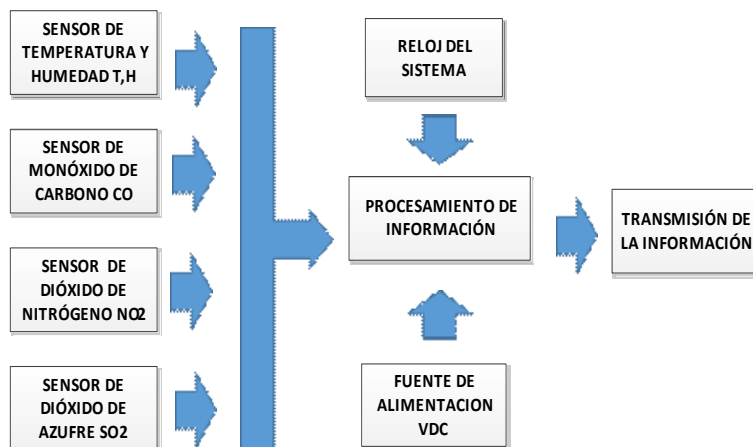


Figura. 2. Diagrama de bloques del MRCA.

En la Figura. 3. se muestra el esquema de conexión del módulo recolector de calidad del aire MRCA, Conectados al ARDUINO NANO (ShareAlike, 2016) se tiene:

- El sensor de temperatura y humedad relativa ambiente DHT11 (U1) conectado directamente al terminal digital (D2), con una resistencia de 4.7K entre el terminal Vcc y Data.
- El Sensor de Monóxido de Carbono MQ7 (GAS3) conectado al pin A3.
- El Sensor de Ozono MQ131 (GAS3) conectado al pin A2.
- El Sensor de Dióxido de Nitrógeno MQ131 (GAS4) conectado al pin A1.
- El Sensor Dióxido de azufre MQ136 (GAS1) conectado 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.



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
Revista Publicando, 3(9). 2016, 61-80. ISSN 1390-9304

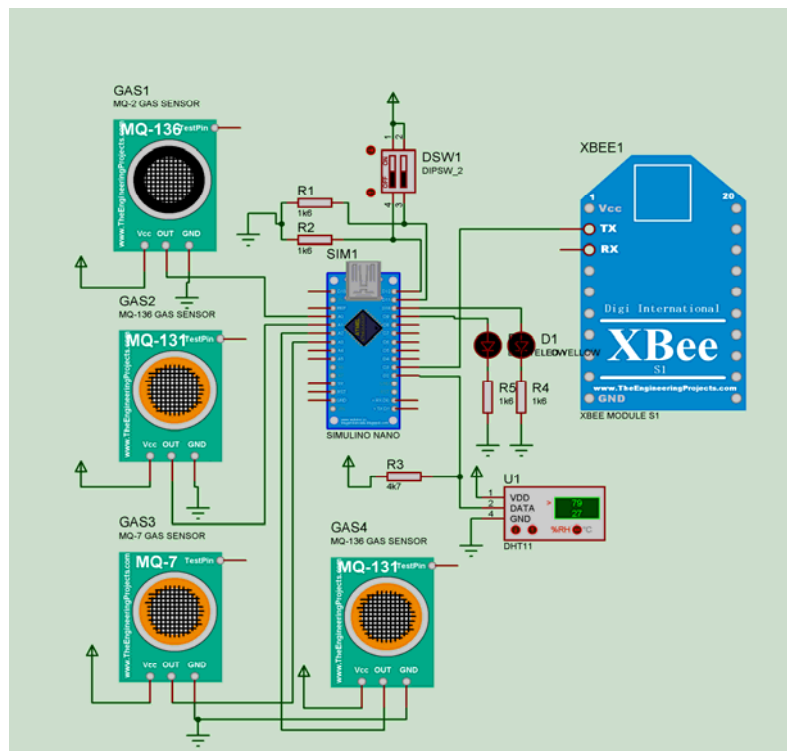


Figura. 3. Esquema de conexión del MRCA

B. Vehículo aéreo no tripulado (UAV)

Se utiliza un cuad-rotor modelo Phantom 3 fabricado por la empresa DJI, Su función principal es transportar de los sensores y tomar los datos de la contaminación del aire según la trayectoria predefinida (Figura. 4). Este UAV diseñado para uso civil que incorpora un microprocesador avanzado (V. H. Andaluz, 2015), sensores como acelerómetros, GPS, y se vincula a través de WiFi a un dispositivo móvil con sistema operativo Android (Ribas Lequerica, 2013).



Figura. 4. UAV Phantom 3

La Figura. 5. muestra un esquema de la estrategia de operación del UAV Phantom, (V. H. Andaluz, 2015) el control de la aeronave debe ser de forma autónoma, o tele operada de ser necesario, según el esquema control propuesto.

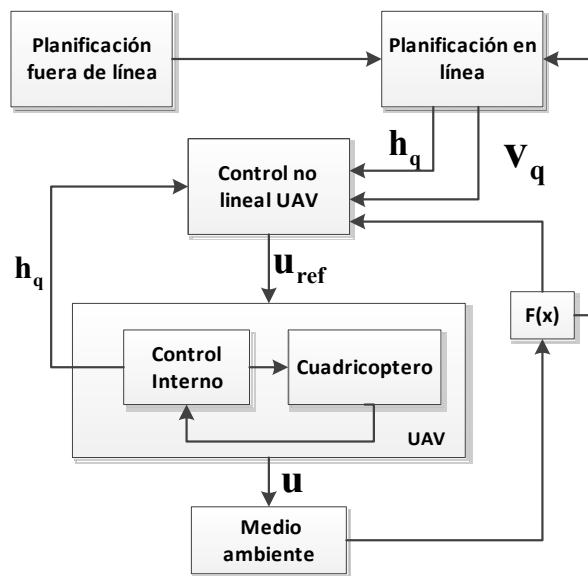


Figura. 5. Estrategia de control del UAV

La cinemática del UAV 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 ω_q



que constituye el marco inercial del UAV como se muestra en la Figura. 6., en dónde $z_q, x_q,$ $y_q,$ y $\psi_q,$ son medidas con respecto al marco inercial $\langle R \rangle$. El punto de interés será la posición a ser controlada, y corresponde al centro de gravedad del UAV. (V. H. Andaluz, 2015)

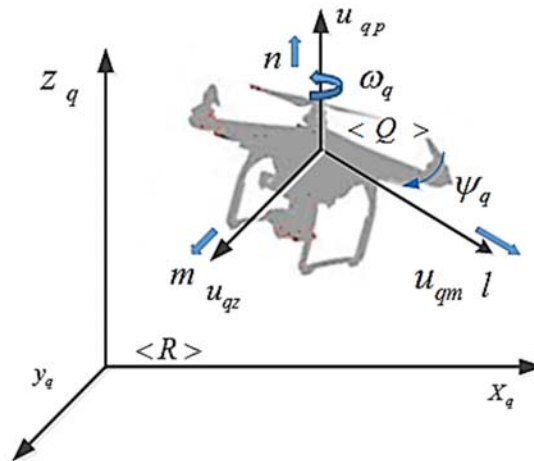


Figura. 6. Marco Inercial del UAV.

Los grados de libertad se definen mediante el siguiente vector:

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

Dónde:

\mathbf{u}_{qm} Es el vector de desplazamiento frontal y \mathbf{u}_{qp} el vector de velocidad de ascenso $\boldsymbol{\omega}_q$ representa un vector de velocidad angular de guiñada y juntos son la orientación del UAV, por lo que se define la relación de velocidades que existe entre el marco inercial $\langle R \rangle$ y $\langle Q \rangle$ y se define entonces:

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

Adicionalmente, un controlador interno de velocidad esta implementada para compensar la dinámica del UAV, reduciendo el error de velocidad para insertarse en la trayectoria predefinida, este controlador recibe como entradas deseadas \mathbf{hd} .

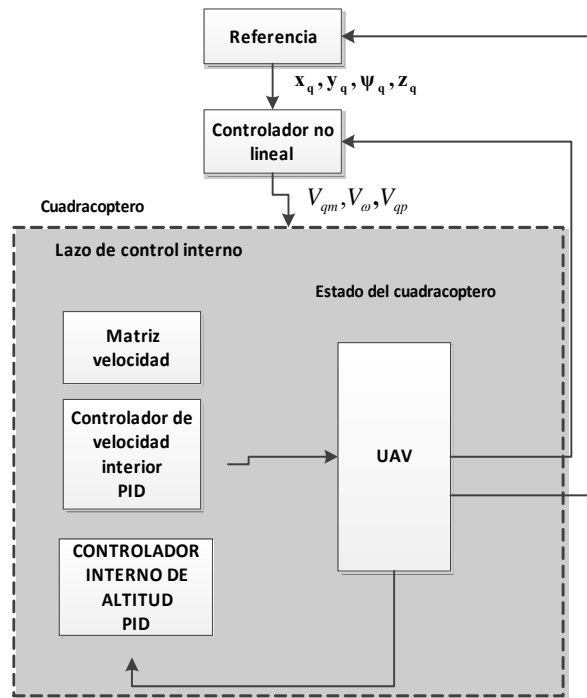


Figura. 7. Diagrama de bloques de lazo de control interno del UAV

Calculadas por la cinemática del controlador y genera las velocidades de referencia \mathbf{h} para el UAV. (V. H. Andaluz, 2015) Cumpliendo las cuatro consignas: delantero, lateral, arriba / abajo, y ángulo de partida para generar los valores de velocidades de trayectoria como se muestra en la Figura. 8.

Se corrige el error de posición al aplicar la Ec.3

$$\tilde{\mathbf{h}} = \mathbf{h}_d - \mathbf{h} \quad (3)$$

c. Estación remota en tierra (ERT)

Se encarga de recibir toda la información transmitida por radiofrecuencia desde el módulo MRCA por las zonas donde vaya supervisando la calidad de aire, la visualiza y la almacena directamente en el computador, de esta manera el usuario puede acceder a los datos y determinar la calidad del aire.

La Figura. 9 muestra el módulo correspondiente de la ERT, la transmisión es unidireccional, el procesamiento se lo realiza utilizando la herramienta Matlab R2015a (Borrell, 2007)



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
Revista Publicando, 3(9). 2016, 61-80. ISSN 1390-9304

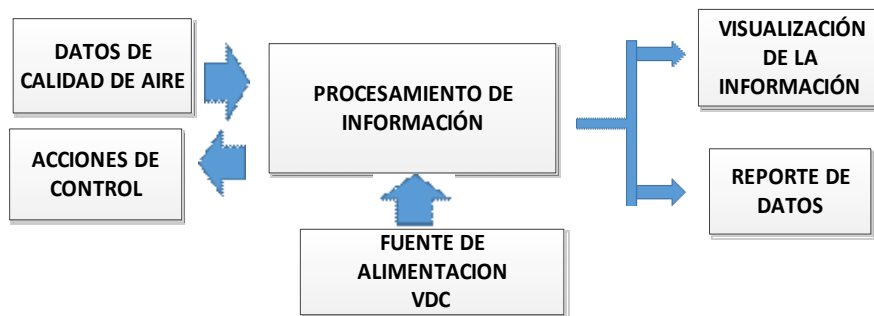


Figura. 8. Diagrama de bloques de la ERT.

Para la comunicación con la ERT se utiliza un receptor de radiofrecuencia XBee-PRO XSC, que trabaja a una frecuencia de 900 MHz, ideal para distancias de transmisión con requerimientos críticos. La trama de datos que recibe la información se procesa en el software MATLAB 2015 (Borrell, 2007), y la visualización en GUIDE-MATLAB (MCI, 2016) El *software* de supervisión se desarrollado se muestra en la Figura.10, permite obtener información recolectada por la MRCA directamente en el puerto USB del computador, y es presentada en forma numérica y grafica en pantalla y almacenada en disco; se muestra datos en unidades químicas (ug/m^3 , mg/m^3) de Monóxido de Carbono, Dióxido de Nitrógeno, Dióxido de Azufre, y Ozono, y variables climatológicas como Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y Humedad Relativa ambiente (%HR) (Ambiente, 2009).

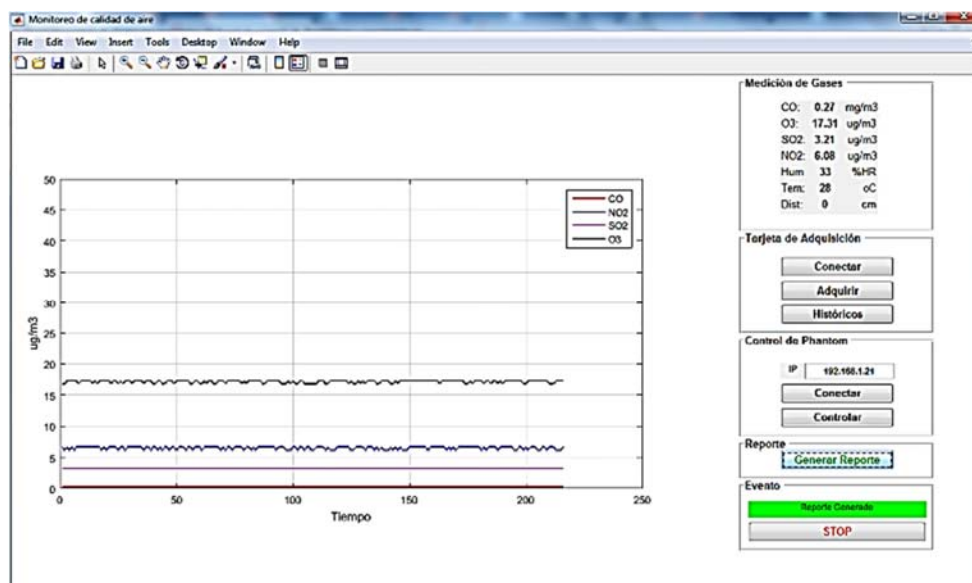




Figura. 9. *Software de supervisión del MRCA.*

El software encargado de controlar el vuelo autónomo pre programado del UAV se muestra en la Figura.11. Permite conectarse por medio de la red WIFI del sistema UAVSCCA al computador, para el envío y recepción de parámetros como 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 (Chicaiza & Rivas, 2006).

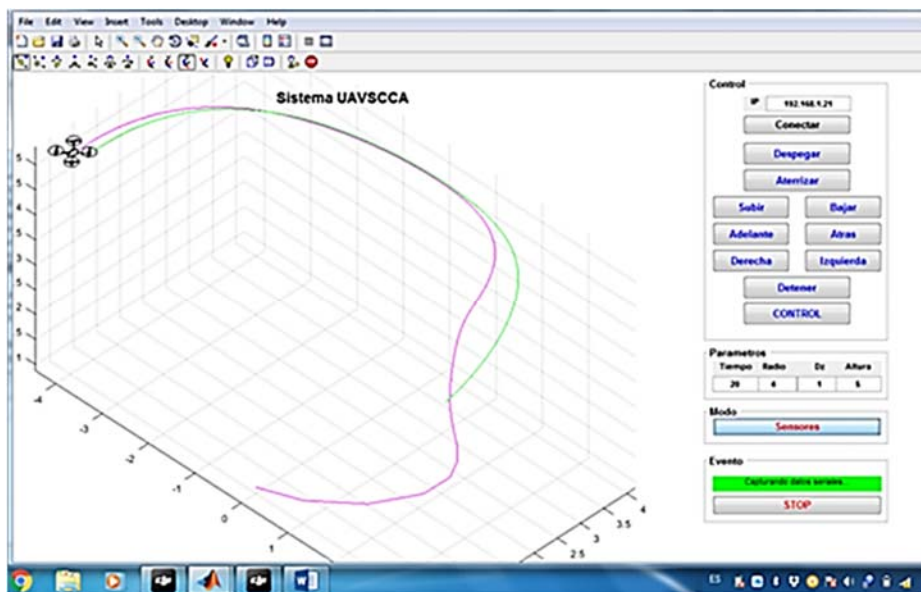


Figura. 10. *Software de Control de vuelo autónomo del MRCA*

D. Puente de comunicaciones

El *software* Phantom bridge sirve como puente de comunicaciones para envío y recepción de datos de control al UAV, es una APP para dispositivos móvilesv (Ribas Lequerica, 2013) compatible con sistema operativo Android. Se vincula a través de la red WiFi del sistema UAVSCCA mostrando parámetros como la altura las posiciones inerciales y angulares como se aprecia en la Figura.13.



III. VALIDACIÓN DEL UAVSCCA

A. Repetitividad del módulo de recolección de datos de calidad de aire

Para el estudio se extrajeron 25 muestras consecutivas de las seis variables supervisadas, que fueron obtenidas del archivo que genera el sistema al ser tomadas en un ambiente cerrado a intervalos de un minuto. El análisis estadístico se realizó con la ayuda de Microsoft Excel 2010, en el que se calculó la media (\bar{x}), la desviación estándar (σ) y el coeficiente de variación ($C.V = (\sigma/\bar{x}) * 100\%$) como se muestra en la tabla I. Se resalta que el coeficiente de variación obtenido en las lecturas de los sensores temperatura, humedad Relativa ambiente que son de 1.38% y 0.87% respectivamente, y en los sensores de gases con 3.86% en CO, 3.49% en SO₂, de 4.2% en NO₂ y de 1.39% en O₃, [16], [17], valores que presentan poca variabilidad según lo reportado. (RIUS DIAZ & WÄRNBERG WÄRNBERG, 2014).

TABLA I

FIABILIDAD DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE

N°	Hora	°C	%HR	CO mg/m ³	SO ₂ µg/m ³	NO ₂ µg/m ³	O ₃ µg/m ³
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



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

Revista Publicando, 3(9). 2016, 61-80. ISSN 1390-9304

20	6:48	20	50	0.51	3.08	6.15	53.27
21	6:49	20	50	0.51	3.08	6.41	53.23
22	6:50	20	50	0.51	3.04	6.41	51.89
23	6:51	20	50	0.51	3.04	6.15	53.23
24	6:51	20	50	0.51	3.04	6.15	53.23
25	6:52	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
Coefficiente de variación:		1.38%	0.87%	3.86%	3.49%	4.2%	1.39%

B. Evaluación de las comunicaciones del MRCA y la ERT.

Las pruebas consistieron en la supervisión de los datos de la calidad del aire y transmitidos durante el sobrevuelo de una trayectoria circular pre programada, se puede observar en la Figura. 12 la trama generada entre el módulo MRCA y la ERT que valida la comunicación entre ellas. Se comprobó que no existe pérdida del enlace y que la comunicación se la puede realizar hasta una distancia de 2 km con alimentación de 5 V (ShareAlike, 2016).

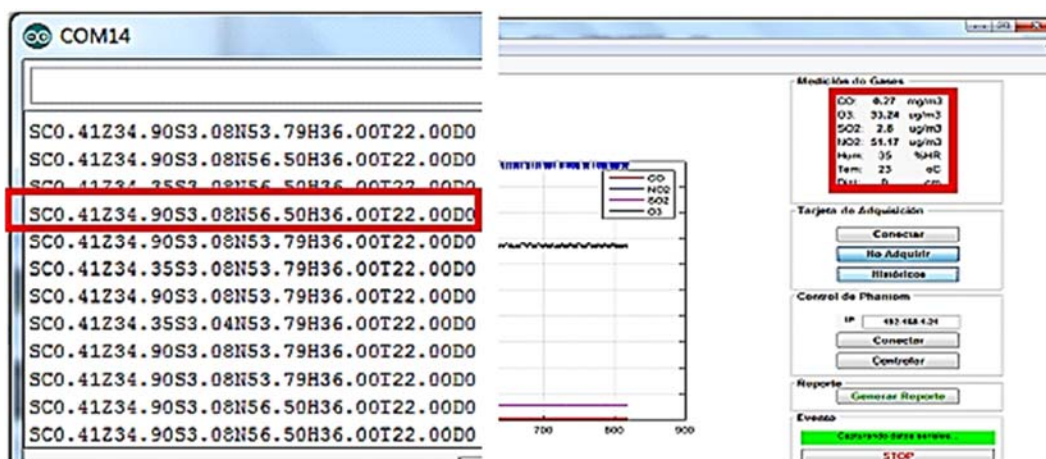


Figura. 11. Trama de generada en la comunicación entre MRCA y ERT

En la aplicación Phantom Bridge diseñada en Android Studio (Ribas Lequerica, 2013) sirve de puente de comunicación, en esta se presenta el estado de la conexión, activo con el



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
Revista Publicando, 3(9). 2016, 61-80. ISSN 1390-9304

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. 13.

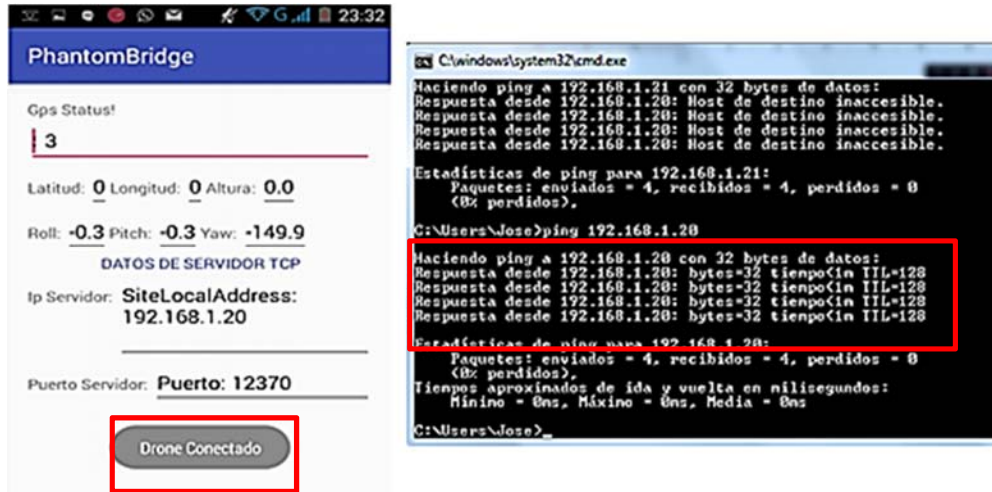


Figura. 12. Comprobación del estado de la red

C. Evaluación del algoritmo de control.

Se evaluó el algoritmo de control considerando dos ambientes vuelo simulado y vuelo real:

Por medio de simulación aplicando parámetros iniciales en los ejes, al ser registrando las coordenadas “x”, “y”, “z”; y el ángulo inicial. Como resultado de esta prueba se obtiene una respuesta similar al vuelo del MRCA, y a la trayectoria pre-programada, como se aprecia en la Figura 14, (Catalan, 2013). (V. H. Andaluz, 2015).

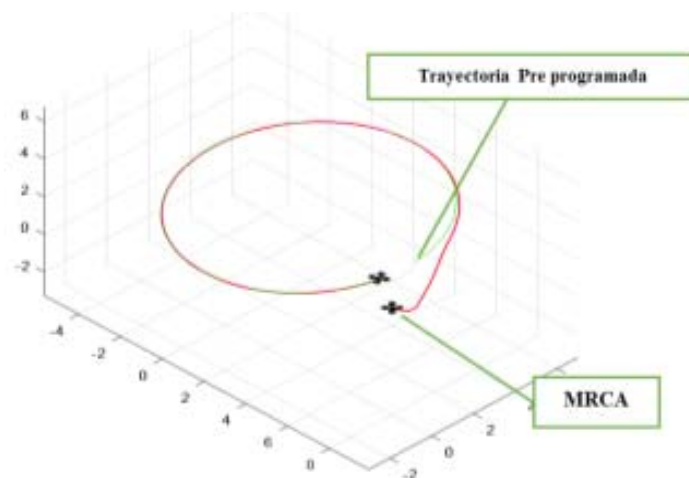




Figura. 13. Trayectoria pre programada del UAV simulada.

La evaluación en vuelo real se realizó ingresando los parámetros utilizados en las pruebas de vuelo simulado. La respuesta del MRCA con el algoritmo de control en vuelo real se muestra en la Figura.15, donde se aprecia que el MRCA se ajusta a la trayectoria con un ligero desvío debido a fuentes externas producidas por la atmosfera. (Bejarano, 2016).

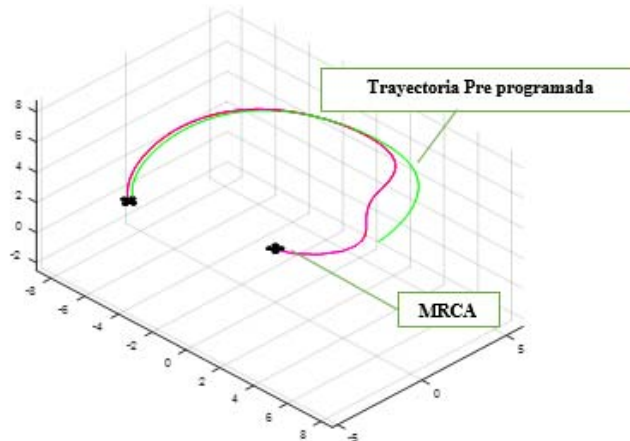


Figura. 14. Trayectoria pre programada en vuelo real

Los errores de posición se consideran desde que el MRCA despegue hasta que se ubica en la trayectoria pre-programada. El algoritmo aplica la ecuación (5) cuando se sale de la trayectoria obteniendo la aproximación a cero. El cálculo del posicionamiento se basa en algoritmos repetitivos y en cada uno de ellos el error disminuye hasta alcanzar el mínimo hasta insertarse en la trayectoria. En la Figura. 16 y 17, se aprecian los errores de posición simulado y en vuelo real respectivamente. (V. H. Andaluz, 2015)

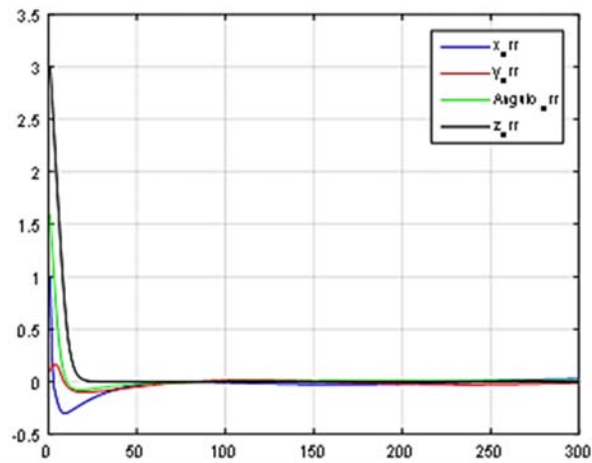


Figura. 15. Errores de posición simulados del MRCA

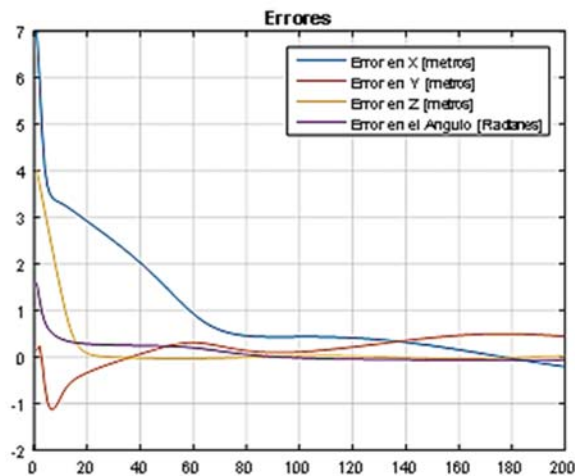


Figura. 16. Errores de posición en vuelo real del MRCA

IV. CONCLUSIONES

- Se implementa el sistema UAVSCCA que controla el vuelo pre programado de trayectoria que en conjunto con los sensores se constituye el MRCA, permite la supervisión en línea de la calidad del aire en lugares de difícil acceso, Por medio de comunicación WiFi y radiofrecuencia.



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

Revista Publicando, 3(9). 2016, 61-80. ISSN 1390-9304

- En las pruebas realizadas, la comunicación por RF está ligada a la altitud del MRCA 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 seis terminales libres en el MRCA para incorporar nuevos sensores digitales u analógicos. Pero esta estará en dependencia del peso que pueda levantar la aeronave.
- En la simulación se determina el que el algoritmo diseñado sigue la trayectoria y en la experimentación se comprueba que a pesar de existir condiciones que afectan tanto la posición como la orientación, el algoritmo busca corregir su trayectoria lo que demuestra la validez de su diseño.
- La información de las seis variables de calidad de aire que supervisa el UAVSCCA se almacena en un archivo que constituye un elemento de ayuda para generar bases de datos históricas que permitan incorporar nuevas investigaciones y políticas del cuidado del medio ambiente.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borrell, G. (2007). *Introducción Informal a Matlab y Octave*. Madrid.
- 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. (18 de 05 de 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. (27 de 04 de 2016). *Monitorización Polución Drones*. Obtenido de todrone:
<http://www.todrone.com/monitorizacion-polucion-drones/>
- Catalan, I. M. (2013). *Desarrollo de un cuadricóptero*. Zaragoza.
- Chicaiza, F., & Rivas, D. (26 de 04 de 2006). *repositorio digital espe*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9302/1/AC-ESPEL-ENI-0335.pdf>
- Custodio Ruiz, A. (18 de 09 de 2016). *SENSORES INTELIGENTES : LA REVOLUCIÓN DE LA INSTRUMENTACION*. Obtenido de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/9745/Article015.pdf?sequence=1>



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
Revista Publicando, 3(9). 2016, 61-80. ISSN 1390-9304

- 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.
- Juan, M. (1996). *Contaminación del aire en la Argentina*. (E. Universo, Editor) Obtenido de <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/MonoxiCar.htm>
- Kot, T., Krys, V., Mostyn, V., & Novak, P. (2014). Control system of a mobile robot manipulator. *Control Conference (ICCC), 15th International Carpathian*, 258 - 263
- MCI, I. (01 de 09 de 2016). <http://xbee.cl/>. Obtenido de <http://xbee.cl/xbee-pro-900-xsc-rpsma/>
- Nahavandi, S., Mullins, J., Fielding, M., Abdi, H., & Najdovski, Z. (2015). Countering Improvised Explosive Devices through a multi-point haptic teleoperation system. *Systems Engineering (ISSE)*, 190-197.
- 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.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo . (2013). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 - 2017*. Quito, Ecuador: Senplades.
- ShareAlike, C. C. (01 de 09 de 2016). *Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>
- V. H. Andaluz, F. A. (2015). *Construction of a Quadcopter for Autonomous and Teleoperated Navigation*. Estoril: IEEE .