

Medición de contaminación mediante UAV (vehículo aéreo no tripulado)

Mundo Fesc
No.11,Enero-Junio
2016
ISSN:2216-0353
E-ISSN:2216-0388
PP:16-26

Measurement of pollutions by UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

Edwin José Vera-Rozo¹

Resumen

Este artículo presenta un procedimiento experimental cuyo objetivo es obtener la medición de contaminación en un relleno sanitario (basurero) mediante un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV); La metodología utilizada consistió en realizar un procedimiento detallado para la instrumentación de UAV, el cual fue equipamiento con un sistema para la captura y almacenamiento de datos referente a las variables medidas en tiempo real, el cual posteriormente se puso en vuelo y luego se realizó el procesamiento de la información offline; para finalizar se presentan los resultados obtenidos y conclusiones.

Palabras claves: Aeromodelo, UAV, Avión, Drones, Gas metano, Humedad, Temperatura, Medición de contaminación, rellenos sanitarios, Gestión de riesgos, aplicación de UAV, Arduino, GPS.

Abstract

This paper shows an experimental procedure for pollution measuring by a Unmanned Aerial Vehicle (UAV), The methodology used is to perform a detailed plan for the instrumentation of UAV, it was equipped with a system for capturing and recording data concerning the variables measured in real time, which flew later and then the information processing was done offline; finally the results and conclusions are presented.

Keywords: Model aircraft, UAV, Airplanes, Drones, methane gas, humidity, temperature, pollution measurement, pollution in landfills, risk management, application of UAVs, Arduino, GPS.

¹Ingeniero Electrónico, edwinjvr@unipamplona.edu.co, Universidad de Pamplona, Cúcuta- Colombia.

Recibido: 1 nov 2015
Aceptado: 20 dic 2015

Forma de citar: Vera, E.J. (2016). Medición de contaminación mediante UAV (vehículo aéreo no tripulado). Mundo Fesc, 11, 16-26.

Medición de contaminación mediante UAV (vehículo aéreo no tripulado)

1. INTRODUCCIÓN

Los vehículos aéreos no tripulados UAV (unmanned aerial vehicle) constituyen una opción tecnológica importante en el contexto de diversas aplicaciones de ingeniería (Vera, 2012), (Morar et al, 2012), (Khalil et al, 2010), (Nong et al, 2011), (Yao et al, 2010), (Ljung, 1999); en las cuales se requiere una capacidad de inspección a distancia, bien sea por facilidades logísticas y/o técnicas o para preservación de la integridad humana. Tales aplicaciones incluyen: monitoreo estructural en puentes y edificios (Hammer et al, 2007), detección de fallos en sistemas de interconexión eléctrica (Montambault et al, 2010), cartografía aérea (Gademer et al, 2009), análisis meteorológico en condiciones climáticas extremas (Wang et al, 2011), monitoreo radiactivo y sistemas de seguridad (Pollanen et al, 2009), entre otras.

De otro lado, la medición de los niveles de contaminación como la emisión de CH₄ (Gas metano) en rellenos sanitarios (basureros) es una necesidad y obligación de las alcaldías para garantizar un adecuado tratamiento de los residuos allí depositados.

Actualmente no se tienen antecedentes sobre el uso de UAV en rellenos sanitarios, por lo que utilizar aeromodelos es una solución novedosa y viable en la medición de la contaminación.

Un elemento importante en el procedimiento experimental propuesto recae en la reproductividad que ofrece para otras aplicaciones en ingeniería que impliquen adquisición de datos digitales en tiempo de ejecución y de análisis de información fuera de línea.

En la primera parte de este artículo se describe el procedimiento experimental propuesto, la segunda parte aborda la instrumentación del UAV, la tercera parte incluye el tratamiento de datos offline y los resultados de dicho tratamiento son mostrados en la cuarta sección. Finalmente se presentan algunas conclusiones respecto a los resultados de la aplicación del procedimiento propuesto.

1. Procedimiento experimental propuesto

En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques que resume las etapas del procedimiento experimental desarrollado con el objetivo de obtener niveles de contaminación en lugares donde se realizan procesos de relleno sanitario de residuos orgánicos e inorgánicos.

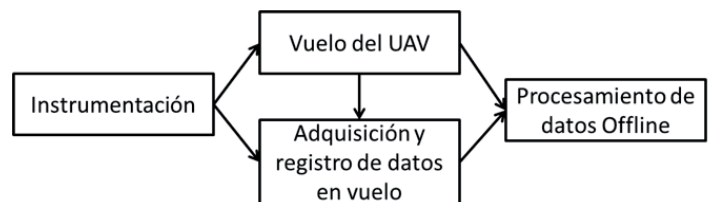


Figura 1. Diagrama de bloques del procedimiento experimental.

Fuente: Autores

- Instrumentación: etapa encargada de la adaptación, configuración y programación de cada uno de los dispositivos electrónicos nece-

sarios para la medición y registro en tiempo real de la(s) variable(s) de interés, dispositivos de control y navegación necesarios en la aeronave para su vuelo seguro y confiable.

- Vuelo del vehículo aéreo no tripulado (UAV): etapa en la que se establecerá visualmente en tierra, un área específica de vuelo, se analiza la zona de despegue y aterrizaje, se verifica el funcionamiento total de la electrónica e instrumentación del UAV y posteriormente a esta verificación se realizan varios vuelos de prueba y registro de datos.
- Adquisición y registro de datos en vuelo: esta etapa se realiza en paralelo al vuelo, y se registra en tiempo real la medición de cada una de las variables de interés mediante los respectivos sensores instalados, en un dispositivo de almacenamiento a bordo del UAV. La señal obtenida por los respectivos sensores y el GPS son preprocesador para convertir a un valor digital que se graba en una shield MICRO SD a través de rutinas de código realizadas en ARDUINO®.
- Procesamiento de datos offline: una vez en tierra se extraen los datos registrados en la micro SD, que ya incluyen georeferenciación mediante los datos del GPS, y se procede a reconstruir un mapa 3D utilizando la herramienta GOOGLE MAPS®. Los niveles de contaminación obtenidos ofrecen una gran ayuda a las empresas prestadoras del servicio de aseo en su control de emisión de gases tóxicos.

2. Instrumentación del UAV y elementos adicionales al sistema.

Para poder aplicar el procedimiento propuesto, es necesario configurar un sistema que facilite la adquisición y registro de datos con los cuales posteriormente sea posible analizar los niveles de contaminaciones presentes en la zona de desechos orgánicos y residuales. Para este propósito se construyó un avión “ala zagi” con dos motores brushless en configuración pusher.

2.1 configuración del prototipo en tierra

En la Figura 2 se observa el UAV “ala zagi” utilizando dos motores TURNIGY 2627-1200 en configuración pusher para su propulsión, en sus extremos se adecuan los winglets de carton-plas para una mejor estabilidad en vuelo, como actuadores utiliza dos servomotores TURNIGY TGY-S3317M para el control de alerones, receptor TURNIGY 9CH, para el control del PWM (pulse – width modulation) de los motores utiliza speed control HOBBY KING 20ª UBEC, y baterías LIPO TURNIGY 2200 mA, 3C.



Figura 2. UAV ala zagi.

Fuente: Autores

- Motores: Como motores de propulsión utiliza dos brushless marca Turnigy en configuración pusher de referencia TURNIGY 2627-1200 ilustrados en la Figura 3. Dichos motores poseen las características descritas en la Tabla 1.



Figura 3. Motor pusher.

Fuente: (hobbyking, 2016)

Tabla 1. Especificaciones técnicas del motor TURNIGY 2627-4200.

Kv(rpm/v)	4200
Peso (g)	39
Máxima Corriente (A)	22
Resistencia (mh)	0
Máximo Voltaje (V)	11
Potencia (W)	130

- Actuadores: para cada eje de rotación se emplearon servomotores de referencia TURNIGY TGY-S3317M, ilustrados en la Figura 4 y con especificaciones según la Tabla 2.

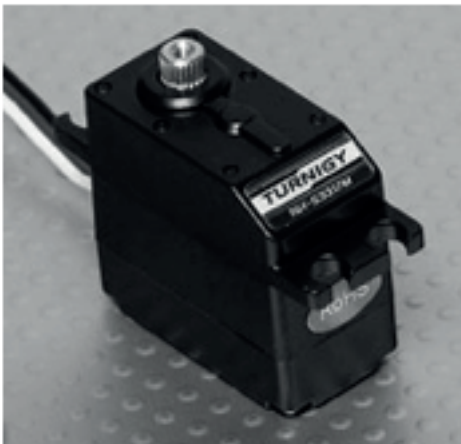


Figura 4. Servomotores.
Fuente: (hobbyking, 2016)

Tabla 2. Especificaciones técnicas del Servomotor TURNIGY TGY-S3317M.

Peso (g)	26
Torque (kg-cm)	3
Velocidad (s/60°)	0.14
Potencia [W]	2.5
Alimentación [V]	5
Corriente Nominal [A]	0.5

Fuente: (hobbyking, 2016) .

- Speed Control: Los controladores de velocidad para los motores utiliza dos speed control marca Hobbyking de referencia HOBBYKING 20A ESC 3A UBEC ilustrados en la Figura 5. Y con las especificaciones de la Tabla 3.



Figura 5. Speed Control.
Fuente: (hobbyking, 2016)

Tabla 3. Especificaciones técnicas del speed control referencia HOBBYKING 20A ESC 3A UBEC

Peso (g)	30
UBEC (A)	3
ESC (A)	20
Tipo de motor	Brushless
Batería	2-4 Celdas
Corriente Nominal [A]	0.5

Fuente: (hobbyking, 2016)

- Baterías: Como fuentes de alimentación necesarias para generar la corriente suficiente a los motores se utilizaron baterías marca Turnigy de referencia TURNIGY 2200 mA ilustrados en la Figura 6, y descritas en la Tabla 4.



Figura 6. Baterías LIPO.
Fuente: (hobbyking, 2016)

Tabla 4.
Especificaciones técnicas de las baterías referencia TURNIGY 2200 mA 3S 20C Lipo Pack.

Peso (g)	188
Capacidad (mAh)	2200
Descargable	20
Celdas	3
Máxima tasa de carga	2

Fuente: (hobbyking, 2016)

- Shield GPS. Como dispositivos de captación de posición geo-referenciada o coordenadas del avión, se empleó una shield o tarjeta adaptable de referencia Shield GPS (sparkfun, 2016) (ver Figura 7) con disponibilidad comercial a través del fabricante (sparkfun, 2016)



Figura 7. GPS Shield.
Fuente: (sparkfun, 2016)

- Shield Micro SD. Como dispositivos de almacenamiento de las posiciones geo-referenciadas o coordenadas del avión y de los datos de los sensores se utiliza una shield o tarjeta adaptable de referencia Shield SD y MicroSD (seeedstudio, 2016) (ver Figura 8) con disponibilidad comercial a través del fabricante (seeedstudio, 2016).

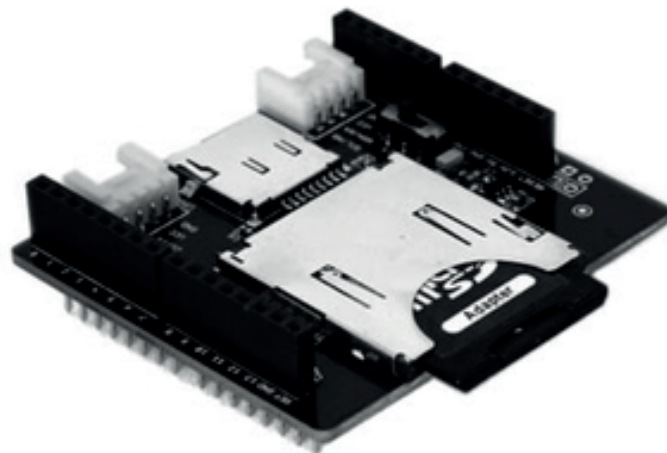


Figura 8. Micro SD Shield.
Fuente: (pololu, 2016)

- Sensor de Temperatura y Humedad. Se empleó un dispositivo de referencia DHT11 (ver Figura 9) con disponibilidad comercial a través del fabricante (digikey, 2016) y especificaciones técnicas en la tabla 5.



Figura 9. Sensor humedad y temperatura.
Fuente: (digikey, 2016)

Tabla 5.

Especificaciones técnicas DTH11

Rango de humedad relativa	20-90% RH
Rango de temperatura	0-50 °C
Voltaje alimentación	3-5.5 Volts
Corriente	0.5-2.5mA

Fuente: (digikey, 2016)

- Sensor de Gas Metano MQ4: se empleó un dispositivo de referencia MQ4 (ver Figura 10) con disponibilidad comercial a través del vendedor (dynamoelectronics, 2016) y las especificaciones técnicas se presentan en la tabla 6



Figura 10. Sensor CH4 - gas metano.

Fuente:(dynamoelectronics, 2016)

Tabla 6.

Especificaciones técnicas DTH11

Rango de CH4	200-10000 ppm
Voltaje alimentación	5.0 olts
Potencia consumo	750 mW

Fuente: (dynamoelectronics, 2016)

- Radiocontrol. Las señales de mando para los actuadores, fueron transmitidas hacia el UAV empleando dispositivos de comunicación por radiofrecuencia para este caso particular un radiocontrol TURNIGY-ER-9X (ver Figura 11).



Figura 11. Radiocontrol.

Fuente: Autores

- Arduino Duemilanove. Como dispositivos de control para cada una de las variables leídas, procesada y guardadas a bordo del avión, se empleó un microcontrolador de la familia ARDUINO de referencia ARDUINO DUEMILANOVE (ver Figura 12) con disponibilidad comercial a través del fabricante (digikey, 2016). Las características técnicas para dicho sensor se resumen en la Tabla 7.

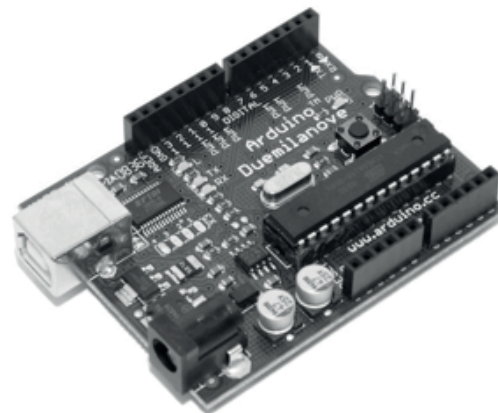


Figura 12. ARDUINO Duemilanove.

Fuente: (digikey, 2016)

Tabla 7.

Especificaciones técnicas del microcontrolador ARDUINO DUEMILANOVE.

Conector USB	Tipo B
Voltaje de Operación (V)	5
Corriente 3.3V (mA)	50
Corriente 5V (mA)	500
Voltaje de entrada (V)	7-12

Fuente: (arduino, 2016)

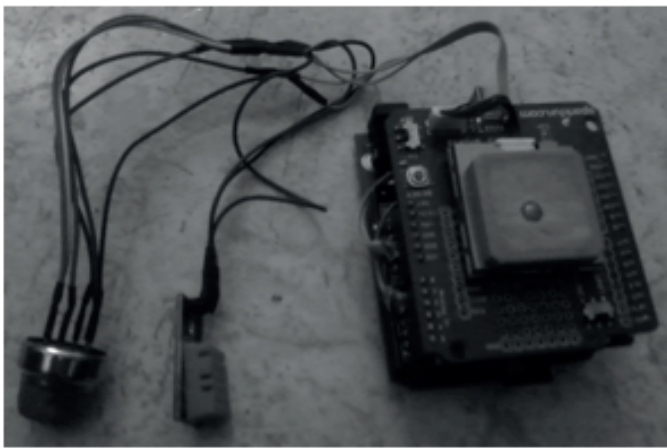


Figura 13. Instrumentación para captura y almacenamiento de datos en vuelo: Shield GPS, Shield Micro SD y Arduino UNO, Sensor Gas Metano MQ4, Sensor humedad y temperatura.

Fuente: Autores

2.2 Prototipo para pruebas en aire

Una vez configurada y verificada la instrumentación de control del UAV y de captura y almacenamiento de datos, el paso siguiente consistió en realizar la adquisición de información de los niveles de contaminación con el aeromodelo sobre la zona de desechos orgánicos y residuales. Para ello se contó con el diseñador, constructor y piloto de UAVs Ing. Vera Rozo, Edwin. (2012) el cual suministró el avión a escala que se muestra en la Figura 2 para la realización de las pruebas respec-

tivas y el vuelo para la medición de datos.

Las características principales del aeromodelo se resumen en la Tabla 8. Así mismo un detalle de la ubicación de los actuadores y de los sensores en el vehículo se ilustra en la Figura 10.

Tabla 8.

Especificaciones técnicas del aeromodelo.

Aeromodelo	
Tipo de avión	Ala Zagi
Envergadura	1.2 m
Material	Balso, Icopor, Aluminio, Vinilo
Peso	800 g
CG	18 cm de la punta
Motor Brushless	TURNIGY 2627-4200
Speed Control	HOBBYKING 20/25 A
Batería	LIPO TURNIGY 3C 2200 mA

Fuente: Autores

3. Análisis de los datos adquiridos por el UAV

Aplicando los pasos sugeridos en la Figura 1, se obtuvieron los siguientes datos con sus respectivos análisis para dos vuelos realizados.

La Figura 14 muestra el archivo .xls que fue grabado en vuelo en MICRO SD con los valores de GPS (tiempo, latitud, longitud), velocidad, fecha de vuelo, nivel de gas metano, humedad y temperatura.

A1	time,lat,long, speed,date,ch4,h				
	A	B	C	D	E
465	18:40:22,+07 22.1777,-072 37.6491,000.18,2014-10-19,369,57.0,22.0				
466	18:40:23,+07 22.1777,-072 37.6490,000.18,2014-10-19,361,57.0,22.0				
467	18:40:24,+07 22.1777,-072 37.6490,000.18,2014-10-19,370,57.0,22.0				
468	18:40:25,+07 22.1778,-072 37.6489,000.18,2014-10-19,370,58.0,22.0				
469	18:40:26,+07 22.1778,-072 37.6489,000.18,2014-10-19,365,57.0,22.0				
470	18:40:27,+07 22.1778,-072 37.6488,000.18,2014-10-19,367,57.0,22.0				
471	18:40:28,+07 22.1778,-072 37.6488,000.18,2014-10-19,366,57.0,22.0				

Figura 14. Valores de GPS y sensores a bordo en archivo .xls.

Fuente: Autores

Posterior a la descarga de datos y utilizando el software GPS VISIALIZER® se convierte esta trama de datos de .xls a .kmz, el cual es uno de los formatos admitidos por GOOGLE EARTH®. La Figura 14 muestra la ventana principal de configuración del software donde se adjunta el archivo .xls, se configura valores de visualización, selección de variables, formato de salida, color, iconos, y algunas otras opciones.

El archivo fue configurado por el ARDUINO con el siguiente formato:

Latitud: {lat}° Longitud: {long}° Velocidad:{speed} Km/h Tiempo: {Time} Elevación:{altitude}m Gas Metano: {ch4} Humedad: {humedad} RH Temperatura: {temperatura} °C, el cual debe ser adjuntado en la pestaña “Desc. Template”.

The screenshot displays the configuration interface of GPS VISIALIZER®. It is organized into several sections:

- General map parameters:** Includes 'Output file type' (set to .kmz (zipped)), 'Units' (Metric), 'Google Earth doc name', 'Add DEM elevation data' (From best available source), and 'Time offset' (2 hrs).
- Track options:** Includes 'Track opacity' (100%), 'Line width' (4), 'Colorize by' (Altitude/elevation), 'Default color' (Red), 'Altitude mode' (Clamped to ground), 'Draw a shadow' (No), 'Tickmark interval', 'Trackpoint distance threshold', 'Max. points per track', 'Draw as waypoints' (Yes, using a custom template), and 'Name template' (Latitude: {lat}° Lon).
- Waypoint options:** Includes 'Waypoint labels' (Labels on waypoints + tickmarks), 'Default icon' (Small circle), 'Icon color' (white), 'Show waypoints' (All), 'Wpt. display padding' (100%), and 'Altitude mode' (Extruded).
- Upload your GPS data files here:** A section for uploading files, with a note that the total size cannot exceed 3 MB. It shows three file slots: File #1 (GPSLOGS...od.CSV), File #2 (Ningún ar...ccionado), and File #3 (Ningún ar...ccionado).

This screenshot shows the main configuration window of GPS VISIALIZER®. It features a large text area for pasting data, a dropdown menu for 'Force plain text to be this type' (set to default), a text input field for 'Or provide the URL of data on the Web:', and a prominent 'Create KML file' button. A checkbox for 'Open in new window' is also visible.

Figura 15. Ventana principal de configuración del software GPS VISIALIZER® para cambio de formato .xls a .kmz.

Fuente: Autores

Para el segundo vuelo seleccionado se realiza el mismo procedimiento que el primer vuelo.

4. Presentación de los resultados - procesamiento offline

Una vez convertido el archivo a .kmz se visualiza ya sea con GOOGLE MAPS® o GOOGLE EARTH®, para este caso particular se utilizó GOOGLE EARTH® permitiendo ver una imagen 3D de la zona de medición, la ruta de vuelo del avión y cada unas de las mediciones realizadas con sus respectivos valores; La Figura 16 (a) y (b) muestra la ruta de vuelo realizada en este primer análisis desde diferentes perspectivas.



(a)



(b)

Figura 16. Ruta del primer vuelo (a) Desde una vista superior (b) Desde una vista perspectiva viendo en el horizonte el municipio de Pamplona para el primer vuelo.

Fuente: Autores

Si se selecciona un punto en particular como se observa en la Figura 17, se ven los niveles de contaminación de CH₄ con un valor de 983 (resolución de 10 bits del ARDUINO® - máximo 1024 equivalente a 10000 ppm - partes por millón) las cuales equivalen a 9600 ppm.



Figura 17. Análisis de un punto en particular ubicado en el interior del relleno sanitario para el primer vuelo.

Fuente: Autores



(a)



(b)

Figura 18. Ruta del segundo vuelo (a) Desde una vista superior (b) Desde una vista perspectiva viendo en el horizonte el municipio de Pamplona para el segundo vuelo.

Fuente: Autores

Nuevamente seleccionando un punto en particular como se observa en la Figura 19, se observa los niveles de contaminación de CH₄ con un valor de 999 (resolución de 10 bits del ARDUINO® - máximo 1024 equivalente a 10000 ppm - partes por millón) las cuales equivalen a 9755 ppm.

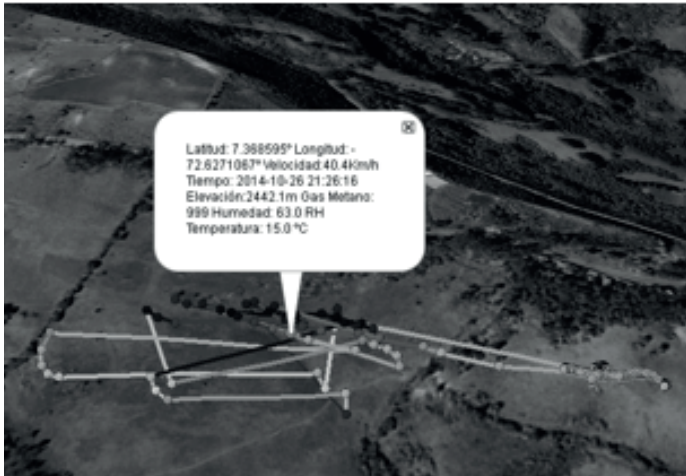


Figura 19. Análisis de un punto en particular ubicado en el interior del relleno sanitario para el segundo vuelo.

Fuente: Autores

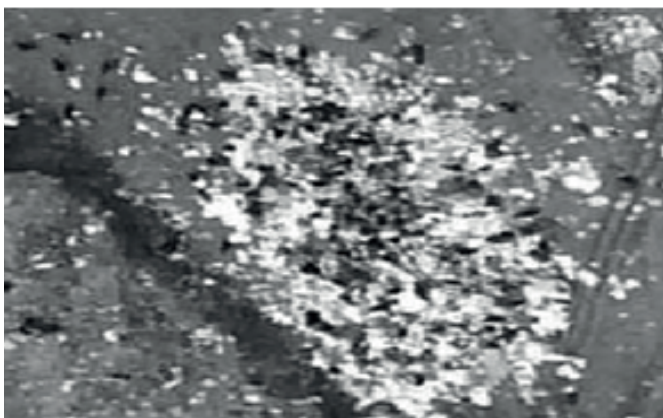


Figura 20. Fotografía aérea (obtenida del video) adquirida por el UAV en el área de medición en el relleno sanitario.

Fuente: Autores

Obteniendo un valor promedio de 9982 ppm al analizar todos los datos en los distintos vuelos en el relleno sanitario del municipio de Pamplona. Usando la tabla 9 que indica los niveles de contaminación, se puede concluir que el relleno sanitario analizado esta entre el nivel bajo-medio, ubicándonos en la frontera entre estas dos clasificaciones. De igual manera en un relleno sanitario de mayor tamaño se podrán identificar zonas de mayor contaminación en donde se hará necesaria la revisión de los procesos allí practicados.

Tabla 9.

Clasificación de niveles de concentración de gas metano CH₄ según ppm para un relleno sanitario.

Nivel	Niveles de concentración de metano CH ₄ en relleno sanitario	
	%	ppm
Alto	5 - 14	50000 – 140000
Medio	2 - 4	20000 – 40000
Bajo	< 1	< 10000

Fuente: Autores

Es conveniente aclarar que la tabla 9 presenta la clasificación para un basurero según los niveles de contaminación registrados, mas no los niveles que mide el sensor CH₄, si los niveles de contaminación aumentan sobre los niveles del sensor, se hace necesario utilizar un sensor con un rango más amplio.

5.CONCLUSIONES

- Con el procedimiento experimental se obtuvieron mapas aéreos de temperatura, humedad y CH₄ del relleno sanitario en el municipio de Pamplona N de S.
- Se desarrollaron procedimientos para la visualización 3D de los niveles adquiridos en plataformas como Google Earth, que son útiles para identificar zonas de mayor o menor contaminación dentro del basurero analizado.
- Mediante el procedimiento presentado se pudo clasificar el relleno sanitario en nivel bajo-medio después de analizar los respecti-

vos datos obtenidos en los vuelos realizados.

- Este procedimiento experimental será de gran utilidad para el análisis de riesgos en este tipo de proyectos de medición de contaminación.
- Si los niveles de contaminación aumentan sobre los niveles del sensor, se hace necesario utilizar un sensor con un rango más amplio.
- Siguiendo el procedimiento presentado en la Figura 1, se recomienda utilizar los componentes presentados para evitar incompatibilidades entre los shields y el controlador.

6.REFERENCIAS

Digikey. (2015). Estados Unidos, EEUU. Recuperado de <http://www.digikey.com>

Dynamo Electronics. (2015). Colombia, CH. Recuperado de <http://http://www.dynamoelectronics.com>

Hammer, A. et al. (2007). Deblurring of UAV aerial images for civil structures inspections using Mumford-Shah / Total variation regularisation. International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis – ISPA, 5th, Estambul.

Hobbyking. (2015). Hong Kong, CH. Recuperado de <http://www.hobbyking.com>

Khalil, B.; Yesildirek, A. (2010). System identification of UAV under an autopilot trajectory using ARX and Hammerstein-Wiener methods. International Symposium on Mechatronics and its Applications – ISMA 7th, Emiratos Árabes.

Ljung, L. (1999). System Identification: Theory for the user. Segunda Edición, New Jersey: Prentice Hall.

Montambault, J. et al. (2010). On the application of VTOL UAVs to the inspection of power utility assets. International Conference on Applied Robotics for the Power Industry – CARPI, 1st, Montreal.
Morar, I.; Nascu, I. (2012). Model simplification of an unmanned aerial vehicle. IEEE International Conference on Automation Quality and Testing Robotics – AQTR. Rumania.

Nong, Y. et al. (2011). System identification of a small unmanned aerial vehicle based on time and frequency domain technologies. World Congress on Intelligent Control and Automation – WCICA, 9th, Taipei.

Plataforma de desarrollo Arduino. (2015). Italia, IT. Recuperado de <http://www.arduino.cc>

Pollanen, R. et al. (2009). Radiation surveillance using an unmanned aerial vehicle. Applied Radiation and Isotopes. Vol 67. N° 2. pp 340-344. Elsevier.

Pololu. (2015). Estados Unidos, Las Vegas. Recuperado de <http://www.pololu.com>

Seedstudio. (2015). Estados Unidos, EEUU. Recuperado de <http://www.seedstudio.com>

Sparkfun. (2015). Estados Unidos, EEUU. Recuperado de <http://www.sparkfun.com>

Vera, E. (2012). Validación experimental del modelo de dos ejes de un avión a escala (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Wang, Y. et al. (2011). Meteorological UAV Pitot-static tube wind error source and sensitivity analysis. International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering – RSE-TE. China.

Yao, J. et al. (2010). Study on UAV flight based identification technology. Chinese Control Conference, 29th, Beijing.