

XVIII Simposio de Ingeniería Eléctrica 2019

Análisis y Detección de fallos en Logs del Quadcopter X4 GARP

Analysis and Detection of failures in Logs of the Quadcopter X4 GARP

**Ing. Ailet Abreu López¹, Dr.C Eduardo Izaguirre Castellanos², Dr.C José Rafael
Abreu García³**

1- Ing. Ailet Abreu López. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara. Cuba. (aileta@uclv.cu)

2- Dr. Eduardo Izaguirre Castellanos. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. (izaguirre@uclv.edu.cu)

3- Dr. José Rafael Abreu García. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. (abreu@uclv.edu.cu)

Resumen: Los vehículos aéreos no tripulados (VANT), han alcanzado un auge en los últimos años dadas sus aplicaciones tanto en el ámbito civil como militar, estos pueden tener diferentes formas, tamaños, configuraciones y características. Por sus complejidades, su estudio resulta un gran reto, donde la posibilidad de la detección de fallos constituye un elemento fundamental a la hora de evitar roturas y averías que pudieran poner en peligro la misión asignada al vehículo. El conocimiento de los fallos que pueden ocurrir durante el vuelo es de vital importancia, por tanto, en esta investigación, se realiza una caracterización de los fallos que pueden presentarse en el quadcopter X4 GARP con vistas a disminuir la ocurrencia de posibles fallos. Además, se efectúa un análisis de los registros de datos de vuelo almacenados en el piloto automático del vehículo a partir del procesamiento de estos, en función de optimizar el disparo de las transiciones del modelo de fallos con Redes de Petri (RdP) realizado con anterioridad aplicado al quadcopter X4 GARP.

Abstract: *The unmanned aerial vehicles (UAV), have reached a boom in recent years given their applications in both civil and military, these may have different shapes, sizes, configurations and features. Because of its complexities, its study is a great challenge, where the possibility of fault detection is a fundamental element when it comes to preventing breakages and breakdowns that could endanger the mission assigned to the vehicle. The knowledge of the faults that may occur during the flight is of vital importance, therefore, in this investigation, a characterization of the faults that can occur in the X4 GARP quadcopter is made in order to reduce the occurrence of possible failures. In*

addition, an analysis of the flight data records stored in the vehicle's autopilot is performed from the processing of these, in order to optimize the triggering of the transitions of the fault model with Petri Nets (RdP) performed previously applied to the X4 GARP quadcopter.

Palabras Clave: Caracterización de fallos; Detección de fallos; Vehículos Aéreos; Análisis de Logs.

Keywords: *Fault characterization; Fault detection; Air Vehicles; Analysis of Logs.*

1. Introducción

Los vehículos aéreos no tripulados tienen su origen junto a los vehículos tripulados, surgiendo con el objetivo de mejorar los diseños de estos últimos. Un VANT se define como una aeronave que vuela sin piloto a bordo y que es controlada a distancia desde una estación (tierra, espacio u otra aeronave) o que ha sido programada y es plenamente autónoma (Pardo Ibarra, 2016).

Los VANT, están compuestos por varios subsistemas interconectados entre sí. El control de estos se realiza de dos formas principales una remota y otra autónoma (Hoz Simón, 2015) plantea que existen 3 elementos que caracterizan el control de los mismos: la estación terrestre, el segmento aéreo (vehículo) y el enlace de datos.

La utilización de los VANT tiene un gran número de ventajas respecto de los vehículos aéreos tripulados (Redondo et al., 2018), entre ellas su uso en zonas de alto riesgo o difícil acceso, y la no existencia de un piloto a bordo de la aeronave, por lo que no hay riesgo para su vida facilitando la realización de movimientos con aceleraciones. Entre las desventajas, la aparición de fallos que pueden afectar el desempeño de la misión (Hayhurst et al., 2006; Johry and Kapoor, 2016; Mahony et al., 2012), la limitación en el tiempo de vuelo por razones energéticas (Telford and Galloway, 2015) y la posibilidad de ser hackeados o neutralizados, siendo vulnerables ante afectaciones de los canales de comunicación (Mancini et al., 2007).

Por lo antes planteado la detección de fallos constituye un elemento fundamental a la hora de evitar roturas y averías que pudieran poner en peligro la misión asignada al vehículo. Por tanto, se hace necesario definir los conceptos de fallos y averías:

Fallo: es una desviación de al menos una característica o propiedad (comportamiento) del sistema de una condición estándar o de un comportamiento deseado (Johry and Kapoor, 2016).

Avería: es una interrupción permanente que impide al sistema mantener la capacidad de comportarse bajo ciertas especificaciones de operación.

Teniendo en cuenta la importancia que reviste la detección de fallos es que instituciones, centros de investigación y varias universidades en todo el mundo han realizado proyectos e investigaciones enfocadas en los fallos que se pueden presentar en los VANTs como es el caso de las realizadas por (Bauer et al., 2018; Ducard, 2015; Dybsjord, 2013; Johry and Kapoor, 2016; Ma, 2011; Revill, 2016). En otras investigaciones (Albrigtsen, 2016; Helton and Russell, 2017; Laarouchi et al., 2017), se determinan los factores causales probables en los accidentes de VANTs basados en el análisis del factor humano. En las consultas efectuadas en la literatura especializada no se han encontrado referencias que trabajen en este importante tema en Cuba, aun cuando ya se han venido dando los primeros pasos en el uso de los vehículos aéreos donde se destacan las aplicaciones llevadas a cabo por el Grupo de Automatización, Robótica y Percepción (GARP) de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas (UCLV) en el campo de la fotometría área. El GARP posee una serie de VANTs que se utilizan en la realización de misiones. Entre estos se encuentra el quadcopter X4 GARP. Este ha presentado fallos en su operación y no se dispone de un sistema que sea capaz de analizar la información extraída del controlador de vuelo y detectar los fallos que ocurrieron durante la misión con el objetivo de obtener en investigaciones futuras un sistema en línea que detecte los fallos en tiempo real.

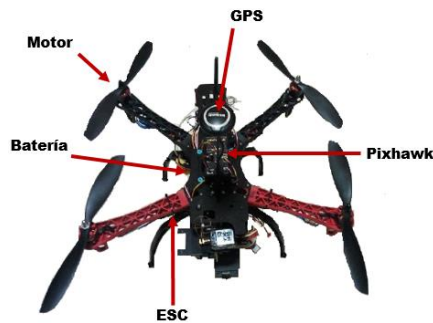
El documento está estructurado de la siguiente forma, en el primer epígrafe se realiza una breve descripción del vehículo teniendo en cuenta los principales fallos asociados a estos, posteriormente se presenta el analizador de los logs del vehículo, en el tercer epígrafe se muestran los resultados obtenidos del procesamiento de los logs.

2. Descripción del Quadcopter X4 GARP

Los vehículos aéreos no tripulados tienen su origen junto a los vehículos tripulados, surgiendo con el objetivo de mejorar los diseños de estos últimos (Esteban et al., 2015). Un Vehículo Aéreo no Tripulado (VANT) se define como una aeronave que vuela sin piloto a bordo y que es controlada a distancia desde una estación (tierra, espacio u otra aeronave) o que ha sido programada y es plenamente autónoma (Pardo Ibarra, 2016).

Los VANT pueden clasificarse de varias formas, entre ellas por sus alas encontrándose los vehículos de ala fija y los de ala rotatorias, estos últimos están compuestos generalmente por cuatro motores con sus hélices pudiendo llegar hasta ocho o más

motores. Destacan por sus ventajas entre ellas el despegue y aterrizaje en vertical, posibilidad de volar en un punto fijo y mayor precisión y maniobrabilidad (Cuerno Rejado et al., 2016). El Quadcopter objeto de aplicación en esta investigación es el X4 GARP perteneciente al laboratorio de investigaciones del Grupo de Automática, Robótica y Percepción de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.



Motores	Modelo DJI 2212-920 Kv
Controlador Electrónico de Velocidad	Modelo Simonk
Controlador de Vuelo	3DR PX4 Pixhawk, incorpora una unidad inercial de medición IMU
Batería	3DR 4S 6000 mAh Voltaje Nominal 16.8 V

Figura 1. Características del Quadcopter X4 GARP.

A lo largo de las experiencias acumuladas de las diferentes misiones de vuelo, el vehículo ha visto en varias ocasiones comprometida su misión producto de que se han presentado varios fallos que han traído como consecuencia la interrupción de misiones importantes y un arduo trabajo para determinar el motivo que provoco el fallo. Es por ello, que resulta de gran importancia la existencia de un sistema capaz de analizar y determinar la posible existencia de fallos fuera de línea para este tipo de vehículo aéreo, haciendo uso de los datos almacenados en el controlador de vuelo del vehículo.

Entre las principales ramas asociadas a los sistemas de control, el diagnostico de fallos constituye una de las que en estos momentos más se está trabajando, con el propósito fundamental de obtener sistemas que sean más fiables y que tengan mayor seguridad, siendo estos requerimientos esenciales para poder cumplir con las tareas asignadas, un ejemplo común en el ámbito de los VANTs es su uso para misiones de inspección de líneas eléctricas y para búsquedas en zonas intrincadas, donde, un fallo en estos causaría la pérdida de la misión y del vehículo.

Clasificación de los fallos

En los VANTs, los fallos y averías pueden ser de varios tipos y pueden afectar tanto al controlador de vuelo, actuadores, sensores o cualquier componente que sea propenso a sufrir algún daño y por consiguiente ponga en peligro la misión que se esté desarrollado o el vehículo. A continuación, se muestran los fallos y averías que causan la pérdida de la aeronave o una misión fallida.

Fallos de sensores

Un sensor es un dispositivo que computa las señales de estados internos de un sistema para luego convertirlas en las señales de salida que pueden ser utilizadas por el especialistas (Ma, 2011). Los fallos de los sensores pueden ser peligrosos y fáciles de detectar o críticos y difíciles de detectar. En (Ducard, 2015; Dybsjor, 2013) se enumeran algunos fallos comunes de sensores. Estos son; desviación (bias), pérdida de exactitud o error de calibración (loss of accuracy or calibration error), deriva (drift), congelación (Frozen).

Fallos de actuadores

En la actualidad los fallos en los actuadores pueden llegar a tener consecuencias muy graves, principalmente para la aeronave. Algunos fallos en los actuadores causan baja eficiencia, consumo elevado de los actuadores y pérdida parcial o total del control del vehículo (Ma, 2011)

En el caso de los vehículos de ala rotatoria, los actuadores son los motores que permiten el movimiento de las hélices para sustentar el vehículo en el aire. En (Johry and Kapoor, 2016) se definen dos aspectos importantes en estos; desgaste operacional del motor y avería total de un grupo de propulsión.

Fallo de comunicación

Los VANT poseen un dispositivo receptor/transmisor inalámbrico capaz de transmitir y recibir paquetes de datos hacia y desde la estación en tierra. No obstante, es conocido que las comunicaciones inalámbricas están sujetas a hakeos e interferencias ambientales que obstruyen las señales y bloquean sus trayectorias, introduciendo ecos, ruidos e interferencias. (Johry and Kapoor, 2016)

Fallo de batería

La batería baja podría conducir al mal funcionamiento del hardware al no disponer de suficiente carga para el correcto funcionamiento de los componentes. La perforación de la batería puede causar el incendio de la misma. Algunas baterías tienen un voltaje mínimo por debajo de la cual la batería queda inservible e incluso puede arder o explotar (Martínez Olondo, 2015). Si la batería se avería durante el vuelo, el vehículo no dispondrá de una fuente de energía para su funcionamiento y caerá al suelo.

3. Analizador de Logs. Resultados

A partir del estudio de los principales fallos que se pueden presentar en estos vehículos se dividió el vehículo Quadcopter X4 GARP en 5 subsistemas principales siendo estos;

Batería, Controlador Electrónico de Velocidad (ESC), Motor, Unidad Inercial de Medición (IMU), Módulo GPS.

Antes de pasar al análisis de los fallos utilizando los datos provenientes del controlador de vuelo es importante considerar que el software Mission Planner constituye una poderosa herramienta en la determinación y análisis de fallos presentados durante el vuelo.

Entre las tareas que se pueden realizar con este software se encuentran (“Downloading and Analyzing Data Logs in Mission Planner,” 2017); cargar el firmware (software) en el piloto automático (APM, PX4...) que controla el vehículo, configuración y ajuste del vehículo para un rendimiento óptimo, planificar, guardar y cargar misiones autónomas en el piloto automático, descargar y analizar los registros de misión creados por el piloto automático, monitorizar el estado del vehículo durante la ejecución de una misión, guardar los registros de telemetría para su análisis posterior al vuelo.

Existen dos tipos de registros de vuelo que pueden ser analizados en Mission Planner, ellos son los registros de telemetría (tlogs) y los registros de datos (logs).

Los registros de telemetría son guardados cuando se realiza el enlace de telemetría entre el vehículo y la estación en tierra. Con estos se pueden reproducir de nuevo lo ocurrido durante el vuelo a través de la interfaz gráfica del software. (“Mission Planner Telemetry Logs,” 2017).

Por otro lado, los registros de datos (logs) que son los utilizados en esta investigación, se almacenan en el Pixhawk en una memoria microSD (“Downloading and Analyzing Data Logs in Mission Planner,” 2017). Un log es un registro con todos los datos e incidencias del vuelo. A través de estos registros es posible graficar los datos del vuelo y de esta forma determinar y analizar los fallos presentados durante la operación del quadcopter.

En este software se pueden graficar el comportamiento de varias variables, pero no permite realizar un análisis profundo en términos de conocer cuánto se desvía la medición de una variable del valor deseado (error), u obtener otros valores estadísticos que permitan optimizar y determinar con mayor exactitud la ocurrencia de un fallo. Además, con vistas a una mejor visualización gráfica fueron exportados los datos al software matemático MatLab teniendo en cuenta las facilidades que el software Mission Planner permite para convertir los ficheros logs al formato de datos de MatLab.

El analizador de fallos asociado a las transiciones de la RdP modelada para el VANT tiene como objetivo optimizar el disparo de las transiciones de fallos realizando una

secuencia que permite analizar con mayor exactitud los datos almacenados y determinar bajo criterio de experto y según lo planteado en la bibliografía la ocurrencia de un fallo que en investigaciones futuras pudiera realizarse en línea.

Para determinar los valores umbrales de los vuelos se realizó un análisis profundo de un grupo de datos de vuelos realizados bajo las mismas condiciones por este vehículo, y se procedió a realizar un análisis independiente por cada subsistema como se muestra a continuación.

Subsistema IMU

En este subsistema se analiza el fallo en los acelerómetros, atendiendo a que según la bibliografía en este tipo de sensor en los ejes X e Y los valores de las mediciones deben estar en el rango de -3 a 3 m/s^2 y en el eje Z de -15 a -5 m/s^2 . Además se calcularon los valores máximos y mínimos así como la desviación estándar y la varianza de cada vuelo en los tres ejes, obteniéndose como valores umbrales para las varianzas $\text{varX}=1.00$, $\text{varY}=0.40$ y $\text{varZ}=0.50$ y para las desviaciones estándar $\text{stdX}=1.00$, $\text{stdY}=0.60$ y $\text{stdZ}=0.80$.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de un vuelo correcto y otro con fallo, el vuelo correcto se realizó el día 02 de abril del año 2016, con una duración de 7 minutos volando a una altura máxima de 64 metros y una velocidad de 2 m/s. Antes de realizar el análisis de las señales de los acelerómetros, teniendo en cuenta que estos son sensores sensibles al ruido, se filtraron las señales para realizar el análisis con mayor precisión, los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

Tabla 1. Valores de varianza y desviación estándar para el vuelo sin fallos

	X	Y	Z
Varianza	0.226	0.272	0.167
Desviación Estándar	0.476	0.522	0.408

Mientras que el vuelo con fallos se desarrolló el día 03 de abril del año 2016, con una duración de 6 minutos y 15 segundos, donde en el momento de ocurrir el fallo la altura y la velocidad se van de los parámetros establecidos para la misión. En el análisis realizado se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 2. Valores de varianza y desviación estándar para el vuelo con fallos

	X	Y	Z
Varianza	4.60	0.675	7.763
Desviación Estándar	2.145	0.821	2.786

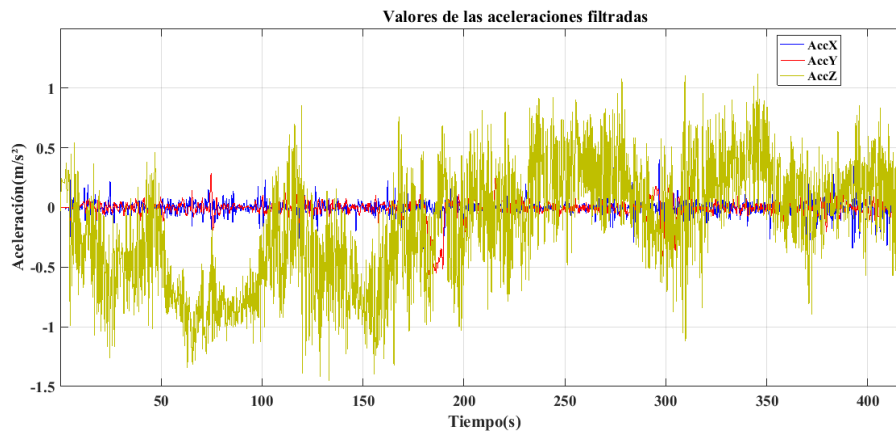


Figura 2. Grafica de las aceleraciones en X, Y, Z filtradas en un vuelo sin fallos.

Como se puede apreciar la figura dos cumple con los requisitos establecidos por la bibliografía mencionados anteriormente sin embargo como se puede observar en la figura 3, las mediciones de las aceleraciones en Z llegan a alcanzar valores que sobrepasan los -30 m/s^2 , por lo que en ese vuelo estaríamos en presencia de un fallo en el subsistema IMU, en la medición de los acelerómetros en el eje Z.

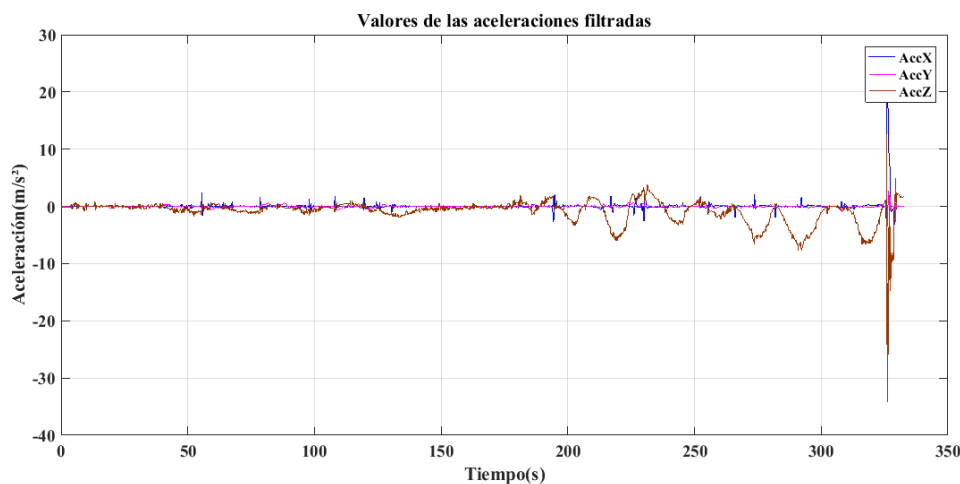


Figura 3. Grafica de las aceleraciones en X, Y, Z filtradas en un vuelo con fallos.

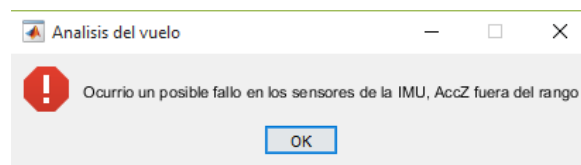


Figura 4. Mensaje mostrado al ocurrir un fallo en la lectura de los acelerómetros.

Subsistema Batería

Este subsistema analiza el fallo provocado por bajo voltaje en la batería, atendiendo a que según la experiencia de los especialistas el voltaje no debe bajar de los 14 volt, a partir de ese valor puede no ser capaz de alimentar al vehículo y por tanto todos sus componentes

fallaran y el vehículo caerá al suelo. En este caso en particular se decidió que se tomaría el valor absoluto de 14 volt y solo se incluiría el tiempo previsto antes que ocurra el fallo que queda a decisión del especialista.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de un vuelo que se realizó el día 03 de abril del año 2016, con una duración de 6 minutos y 25 segundos, volando a una altura máxima de 63 metros y una velocidad de 3 m/s. En los logs que están almacenados en el GARP no ocurre fallo en la batería pues el voltaje se mantuvo por encima del valor permisible en todos los vuelos como se muestra en la figura 5.

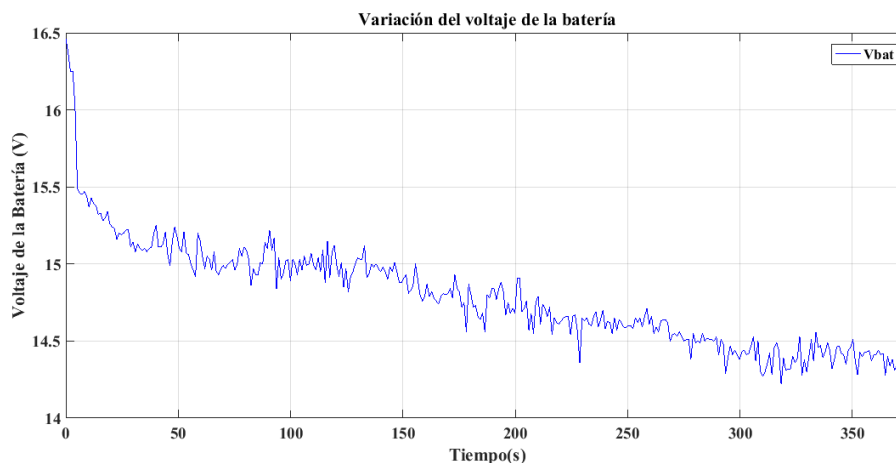


Figura 5. Gráfica de las variaciones del voltaje de la batería para el vuelo sin fallos antes mencionado.

Subsistema GPS

El GPS, según la bibliografía, puede llegar a presentar problemas en caso de que la cantidad de satélites a los que se conecta disminuya, normalmente con 4 satélites se realiza el bloqueo del GPS, por estadísticas realizadas la conexión a los satélites oscila entre 10 y 15, en caso de que estén por debajo de 10 la intensidad de la señal disminuye y por tanto la ubicación del vehículo puede no ser precisa.

En este caso se relacionaron la altura con la cantidad de satélites, atendiendo a que esta es una de las que mayor precisión de la señal necesita. Además, se determinaron los valores máximos y mínimos de la medición de los satélites, así como, el error cuadrático medio de la altura deseada y la medida para correlacionarlo con la cantidad de satélites. Para mostrar los resultados que se obtienen para este subsistema, se analizó un vuelo sin fallos que se realizó el día 03 de abril del año 2016, con una duración de 6 minutos volando a una altura máxima de 60 metros y una velocidad de 3 m/s. A continuación, se muestran las gráficas obtenidas para el número de satélites la cual estuvo en un rango aceptable entre 11 y 14 satélites y la relación entre las alturas deseada y medida mostrada

en la figura 7 donde se puede apreciar una correspondencia muy buena entre la altura deseada y la medida.

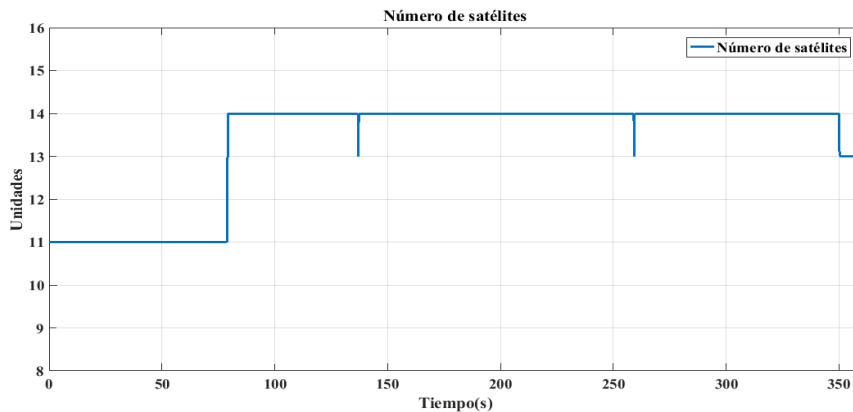


Figura 6. Cantidad de satélites a los que se conectó durante el vuelo.

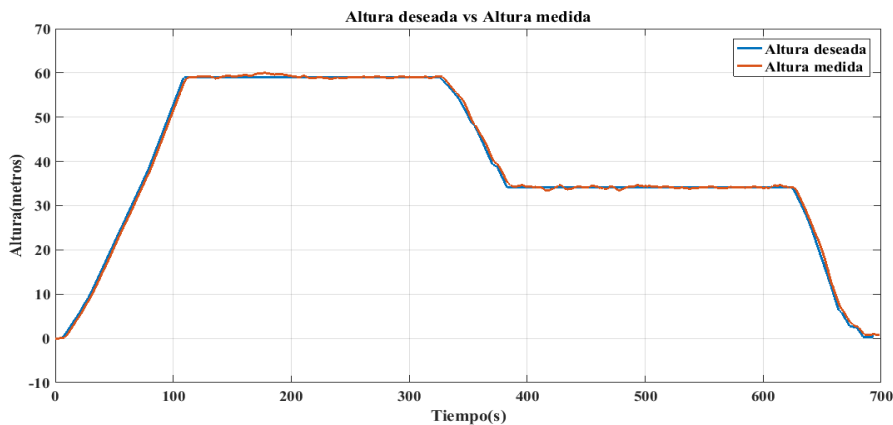


Figura 7. Gráfica que relaciona las alturas deseada y medida para el vuelo.

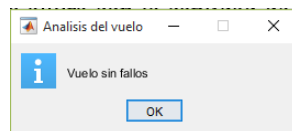


Figura 8. Mensaje para vuelo sin fallo en el subsistema GPS.

Subsistema Motor

Los motores son uno de los componentes principales del VANT, estos como se explicó antes pueden sufrir múltiples fallos que pueden hacer que la misión fracase, atendiendo a los datos que se pueden obtener de momento el fallo que vamos a detectar es el fallo mecánico, visto como una desviación del valor medido con respecto al deseado en los ángulos Roll y Pitch. Con el objetivo de optimizar la detección del fallo se calcularon los Errores Cuadráticos Medio (ECM) de las dos mediciones de los ángulos Roll y Pitch para los vuelos almacenados en el GARP y se tuvieron en cuenta el error máximo para cada ángulo medido, obteniéndose como valores umbrales para los ECM $ECM_{Roll}=0.1$, $ECM_{Pitch}=0.1$ y para los errores máximos $Error_{Máx_Roll}=12$, $Error_{Máx_Pitch}=12$.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de un vuelo sin fallo y otro con fallo, el vuelo sin fallo se realizó el día 03 de abril del año 2016, con una duración de 6 minutos y 50 segundos, volando a una altura máxima de 61 metros y una velocidad de 3 m/s. Los resultados que se obtuvieron del procesamiento de los datos para el vuelo sin fallo son los siguientes:

Tabla 3. Valores de ECM y Error Máximo en los ángulos Roll y Pitch.

	Roll	Pitch
ECM	0.0130	0.0204
Error_Máx	6.94	5.73

Mientras que el vuelo con fallos se desarrolló el día 05 de enero del año 2019, con una duración de 8 minutos, donde en el momento de ocurrir el fallo la altura y la velocidad se van de los parámetros establecidos para la misión. En el análisis realizado se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 4. Valores de ECM y Error Máximo en los ángulos Roll y Pitch.

	Roll	Pitch
ECM	3.0859	0.7440
Error_Máx	180.59	81.54

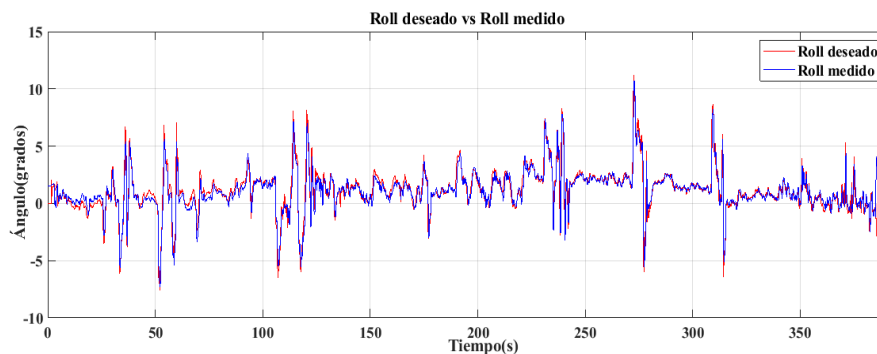


Figura 8. Gráfica que relaciona Roll deseado y medido para el vuelo sin fallo.

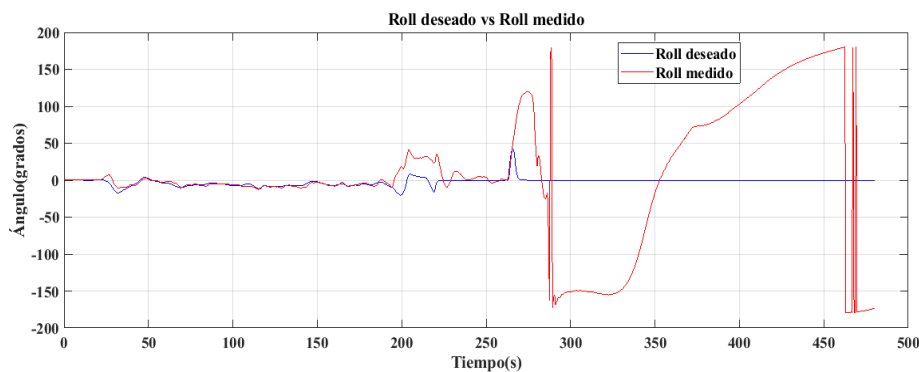


Figura 9. Gráfica que relaciona Roll deseado y medido para el vuelo con fallo.

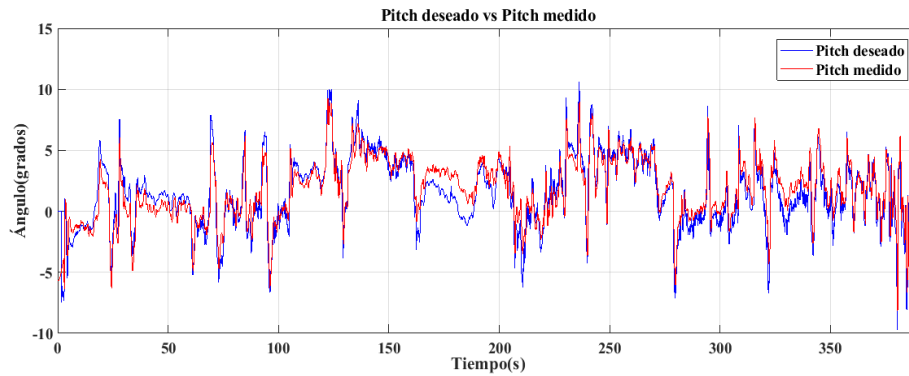


Figura 10. Gráfica que relaciona Pitch deseado y medido para el vuelo sin fallo.

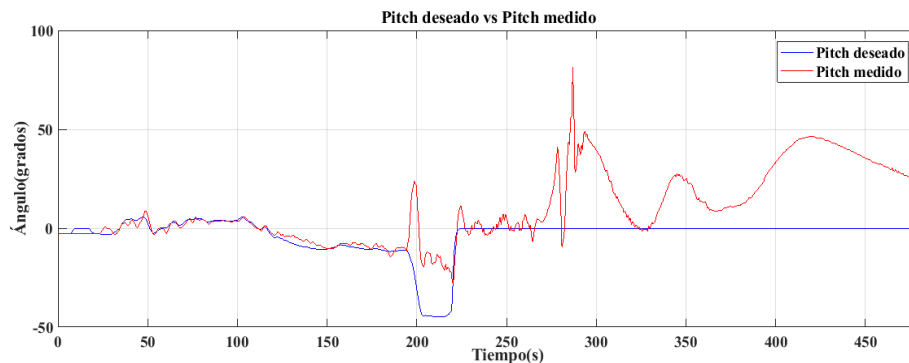


Figura 11. Gráfica que relaciona Pitch deseado y medido para el vuelo con fallo.

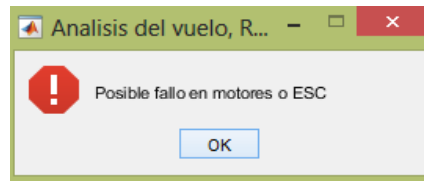


Figura 12. Mensaje para vuelo con fallo en el subsistema Motor.

4. Conclusiones

El analizador de fallos realizado permite determinar con mayor exactitud la ocurrencia de los principales fallos asociados a la operación del vehículo. Con este algoritmo se podrá mejorar el disparo de las transiciones de fallos de la RdP modelada para el Quadcopter X4 GARP. El hecho de procesar los datos utilizando el software MatLab permitió graficar las variables de interés con mayor claridad así como implementar criterios estadísticos que ayudan a precisar estadísticamente los umbrales permisibles antes de que ocurra el fallo.

5. Referencias bibliográficas

Albrigtsen, A., 2016. The application of unmanned aerial vehicles for snow avalanche search and rescue. UiT The Arctic University of Norway.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



- Bauer, P., Venkataraman, R., Vanek, B., Seiler, P.J., Bokor, J., 2018. Fault Detection and Basic In-Flight Reconfiguration of a Small UAV Equipped with Elevons. IFAC-Pap. 51, 600–607.
- Cuerno Rejado, C., Garcia Hernandez, L., Sanchez Carmona, A., Carrió Fernández, A., Sanchez Lopez, J.L., Campoy Cervera, P., 2016. Evolución histórica de los vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad. Dyna 91, 282–288.
- Downloading and Analyzing Data Logs in Mission Planner, 2017. . COPTER HOME.
- Ducard, G., 2015. Actuator fault detection in uavs. Handb. Unmanned Aer. Veh. 1071–1122.
- Dybsjord, K.A., 2013. Fault-tolerant UAV flight control system. Institutt for teknisk kybernetikk.
- Esteban, J.L., CUERNO, C., RAMIREZ, J., OÑATE, M., EZCURRA, A., DÍAZ, L., SAEZ, D., BELTRÁN, A., LÓPEZ, C., MARTÍN, D., 2015. Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil. Fund. Energ. Comunidad Madr. Madr. 242.
- Hayhurst, K.J., Maddalon, J.M., Miner, P.S., DeWalt, M.P., McCormick, G.F., 2006. Unmanned aircraft hazards and their implications for regulation, in: 25th Digital Avionics Systems Conference, 2006 IEEE/AIAA. IEEE, pp. 1–12.
- Helton, W.S., Russell, P.N., 2017. Rest is still best: The role of the qualitative and quantitative load of interruptions on vigilance. Hum. Factors 59, 91–100.
- Hoz Simón, Y. de la, 2015. Herramienta de interacción persona-ordenador para la operación de vehículos aéreos no tripulados.
- Johry, A., Kapoor, M., 2016. Unmanned Aerial Vehicle (UAV): Fault Tolerant Design. Int. J. Eng. Technol. Sci. Res. 3, 1–7.
- Laarouchi, E., Cancila, D., Chaouchi, H., 2017. Safety and degraded mode in civilian applications of unmanned aerial systems, in: 2017 IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference (DASC). IEEE, pp. 1–7.
- Ma, L., 2011. Development of fault detection and diagnosis techniques with applications to fixed-wing and rotary-wing UAVs. Concordia University.
- Mahony, R., Kumar, V., Corke, P., 2012. Multirotor aerial vehicles. IEEE Robot. Autom. Mag. 20.
- Mancini, A., Caponetti, F., Monteriu, A., Frontoni, E., Zingaretti, P., Longhi, S., 2007. Safe flying for an UAV Helicopter, in: Control & Automation, 2007. MED'07. Mediterranean Conference on. IEEE, pp. 1–6.
- Martínez Olondo, J., 2015. Control de un cuadricóptero para vuelos autónomos en interiores. Universidad Pontificia de Comillas.
- Mission Planner Telemetry Logs, 2017. . COPTER HOME.

II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”



- Pardo Ibarra, J.A., 2016. Implementación de un Sistema de Comunicación Inalámbrico entre un UAV/RPA con su estación Terrena para la Transmisión de Imágenes Térmicas en tiempo real y su utilización en el Control de Incendios. PUCE.
- Redondo, I., Fernández-Manso, A., Quintano, C., Calvo, L., 2018. Diseño e implementación de un VANT (Vehículo Aéreo No-Tripulado, Unmanned Aerial Vehicle, UAV) multisensor para estudios post-incendio en entornos forestales, in: Congreso Forestal Español.
- Revill, M.B., 2016. UAV swarm behavior modeling for early exposure of failure modes. Naval Postgraduate School Monterey United States.
- Telford, R., Galloway, S., 2015. Fault classification and diagnostic system for unmanned aerial vehicle electrical networks based on hidden Markov models. IET Electr. Syst. Transp. 5, 103–111.