

Estudio de pilotos automáticos enfocados en la configuración de ala volante para vehículos aéreos no tripulados

Campo C. Damián¹, Benjumea G. Alejandro², Vélez S. Carlos³

Departamento de Ciencias Básicas, Universidad EAFIT

Medellín, Colombia

dcampoc@eafit.edu.co¹, j.alejandrobenjumea@gmail.com², cmvelez@eafit.edu.co³

Resumen—Este artículo presenta una revisión de los sistemas de piloto automático para vehículos aéreos no tripulados (UAV). Se muestra un estudio de los productos comerciales que se pueden encontrar actualmente en el mercado, se incluyen sistemas open source y se hace una comparación entre las diferentes arquitecturas a nivel de requerimientos básicos a nivel de sensores, capacidad de procesamiento, tamaño, peso y precios. Este estudio se realiza con el fin de analizar la arquitectura básica que tienen estos tipos de sistemas enfocados hacia la configuración de un UAV de tipo ala volante.

Índice de Términos—Control de vuelo, Estudio de mercado, Sistemas aéreos no tripulados (UAS), Sistemas de piloto automático, Vehículo aéreo no tripulado (UAV),

I. INTRODUCCIÓN

Se ha detectado que actualmente se presenta un gran interés en el uso de los vehículos aéreos no tripulados (UAV) en diversas áreas que involucran tecnología de punta. Dichos UAVs, o más comúnmente llamados drones han sido empleados en mayoritariamente en aplicaciones militares (Current and future UAV military users and applications, 1999). Sin embargo; estos sistemas han sido empleados en sectores de agricultura y mapeo de áreas (Siebert & Teize, 2014), minas, obras de construcción, rastreo de fauna, inspección de infraestructuras, búsqueda y rescate, entre otros (Ball, 2013). En muchas de estas aplicaciones es necesario que el drone realice las tareas de manera independiente y autónoma, es decir, que no exista un operario que esté interviniendo en la labor que desempeña la aeronave. Para ello se hace necesaria la integración de un piloto automático en el sistema del drone. Los UAV son aeronaves pequeñas que vuelan a alturas de aproximadamente 1000 metros y se hace indispensable un sistema de piloto automático que permita que

el aparato desempeñe las tareas de una manera correcta (Chao, Cao, & Chen, 2010). Los UAVs deben tener un sistema de piloto automático que cumpla determinados requerimientos para que se realice correctamente una misión, estos sistemas deben ser evaluados desde el punto de vista de hardware y software. El piloto automático es probablemente el núcleo de un sistema aéreo no tripulado (UAS), por eso es esencial estudiar la forma en la que el dispositivo funciona, qué clase de entradas y salidas permite y cuáles son sus capacidades (Prast, Santamaria, Delgado, Trillo, & Pastor, 2013).

Actualmente esta clase de tecnologías están tendiendo a miniaturizar sus componentes. Es el caso de los Micro Air Vehicles (MAV), por lo que es necesario el desarrollo de nuevas propuestas de Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) (Mohamed, Massey, Watkins, & Clothier, 2014), que se materializan en nuevas opciones de autopilots. Por esto, es necesario encontrar una opción de un sistema que tenga tamaño y peso reducidos (Fu, Zhou, Xiong, & Guo, 2008), teniendo a su vez un procesador apto para la realización de acciones de control de vuelo en tiempos reducidos y que garantice una alta fidelidad para el desarrollo de las diferentes etapas que requiera el controlador (Paw & Balas, 2011).

II. UAV TIPO ALA VOLANTE

Este trabajo está enfocado a los pilotos automáticos para UAVs que tengan una configuración de ala volante. Esta clase de drones generalmente tienen que suplir los siguientes actuadores para controlar la trayectoria del ala volante (Chao, Cao, & Chen, 2010):

- Alerones: Control de ángulo de giro (roll)
- Elevador: Control de ángulo de ataque (pitch up and down)
- Motor: Control de velocidad
- Timón: Control del ángulo de guiñada (left and right)

La estructura de ala volante no cuenta con un timón de cola para el control del ángulo de guiñada de la aeronave. En lugar

Este trabajo fue desarrollado en la spin-off Ingeniería Avanzada Consultores, de la línea de investigación en Sistemas de Control del Grupo de Investigación en Modelado Matemático de la Universidad EAFIT.

Campo C., Damián se desempeña actualmente como estudiante de Ingeniería Física en la Universidad EAFIT, Carrera 49 N° 7 Sur – 50, Medellín, Colombia (e-mail: dcampoc@eafit.edu.co).

de ello, se tiene en cuenta un sistema de 2 elevones los cuales cumplen el papel de elevadores y de timón.

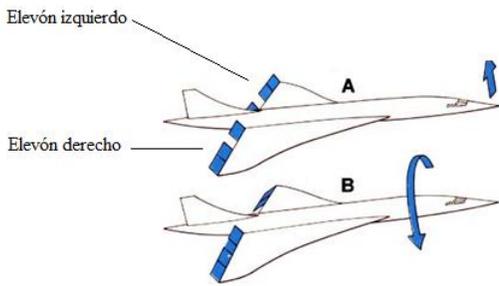


Fig.1. Sistemas de elevones para un ala voladora. En la imagen superior se muestra la configuración de dichos elevones para que la aeronave ascienda, en la imagen inferior se muestra la configuración para que el aeronave tenga un movimiento de roll.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede observar el funcionamiento que los elevones tienen como elevadores en la figura A y el funcionamiento que tienen estos como timón en la figura B.

Por lo general, las alas volantes tienen integradas una cámara Gimbal que tiene 4 grados de libertad tal y como se puede ver en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Estos grados de libertad están asociados a la extracción y retracción de la cámara conjunto con dos clases de movimientos de rotación que tiene la misma.

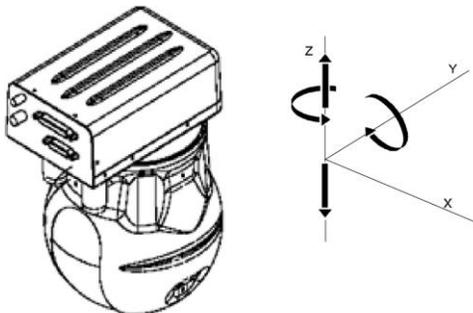


Fig. 2. Cámara Gimbal. Se muestran los 3 grados de libertad que tiene esta cámara, hay un servomotor encargado de cada movimiento.

En este orden ideas, existen 6 actuadores en la configuración de ala volante, dichos actuadores son:

1. Motor principal de propulsión (Control velocidad)
2. Servomotor para alerón derecho (Control de guiñada y de altitud)
3. Servomotor para alerón izquierdo (Control de guiñada y de altitud)
4. Servomotor extracción Gimbal (Expulsión y retracción de la cámara)
5. Servomotor rotación Gimbal eje Y (Rotación de la cámara)
6. Servomotor rotación Gimbal eje Z (Rotación de la cámara)

Los UAV pueden ser catalogados en dos: Drones de ala fija y de ala rotatoria (Mensuro Flying Machines). Cada uno de estos diseños tiene sus ventajas y desventajas. Para el caso particular de la configuración de ala volante se tiene que esta es de tipo es ala fija.

La complejidad de la configuración de ala fija es más baja que la de ala rotatoria, esto se debe a que en esta última se debe de tener en cuenta múltiples rotores con controles calibrados que permitan cambiar la dirección de la aeronave, usualmente son UAVs con 4 o más rotores, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, mientras que en la configuración de ala fija es solo un motor que hace las veces de propulsor, ver Ilustración 1.

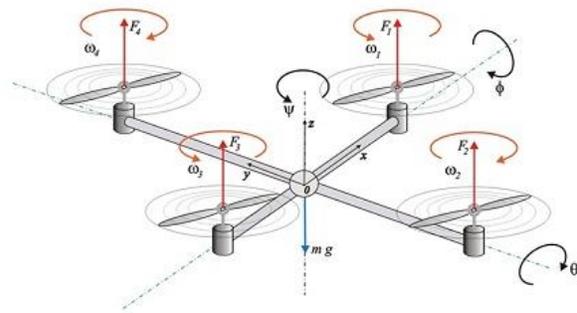


Fig. 3. Configuración de ala rotatoria. UAV que posee 4 actuadores para el control de vuelo.

Ilustración 1. Configuración de ala fija

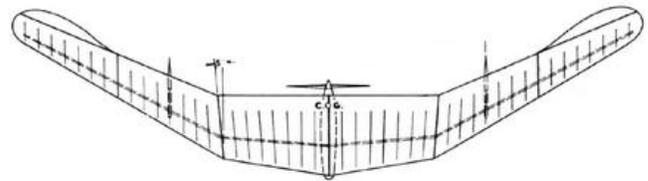


Fig. 4. Configuración de ala fija. UAV que posee un solo servomotor de propulsión.

En cuanto a la capacidad de aterrizaje la configuración de alas rotatorias son mucho más versátiles, este tipo de sistemas permiten además un despegue y un aterrizaje vertical y no requieren de un espacio amplio para ninguna de estas dos acciones. En cuanto a la configuración de ala fija, estos presentan mayores problemas a la hora del aterrizaje y del despegue debido a que no es posible hacer estas acciones verticalmente. Existen formas de lanzamiento de estos drones por medio de catapultas o simplemente de manera manual, en cuanto a la forma de aterrizaje, esta clase de UAVs requieren de una mayor área para lograr un descenso a tierra.

El tiempo de vuelo que tienen los UAVs que poseen una configuración de ala fija es mayor que los de ala rotatoria, esto se debe a la complejidad del diseño que tienen estos últimos. Aunque estos UAVs no permiten vuelos largos, la maniobrabilidad de estos es muy alta, pueden volar cerca de estructuras y cumplir con tareas que requieran más precisión de vuelo.

Finalmente, se puede afirmar que la configuración de ala fija es apta para misiones largas y que no necesiten de mucha precisión, además esta configuración permite mayores velocidades de vuelo. En cuento a la configuración de ala rotatoria, se puede afirmar que es útil para misiones cortas y que requieran de una mayor precisión. En este artículo se analizarán las propuestas comerciales de pilotos automáticos que pueden ser empleados para ambas configuraciones y después se analizará el piloto automático Kestrel autopilot V2.4 que está enfocado al control de un UAV que posee una configuración de ala volante.

III. COMPONENTES DE LOS PILOTOS AUTOMÁTICOS

Se ha detectado que las partes esenciales de un piloto automático pueden ser de dos clases, de sensado o de procesamiento. En este sentido, se tiene que el piloto automático emplea una serie de dispositivos enfocados al sensado para adquirir información del entorno que posteriormente será analizada por la etapa de procesamiento. Después de dicho análisis, finalmente se obtiene una orden de control que se ejerce sobre unos actuadores que harán que la aeronave se comporte de una manera determinada.

En este orden de ideas, se ha encontrado que los dispositivos más importantes que se emplean para adquirir la información del entorno en los pilotos automáticos son, los sensores de altitud, el sistema de geoposicionamiento (GPS), la unidad de medición inercial (IMU) y el sensor de velocidad del aire, a continuación se hará una descripción breve de cada uno de estos componentes.

A. Sensor de altitud

El sensor de altitud es un componente que se emplea para determinar la altura a la que se encuentra la aeronave respecto al nivel del mar, el funcionamiento de este componente se basa en la media de la presión atmosférica. Mientras mayor sea la altitud que tenga la aeronave, menor será la presión, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Comúnmente estos sensores llevan el nombre de altímetro o altímetro barométrico y emplean un puerto estático para medir la presión del aire y ahí se transforma esta información en una señal que es procesada posteriormente por el piloto automático para tomar decisiones de control.

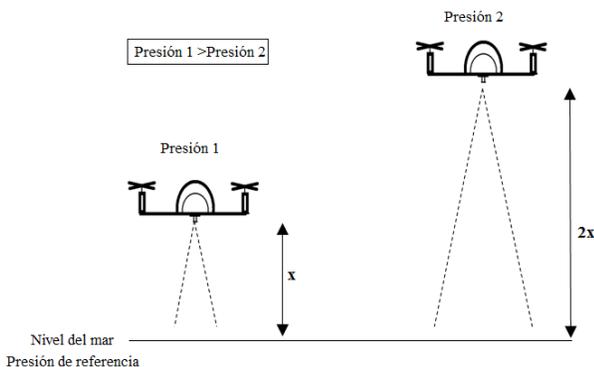


Fig. 5. Comparación de presiones entre dos UAVs a alturas diferentes. A

mayor altura hay una presión de aire menor sobre la aeronave.

Finalmente, se tiene que la relación entre la altitud y la presión que se detecta hasta 11Km respecto nivel de referencia es la siguiente:

$$h = \frac{(1 - (P_0/P_{ref})^{0.19026}) 87.828}{0.001981122} \quad (1)$$

Donde h es la altitud en metros, P_0 representa la presión estática que se mide desde la aeronave y P_{ref} es la presión de referencia que para este caso es la presión sobre el nivel del mar. Hay que tener en cuenta que P_0 y P_{ref} deben medirse en las mismas unidades.

B. GPS

El GPS es un dispositivo que tiene la capacidad de establecer una comunicación satelital con el fin de localizar la aeronave en un lugar específico, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Se debe de tener presente que mediante la tasa de cambio respecto al espacio recorrido por el drone y sabiendo el tiempo que se demoró en realizar dicho cambio, es posible determinar la velocidad que lleva el UAV.

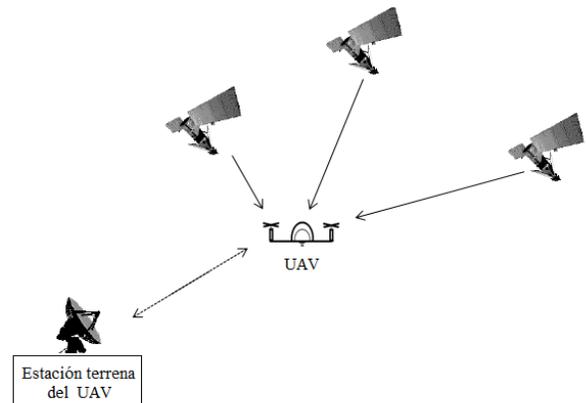


Fig. 6. Sistema de GPS para un UAV. Se muestra un aeronave que recibe información satelital y se comunica con una estación de tierra que muestra la posición actual del UAV.

C. IMU

La unidad de medición inercial consta de tres componentes, el primero de ellos es el acelerómetro, el cual es un instrumento para medir las aceleraciones que tiene un cuerpo respecto al peso que este tenga respecto a un eje determinado. En los UAVs, este tipo de dispositivos son sistemas microelectromecánicos (MEMS) que se basan en el principio de variación de potencial eléctrico debido al cambio de la distancia entre los platos que componen un capacitor.

El segundo elemento que integra la IMU es el giróscopo, este instrumento permite medir la orientación de la aeronave. En este orden de ideas, para el caso de los UAVs se emplean giróscopos que se basan en estructuras piezo-eléctricas basados en MEMS que al detectar un cambio en la orientación produce un cambio de voltaje que finalmente representa una

señal que puede ser traducida en un ángulo de giro del dron.

El último elemento que hace parte de la IMU es el magnetómetro, el cual es un dispositivo usado para medir el campo magnético o la dirección del mismo. Aquellos magnetómetros que son usados en los UAVs son basados en MEMS y pueden ser de dos clases: Aquellos que miden campos magnéticos terrestres y aquellos que miden campos mayores que los terrestres. Para ambos casos se emplea la ley de fuerza electromotriz de Lenz para calcular la dirección del campo magnético.

D. Sensor de velocidad del aire

Esta clase de sensores se encargan de medir la velocidad de un fluido sobre una estructura. El funcionamiento de estos dispositivos se basa en la diferencia de presiones estáticas y dinámicas. Para ello se emplea un sistema basado en tubos de pitot, donde hay un tubo que está a una presión estática y otro que se somete a la presión dinámica que ejerce el aire sobre la aeronave, en este sentido, es posible calcular la velocidad del fluido y transformar la diferencia de presiones en una señal de voltaje.

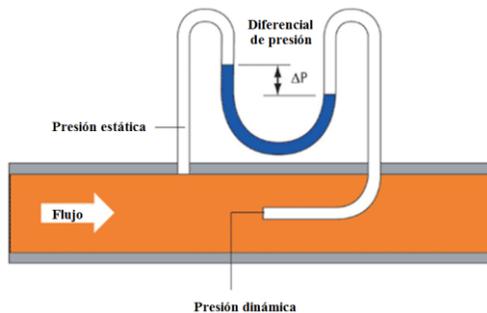


Fig. 7. Principio de Bernoulli. Creación de un diferencial de presión debido a una presión estática y a una presión ejercida por un fluido.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el principio por el cual se posibilita el cálculo de la velocidad del aire. Teniendo en cuenta que el aire puede ser tomado como un fluido incompresible, la expresión que rige este principio es la siguiente.

$$V = \sqrt{\frac{2(P_t - P_s)}{\rho}} \quad (2)$$

Donde V representa la velocidad en m/s, P_t representa la presión dinámica ejercida por el aire y P_s es la presión estacionaria de la aeronave ambas medidas en pascales. Finalmente ρ representa la densidad del fluido en Kg/m^3 .

En cuanto a la etapa de procesamiento, cada piloto automático cuenta como un microprocesador el cual es el encargado de recibir las señales de los instrumentos mencionados anteriormente. El microprocesador que tiene incorporado los sistemas aéreos no tripulados (UAS) es la unidad encargada de

tomar las decisiones sobre los actuadores de acuerdo al estado actual de las variables que pueden ser medidas y digitalizadas.

En este orden de ideas, la unidad de procesamiento es el núcleo del UAS debido a que dependiendo de las decisiones que esta tome es que posibilita la autonomía de un vuelo. En este dispositivo van integrados los sistemas de control necesarios para automatizar los vuelos de los UAVs.

IV. PILOTOS AUTOMÁTICOS COMERCIALES

Se realizó una revisión de los pilotos automáticos comerciales que existen en el mercado para lo cual se identificaron 4 Empresas productoras de estos instrumentos, se trata de Lockheed Martin, Micropilot, 3D robotics y Cloud Cap Technology. A continuación se mostrará las principales propuestas de cada una de ellas en cuanto a utilidad y a precio.

A. Lockheed Martin

Es una compañía enfocada a la defensa, seguridad y tecnología avanzada, Lockheed Martin tiene una sección denominada Procerus Technologies, la cual está encargada del desarrollo y la producción de aviónica y carga útil enfocada a vehículos aéreos no tripulados.

En este orden de ideas, Procerus Technologies tiene una serie de sistemas orientados a pilotos automáticos para UAVs, dichos sistemas pertenecen a una rama que se denomina Kestrel Flight System. A continuación se presentaran los pilotos automáticos que ofrece esta rama de producción que pueden ser empleados en alas volantes.

1) Kestrel autopilot V2.4

Este piloto automático cuenta con un microprocesador Rabbit 3000 que funciona a 29 MHz con una capacidad de 512 K de memoria RAM y Flash. En cuanto la IMU, este piloto automático cuenta con un giróscopo cuya rata de cambio máximo es de $\pm 300^\circ/\text{seg}$ con una resolución 0.0318°/LSB. Los acelerómetros de este piloto automático pueden medir hasta $\pm 10g$ y cuentan con una resolución de 0.0015g/LSB, ambos componentes funcionan con un voltaje de 5V.

Este piloto automático cuenta con un sensor de velocidad del aire que mide hasta 466.7Kph, además, el sensor de altitud tiene un rango máximo de 7Km. El tamaño total del piloto automático es de 52.654mm x 34.925mm x 11.98mm y tiene un peso de 16.65 gramos, además cuenta con 4 puertos para conexión servos que puede ser expandible a 12 puertos. Finalmente el precio del Kestrel autopilot V2.4 es de 5000 USD. Esta información fue extraída de los manuales de especificación del producto (Lockheed Martin, 2004).

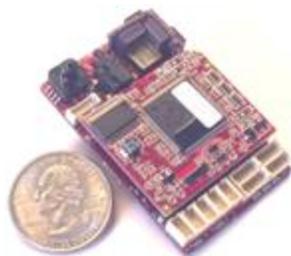


Fig. 8. Kestrel autopilot V2.4. Piloto automático de la empresa Lockheed Martin.

2) Kestrel autopilot V3.0

Este piloto automático cuenta con un procesador que opera a 500MHz y tiene una memoria flash y RAM de 32Mb, cuenta con una tarjeta IMU con compensación de temperatura para evitar mediciones erradas dadas por temperaturas anómalas.

Tiene 11 puertos para conexión de servomotores y puede ser expandible a 19 puertos según el propósito que se tenga. Este piloto automático tiene un peso de 24 gramos, además tiene las siguientes dimensiones 57.404mm x 37.084mm x 17.018mm y un precio de 8500 USD.



Fig. 9. Kestrel autopilot V3.0. Piloto automático de la empresa Lockheed Martin.

B. Micropilot

Es una empresa dedicada a los pilotos automáticos desde 1994, dentro de sus productos se van a analizar las opciones que pueden ser usadas UAVs de tipo ala volante, la información que se muestra a continuación se encuentra en las especificaciones de los productos de la página web de esta compañía (Micropilot, 2014).

1) MP 2028g

Este piloto automático cuenta con un acelerómetro que permite medir hasta 2g, posee un giróscopo de 3 ejes cuya tasa angular máxima es 300°/seg, en cuanto al sensor de velocidad de aire, la medida máxima que proporciona el mismo es de 500Kph.

El puerto de altitud de este piloto automático puede medir hasta 12km de altura, en cuanto al GPS, la actualización de datos que tiene este es de 1Hz. Por otro lado, esta arquitectura cuenta con 8 puertos para servos, expandible a 16 o a 24 según los requerimientos del usuario, la actualización de datos que tienen los servos es de 50Hz.

Las dimensiones de este piloto automático son de 100mm x

40mm x 15mm y tiene un peso de 28 gramos, por último, el precio de este producto es de 3500 USD.



Fig. 10. MP 2028g. Piloto automático de la empresa Micropilot.

2) MP 2128g

Este piloto automático posee con un acelerómetro que permite la medición de hasta 5g, cuenta con un giróscopo de 3 ejes cuya tasa angular máxima es 300°/seg. En cuanto al sensor de velocidad de aire, la medida máxima que proporciona el mismo es de 500Kph.

El puerto de altitud de este piloto automático puede medir hasta 12km de altura, en cuanto al GPS, la actualización de datos que tiene este es de 4Hz. Por otro lado, esta arquitectura cuenta con 8 puertos para servos, expandible a 16 o a 24 según los requerimientos del usuario, la actualización de datos que tienen los servos es de 50Hz.

Las dimensiones de este piloto automático son de 100mm x 40mm x 15mm y tiene un peso de 24 gramos, por último, el precio de este producto es de 6000 USD.

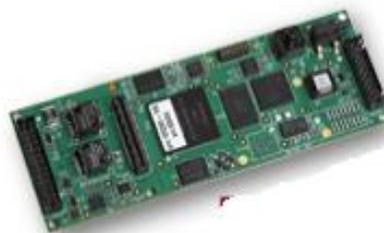


Fig. 11. MP 2128g. Piloto automático de la empresa Micropilot.

C. 3D robotics

Esta organización presenta soluciones para UAVs y tienen la filosofía del hardware libre. A continuación se muestran los pilotos automáticos que ofrecen conjunto con sus especificaciones técnicas.

1) PX4 FMU

Cuenta con un procesador llamado Cortex-M4 de 68MHz, una memoria flash 1024KiB y una memoria RAM de 192KiB. La referencia del giróscopo y el acelerómetro con el que cuenta este piloto automático es el MPU6000, el cual es una integración de estos dos sistemas, el rango máximo de estos elementos es de hasta $\pm 2000^\circ/\text{seg}$ y $\pm 16g$ respectivamente (InvenSense, 2013). La referencia del magnetómetro con el que cuenta esta solución es la HMC5883L.

Para medir la velocidad del aire se emplea el barómetro de referencia MS5611 el cual presenta una resolución en altitud de hasta 10 cm y funciona a un voltaje de 1.8-3.6V (MEAS, 2012).

Este piloto automático cuenta con 8 salidas para servomotores, tiene unas dimensiones de 50mm x36mm x 6mm, un peso de 9.62 gramos y tiene un precio de 200 USD.



Fig. 12. PX4 FMU. Piloto automático de la empresa 3D robotics.

2) 3DR Pixhawk

Cuenta con un procesador llamado 32-bit ARM Cortex M4 core de 168MHz, una memoria flash 2MBy una memoria RAM de 256KB. El acelerómetro y magnetómetro vienen en solo componente llamado ST Micro LSM303D, las medias máximas que estos sensores pueden tomar son de $\pm 16g$ y de 12 gauss respectivamente, la respuesta de estos elementos es de hasta 400 KHz y funcionan con un voltaje de 2.16-3.6V (ST, 2013). La referencia del giróscopo con el que cuenta es el T Micro L3GD20.

Al igual que el piloto automático PX4 FMU, para medir la velocidad del aire se emplea el barómetro de referencia MS5611. El 3DR Pixhawk cuenta con 14 puertos de salida para servomotores, sus dimensiones son 81mm x 50mm x 15mm, pesa 28 gramos y tiene un precio de 280 USD.



Fig. 13. 3DR Pixhawk. Piloto automático de la empresa 3D robotics.

3) APM 2.6 set

Este piloto automático cuenta con un procesador llamado ATMEGA2560 el cual es un componente arduino que puede ser reprogramable por el usuario y funciona a 16MHz, tiene una memoria flash de 2564KB. La referencia del giróscopo y el acelerómetro con el que cuenta este piloto automático, al igual que el PX4 FMU, es el MPU6000.

Este piloto automático tiene capacidad para 8 Salidas y 8 Entradas, tiene unas dimensiones de 70mm x 45mm x 15mm, pesa 33 gramos y tiene un precio de 240 USD.



Fig. 14. APM 2.6 set. Piloto automático de la empresa 3D robotics.

D. Cloud Cap Technology

Esta es una compañía es líder en sistemas aéreos no tripulados. Son especialistas en cámaras estabilizadoras gimbals enfocadas en UAVs. Además, ofrecen varios tipos de pilotos automáticos aptos para alas volantes que serán mostrados a continuación.

1) Piccolo nano autopilot system

Se le puede conectar por medio de un puerto serial RS232 una IMU de 3 ejes con 300 °/sec en rata angular máxima y hasta 10g como medida máxima del acelerómetro. Cuenta con 14 puertos para la conexión de servomotores, las dimensiones de este piloto automático son de 46mm x 76mm, su peso es de 22 gramos y el precio es de aproximadamente 1000 USD.



Fig. 15. Piccolo nano autopilot system . Piloto automático de la empresa Cloud Cap Technology.

2) Piccolo SL

Este piloto automático cuenta con un giróscopo de 3 ejes con una tasa máxima de cambio de 300°/seg. Además posee un acelerómetro de 3 ejes que mide hasta 6g. La velocidad máxima que reporta el sensor de velocidad del aire es de 355Kph.

El GPS que se le integra al Piccolo SL tiene una tasa de actualización de datos de 4 Hz, además posee 14 puertos configurables como entradas y salidas, sus dimensiones son de 131mm x 57mm x 19mm, su peso es de 110 gramos incluyendo el módulo de comunicaciones de 900 MHz, su precio es de aproximadamente 12000 USD.



Fig. 16. Piccolo SL . Piloto automático de la empresa Cloud Cap Technology.

V. KESTREL AUTOPILOT V2.4 EN UN ALA VOLANTE

Se adquirió el piloto automático kestrel autopilot V2.4 para una configuración de ala volante que sugiere la compañía

Lockheed Martin, se detectaron todas sus conexiones a los componentes externos que componen el UAV, obteniendo el diagrama que se muestra a continuación.

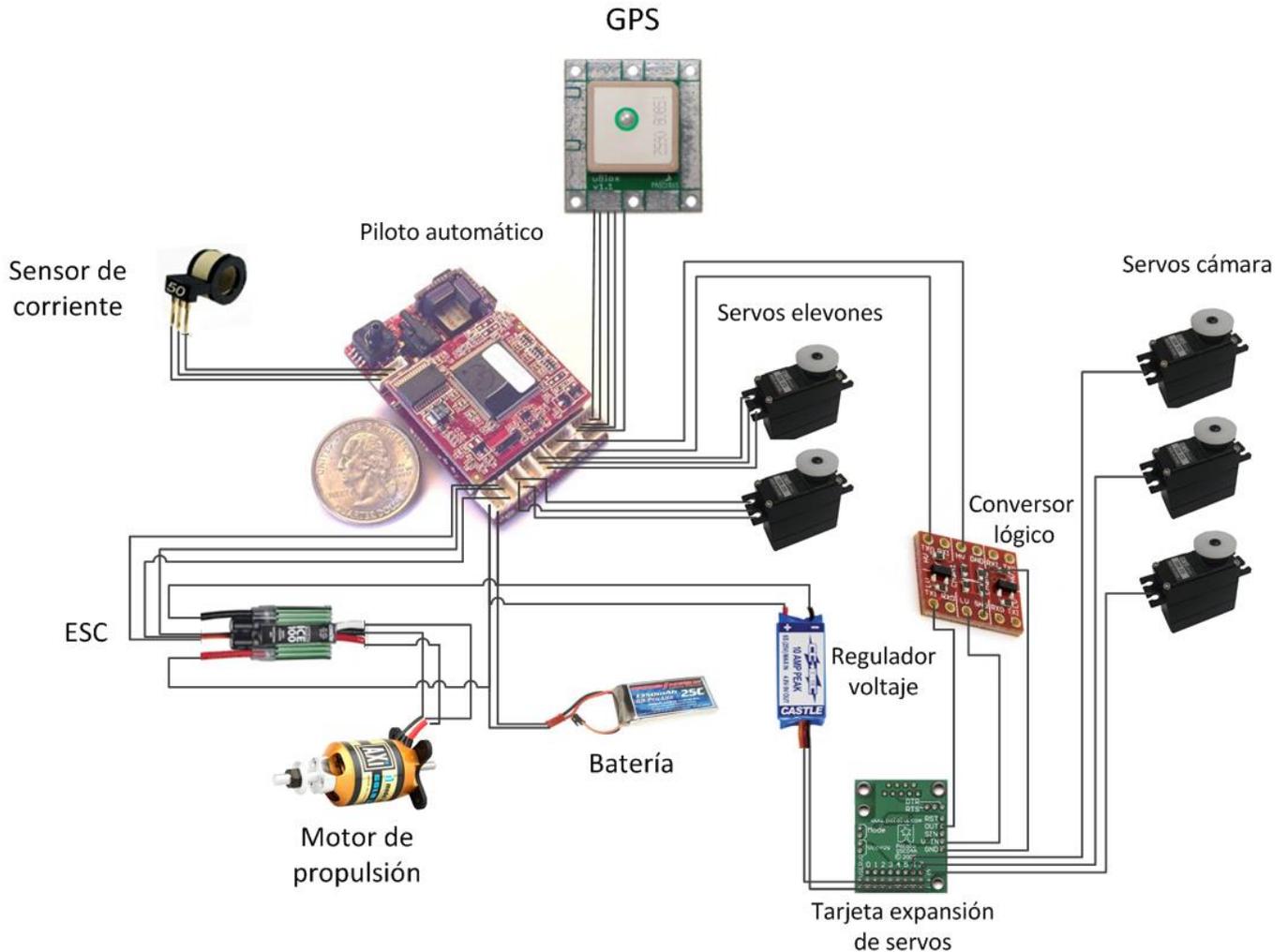


Fig. 17. Circuito conexiones kestrel V2.4 a un ala volante.

A parte de los sensores descritos anteriormente, se logró evidenciar otros componentes que permiten el funcionamiento de un UAV de ala fija, se trata del control electrónico de velocidad (ESC) para el motor principal de propulsión, un convertidor lógico de nivel, una tarjeta de expansión para conexión de servomotores, un regulador de voltaje y un sensor de corriente. A continuación se muestra con detalle cada uno de estos componentes además se describe el tipo de buses se usan para las conexiones y se presentan las especificaciones del GPS, de la batería que se usa para la alimentación, de la cámara Gimbal que emplea y del motor principal de propulsión.

A. ESC

El control electrónico de velocidad es un sistema que permite la variación de velocidad del motor de propulsión de velocidad, la referencia de este dispositivo es Castle Phoenix

Icelite 100, 25V max, 5Amp. A este instrumento le entra un voltaje desde 0 hasta 12V y posteriormente él lo transforma en una señal para el motor principal de propulsión.



Fig. 18. Control electrónico de velocidad para el motor de propulsión.

B. Conversor lógico de nivel

Es una tarjeta cuya referencia es BOB-119758, este convertidor permite cambiar voltajes de 3.3V a 5V y viceversa, lo que lo hace un convertidor bidireccional (Sparkfun, 2013) que es útil cuando se tienen diversos elementos que se activan a diferentes potenciales.

Ilustración 2. Conversor lógico de nivel BOB-119758

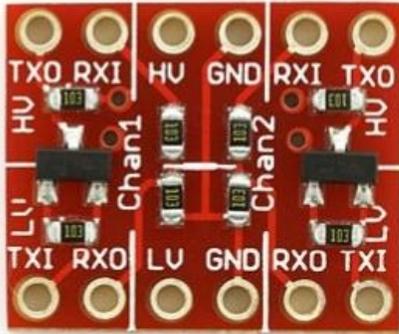


Fig. 19. Conversor lógico de nivel BOB-119758.

C. Tarjeta de expansión para servomotores

Se identificó una tarjeta que permite la conexión de 8 servomotores adicionales la cual se alimenta con un voltaje de 5 V y lleva integrado un micro-controlador de referencia PIC16f628A, el cual es un componente desarrollado por microchip basado en tecnología CMOS que cuenta con 18 terminales (Microchip Technology Inc., 2013).



Fig. 20. Tarjeta de expansión para servomotores.

D. Regulador de voltaje

Se identificó un regulador de voltaje cuya referencia es CC BEC castle 10 amp peak, y está encargado de alimentar la tarjeta de expansión para servos. Su peso es de 11 gramos, el voltaje de entrada es de 5-25.2V, sus dimensiones son 30mm x 15mm x 10 mm.



Fig. 21. Regulador de voltaje. CC BEC Castle 10 amp peak

E. Sensor de corriente

El sistema de ala volante tiene cuenta con un sensor inductivo de corriente de referencia Zap 50 amploc, este dispositivo funciona mediante el efecto hall, este efecto se presenta cuando un campo magnético interactúa perpendicularmente con un flujo de corriente. La que sucede es que el flujo de corriente se desorienta dando lugar a un cambio de potencial (amploc current sensors), de esta manera se detecta si el flujo de corriente de la batería se comporta de manera esperada.



Fig. 22. Sensor de corriente. Zap 50 amploc

F. Buses de datos

Para conectar los diferentes dispositivos al kestrel autopilot V2.4 se emplean dos clases de buses de datos de 3 y 5 conexiones cuyas referencias son MOLEX5POS-L10 y JST3POS-L6 respectivamente. La comunicación que se llevan a cabo con estos buses de conexión es de tipo serial.



Fig. 23. Buses de 3 y 5 puertos de conexión

G. GPS

El ala volante cuenta con un módulo GPS de referencia UBlox 1.1 que cuenta con 50 canales, un peso de 17 gramos, con capacidad para recibir señales Galileo y posee unas dimensiones de 42.164mm x 37.44 x 7.9502mm.

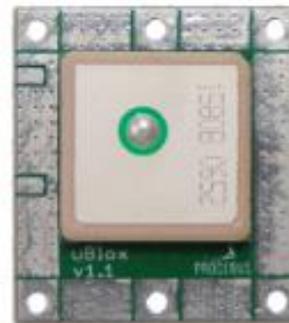


Fig. 24. Módulo GPS Ublox 1.1

H. Baterías de alimentación

Se identificaron 4 baterías de referencia thunder power RC 3400mah 3cell 11.1V G6 pro lite, estas baterías son las que alimentan el UAV de ala volante. Se ha detectado que esta referencia de baterías es ampliamente empleada en las distintas clases de drones.



Fig. 25. Batería thunder power RC 3400mah 3 cell 11.1 V G6 pro lite

I. Cámara Gimbal

Se identificó una cámara Gimbal de referencia Sony FCB-IX, la cual es una cámara color que tiene unas dimensiones de 39.3mm x 44.8mm x 65mm, posee un peso de 95 gramos, su rango de operación en cuanto a temperatura es de 0°C hasta 50°C. El consumo de potencia es de 1.6W con los motores inactivos y de 2.1W con los motores activos. Finalmente, esta cámara es alimentada por un voltaje de 6-12V (SONY, 2005).

Ilustración 3. Cámara FCB-IX



Fig. 26. Cámara FCB-IX.

J. Motor de principal de propulsión

El motor de aceleración del ala volante es de referencia AXI 2826/10, tiene una eficiencia máxima del 84%, la corriente de máxima eficiencia está en el rango de 20-30°. Su resistencia interna es de 42mW, sus dimensiones son de 35mm x 44mm y su peso con cables es de 181 gramos (AXI, 2006).

Ilustración 4. Motor AXI 2826/10



Fig. 27. Motor AXI 2826/10.

VI. CONCLUSIONES

Se analizaron varias propuestas de pilotos automáticos, para lo cual se puede evidenciar que los sistemas basados en hardware presentan precios mucho menores que las opciones que presentan las demás compañías. Se encuentra el piloto automático 3DR pixhawk como una opción que integra componentes de una alta tecnología y un precio más accesible a comparación de otros sistemas de pilotos automáticos.

Se analizaron las conexiones del kestrel autopilot V2.4 a un ala volante y se detectaron los requerimientos básicos en cuanto a elementos de hardware que se deben de tener en cuenta a la hora de proponer un piloto automático que se quiera realizar de desde cero. En este sentido, la propuesta para un trabajo futuro es adquirir componentes de bajo costo y realizar una integración de los mismos tal que se pueda obtener un piloto automático que represente una competencia para los pilotos automáticos más avanzados, es el caso del kestrel V3.0 de Lockheed Martin o el MP2128g de Micropilot.

REFERENCIAS

- [1] amploc current sensors. (n.d.). amploc.fatcow. Retrieved Mayo 25, 2014, from <http://amploc.fatcow.com/escor/InternetHandbook.pdf>
- [2] AXI. (2006). modelmotors. Retrieved Mayo 25, 2014, from <http://www.modelmotors.cz/index.php?page=61&product=2826&serie=10&line=GOLD>
- [3] Ball, M. (2013, July 1). Sensors and Systems. Retrieved March 24, 2014, from <http://www.sensorsandsystems.com/dialog/perspectives/30861-what-are-the-top-ten-civilian-uses-of-drones-that-don%E2%80%99t-impin?sthash.bacjWFZE.mjjo>
- [4] Chao, H., Cao, H. C., & Chen, Y. (2010). Autopilots for Small Unmanned Aerial Vehicles: A Survey. *International Journal of Control, Automation, and Systems*, 8(1), 36-44.
- [5] Current and future UAV military users and applications. (1999). *Air & Space Europe*, 1, 51-58.
- [6] Fu, X., Zhou, Z., Xiong, W., & Guo, Q. (2008). MEMS-Based Low-Cost Flight Control System for Small UAVs. *Tsingua Science and Technology*, 13, 614-618.
- [7] InvenSense. (2013, Agosto 19). invensense. Retrieved Mayo 24, 2014, from <http://www.invensense.com/mems/gyro/documents/PS-MPU-6000A-00v3.4.pdf>
- [8] Lockheed Martin. (2004). lockheedmartin. Retrieved Mayo 24, 2014, from http://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed/data/m2/documents/procerus/Kestrel_v2.4_04_18_2008.pdf

- [9] MEAS. (2012, Octubre 26). meas. Retrieved Mayo 24, 2014, from <http://www.meas-spec.com/downloads/MS5611-01BA03.pdf>
- [10] Mensuro Flying Machines. (n.d.). Steadidrone. Retrieved Mayo 23, 2014, from <http://www.steadidrone.eu/a-comparison-between-fixed-and-rotary-wing-uavs/>
- [11] Microchip Technology Inc. (2013). microchip. Retrieved Mayo 24, 2014, from <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40044F.pdf>
- [12] Micropilot. (2014). micropilot. Retrieved Mayo 24, 2014, from <http://www.micropilot.com/products-mp2028-autopilots.htm>
- [13] Mohamed, A., Massey, K., Watkins, S., & Clothier, R. (2014). The attitude control of fixed-wing MAVS in turbulent environments. *Progress in Aerospace Sciences*, 66, 37-48.
- [14] Paw, Y. C., & Balas, G. J. (2011). Development and application of an integrated framework for small UAV flight control development. *Mechatronics*, 21, 789-802.
- [15] Prast, X., Santamaria, E., Delgado, L., Trillo, N., & Pastor, E. (2013). Enabling leg-based guidance on top of waypoint-based autopilots for UAS. *Aerospace Science and Technology*, 24, 95-100.
- [16] Siebert, S., & Teize, J. (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*, 41, 1-14.
- [17] SONY. (2005). goelectronic. Retrieved Mayo 25, 2014, from <http://www.goelectronic.com/brochures/fcb-ix-c-series.pdf>
- [18] Sparkfun. (2013, Marzo 9). learn.sparkfun. Retrieved Mayo 25, 2014, from <https://learn.sparkfun.com/tutorials/using-the-logic-level-converter/hardware-overview>
- [19] ST. (2013, Noviembre). st. Retrieved Mayo 24, 2014, from <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/DM00057547.pdf>