

Proyecto VANT: desarrollo de una prueba para elaborar una bomba teleguiada por GPS en el Club de Guerra Electrónica de la Academia de la Fuerza Aérea

UAV Project: development of a test for the elaboration of a GPS-guided bomb in the Electronic Warfare Club of the Air Force Academy

Projeto VANT: o desenvolvimento de uma bomba teleguiada por GPS no clube de guerra eletrônica da Academia da Força Aérea

Lucas Luiz de Ávila^I

Bruno Eduardo Teixeira^{II}

Simon Skarabone Rodrigues Chiacchio^{III}

Adriano Rogério Bruno Tech^{IV}

RESUMEN

El proyecto VANT, del Club de Guerra Electrónica (CGE) de la Academia de la Fuerza Aérea (AFA), fue inicialmente concebido para motivar, los cadetes integrantes del club, en cuanto al desarrollo de sistemas operativos de un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT). De esta forma este artículo sugiere la aplicación de este PROYECTO en un aeromodelo eléctrico controlado por un microcontrolador. En este contexto el aeromodelo utilizado fue el BIXLER2 de *Hooby King* y el, microcontrolador una placa ARDUINO UNO. Con estos materiales, se propuso utilizar el aeromodelo en el lanzamiento simulado de un artefacto embarcado en una aeronave, guiado por el Sistema de Posicionamiento Global (*Global Positioning System* - GPS) para aterrizaje en un punto predeterminado (objetivo) Simulando una bomba inteligente, se pudo completar positivamente el desafío del proyecto por los resultados obtenidos por las diferentes misiones y verificado por la ruta asignada y desarrollada en una aeronave Tucano T-27, de AFA.

Palabras clave: VANT. ARDUINO UNO. GPS. Bomba inteligente.

ABSTRACT

The UAV Project of the Air Force Academy (AFA) Electronic Warfare Club (CGE) was originally designed to motivate cadets enrolled in the club to develop operating systems for an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Therefore, this article suggests the application of this PROJECT in an electric model aircraft controlled by a microcontroller. In this context the model aircraft used was the Hooby King BIXLER2 and the micro-controller, an ARDUINO UNO board. With these materials, it was proposed to use the model aircraft in the simulated launch of an aircraft-based artifact, guided by the Global Positioning System (GPS) for landing at a predetermined point (target). Simulating a smart bomb, the challenge of the project could be positively concluded through the results achieved by the different missions and verified by the course developed and mapped in an AFA's T-27 Tucano aircraft.

Keywords: UAV. ARDUINO UNO. GPS. Smart bomb.

I. Academia de la Fuerza Aérea (AFA) – Pirassununga/SP – Brasil. Cadete Aviador del 4º Escuadrón. *Email:* lucasavila29@gmail.com

II. Academia de la Fuerza Aérea (AFA) – Pirassununga/SP – Brasil. 1er Teniente de Magisterio (Física). Candidato Doctoral en Ingeniería Ambiental por la Universidad de São Paulo (USP) – São Carlos/SP. *Email:* br_edu@hotmail.com

III. Instituto de Logística de la Aeronáutica (ILA) – Guarulhos/SP – Brasil. 1er Teniente Administrador. Post-Doctor por la Facultad de Economía, Administración y Contabilidad (FEA/USP) – Ribeirão Preto/SP. *Email:* skarabone@usp.br

IV. Facultad de Zootecnia e Ingeniería de Alimentos (FZEA/USP) – Pirassununga/SP – Brasil. Profesor Titular del Programa de Postgrado Strictu Sensu en Gestión e Innovación en la Industria Animal FZEA/USP. *Email:* adriano.tech@usp.br

Recibido: 02/08/2016

Aceptado: 16/11/2017

Las siglas y abreviaturas contenidas en el artículo corresponden a las del texto original en lengua portuguesa.

RESUMO

O Projeto VANT do Clube de Guerra Eletrônica (CGE) da Academia da Força Aérea (AFA) foi, inicialmente, concebido para motivar nos cadetes integrantes do clube o desenvolvimento de sistemas operacionais de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). Desta forma este artigo sugere a aplicação deste PROJETO em um aeromodelo elétrico controlado por um micro-controlador. Neste contexto o aeromodelo utilizado foi o BIXLER2 da Hooby King e o micro-controlador, uma placa ARDUINO UNO. Com estes materiais, esta pesquisa propôs utilizar este aeromodelo no lançamento simulado de um artefato embarcado em uma aeronave, guiado pelo Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System - GPS) para aterragem em um ponto pré-determinado (alvo). Caracterizando uma bomba inteligente, pôde-se concluir positivamente o desafio do projeto por meio dos resultados conseguidos pelas diferentes missões e que pôde ser verificado pelo percurso desenvolvido e mapeado em outra aeronave da AFA.

Palabras-clave: VANT. ARDUINO UNO. GPS. Bomba inteligente.

1 INTRODUCCIÓN

El Club de Guerra Electrónica (CGE) de la Academia de la Fuerza Aérea (AFA) surgió en el año 2010 con el objetivo de estudiar los conceptos de Guerra Electrónica y sus aplicaciones en la Fuerza Aérea Brasileña (FAB), así como introducir en la formación del oficial aviador, intendente y de infantería conocimientos en cuanto a las innovaciones tecnológicas en operaciones en la FAB. Entre los diversos asuntos discutidos, hay bastante interés de los integrantes del club en el desarrollo de los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT).

Con esta motivación, fue idealizado un proyecto en el CGE denominado Proyecto VANT, con el objetivo de posibilitar a los cadetes el desarrollo y aplicación de un VANT entre una de las actividades del Cuerpo de Cadetes de la Aeronáutica (CCAer).

El Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD) define VANT o UAV como:

El vehículo aéreo motorizado que no transporta a un operador humano, utiliza fuerzas aerodinámicas para la ayuda aérea, puede volar de manera autónoma o ser pilotado por control remoto, puede ser desechable o recuperable y puede transportar una carga útil letal o no letal. (VANE, 2006, p. 9).

De acuerdo con Cianflone (2011), el VANT es un tipo de aeronave sin piloto que puede volar de forma

autónoma y remotamente controlada, en acciones de monitoreo, reconocimiento y vigilancia, entre otras. Su principal ventaja en relación a los demás vehículos es la capacidad de realizar acciones tácticas de inteligencia sin poner vidas humanas en riesgo.

Estas dos definiciones expresan la versatilidad de las misiones realizadas por una aeronave autónoma, siendo que la gran relevancia de este tipo de aeronave es la posibilidad de preservar el recurso humano, principalmente cuando se trata de una misión de guerra.

La aplicabilidad del VANT abarca la esfera civil y la militar, principalmente, en monitoreo, reconocimiento y vigilancia (ALBANO, 2008).

En el ámbito militar, la campaña de Afganistán llamó la atención porque allí los VANT realmente empezaron a atacar blancos, además de buscar informaciones. Ya en el ámbito civil, en la triple frontera (Brasil, Argentina y Paraguay), en el sur del país, la Policía Federal opera VANT israelíes, adquiridos para el combate al tráfico y al contrabando (CIANFLONE, 2011). Por lo tanto, es de suma importancia que el cadete de la aeronáutica conozca sistemas y tecnologías que posibiliten equilibrar el potencial de las Fuerzas Armadas de Brasil frente a las demás, principalmente, considerando que la FAB es cimentada en la tecnología, tanto embarcada y terrestre.

Con la utilización de ese tipo de aeronave en la FAB será posible preservar los recursos humanos, expandir diversas áreas del conocimiento y adquirir independencia tecnológica de otros países, así como estar adaptado a las nuevas demandas de mercado.

El Proyecto VANT, del CGE, no fue concebido de forma práctica, pero sólo teórica, y desde 2010 ningún trabajo o investigación fue desarrollado con la finalidad de tornarse posible y viable este proyecto. Algunos investigadores del área iniciaron en el año 2011 trabajos y proyectos que tenían el objetivo de desarrollar esa vertiente en AFA.

Para el desarrollo de este tipo de aeronave es necesario aplicar conceptos de la electrónica digital y computación, considerando que la aeronave será un robot programado y realizará una determinada misión o tarea. Por eso, además de volar, tendrá que desempeñar una determinada función operacional (ALBANO, 2008).

El propósito de este estudio es discutir soluciones para el desarrollo del proyecto VANT, del CGE, complementando los conocimientos adquiridos en el Departamento de Educación (DE) de la AFA, en la electrónica digital y computación a través de la

tecnología abierta (*Open Source*) ARDUINO y en varios sensores capaces de mantener un aeromodelo eléctrico en vuelo autónomo planeado de forma estable, y controlado por un sistema de navegación embarcado. Con eso se propone la aplicación de una prueba para el desarrollo futuro de una bomba inteligente guiada por el Sistema de Posicionamiento Global (*Global Positioning System* - GPS).

Se buscó también analizar y aplicar medios viables para el desarrollo de la estabilidad de vuelo planificado de un aeromodelo eléctrico para aterrizaje autónomo en un punto predeterminado (objetivo o blanco), simulando el empleo de un artefacto lanzado de una aeronave y guiado por el GPS.

1.2 Materiales y método

El modelo de un aeroplano es una versión reducida de un aeroplano en su tamaño normal. Los modelos y los objetos en su tamaño normal tienen los mismos tipos de relación entre las longitudes de sus diferentes partes. [...] Un modelo es sólo un medio para transferir alguna relación de su forma real a otra forma. (BOLTON, 1993, p. 4).

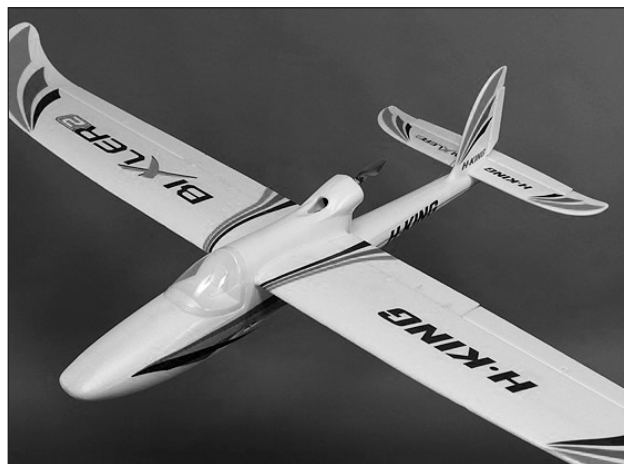
Conforme Bolton (1993), la diferencia entre un aeromodelo y un avión de tamaño real está sólo en la escala. Por lo que es válido considerar un aeromodelo similar a un avión que pueda ser pilotado adecuadamente, en un ambiente experimental.

En los fines de semana, hay operaciones de planeadores en la pista del sector este de AFA, pista 02R (Cabecera 02 derecha)/pista 20L (Cabecera 20 izquierda), siendo esta operación coordinada por los propios cadetes pertenecientes al Club de Vuelo a Vela (CVV) y supervisada por la División de Instrucción de vuelo (DIV).

El modelo de planeador puede ser desprovisto de motor y su razón de planificación es que representa su eficiencia aerodinámica. Esta razón es, en promedio, mucho más elevada que la de un avión convencional, siendo que una de las ventajas de un planeador está en la suavidad del pilotaje y en la estabilidad del vuelo.

Así como hay aeromodelos de aviones convencionales, también hay modelos de planeadores. Como un ejemplo se pueden mencionar el aeromodelo BIXLER2 de *Hooby King* (Figura 1). Este modelo tiene las mismas características aerodinámicas de un planeador. Sus alas son largas y su estructura es de isopor para reducir la masa, pero la diferencia de los planeadores pilotados por los cadetes en el CVV, este aeromodelo está equipado con un motor para posibilitar su ascenso.

Figura 1 – BIXLER2 de HoobyKing.



Fuente: Toywing... (2013).

El BIXLER2 está equipado con cuatro servomotores para controlar sus superficies de control, uno para cada alerón, uno para el ascensor y uno para el timón y también está equipado con *flaps*, que son operados por servomotores independientes. Según esta encuesta, el funcionamiento del motor y los *flaps* será siempre bajo orden del operador vía del control de radio.

Los ejes de control de un avión o de un aeromodelo son: longitudinal, transversal y vertical. Todos controlados por las respectivas superficies de control primarias ailerons, profundor y timón. Cada avión es controlado por esas superficies y así se tiene movimiento en todas las direcciones posibles.

Para entender mejor los ejes de una aeronave, hay la especificación del movimiento de cada eje, conforme Figura 2.

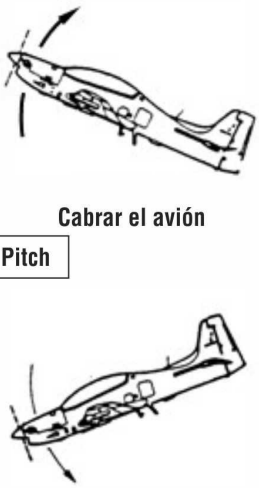

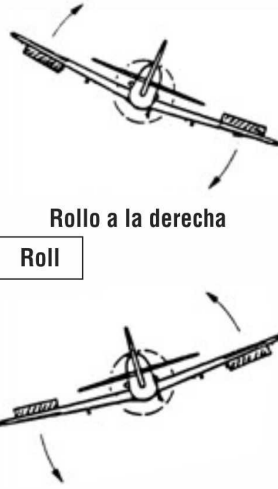
En el eje transversal, el avión aumenta o disminuye su morro¹ por el movimiento del profundor. Cuando se deflecta hacia arriba crea una fuerza aerodinámica hacia abajo, desplazando el morro hacia arriba, cuando se deflecta hacia abajo, ocurre lo contrario. Este movimiento se llama cabeceo o *pitch* y determina la actitud del avión con respecto al horizonte. Este eje cambia el ángulo de ataque de las alas, componente vital de la sustentación.

En el eje vertical, el morro del avión gira en sentido horizontal, de derecha a izquierda y viceversa. Este movimiento ocurre por la actuación del timón. Cuando se deflecta hacia la derecha crea una fuerza aerodinámica en la cola² hacia la izquierda, moviendo el morro de la aeronave para la derecha y cuando deflectado hacia la izquierda,

¹ Parte delantera de la aeronave.

² Parte trasera de la aeronave.

Figura 2 – Ejes de movimientos de una aeronave.

Profundor (Elevator)	Timón (Rudder)	Aleron
 <p>Cabrar el avión</p> <p>Picar</p>	 <p>Girar a la derecha</p> <p>Girar a la izquierda</p>	 <p>Rollo a la derecha</p> <p>Rollo a la izquierda</p>
Pitch	Yaw	Roll
Eje transversal	Eje vertical	Eje longitudinal

Fuente: Toywing... (2013).

ocurre lo contrario. Este movimiento se llama de guiñada o *yaw*. Por medio del timón se corrige la coordinación de la aeronave debido al viento relativo, así como, es la superficie responsable del mantenimiento de la proa de la aeronave.

En el eje longitudinal, el avión gira en torno a la línea imaginaria que interconecta el morro a la cola por el movimiento alternado de los alerones. El ala que desvía el alerón hacia arriba disminuye su ala de soporte que desvía los aumentos de alerones hacia abajo, por lo que es el movimiento de rolo o *roll*.

Es importante resaltar que los alerones, profundor y timón son superficies de control primarias, pues actúan directamente en la resultante de las fuerzas aerodinámicas del avión, modificando su trayectoria, actitud y coordinación.

En el aeromodelo BIXLER2 la actuación de las superficies de control se procesa como explicado anteriormente, sin embargo, para el cumplimiento del objetivo, ese modelo deberá desarrollar un vuelo planeado.

El vuelo planificado se caracteriza cuando el avión es impulsado por una fuerza resultante entre la sustentación, el peso y la fricción, siendo su soporte menor que el peso (CAROLINE, 2007). Esta definición orienta el vuelo analizado en este trabajo.

De acuerdo con las reglas de vuelo por instrumentos, la razón de descenso de una aeronave deberá ser de 500

pies/min a 1000 pies/min o 2,54 m/s a 5,08 m/s, las cuales serán utilizadas en este trabajo. Sin embargo la razón ideal de descenso debe ser verificada considerando los aspectos aerodinámicos del aeromodelo BIXLER2 con los equipos del *kit* controlador embarcado, lo que implica una mayor masa del aeromodelo.

1.2.1 Pasos del plan de las pruebas

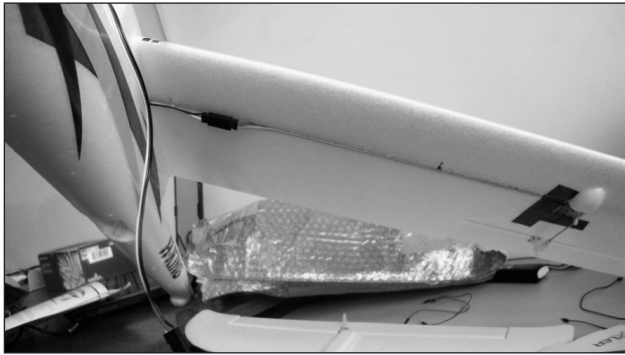
a) Paso I: comprobar el código y cargarlo en ARDUINO.

El código cargado en ARDUINO es el **Piloto_1**, que tiene en su función *loop* una secuencia de condiciones que transforman las variaciones de rolo y cabeceo en señales digitales para controlar todos los cuatro servomotores (BANZI, 2011). En este código es necesaria la inclusión de la biblioteca **<Servo.h>**, responsable por la funcionalidad de los servomotores.

b) Paso II: analizar la actuación del sensor MMA8542Q.

Antes de montar el aeromodelo es necesario colocar todos los servomotores en la posición neutra, o sea, el eje a 90 grados (Figura 3). En ese intento, se elaboró un código para determinar el ángulo de 90 grados e instalar el brazo mecánico del servo. El código utilizado fue el **CALIBRAR_90**.

Con los servos en la posición neutra, se realizó una prueba con los cuatro servomotores para verificar la amplitud máxima que sería usada en el aeromodelo. Como resultado, se verificó que la variación adecuada para el uso fue de ± 55 grados para más o para menos, es decir, 55 grados hacia arriba o hacia abajo.

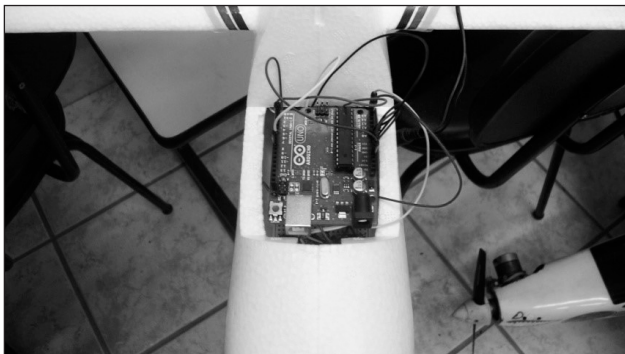
Figura 3 – Calibración³.

Fuente: El autor.

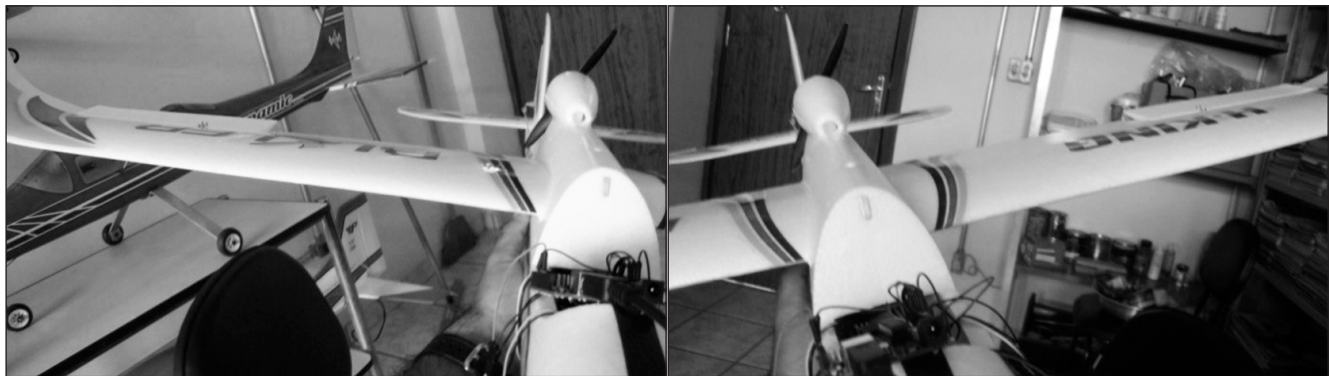
Al montar los servomotores en las superficies de control, se verificó que la actuación de los motores fue suave, coordinada y de acuerdo con la corrección necesaria para mantener un vuelo con las alas niveladas. Con ello el montaje del aeromodelo fue finalizado con éxito.

c) Paso III: instalar el ARDUINO y el sensor MMA8452Q en el aeromodelo.

Durante el montaje del aeromodelo *Bixler de Hobby King* fue posible adaptar la *protoboard* en el interior del aeromodelo

Figura 4 – Instalación del ARDUINO/MMA8452Q en BIXLER.

Fuente: El autor.

Figura 5 – Operación de los alerones.

Fuente: El autor.

en un compartimiento que se utiliza para poner la batería (Figura 4). Es importante resaltar que se tomó en cuenta el mantenimiento del Centro de Gravedad (CG). De esta forma, es posible preservar el equipo embarcado, en caso de ocurrir una caída inesperada del aeromodelo.

d) Paso IV: verificación, en suelo, de la tendencia de corrección de los servomotores en las superficies de control.

Después de montar el aeromodelo e instalar el conjunto controlador en el interior del BIXLER, se verificó que las superficies de control, alerones (Figura 5) y profundor buscaban la estabilidad de vuelo por medio de las alas y profundor, sin embargo el timón no actuó como se esperaba porque el eje Z del *chip* MMA8452Q, responsable de la lectura de la variación en la proximidad del eje vertical es el eje de referencia del *chip*. Con respecto a la variación de la fuerza de la gravedad y a la actuación en el timón de dirección, esto sólo se hace cuando se aplica un impulso vertical al aeromodelo, siendo así impracticable durante un vuelo planeado.

El resultado alcanzó las expectativas satisfactoriamente, ya que el timón puede ser desconsiderado, por lo que para la estabilidad de vuelo los alerones mantienen la aeronave con las alas niveladas y el profundor actúa en el ángulo de ataque, el cual es indispensable por el mantenimiento de la sustentación.

La fuente externa utilizada es la batería *lithium polymer* (LiPo) del aeromodelo BIXLER y, para convertir los 11,1 V con 1800 mAh a 5,0 V con 500 mAh, se instaló un regulador de tensión del ARDUPILOT en la fuente de alimentación del ARDUINO UNO.

Como fuente de energía del aeromodelo se utilizó una batería del tipo *lithium polymer* (LiPo) de tres células (3S), que presenta 11,1 V de tensión nominal a una corriente de 1800 mAh. Para la alimentación del ARDUINO UNO, fue necesaria la utilización de un regulador de tensión del ARDUPILOT.

³ Calibración en este contexto se utiliza para determinar la posición neutral de los servomotores, diferente de la configuración de calibración descrita en el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM) (Brasil, 2012).

En cuanto a la velocidad de las respuestas de las superficies de control a los cambios de actitud del aeromodelo, se verificó que es posible obtener correcciones en un vuelo en el ambiente de forma adecuada y suave, siendo que la actuación de los servos es directamente proporcional a la velocidad de cambio de actitud.

El análisis de los resultados obtenidos evidencia que el MMA8452Q realmente cumplió el objetivo de leer las variaciones de los ejes y que el ARDUINO ejecutó, conforme el código establecido, la traducción de las lecturas en PWM, aplicándose en los ejes de los servomotores, los respectivos ángulos.

Como ya se mencionó, no fue posible actuar en el timón, pues la variación del eje vertical en el sensor no es angular, sino que varía sólo en intensidad debido a la condición de que el MMA8452Q sea un acelerómetro y dependa de la fuerza de la gravedad, la cual está orientada en el mismo, sentido del eje vertical. Con ello, en la prueba se verificó la necesidad de utilizar otro sensor capaz de actuar en ese eje.

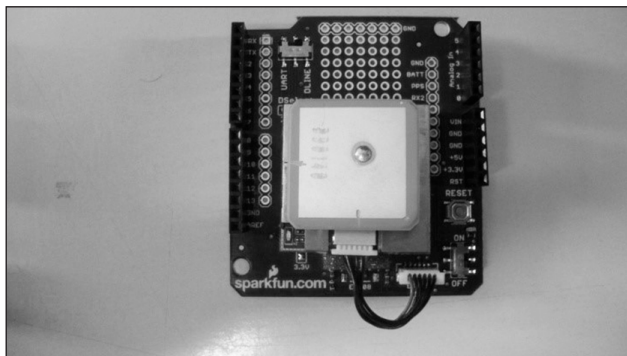
Como solución se optó por la utilización del módulo GPS EM-406A como control de guiñada, ya que es posible mantener una proa ideal para un punto predeterminado por los datos del GPS.

1.2.2 Módulo GPS EM-406A

Este módulo, que es fabricado por USGLOBALSAT basado en el *chipset SIRF STARIII* y distribuido por *Sparkfun* contiene un *led* para indicar el estatus de activación y otro para indicar la operación de recepción de señales de satélite, que deben permanecer parpadeando para indicar la recepción de estas señales.

Para el funcionamiento con la placa ARDUINO UNO, que utiliza una placa *Shield* como se muestra en la Figura 6.

Figura 6 – Shield GPS EM-406A.



Fuente: El autor.

1.2.3 Sistema GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (*Global Positioning System - GPS*) o *Navigation Satellite with Time And Ranging (NAVSTAR-GPS)* es un sistema de navegación desarrollado por el *Departamento de Defensa (DoD - Departamento de Defensa de los Estados Unidos)*, que pretende ser el principal sistema de navegación del ejército americano. En razón de la alta exactitud proporcionada por el sistema y el alto grado de desarrollo de la tecnología involucrada en los receptores GPS, una gran comunidad usuaria emergió en las más variadas aplicaciones civiles (PEREIRA, 2007).

Después de un accidente aéreo ocurrido en Corea en 1983, con 269 víctimas, debido a una interceptación y sacrificio de una aeronave comercial que volaba en un espacio aéreo prohibido, por una caza soviética, probablemente debido a un error de navegación, el Presidente Ronald Reagan anunció que el GPS estaría disponible para uso civil. En 1996, el Presidente Bill Clinton declaró oficialmente el GPS para uso dual, civil y militar, y creó la Agencia Internacional de Gestión Ejecutiva del GPS.

El GPS está formado por una constelación de 24 (veinticuatro) satélites en órbita en la Tierra. La distribución de estos satélites se divide en 6 (seis) planos de órbita con 4 (cuatro) satélites en cada uno y esta arquitectura permite la recepción simultánea de señales de 7 (siete) satélites en cualquier posición del planeta.

Para la determinación de la posición, el receptor GPS necesita recibir señales de onda electromagnética de 3 (tres) satélites, como mínimo, para tener condiciones de realizar una trilateración del tiempo de recepción de esas señales, obteniendo así su posición en el espacio. La posición GPS corresponde a la intersección de las señales de los satélites, siendo posible determinarla de forma tridimensional, es decir, por la latitud, longitud y altitud.

Para el funcionamiento del receptor GPS existen dos protocolos que codifican la información de posición transportada por las ondas electromagnéticas en caracteres específicos, formando así un patrón de lenguaje. Estos protocolos son NMEA 0183 de la *National Marine Electronics Association* y el GARMIN, que es una modificación del primero.

El protocolo de comunicación es, básicamente, un patrón de lenguaje entre componentes electrónicos, que viabiliza la interpretación de elementos físicos, como ondas, presión o temperatura en pulsos eléctricos caracterizados por bits, debido al lenguaje binario.

El protocolo de comunicación NMEA 0183 es utilizado por la mayoría de los aparatos GPS. Se basa en ASCII y se transmite en serie. Según este protocolo, la comunicación se realiza por mensajes que siguen las normas establecidas por la NMEA. Según Karasinski (2009: 37):

ASCII es una sigla para “American Standard Code for Information Interchange” (Código Estándar Norteamericano para Intercambio de Información). Este código fue propuesto por Robert W. Bemer, con el objetivo de estandarizar los códigos para caracteres alfa-numéricos (letras, signos, números y acentos). Por lo que sería posible que los ordenadores de diferentes fabricantes pudieran entender los códigos. El ASCII es un código numérico que representa los caracteres utilizando una escala decimal de 0 a 127. Estos números decimales son convertidos por el equipo a binarios y procesa el comando. Por lo tanto, cada una de las letras que introduzca coincidirá con uno de estos códigos.

Actualmente, este sistema es indispensable para navegación aérea, terrestre o submarina debido a su confiabilidad y exactitud.

2 RECOLECCIÓN DE RESULTADOS CON TARJETA MICRO-SD

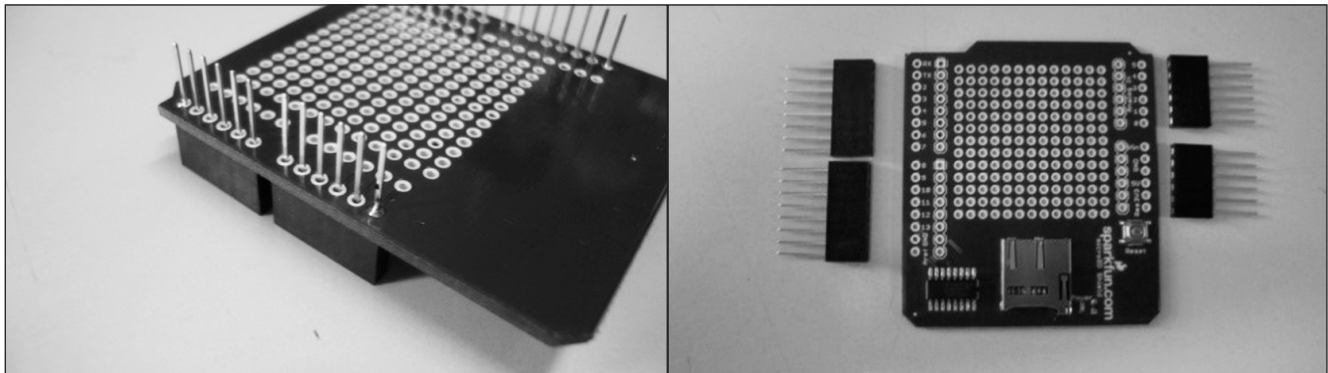
El itinerario de pruebas sólo contempló el sensor del MMA8452Q responsable de la estabilidad de vuelo. Para los sensores EM-406A y BMP085, la prueba debería aplicarse en condiciones de vuelo real. Para ello, se embarcó el microcontrolador ARDUINO con el módulo GPS EM-406A en una aeronave T-27 Tucano, de AFA.

Debido a que no hay ningún *display* acoplado al módulo que se mencionó anteriormente, fue necesario utilizar una forma alternativa de almacenamiento de datos de GPS a través de una placa de circuito impreso *Shield* Micro-SD (Figura 7), permitiendo así que el ARDUINO grabara los datos.

La *Shield* Micro-SD tiene el mismo pinout de ARDUINO, así como la *Shield* EM-406A. Las *Shields* se utilizan para diversos sensores en ARDUINO sin aislar los contactos de ARDUINO que serán utilizados por otros sensores.

De acuerdo con Pereira (2007), se crea una ruta asignada en *Google Earth* a través de los datos GPS recogidos. En vista de esta publicación como referencia, la grabación de los datos GPS se hizo por medio de una tarjeta de memoria Micro-SD. Para la utilización de esta tarjeta, es necesario obtener la biblioteca <SD.h>.

Figura 7 – Shield Micro-SD.

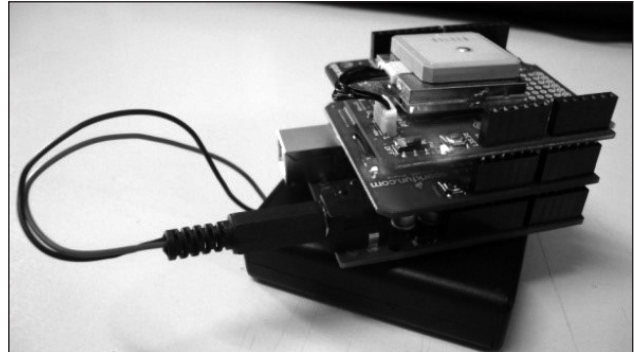


Fuente: El autor.

Según Aloí (2012), el protocolo de comunicación de esa tarjeta es el SPI de interfaz ISP, que no soporta tarjetas con más de 4 gigabytes. Para la inicialización de la tarjeta, es necesario enviar un byte a la tarjeta y verificar que se graba, de lo contrario, la tarjeta no funcionará.

Para este trabajo ha adquirido una *Shield* Micro-SD de *Sparkfun*, como se muestra en la Figura 7. Después del montaje el ARDUINO se equipa con dos *Shields*, Micro-SD, EM-406, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8 – ARDUINO con Micro-SD y EM-406A.



Fuente: El autor.

La prueba de este *kit* se llevó a cabo en un vuelo de la aeronave Tucano T-27 en una misión de vuelo por instrumentos del curso avanzado de Oficiales Aviadores del 1er Escuadrón de Instrucción Aérea (1 EIA). La misión realizada tiene el objetivo de capacitar a los cadetes aviadores del 4º Escuadrón de AFA a realizar procedimientos de aproximación por instrumentos. Esta prueba tuvo el objetivo de verificar la grabación de los datos GPS en tarjeta Micro-SD por medio de ARDUINO, de acuerdo con la clasificación descrita por Gamboa (2008).

El código elaborado específicamente para este trabajo tiene la función de dar instrucciones al ARDUINO de cómo realizar las lecturas de las señales GPS y grabarlas en un archivo con extensión CSV en Excel. En la Tabla 1, es posible verificar los datos recolectados en vuelo, así como indicadores que generaron el recorrido ejecutado.

Tabla 1 – Datos de vuelo con la aeronave T-27 Tucano, de AFA.

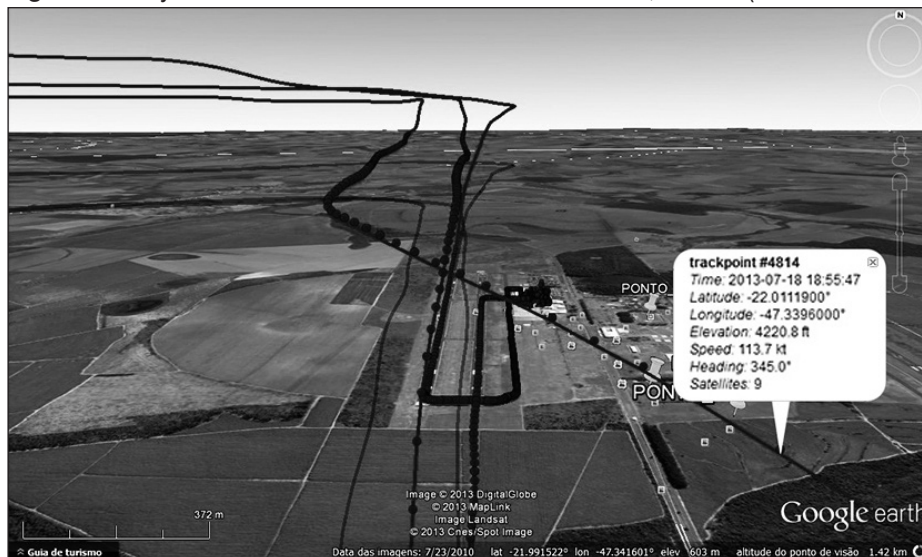
hour	minute	second	latitude	longitude	speed	day	month	year	altitude	course	satellites
17	36	28	-21.98113	-47.33849	-1.00	0	0	2000	618.60	1000.00	4
17	36	29	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	619.60	1000.00	4
17	36	30	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	620.10	1000.00	4
17	36	31	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	620.60	1000.00	4
17	36	32	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	621.60	1000.00	4
17	36	32	-21.98112	-47.33848	0.17	18	7	2013	621.00	12.67	4
17	36	33	-21.98112	-47.33848	0.17	18	7	2013	621.40	12.67	4
17	36	34	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	621.60	12.67	4
17	36	35	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	621.80	12.67	4
17	36	36	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	622.10	12.67	4
17	36	37	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	622.20	12.67	4
17	36	37	-21.98112	-47.33849	0.20	18	7	2013	622.20	15.17	4
17	36	38	-21.98112	-47.33849	0.20	18	7	2013	622.30	15.17	4
17	36	39	-21.98112	-47.33849	0.20	18	7	2013	622.50	15.17	4
17	36	40	-21.98112	-47.33850	0.20	18	7	2013	623.90	15.17	4
17	36	42	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	1000000.00	192.49	255
17	36	43	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.00	192.49	4
17	36	44	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.30	192.49	4
17	36	45	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.50	192.49	4
17	36	46	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.70	192.49	4
17	36	47	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.80	192.49	4
17	36	47	-21.98113	-47.33851	0.07	18	7	2013	623.80	347.72	4
17	36	47	-21.98113	-47.33851	0.07	18	7	2013	624.00	347.72	4

Fuente: El autor.

Estos datos se manejan en el *sitio* específico para obtener una extensión de archivo KMZ. Consultado este archivo KMZ de *Google Earth* se puede ver

la trayectoria con datos de posición geográfica, velocidad, proa, altitud, fecha y hora, como puede verse en la Figura 9.

Figura 9 – Trayectoria de vuelo de la aeronave T-27 Tucano, de AFA (visión horizontal).



Fuente: El autor.

En la Figura 10 también es posible acompañar los trabajos desarrollados con el sistema. Por estas imágenes se percibe la importancia de la utilización de un Micro-SD en la verificación de la trayectoria realizada por el aeromodelo para analizar el mantenimiento de la rampa de bajada del vuelo planeado desde una perspectiva 3D, así como es posible verificar, punto a punto, datos de velocidad, proa, altitud, posición geográfica, etc.

También es posible crear una base de datos con las misiones realizadas y, así, es posible perfeccionar los procesos de programación de ARDUINO, aumentando la exactitud del vuelo con respecto a la rampa y al aterrizaje en el objetivo o blanco.

Con estos procedimientos y materiales es posible planificar misiones con diferentes vertientes de ejecución y práctica, siendo una de ellas la que fue propuesta para mapeo y alcanzamiento de objetivo predefinido. Por último, es posible mejorar y aplicar la misión con material explosivo, teniendo en cuenta, por ejemplo, la aplicación de bomba guiada (CASTRO, 2013).

3 CONCLUSIÓN

El Proyecto VANT es una considerable iniciativa del CGE en motivar a los cadetes al desarrollo científico, así como desarrollar la posibilidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos. Para hacer un simple aeromodelo eléctrico en un VANT en su concepción completa, son necesarios investigación y desarrollo. Este trabajo fue desarrollado solamente en el sistema

de aterrizaje de un VANT aplicado en la simulación de un artefacto lanzado de una aeronave, para que pueda tocar el suelo en el punto predeterminado, como descrito.

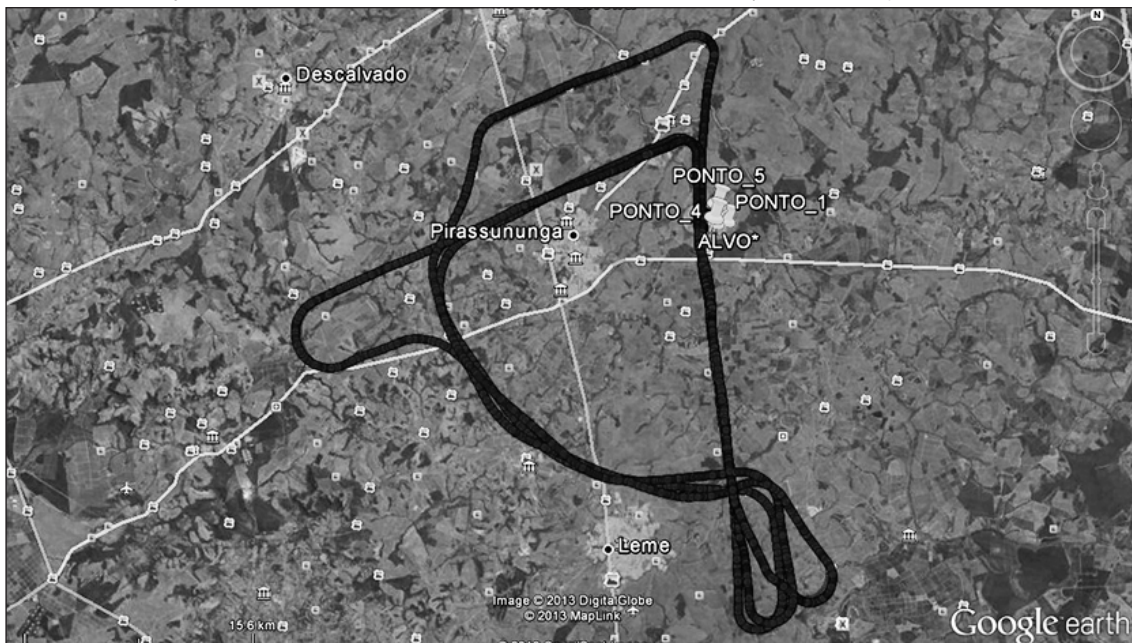
Para ello, la utilización de microcontroladores en proceso de automatización es la posibilidad que el CGE tiene para aplicar los conocimientos teóricos de los cadetes. Entre los varios microcontroladores encontrados en el mercado actualmente, se optó por la utilización de la tecnología ARDUINO, pues se trata de un microcontrolador abierto al desarrollo. Al embarcar ese microcontrolador en un aeromodelo eléctrico fue posible desarrollar un VANT, aunque de forma inicial para el trabajo experimental.

Para la realización del trabajo fue necesaria la utilización de sensores con la capacidad de percibir variaciones ambientales afines al vuelo, como variaciones de altitud, distancia, velocidad y proa, considerada una navegación corta balizada por el sistema GPS.

En este trabajo los sensores tienen el papel decisivo en el mantenimiento del vuelo planeado así como en la navegación del aeromodelo BIXLER2. La comunicación entre microcontroladores y sensores fue desarrollada en el lenguaje C/C++. Así los resultados son los datos recolectados en una tarjeta Micro-SD, los cuales permiten el perfeccionamiento de la metodología aplicada en este proyecto, con vistas a mejores resultados en proyectos futuros del CGE.

Este trabajo de campo es un paso importante para los nuevos trabajos que han sido desarrollados en AFA en lo que se refiere a la temática y la aplicación práctica de VANT.

Figura 10 – Trayectoria de vuelo de la aeronave T-27 Tucano, de AFA (vista vertical).



Fuente: El autor.

REFERENCIAS

ALBANO, L. H. **Sistema de identificação de células**. 2008. 68f. Monografia (Engenharia da Computação) - Universidade Positivo, Núcleo de Ciências Exatas e Tecnológicas, Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.leandrohsouza.com.br>>. Acesso em: 20 jul. 2013.

ALOI, R. **Curso Arduino Advanced - Aula 21 (SD CARD)**. Vídeo aula. 2012. Disponível em: <<http://www.youtube.com/user/graccula>>. Acesso em: 26 maio 2013.

BRASIL. **Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012)**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim_2012.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2017.

BANZI, M. **Primeiros passos com Arduino**. [Tradução Rafael Zanolli]. São Paulo: Novatec Editora, 2011.

BOLTON, W. **Engenharia de controle**. Tradução Valceres Vieira Rocha e Silva. São Paulo: Makron Books, 1993.

CAROLINE, A. **Como elaborar um roteiro de testes**. Grupo de testadores de Software. 2007. Disponível em: <<http://gtsw.blogspot.com.br>>. Acesso em: 31 ago. 2013.

CASTRO, F. **Bombas Guiadas SMKB – Acauã**. Disponível em: <<http://sistemasdearmas.com.br/pgm/smkb.html>>. Acesso em: 27 ago. 2013.

CIANFLONE, R. **Vants a nova tendência em aeronaves**. Disponível em: <<http://www.aereo.jor.br/2011/06/15/vants-a-nova-tendencia-em-aeronaves/>>. Acesso em: 27 ago. 2011.

GAMBOA, P. V. **Subida e descida**. Mecânica de voo I – 7631. 2008. Disponível em: <<http://webx.ubi.pt>>. Acesso em: 31 ago. 2013.

KARASINSKI, E. **Novas tecnologias: jogos interativos**. [S.l.], 2009. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/webcam/2394-novas-tecnologias-jogos-interativos.html>>. Acesso em: 12 mar. 2013.

PEREIRA, L. A. **Atualização da rede GPS de São Carlos e a avaliação do método PPP em comparação com o ajustamento de redes geodésicas**. 2007. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

TOYWING tudo sobre aeromodelo. Disponível em: <<http://www.toywing.com.br/>>. Acesso em: 23 maio 2013.

VANE, J. C. de. **Applicability of unmanned aerial systems to homeland defense missions**. 2006. 101 p. Master's Thesis - Naval Postgraduate School – NPS, Monterey, CA, 2006, p. 9-10.