

DESARROLLO DEL SISTEMA DE NAVEGACIÓN AUTÓNOMA PARA EL "UAV 1" DE LA ESCUELA NAVAL DE CADETES" ALMIRANTE PADILLA

Ernesto Araújo Fernández^a
ernesto2002co@hotmail.com

Ramiro José García González^b
granramy@hotmail.com

Fecha de recepción: enero de 2012, Fecha de aceptación: febrero de 2013

Resumen: A continuación se describe el desarrollo del sistema hardware software para la construcción de un piloto automático que permite el seguimiento, de un plan de vuelo definido previamente para un avión no tripulado UAV (por su acrónimo en inglés Unmanned Aerial Vehicle), atendiendo requerimientos del Batallón de Fusileros de Infantería de Marina No. 3. Se presenta la integración de los sensores empleados, así como el entrenamiento del piloto automático mediante un algoritmo de identificación basado en lógica difusa, o borrosa. Al final se muestran los resultados alcanzados en el entrenamiento del sistema para seguir una trayectoria de vuelo.

Palabras clave: UAV (Vehículo Aéreo no Tripulado), BAFIM3 (Batallón de Fusileros de Infantería de Marina No.3), Algoritmo de Identificación Difusa, Sensores.

Abstract: The following describes the hardware system development software to build an autopilot that allows tracking of a predefined flight plan for a UAV drone (for its acronym in English Unmanned Aerial Vehicle), taking requirements Battalion Rifle Marine No. 3. We present the integration of sensors used and the automatic pilot training through identification algorithm based on fuzzy logic. At the end are the results achieved in training the system to follow a flight path.

^a Ingeniero Electrónico, Especialista en Gerencia del Talento Humano de la EAN, Escuela Naval "Almirante Padilla".

^b Ingeniero Electrónico, Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla".

Keywords: (Unmanned Aerial Vehicle), BAFIM3 (Battalion Rifle Marine No. 3), identification algorithm based on fuzzy logic, Sensors.

1. INTRODUCCIÓN

De manera inicial es preciso tener en cuenta que un documento que versa sobre UAVs debe, en primer lugar, incluir una definición de los mismos. Existen muchas definiciones en la literatura, pero la más completa para este trabajo la encontramos en la doctrina de la OTAN: *"Un poderoso vehículo aéreo que no requiere llevar un operador humano, emplea las fuerzas aerodinámicas para poder elevarse, puede volar de manera autónoma o controlado de remotamente, así mismo puede ser desechable o recobable, y puede llevar carga letal o no. Vehículos Balísticos, Semibalísticos, de Misiles de Crucero y de Proyectiles de Artillería no son considerados Vehículos Aéreos no Tripulados."*¹

En el campo de la generación e implementación de pilotos automáticos, se encuentran importantes investigaciones que recurren al empleo de la lógica difusa para tal fin (Álvarez & Vélez, 2003) (RIAI, Enero 2008) (Hines, 1997) (GeeWah, 2003) (Platanitis & Shakarayev, 2005).

El superar obstáculos, como montañas, pendientes, detección por radares, presencia enemiga, o simplemente el cumplimiento de un plan de vuelo, requiere de un control o piloto automático que sobre la base de la lógica difusa faculte al avión no tripulado para sortear adecuadamente dichas situaciones, con el objeto de garantizar el cumplimiento de la misión pero minimizando los riesgos. Para el caso particular del presente trabajo, dicha lógica difusa tuvo su campo de acción en el entrenamiento y generación del algoritmo de control, sobre la base de vuelos experimentales, es decir, con la ayuda de un experto que efectuó los vuelos con control manual a fin de entrenar el algoritmo sobre la dinámica de

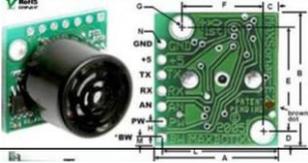
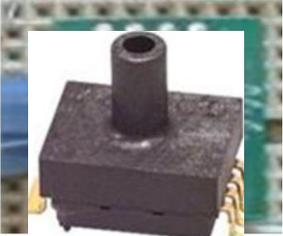
¹NATO Standardization Agency. NATO Glossary of Terms and Definitions AAP-6(2006). Brussels. Enero 2006. pág. 2-U-1

navegación y vuelo del avión.

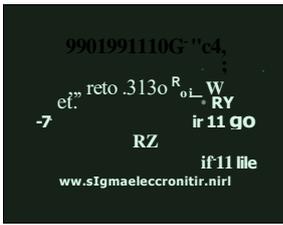
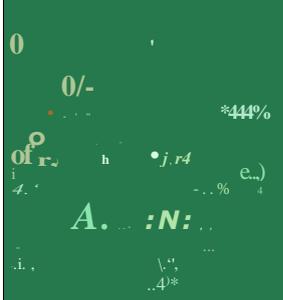
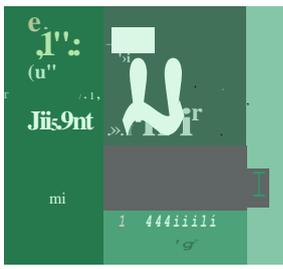
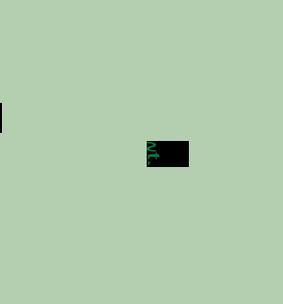
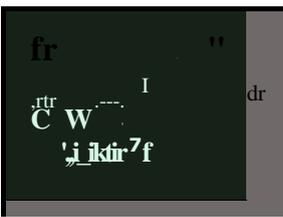
2. SELECCIÓN E INTEGRACIÓN DE SENSORES

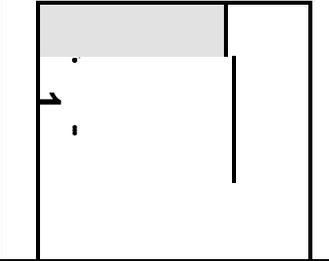
Haciendo a un lado la construcción propiamente dicha del Avión no Tripulado, pues esta quedó en manos de ingenieros aeronáuticos, se destaca a continuación los sensores electrónicos principales integrados y empleados para la toma, adquisición y muestreo de datos, necesarios para el análisis y modelamiento de la dinámica de vuelo del UAV.

Tabla 1. Sensórica del UAV.

NOMBRE DEL SENSOR	IMAGEN	BREVE DESCRIPCION DE SU FUNCION
Sonar Range Finder LV- MaxSonar®-EZ1TmIÓN		Sensor instalado en la parte inferior del UAV y es utilizado para tener información precisa de la separación del UAV con respecto al piso de referencia, al momento de aterrizar o despegar, permite lecturas desde 30 cm a 6 m.
Sensor Altitud MPXM2102 de empaque 1320A-02 MPAK Sensor de Presión Diferencial MPXV5004DP CASE 1351-01EZ1TmIÓN		Está formado por un sensor de presión, el cual registra la variación de esta de acuerdo a la altitud del UAV. Esta variación Sensor de presión diferencial, empleado para la obtención y medición de la velocidad en el aire del avión.

se hace significativa y apreciable a alturas superiores de 50 metros, es por este motivo que éste elemento no se emplea

<p>Acelerómetro MMA7260QT detres ejes Low-g</p>		<p>Sensor que permite medir la inclinación del AUV en el espacio tridimensional, es decir, en los tres ejes coordenados.</p>
<p>Giroscopios Integrated Dual-Axis Gyro IDG-300</p>		<p>Se debe tener en cuenta que la medida de inclinación con acelerómetros se ve afectada por las vibraciones mecánicas que tenga el UAV, por lo tanto dichas medidas deben ser apoyadas mediante un giroscopio, el cual mide la velocidad angular; realizando la integración de esta, y obteniendo el ángulo de inclinación.</p>
<p>Brújula Electrónica CMPS03 - Robot Compass Module</p>		<p>El ángulo del avión respecto al eje Z, al no haber inclinación sino desplazamiento no puede ser medido por el acelerómetro, para la medición de este se utiliza la brújula electrónica.</p>
<p>Sistema GPS PG-31</p>		<p>Mediante este sistema se obtienen el valor de la posición o coordenadas del avión. Por otro lado el sistema GPS también suministra la velocidad y altitud del UAV, sin embargo como la actualización de datos de GPS mínima es de un segundo, solo sirve para confrontarlos con los datos obtenidos por los sensores de presión.</p>
<p>Controlador transmisor</p>		<p>Utilizado para enviar las órdenes del operador hacia el UAV, para movimientos manuales de los servomotores del avión.</p>

<p>Xtend OEM RF Module de 900MHz potencia 1W y alcance 64Km</p>		<p>Es el enlace RF que permite en forma bi direccional leer información del AUV y enviar señales de control al mismo</p>
<p>DSPIC 30F6014A</p>		<p>El DSPIC como sus siglas en ingles lo indican, es un procesador de señales digitales muy rápido y poderoso. Este es el cerebro del UAV trabajando a 120Mhz, se encarga de interactuar con la señales de entrada y genera las señales de control para el UAV, así mismo interpreta las señales de los módems de RE</p>

Todos estos sensores se integran en la tarjeta central de procesamiento tal como se ilustra en la siguiente gráfica, además de esta se tiene una tarjeta similar pero solo para el manejo de los servos y la lectura de los mismos.

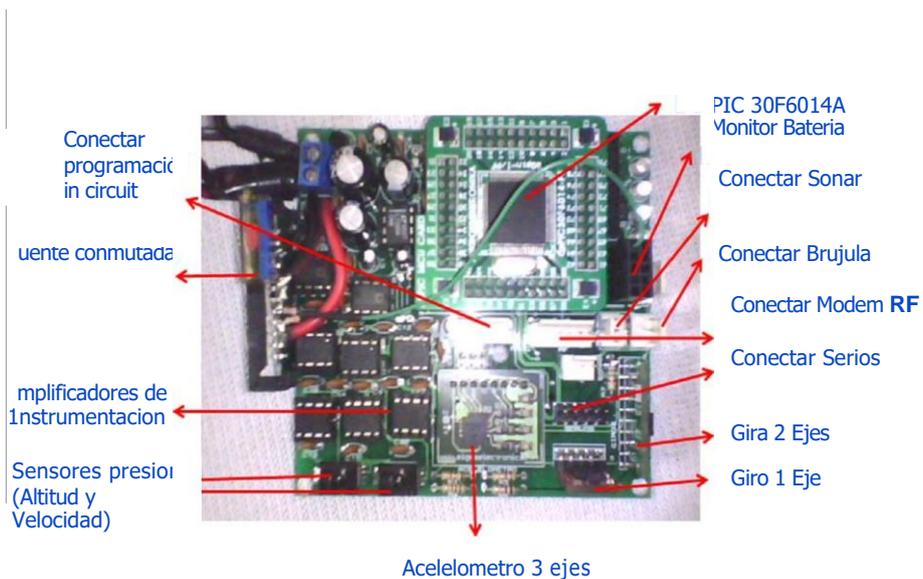


Figura 1. Tarjeta central de procesamiento del UAV

La selección e integración de todos y cada uno de los equipos electrónicos que componen la sensórica del UAV, fueron detalladamente estudiados y elegidos con el objetivo de cumplir los requerimientos mínimos de fabricación y funcionalidad impuestos al avión por el tipo de misión que se espera vaya a desempeñar, así:

- Rango máximo: 10 kilómetros.
- Autonomía: 30 minutos.
- Altitud de vuelo: 200 metros sobre el terreno.
- Velocidad máxima: 65 kilómetros
- Velocidad crucero: 45 kilómetros.
- Carga paga máxima: 1.5 kilos

3. SOFTWARE EMPLEADO

Para efectos de comunicación y programación del Dspic, como procesador principal, se empleó el lenguaje computacional, Mikropascal para DSPIC, así mismo para el análisis de datos, modelamiento matemático y generación del algoritmo de control del piloto automático, se empleó el programa MATLAB.

Finalmente para facilitar una interfaz amigable entre usuario y equipo se desarrolló un código en el programa LABVIEW, donde además se registran los datos necesarios en archivo de texto o tipo plano, de los cuales se extrae la información de interés para el análisis y modelamiento. Ejemplo de esta interacción se evidencia en la figura 2.

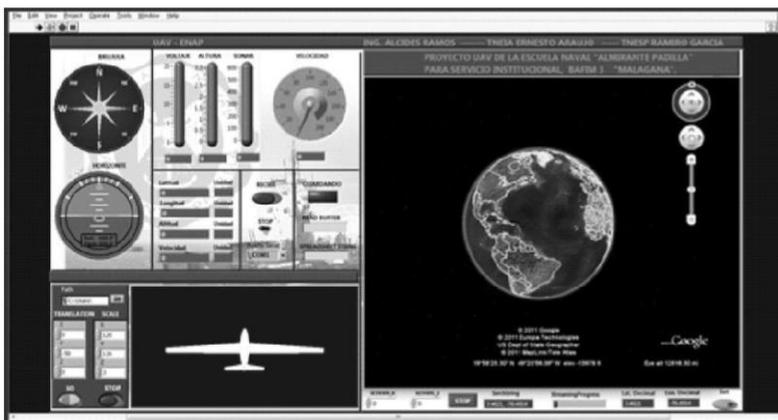


Figura 2. Interfaz visual usuario - sistema.

4. IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE NAVEGACIÓN DEL UAV

Para el diseño del piloto automático se empleó un algoritmo de identificación basado en lógica difusa que se entrena con datos experimentales, de entrada y salida, tomados a partir de maniobras de navegación realizadas por un experto. Es decir, el algoritmo genera un piloto automático que es entrenado, de manera indirecta, por un experto, previa definición de las variables o señales de entrada y salida a utilizar, las cuales son almacenadas en forma de matriz en un archivo de texto (txt) en el cual cada columna representa los datos de cada variable. El algoritmo determina los rangos de cada variable (valores máximo y mínimo de cada variable), distribuye las funciones de pertenencia triangulares en los universos de cada variable de entrada, ubica los consecuentes tipo singleton en el espacio de salida, determina las reglas y ajusta la ubicación de los consecuentes, empleando mínimos cuadrados, para minimizar el error de aproximación. El algoritmo se detiene cuando se ha alcanzado una métrica de error menor a la requerida por el usuario o cuando el número de conjuntos borrosos por variable de entrada es mayor a 9. La distribución de las funciones de pertenencia en cada universo de entrada se hace de manera uniforme para garantizar que la partición resultante sea suma 1; es decir, la suma de los grados de pertenencia de un dato en una variable de entrada será siempre igual a 1.

En resumen, y después de definidas las variables de entrada y salida, se siguen los siguientes pasos:

- a. Organización del conjunto de p variables de entrada y una variable de salida, cada una con N datos.
- b. Aplicación del filtro digital Butterworth, a las señales leídas, con el objeto de aislar el ruido que por vibraciones y factores externos pudieren afectar las mismas (Cook M. V, 1997).
- c. Determinación de los rangos de los universos de cada variable de acuerdo a los valores máximos y mínimos de los datos asociados
- d. Distribución de las funciones de pertenencia triangulares sobre cada universo.
- e. Cálculo de la posición de los valores modales de la(s) variable(s) de entrada, de acuerdo a $u_{A(s)}(x^{(i)}) = 1$
- f. Determinación de las reglas. El número máximo de reglas está determinado por el número de conjuntos de cada variable de entrada multiplicado por el número de variables.
- g. Validación del modelo empleando el método de inferencia donde Tr^i es el valor del singleton correspondiente a la regla j .
- h. Ajuste de los parámetros, reubicando los singletons de salida mediante el empleo del método de mínimos cuadrados.
- i. determinar si la medida del error cuadrático medio MSE es menor a una medida previamente establecida ó si el número de conjuntos por variable de entrada es mayor a 9.

Con el algoritmo descrito se consigue un modelo borroso interpretable con una buena precisión y solo se requiere del ajuste de los parámetros del consecuente, que son tipo singleton, lo que disminuye el tiempo de entrenamiento.

5 CONTROL AUTOMÁTICO PARA SEGUIMIENTO DE UN PATRÓN DE VUELO DETERMINADO DEL UAV.

Como se mencionó, previamente se deben definir cuáles serán las variables de entrada y salida del proceso: se tomarán como variables de entrada la posición actual y una anterior tanto de latitud como de longitud, junto con las señales actuales de velocidad, alerones y timón. Como variables de salida (las que debe predecir el control difuso o piloto automático) se tienen: las posiciones futuras de ángulo de timón y de alerones a los que debe responder en vuelo el avión a fin de mantener el plan de navegación.

Una vez recibido los datos y efectuado el modelamiento de la dinámica de vuelo, nombrada anteriormente se procede a ejecutar el algoritmo de control generado en MATLAB, para efectos de emular el patrón de vuelo deseado para el Avión no tripulado, para esto se muestra gráficamente los datos obtenidos y procesados, donde finalmente se dará como salida, los ángulos que deben asumir los servomotores de alerones y timón a fin de llevar la trayectoria que se haya estimado.

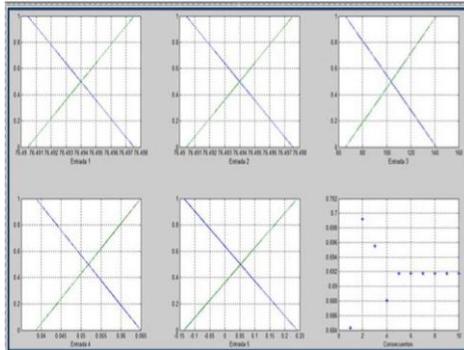


Figura 3. Conjuntos de entrada y Consecuentes del Modelamiento de la dinámica de vuelo del UAV.

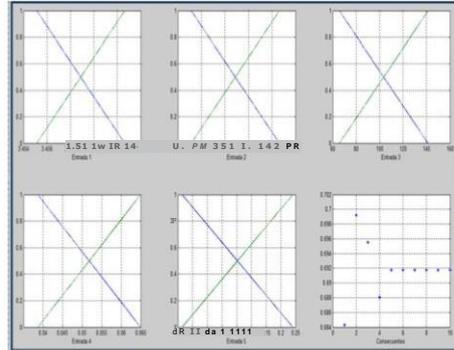


Figura 4. Conjuntos de entrada y Consecuentes del Modelamiento de la dinámica de vuelo del UAV.

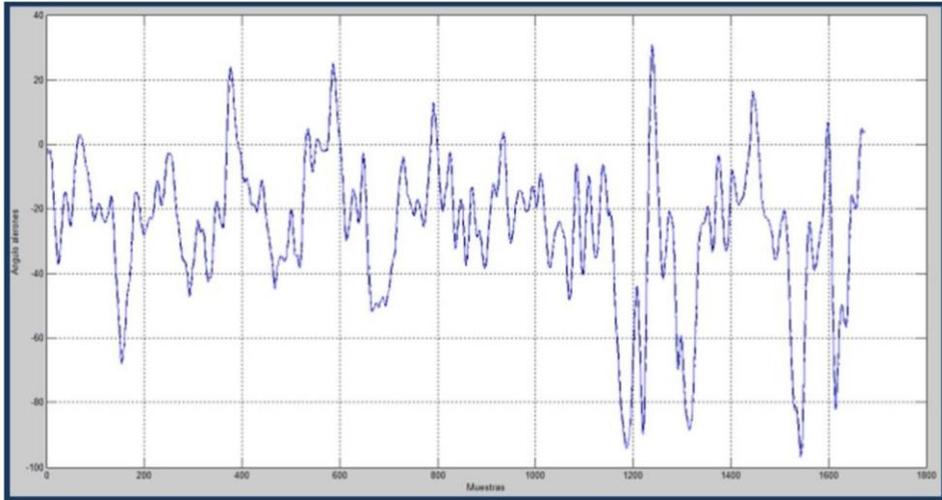


Figura 5. Determinación de ángulos de timón para posiciones futuras.

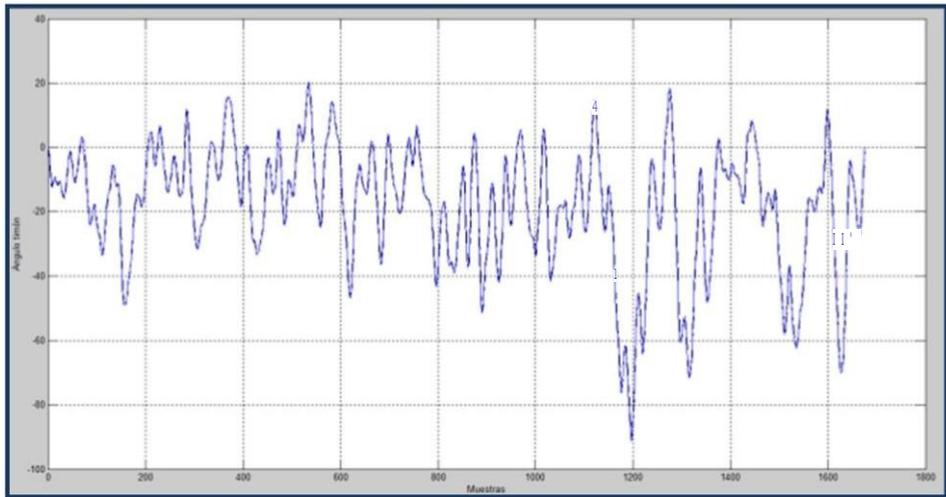


Figura 6. Determinación de ángulos de alerones para posiciones futuras.

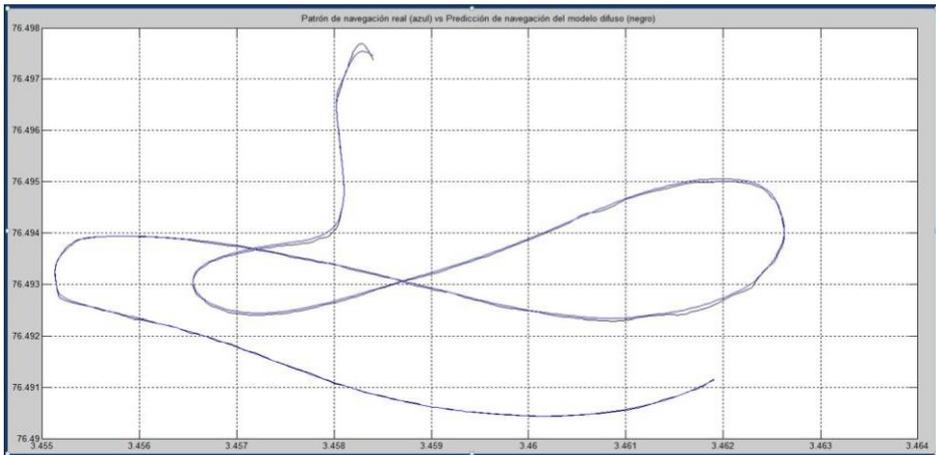


Figura 7. Patrón de vuelo por aproximación con lógica difusa

6 CONCLUSIONES

Se describió el desarrollo, tanto hardware como software, del primer vehículo aéreo no tripulado desarrollado por la Escuela Naval "Almirante Padilla". Se describen los sensores empleados, así como el algoritmo utilizado para construir un piloto automático que pueda seguir, o trackear, con alta precisión un plan de vuelo previamente estipulado.

El desarrollo del proyecto permitió el entendimiento y puesta en práctica de algunos de los tantos protocolos de comunicación existentes entre sensores electrónicos. Reconociendo sus características, inconvenientes y forma de corrección. Como lo fue de manera específica una vez transmitidas las tramas de datos que contienen la información de interés, el proceso de filtrado para la eliminación de ruido que alteraría el resultado final del proceso de generación del algoritmo de control.

El presente trabajo se convierte en el primer gran precedente del abandono y rompimiento de la dependencia tecnológica extranjera. Esto quiere decir, que para el desarrollo y cumplimiento de la misión asignada a la Armada

Nacional, ya a nivel nacional e institucional se cuenta con los conocimientos y medios necesarios para el desarrollo e implementación de tecnología que facilite esta misión, garantizando así el incremento en los índices de seguridad del personal, la reducción de costos y la disponibilidad y adaptabilidad en todo momento, de los equipos o sistemas que se requieran acuerdo las diversas situaciones o ambientes operacionales existentes.

REFERENCIAS

Álvarez, J., & Vélez, S. C. (2003). Diseño, implementación y prueba de un sistema de control y navegación para un mini-helicóptero robot colibrí. Universidad EAFIT, Departamento de Ciencias Básicas.

Cook, M. V. (1997). Flight Dynamics Principles. Butterworth-Heinemann.

GeeWah, N. (2003). Intelligent Systems - Fusion, Tracking and Control. Baldock, Hertfordshire, England: RESEARCH STUDIES PRESS LTD.

Hines, J. W. (1997). Matlab supplement to Fuzzy and Neuronal Approaches in Engineering. New York, NY: Jonh Wiley and Sons. NATO Standardization Agency. (2006).

NATO Glossary of Terms and Definitions AAP-6. Brussels.

Platanitis, G., & Shkarayev, S. (2005). Integration of an Autopilot for a Micro Air Vehicle. AIAA .

RIAI. (Enero 2008). Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, 5(1), 83-92.