

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo:

Título del PFC	1
Introducción y antecedentes del trabajo	1
Objetivos.....	3
Antecedentes y estado del arte.....	3
Organización de la memoria	6
Bibliografía	7

Título del PFC

En el presente documento se desarrolla el proyecto fin de carrera titulado: Piloto Automático para Vehículos Aéreos no Tripulados. Para ello se van a cubrir los aspectos de diseño, desarrollo y test del sistema completo. Aquí se muestra una descripción detallada del diseño de un sistema autopiloto, con énfasis en su diseño hardware y software.

Introducción y antecedentes del trabajo

En 1944, Clarence Kelly Johnson, el legendario fundador de Lockheed's Skunk Works y diseñador de los aviones legendarios SR-71 y U-2, predijo que el futuro de la aviación militar estaba en los vehículos aéreos no tripulados¹, UAV por sus siglas en inglés (*Unmanned Aerial Vehicle*). Actualmente, la Fuerza Aérea estadounidense, la Armada americana, los Marine Corps, y la Navy poseen y utilizan vehículos aéreos no tripulados como apoyo al combate. También existen agencias civiles con fines distintos al combate con gran interés en el sector, como el INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial), la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Association*), y DHS (*Department of Homeland Security*) y otros más.

Desde el primer vuelo controlado de forma automática de un avión en 1916, los militares han imaginado el valor que podría tener un vehículo aéreo no tripulado (UAV) que pudiera espiar al enemigo o incluso lanzar bombas a un objetivo sin poner en peligro a un piloto humano.

¹ Referencias bibliográficas: [3] y [4].

En 1916 Lawrence y Elmer Sperry combinaron dos giroscopios, uno estabilizador, y otro para dirección, y consiguieron hacer un sistema de piloto automático que llamaron *El torpedo Aéreo*. Este avión voló más de 30 millas con Lawrence Sperry como pasajero y es considerado como el primer sistema automático para un avión. Sin embargo, la tecnología aún no estaba lo suficientemente madura, y los militares se vieron forzados a abandonar el Torpedo Aéreo.

Aunque la idea de usar un vehículo aéreo no tripulado, de una forma u otra, nació en la primera guerra mundial, los EE.UU. no comenzaron a experimentar seriamente con UAVs de reconocimiento, hasta finales de los años 50s. La idea de ser capaz de llevar a cabo misiones de espionaje o ataque con municiones sobre los objetivos de las líneas enemigas sin daño a un piloto, ha intrigado mucho a los estrategas militares. Los primeros esfuerzos en llevar a cabo el concepto no tuvieron éxito. Sin embargo, la guerra de Vietnam, y la guerra fría provocó una gran variedad de programas de desarrollo, donde se desarrollaron varios aviones de reconocimiento como el Firebee y el Lightning Bug.

En los comienzos, los UAVs eran difíciles de operar y mantener. La Fuerza Aérea americana, los desplegó en varias misiones, incluyendo la recopilación de señales y la toma de imágenes de alta y baja altitud, tanto de día como de noche. Al final de la guerra de Vietnam, la preocupación por las bajas significativas provocó que solo dos aviones fueran autorizados a volar en misiones de reconocimiento sobre el norte de Vietnam: el UAV Lightning Bug y el avión de reconocimiento tripulado SR-71 a gran altitud. La necesidad urgente de vehículos aéreos no tripulados terminó con la guerra de Vietnam, pero se mantuvo el interés por las capacidades que estos aviones podían ofrecer.

La era de UAVs modernos se originó a principios de los 70s. Los diseñadores en Estados Unidos y de Israel empezaron a experimentar con UAVs más pequeños, lentos y mas baratos. Estos vehículos se parecían a las grandes aeronaves, pero impulsados por motores de moto o de motos de nieve. Su característica más importante era que usaban nuevas cámaras de video, más pequeñas y que podían enviar imágenes en tiempo real al operador.

El ejército de los EE.UU. comenzó a desarrollar un UAV táctico llamado Aquilla en 1979. Sufrió muchos problemas (problemas de desarrollo, sobrecostos, cambios de requisitos) y finalmente fue cancelado en 1987. Durante ese tiempo, los israelíes utilizaron aviones teledirigidos muy simples y baratos con gran eficiencia a la hora de destruir las defensas aéreas Sirias en el Líbano en 1982. Su éxito inspiró al entonces Secretario de la Marina de los EE.UU. John Lehman a adquirir UAVs, para el apoyo en combate. Los esfuerzos realizados por la armada, llevaron a la fuerza aérea a desarrollar nuevos sistemas que fueron utilizados con éxito para operaciones en combate durante los conflictos de Oriente en 1991 y 2003. El uso militar de vehículos aéreos no tripulados se vio reforzada por estas operaciones.

En aplicaciones civiles, los programas de la NASA, como el PA-30 en 1969, estudió cómo controlar de forma remota un avión desde una estación en tierra, pero con un piloto en la cabina de mandos para hacerse cargo por si no salía como se esperaba. La NASA participó en otros programas con éxito para ayudar a desarrollar la base de datos para las futuras investigaciones de UAVs.

El uso de los vehículos aéreos no tripulados se ha incrementado mucho durante los últimos años. Aunque este crecimiento ha sido impulsado principalmente por la demanda de los organismos de defensa de los gobiernos, los UAV están siendo utilizados actualmente para fines no militares. Hoy en día, los UAVs se emplean para propósitos que van desde el seguimiento de la fauna silvestre, hasta la vigilancia de incendios forestales. Los avances en la tecnología microelectrónica han permitido la automatización de estos aviones y convertirlos en una plataforma útil para la teledetección. Debido al desarrollo de sensores en la actividad industrial de la automoción y otros sectores, el coste de los componentes necesarios para construir estos sistemas se ha reducido en gran medida.

Existe otra aplicación con fines distintos a los antes mencionados. Se encuentra en el sector del entretenimiento y cada vez tiene más atractivo en la sociedad moderna. Se trata del aeromodelismo. Cada vez nos resulta menos raro pasear por un centro comercial y encontrarnos un puesto de venta donde hacen demostraciones con helicópteros de radio control y venden aviones teledirigidos. Gracias al gran avance tecnológico, la época en que sólo los militares podían costearse estos vehículos ha pasado a la historia, y ahora está al alcance de nuestras manos.

Mi primer avión me lo regalaron mis padres a comienzos de la carrera y según fui avanzando en mis estudios, mi interés por este hobby pasó del mero entretenimiento de volar un avión a empezar a ver este hobby como algo más interesante, empezaba a pensar, ¿cómo puedo aplicar los conocimientos que estoy aprendiendo en mi avión? Fue en el curso 2007-2008 cuando hice el programa de movilidad SICUE y pasé un año académico en la UPC de Barcelona. Allí el profesor Jose María de Miguel López, me brindó la oportunidad de colaborar con él en su laboratorio, y me contagió con su entusiasmo por el mundo de la electrónica de comunicaciones. Con él realicé mis primeros circuitos de radio, y aprendí mucho de otras áreas. Cuando regresé a la ULPGC puede continuar mi interés por la electrónica, gracias al profesor Eugenio Jimenez Iguacel, al que le estoy muy agradecido, no solo por haberme permitido usar los laboratorios, sino porque durante estos últimos tres años, ha tenido mucha paciencia y me ha guiado en el desarrollo de mis proyectos personales. Gracias a todo esto, mi avión de radio control ha pasado a ser una plataforma donde poder probar y experimentar los conocimientos que he ido aprendiendo. Y ahora con la culminación de mis estudios me pregunto: ¿Qué es lo siguiente? Y es aquí donde surge la inspiración de este trabajo. Todo aquel que haya poseído un avión o un helicóptero de radio control, habrá experimentado el atractivo que tiene que tu modelo sea lo más parecido al avión o helicóptero real. Con este trabajo quiero poner en práctica los conocimientos que he adquirido durante la carrera de Ingeniería Superior en Telecomunicaciones desarrollando un proyecto que pueda servir de punto de partida para otros más complejos orientados a objetivos prácticos y útiles para nuestra Comunidad Autónoma de Canarias, en la que la vigilancia y protección de nuestras áreas forestales, la búsqueda de desaparecidos en los senderos turísticos y zonas de difícil acceso, la vigilancia de nuestras costas, y otros usos justifiquen proyectos de mayor envergadura. Y al mismo tiempo, divertirme con mi hobby favorito.

Objetivos

El fin de este proyecto está enfocado más bien a aplicaciones de radio control, pero puede fácilmente extrapolarse a otros sectores. El objetivo principal es dotar a un avión de radio control con un sistema de piloto automático capaz de controlar completamente el avión en vuelo. El sistema electrónico que se diseña es capaz de estabilizar el avión con el fin de realizar vuelos rectos y nivelados, realizar giros, y seguir un plan de vuelo establecido.

Para ello se diseña un prototipo con el hardware necesario para realizar el control en vuelo y la comunicación con el equipo en tierra con el fin de realizar la telemetría. Así mismo, también se programa el sistema para que lleve a cabo las tareas asignadas.

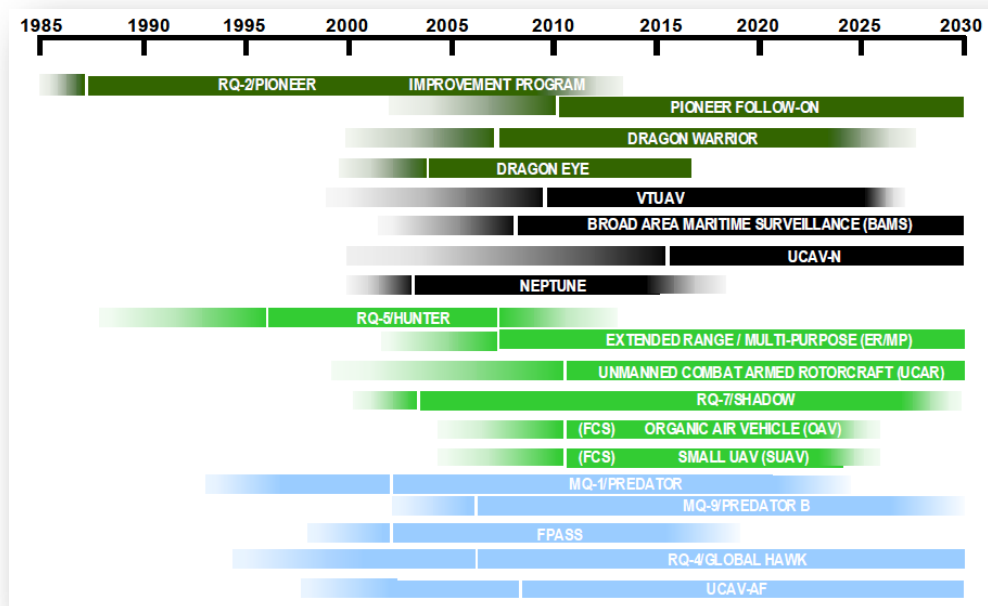
Antecedentes y estado del arte

La idoneidad de los UAVs para las llamadas misiones “aburridas, sucias y peligrosas”, el creciente éxito de los UAVs en servicio y demostraciones, y el aumento de la capacidad de

carga, ha hecho asumir nuevas misiones para aplicaciones civiles. Ejemplo de estas misiones incluyen:

- Fronteras, patrullas costeras y monitorización.
- Seguridad Nacional.
- Cartografía digital.
- Búsqueda y rescate.
- Detección y gestión de lucha contra incendios.
- Comunicación y servicios de radiodifusión.
- Apoyo al control de tráfico aéreo.
- Monitorización de las líneas de transmisión de energía.
- Investigación del medio ambiente y Control/Gestión de la calidad del aire.

En la siguiente imagen se proporciona una descripción condensada de los actuales esfuerzos del Departamento de Defensa americano (DoD) en el desarrollo de UAVs. El Departamento los categoriza como Operacional (los que están en las unidades de campo), Desarrollo (para las unidades que se encuentran en evaluación) y otros, que incluyen activos residuales retirados del servicio con las unidades desplegadas, plataformas concepto de exploración y UAVs conceptuales que se están definiendo. Una descripción más detallada se puede encontrar en: “Defense Airborne Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance Plan (DAISRP)” y en los vínculos indicados en la bibliografía².



Cada vez más, el empleo de pequeños aviones teledirigidos sustituye al hombre en situaciones de alto riesgo. El INTA desarrolla, desde hace años, un amplio programa de investigación para el desarrollo de las tecnologías necesarias que permitan el diseño y construcción de una gama de aviones no tripulados. Fruto de estas actividades el Instituto ha desarrollado los siguientes productos³:

² Referencia bibliográfica: [4]

³ Referencias bibliográficas: [6], [7], [8], [9], [10], [11] y [12].

- SIVA: Es un sofisticado sistema de vigilancia aérea no tripulado de múltiples aplicaciones en el campo civil y militar, que puede ser utilizado como vehículo de observación en tiempo real.
- ALO: Es un sistema de observación de bajo coste y alta fiabilidad idóneo para la adquisición de imágenes aéreas en misiones civiles y militares de corto alcance.
- ALBA: Es un sistema completo de blanco aéreo teleguiado adecuado para mejora la operatividad de las unidades de artillería antiaérea mediante su entrenamiento en condiciones de fuego real.
- MILANO: Es un sistema estratégico de vigilancia y observación todo tiempo compuesto por vehículos aéreos no tripulados enlazados vía satélite con una estación de control en tierra. Desde la estación se planifica, supervisa y controla tanto el avión como las cargas útiles embarcadas. Las aeronaves tienen una autonomía superior a 20 horas y pueden operar a altitudes de hasta 26.000 pies.
- DIANA: Es un sistema de blanco aéreo de altas prestaciones desarrollado para simular amenazas reales. Por su versatilidad, el sistema puede emplearse como sistema de entrenamiento aéreo para gran cantidad de armas actuales y futuras.

Además de estos desarrollos el Instituto continúa el desarrollo de aviones no tripulados de nueva generación, de mini UAV y micro UAV.

En el mercado existen varios pilotos automáticos comerciales especialmente diseñados para trabajar con Vehículos Aéreos no Tripulados. Como el EZI-NAV, el AP04, el Piccolo o el MicroPilot. Se ha detectado que la mayoría de estos sistemas tienen comportamiento y funcionalidades similares: envían los datos de telemetría, controlan el vuelo, reciben comandos desde la estación terrestre y manejan los dispositivos de carga de abordaje como el movimiento de las cámaras de video. Sin embargo, cada sistema posee su propia forma de implementar estas características. La telemetría es enviada en su propio formato y la conexión de radio no está estandarizada.

El EZI-NAV es un sistema completo que implementa un piloto automático digital. Es capaz de controlar el vehículo y seguir un plan de vuelo usando GPS y los sensores inerciales. Su precio de venta al público es de \$3800 USD.

UAV Navigation es una empresa privada que diseña y fabrica Sistemas de Control de Vuelo, (FCS, Flight Control Systems) para aplicaciones UAV y aviación en general. Su principal producto es el AP04. Se trata de un piloto automático capaz de realizar despegues y aterrizaje automáticos. Se trata de un sistema de piloto automático completamente integrado, con control manual y un enlace vía radio. Este dispositivo integra un sistema de navegación GPS/INS que proporciona datos de posición para otros subsistemas. Su precio de venta al público varía entre 8000€ y 10000€.



Figura 1 – AP04

Piccolo es un piloto automático que pertenece a la compañía *Cloud Cap Technology Inc. (CCT)*. Proporciona una plataforma completa donde incluyen piloto automático, sensores de vuelo, navegación, comunicaciones por radio y una interfaz para la carga. Proporcionan una amplia variedad de radios en distintas bandas de frecuencias, todas ellas con una potencia de salida de 1W.



Figura 2 –Piccolo

MicroPilot ofrece una solución compacta de 40x100mm y con un peso de 28g. Ellos se declaran que con estas dimensiones no pierden funcionalidad. Poseen una sola serie, MP2028 de la cual disponen de varias configuraciones con precios que van desde los \$2000 hasta los \$8000 USD.

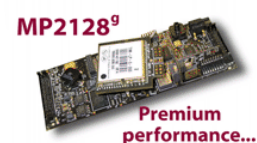


Figura 3 –MicroPilot

Actualmente el hablar de que un avión vuele solo, o que lleve un piloto automático resulta muy común. Sin embargo, como todo en el campo de la aeronáutica, los precios de los equipos profesionales sólo se lo pueden costear las grandes compañías. Aunque estos equipos existan comercialmente, no todos podemos tener acceso a este material. El aeromodelismo, que empezó siendo un proyecto militar, es hoy día, un hobby que esta al alcance de nuestras manos. Los avances en la tecnología microelectrónica han permitido a los ingenieros automatizar estos aviones y convertirlos en plataformas útiles para controlarlas remotamente. Gracias a esto, y a la gran reducción en los costes de los sensores, permite que la realización de este proyecto se pueda llevar a cabo.

Organización de la memoria

Esté proyecto contiene una descripción del diseño, desarrollo y los resultados de las pruebas de vuelo para el piloto automático que se diseña en este proyecto. La memoria está dividida en los siguientes capítulos:

- Capítulo 1: Introducción.
- Capítulo 2: Diseño Global del Sistema.
- Capítulo 3: Diseño de los sensores embarcados.
- Capítulo 4: Diseño del Hardware de control embarcado.
- Capítulo 5: Arquitectura y patrones del software embarcado.
- Capítulo 6: Software del SensorDSC.
- Capítulo 7: Software del ControlDSC.
- Capítulo 8: Diseño del sistema de control terrestre.
- Capítulo 9: Integración del Sistema Completo en un Avión de Aeromodelismo.
- Capítulo 10: Pruebas y resultados.

Bibliografía

- [1] Lizarraga Mariano, Curry Renwick y Elkaim Gabriel. “Reprogrammable UAV Autopilot”. Circuit Cellar. - Abril, Mayo de 2011.
- [2] Rogers Robert M. “Applied Mathematics in Integrated Navigation Systems” 3ª ed. - AIAA EDUCATION SERIES.
- [3] Civil UAV Capability Assessment. - NASA, Diciembre 2004.
- [4] Unmanned Aerial Vehicles Roadmap 2002-2027. – NASA, Diciembre de 2002.
- [5] NASA, www.nasa.gov/.
- [6] Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, www.inta.es/.
- [7] **Aviones no tripulados**
INTA | www.inta.es/programasAltaTecnologia.aspx?Id=1&SubId=3.
- [8] **ALBA**
INTA | www.inta.es/doc/programasaltatecnologia/avionesnotripulados/alba.pdf.
- [9] **ALO**
INTA | www.inta.es/doc/programasaltatecnologia/avionesnotripulados/alo.pdf.
- [10] **DIANA**
INTA | www.inta.es/doc/programasaltatecnologia/avionesnotripulados/diana.pdf.
- [11] **MILANO**
INTA | www.inta.es/doc/programasaltatecnologia/avionesnotripulados/milano_web.pdf.
- [12] **SIVA**
INTA | www.inta.es/doc/programasaltatecnologia/avionesnotripulados/siva_web.pdf.
- [13] **MP2028 Autopilot Series**
MicroPilot | www.micropilot.com/.
- [14] **Piccolo**
Cloud Cap Technology | www.cloudcaptech.com/.
- [15] **AP04**
UAV Navigation | www.uavnavigation.com/.
- [16] **EZI-NAV Autopilot System**, www.auav.net/.