

1 Introducción

Todo sistema artificial es susceptible de ser controlado, con o sin la intervención directa del ser humano. La teoría del control automático nos proporciona modelos matemáticos que permiten a un sistema adaptar su respuesta a condiciones cambiantes sin necesidad de una decisión instantánea de dicho ser humano, lo que se denomina en términos generales comportamiento automatizado. El proyecto HERMES ambiciona dotar de dicho comportamiento a un helicóptero de aeromodelismo, eliminando así la necesidad de un piloto a los mandos.

Existen numerosas técnicas para implementar un control automático sobre un sistema, desarrolladas en su amplia mayoría durante el siglo pasado. En todas se observa una tendencia en la que se busca un compromiso entre simplicidad y máxima optimización del control, caracterizándose generalmente dicha optimización por el empleo mínimo posible de recursos y la máxima modificación en la respuesta del sistema en cada acción que los actuadores (en nuestro caso son mecánicos y aerodinámicos, todos movidos por servomecanismos) ejercen sobre el mismo. En el proyecto HERMES se pretende implementar, además de métodos tradicionales del tipo PID, un controlador de los que se enmarcan en la *Teoría del Control Óptimo*. Para ello es necesario elaborar un modelo con las variables que describen el comportamiento del helicóptero. La complejidad del comportamiento de un helicóptero se refleja en el carácter no lineal de las ecuaciones en las que se basa este modelo.

Este proyecto fin de carrera dotará al helicóptero del proyecto HERMES de un sensor que mida la velocidad angular del rotor principal y otro sensor que mida el ángulo de paso colectivo de sus palas, así como una aplicación informática que calcule la derivada del ángulo de paso colectivo. Las tres variables son fundamentales en el modelo del helicóptero, y con los sensores implementados en este proyecto para medirlas y los sensores implementados en un Proyecto de Fin de Carrera anterior a éste³, el HERMES dispone de valores de todas las variables de estado que describen su comportamiento.

Contexto. El proyecto HERMES

El objetivo fundamental del proyecto HERMES es dotar a un helicóptero de aeromodelismo de vuelo autónomo. Se pretende que en su capacidad operativa final, el HERMES permita al piloto alternar entre control manual y control automático desde los mandos de la emisora de radio. Sólo considerando los distintos comportamientos en vuelo de la aeronave, este objetivo requiere superar una serie de hitos parciales. El primer hito del proyecto es conseguir que el helicóptero se mantenga estable en vuelo a punto fijo de forma autónoma.

El aparato utilizado es un *Thunder Tiger Raptor 30*, con motor de combustión interna *Thunder Tiger Pro Size 36*. Tiene un rotor principal de dos palas, además de un estabilizador mixto tipo *Bell-Hiller* para aportar estabilidad al rotor principal. Un servomotor se encarga de modificar el paso colectivo de las palas del rotor principal y otros dos se encargan de las actuaciones cíclicas del mismo. Otro servomotor controla el paso de las palas del rotor antipar y otro más controla la válvula de alimentación del

motor de combustión (es la “palanca de gases” del modelo). En total son cinco servomotores que reciben señales de mando por cinco canales distintos de radiofrecuencia. Tanto el rotor principal como el de cola (mediante transmisión por correa dentada) reciben su potencia de giro del motor de combustión interna.

Para cubrir las necesidades de aviónica del proyecto se ha optado por utilizar un ordenador embarcado de arquitectura PC-104 y formato EBX, la *Diamond Systems Hércules EBX*. Esta placa incorpora en unas dimensiones reducidas todos los periféricos fundamentales de cualquier ordenador de uso personal y módulos adicionales enfocados a aplicaciones de adquisición de datos y comunicaciones. Es la encargada de recibir medidas de los distintos sensores, procesarlas y elaborar señales de control adecuadas para cumplir los requisitos de actuaciones, enviándolas a los actuadores del helicóptero. Además, se utilizará su capacidad de conexión Ethernet para enviar los datos de las medidas a una estación de monitorización y soporte en tierra en tiempo real. La caja de aviónica embarcada se diseñó y fabricó en un Proyecto de Fin de Carrera anterior a éste². La gestión de operaciones se realiza mediante aplicaciones informáticas elaboradas en Proyectos de Fin de Carrera anteriores a éste^{1,4}.

La implementación de un controlador en un sistema no lineal multivariable requiere un modelo matemático del sistema complejo y costoso de calcular. Para describir el vuelo de un helicóptero se ha elaborado un modelo de cinco variables. Estas variables son la altura, la variación de la altura, el paso colectivo, la variación del paso colectivo y la velocidad de rotación del rotor principal. En esta etapa del proyecto HERMES situamos un punto de equilibrio en vuelo a punto fijo. Para caracterizar numéricamente y particularizar el modelo teórico hasta llegar al modelo específico de nuestro helicóptero es necesario un proceso de *Identificación de Parámetros* en el que se realizará una batería de experimentos que permita obtener las constantes de éste último.

Objetivo del proyecto de fin de carrera

Actualmente, el proyecto HERMES está dotado de toda la tecnología necesaria para implementar los sensores adecuados para medir las variables del modelo matemático que describe el comportamiento del helicóptero. En su configuración actual ya tiene operativos dos sensores de altura que le proporcionan, para mayor precisión, dos medidas redundantes de la misma variable de estado³. Su derivada se puede obtener a través del cálculo numérico. Este proyecto tiene como objetivo equipar al HERMES con una infraestructura de sensores y aplicaciones informáticas que le proporcione las medidas y valores calculados (estos últimos para el caso de la derivada del paso colectivo) de las restantes variables de estado. Una vez se tengan las 5 variables en tiempo real se podrá comenzar a identificar el modelo del sistema y diseñar el control del aparato.

Las soluciones elegidas en este trabajo han superado pruebas basadas en diversos criterios para su elección. El autor es consciente de que la solución adoptada en cada caso puede no ser la óptima, o tener una alternativa de mayor proliferación en aplicaciones similares. Una parte importante de este proyecto ha sido el diseño conceptual de los aparatos de medida, ya que no se han seguido directrices ni especificaciones preestablecidas. Los únicos requisitos técnicos los ha establecido el propio autor para poder satisfacer las necesidades del proyecto HERMES. La

validación final de los sensores en distintos montajes y plataformas ha sido fundamental para alcanzar el objetivo principal: comprobar y demostrar que el sistema proporciona valores correctos de las tres variables de interés. Dicha validación es una parte fundamental del proyecto y se analizará en capítulos posteriores.

Algunos de los criterios tenidos en cuenta para elegir la tecnología sensorial más adecuada han sido:

- *Durabilidad*: el aparato sensorial del helicóptero tiene que sobrevivir a un proceso de identificación del modelo, que entraña un elevado número de experimentos en todas las condiciones de vuelo posibles (dentro de la envolvente de vuelo a punto fijo), y a un proceso de implementación de leyes de control, en el que será necesario un número de experimentos equivalente.
- *Reemplazabilidad*: en caso de sufrir un malfuncionamiento, el módulo defectuoso del aparato sensorial ha de ser fácilmente reemplazable por uno nuevo, por lo que se ha procurado que ninguna de las instalaciones físicas realizadas en el helicóptero sea permanente.
- *Sencillez*: este criterio siempre es influyente, ya que las complicaciones innecesarias conllevan problemas potenciales innecesarios.
- *Peso*: en la aeronáutica, este criterio es determinante por motivos obvios. Las instalaciones son lo más ligeras posibles, empleando el aluminio como metal estructural fundamental y los plásticos en los elementos exentos de sollicitaciones mecánicas.
- *Económicos*: un proyecto académico de estas características carece de presupuesto para emplear materiales y dispositivos de especificaciones superiores a las comerciales.

¹*Aplicación de tiempo real para sistemas de control de vuelo de un helicóptero de aeromodelismo* (Pablo Pujol Pérez)

²*Caja Aviónica para Teleoperación y Control desde Estación Base Terrestre Adaptable al Helicóptero Comercial de Radio Control X-CELL-SPECTRA-G-3D* (José Manuel Santos García).

³*Implementación de Sensores de Altitud en Plataforma de Pruebas para Helicópteros RC* (Adrián Jiménez González).

⁴*Diseño y programación de interfaz gráfica para comunicación, monitorización y control de vehículo aéreo no tripulado* (Patricia Rodríguez Díaz-Peñalver)