

6 Conclusiones

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.

En este proyecto de fin de carrera se ha descrito todo el proceso de diseño, desarrollo, implementación y validación de dos sistemas sensoriales que proporcionan valores fidedignos en tiempo real de tres variables imprescindibles en el modelo dinámico que aproxima el comportamiento de un helicóptero. El proyecto es necesariamente multidisciplinar, y sobre él se han vertido conocimientos de programación, diseño mecánico, microelectrónica, equipos de radiofrecuencia, y gestión de un proyecto académico.

No se ha profundizado en el modelado matemático del helicóptero y de los sensores implementados porque éste no es un objetivo fundamental de este proyecto. La obtención de unas ecuaciones que modelen de forma rigurosa el movimiento de los mecanismos del helicóptero, su tratamiento matemático, y/o el modelado de dichos mecanismos en algún programa de diseño tridimensional podrían ser la base de un proyecto complementario a éste. Como un modelado de estas características no es necesario para obtener las medidas que se precisan en este proyecto, no se ha incorporado al mismo.

Si nos referimos al objetivo de este proyecto, planteado en el apartado 1 **Introducción**, podemos comprobar hasta qué punto se ha cumplido:

“Actualmente, el proyecto HERMES (...) 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 estado (...) 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. (...) se puede considerar que este proyecto de fin de carrera cierra la primera fase del proyecto HERMES.”

Se han implementado dos sensores con programas informáticos que proporcionan medidas de las tres variables de estado (velocidad de rotación del rotor principal, ángulo de paso colectivo del rotor principal y derivada de dicho ángulo de paso) que sumadas a las dos que ya tenían sensores asociados, forman el modelo matemático de la dinámica de un helicóptero en vuelo a punto fijo. Hay que resaltar que una variable de estado (variación de la altura) se obtiene, al igual que la derivada del paso colectivo, mediante cálculo numérico a partir de las medidas de los sensores de altura. Este programa de cálculo numérico queda fuera de las competencias de este proyecto de fin de carrera.

Existen conjuntos de medidas de las tres variables de estado tratadas en este proyecto, así como gráficas asociadas en las que se puede observar con claridad su evolución en cada experimento. Estos resultados están expuestos en la sección **5 Validación y pruebas funcionales**. Dichos resultados son la base argumental para concluir que se ha alcanzado el objetivo principal del proyecto. Esta afirmación requiere un matiz aclaratorio. No se ha realizado ninguna prueba operativa con el helicóptero arrancado y los sensores obteniendo medidas de las tres variables de estado de forma simultánea. Dicha prueba no ha sido posible por un accidente ocurrido con el helicóptero durante el transcurso de la campaña de ensayos. **Sin embargo, esta prueba no se considera necesaria para demostrar que los sensores registran medidas correctamente.** La base de argumental de esta conclusión se encuentra también en la sección **5 Validación y pruebas funcionales**. Una prueba de estas características sería deseable en cuanto sea posible para comprobar el efecto de las vibraciones, provocadas por el motor de combustión del helicóptero, sobre las medidas, y tomar las medidas oportunas para atenuarlo.

Desarrollo futuro

Durante la ejecución de este proyecto se han detectado algunos aspectos sobre los que se puede trabajar para generar valor añadido en el proyecto *HERMES*. El primero es el de la redundancia de los sensores. Esta redundancia ya existe en los sensores de altura, diseñados e implementados en un proyecto de carrera anterior a éste. Además de ser dos sensores independientes, emplean tecnologías diferentes, al ser uno un potenciómetro adosado al eje de una articulación de la plataforma de pruebas, y el otro un sensor de ultrasonidos que incide sobre la base de dicha plataforma. El autor propone extender esta redundancia a los sensores de paso colectivo y velocidad de giro del rotor principal. Tres motivos principales justifican este desarrollo:

- Un sensor redundante permite proseguir con operaciones y ensayos cuando el sensor principal sufra avería o no pueda proporcionar medidas óptimas.
- Cuando se operan el sensor principal y el redundante simultáneamente, las medidas recibidas por ambos se pueden fusionar con algoritmos de ponderación adecuados para aumentar la precisión de los valores obtenidos para una variable de estado.
- Si se emplea una tecnología distinta en el sensor redundante, se puede combatir con mayor eficacia los diversos fenómenos de interferencia asociados a la naturaleza de la tecnología empleada en el sensor principal. En este texto hemos visto tecnologías alternativas, que podrían servir para implementar un sensor redundante, tanto para el sensor de paso colectivo como para el sensor de velocidad de giro del rotor principal. Para más detalles consultar las **secciones 4.1 y 3.1** respectivamente.

Como desarrollo futuro adicional, se propone mejorar los algoritmos de cálculo empleados en el programa de cálculo de la derivada del paso colectivo. En este proyecto se ha implementado un algoritmo muy robusto y sencillo, pero que a su vez proporciona una aproximación a la derivada manifiestamente mejorable. Se pueden implementar fórmulas de derivación numérica más complejas para obtener valores más precisos de la tasa de variación del paso colectivo. Este ejercicio de matemática aplicada queda fuera del ámbito de este proyecto.