
CONCLUSIÓN

A lo largo del presente texto se ha intentado transmitir la esencia del trabajo realizado durante la totalidad del Proyecto de Fin de Carrera. En lo que respecta estrictamente a los objetivos trazados se lograron cumplir la mayoría. Sin embargo el proyecto resultó ambicioso en cuanto al alcance planteado inicialmente en función de la poca experiencia del grupo en la gran mayoría de los desafíos que se encontraron. El proyecto en el que se trabajó comprende una gran variedad de áreas como la electrónica y el procesamiento de señales, pero es en esencia, un proyecto de control. Paradójicamente, los problemas específicos sobre el diseño en sí del controlador y del modelado del sistema no fueron las áreas en las que se encontraron mayores dificultades, probablemente debido a la experiencia ya adquirida a lo largo de la formación que hemos recibido en la *grandiosa* Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. Previo al comienzo del proyecto, las dificultades de pasar de la teoría y de las simulaciones al sistema real eran inimaginables. Esta fue probablemente la mayor dificultad frente a la cual nos enfrentamos diariamente a lo largo de este trabajo.

A pesar de las dificultades planteadas y de no lograr cumplir con la totalidad de los ambiciosos objetivos trazados inicialmente, se desprenden diversas valoraciones positivas en cuanto a las enseñanzas del proyecto tanto en lo académico como en lo que refiere a la dinámica del trabajo en grupo.

En lo que respecta al alcance del proyecto, la gran mayoría de los puntos planteados fueron logrados con éxito. Se modeló el sistema, se desarrolló un simulador donde es posible testear la performance de las técnicas de control implementadas, se logró la integración del sistema dejando una plataforma estable y con gran capacidad, se decodificó el protocolo de comunicación con los motores logrando actuar sobre ellos, se desarrolló un control LQR automático y fundamentalmente **se logró el vuelo autónomo de una plataforma aérea no tripulada**. A su vez, como objetivo secundario, se desarrolló una aplicación para obtener la posición y orientación del cuadricóptero con una muy buena precisión (del orden de algunos centímetros en la posición), utilizando una cámara montada en el cuadricóptero, la cual por razones de tiempo no pudo ser testeada sobre el mismo (por más detalles, visitar el anexo ??).

Además del modelado del sistema se desarrollo la teoría que permite trabajar con algunos tipos de trayectorias como rectas, círculos y equilibrio logrando simu-

laciones que arrojan resultados muy satisfactorios. Lamentablemente, por falta de tiempo estas trayectorias no pudieron ser testeadas en la práctica completamente. La única prueba que se realizó fue la de lograr el *hovering*, logrando resultados ampliamente satisfactorios.

Por otro lado, y aún más importante, se implementaron dos plataformas idénticas que le permiten al departamento de Sistemas y Control del instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería contar con nuevos elementos para continuar desarrollando técnicas de control orientas a la navegación no tripulada, ya sea en líneas de investigación independientes, en futuros Proyectos de Fin de Carrera o postgrados. El sistema integrado permite, con algunas salvedades, la puesta a prueba de las técnicas a desarrollar en un ambiente de laboratorio.

Gran parte del trabajo realizado consistió en comprender la forma en que se debía actuar sobre los motores (dado que esta información no se encontraba disponible), y en comprender como lograr una adecuada medida de las variables de estado en función de los sensores de los que se disponía. La falta de experiencia llevó además a no realizar las compras adecuadas en una primera instancia, teniendo así demoras a lo largo del proyecto y duplicación del trabajo. A modo de ejemplo fue necesaria la inclusión de un magnetómetro, barómetro y termómetro para poder lograr una medida completa de todas las variables de interés, sensores que no fueron previstos en una primera instancia. Más allá de los contratiempos, idas y vueltas, quedó demostrado que efectivamente es posible lograr el vuelo autónomo de una vehículo aéreo no tripulado con los sensores utilizados, presupuesto acotado y mucha dedicación.

Como se adelantó en la introducción a este texto no era un objetivo lograr un producto final ni definitivo, sino que se trataba de integrar una plataforma que permita continuar la investigación en temáticas relacionadas con la navegación. En particular a partir de este momento se abren diversas líneas de investigación. En lo que refiere por ejemplo a la estimación del estado la principal línea a explorar es la inclusión de cámaras ya sea en el cuadricóptero o en la zona de prueba, a fin de evitar el problema de la falta de GPS en ambientes cerrados. Otra línea de trabajo posible en lo que refiere a la estimación del estado consiste en explorar en profundidad la forma de reducir los errores aportados por los sensores de forma de lograr mejores estimaciones de algunas variables (en particular las velocidades y posiciones en el plano horizontal).

A lo largo del presente proyecto se observaron en diversas oportunidades deficiencias en el control de los motores. En particular es interesante señalar la variación de la velocidad que los mismos presentan en función de la batería disponible. Un controlador más robusto puede ser implementado eliminando una fuente de error de modelado del sistema. Asimismo, para algunas aplicaciones puede ser interesante contar con motores que puedan girar tanto en sentido horario como anti-horario.

Finalmente se puede nombrar una línea de trabajo orientada a la creación de rutas óptimas y el desarrollo de algoritmos de control más sofisticados que involucren técnicas de control no lineales de forma de abrir el abanico de las trayectorias realizables. A modo de ejemplo a lo largo de este proyecto trabajamos con giros respecto del eje vertical, sin embargo algunas maniobras requieren giros respecto de

otros ejes, pero las técnicas de control desarrolladas en este proyecto limitan estas posibilidades.

El trabajo realizado a lo largo del Proyecto de Fin de Carrera nos permitió enfrentarnos a un problema de ingeniería real y suficientemente complejo de el cual se obtienen enseñanzas más allá del plano académico y fundamentalmente agregó un familiar más a las vidas de cada uno de nosotros: *nos dió un tío*.

“La potencia sin control no sirve de nada” - William Bridgestone