
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 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 desarrolló la teoría que permite trabajar con algunos tipos de trayectorias como rectas, círculos y equilibrio logrando simulaciones

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 orientadas 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 un 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 se comprobó que los mismos tienen un grave problema de diseño en lo que respecta a la disipación térmica, produciendo que algunos de los transistores de potencia que los componen se quemen. Esto produce que algunos motores dejen de funcionar. Esta deficiencia se observó sobre el final del proyecto en el momento de realizar las pruebas sobre el sistema completo, por lo tanto no hubo tiempo de resolver dicha dificultad. Debe señalarse la necesidad de re-diseñar estos controladores o adquirir otros de forma de eliminar un factor de riesgo. Asimismo puede aprovecharse para mejorar otros aspectos secundarios de los ESCs como por ejemplo lograr eliminar la variación de la velocidad que los motores presentan en función de la batería disponible. Asimismo, para algunas aplicaciones puede ser interesante contar con motores que puedan girar tanto en sentido horario

como anti-horario.

Respecto al software, la implementación cumple con todos los requisitos que se le impusieron pero se verá limitada al intentar asignarle tareas adicionales. Esto se debe al hecho de que el sistema de control, que debe mantener estable al cuadricóptero, corre sobre un sistema operativo, lo cual simplifica muchas cosas al usuario pero complica el tema de los tiempos ya que el sistema operativo está pensando para manejar muchas tareas con una latencia razonable y no una sola con una latencia muy baja. Esto se podría mejorar cambiando la arquitectura del software, portando el código encargado de la estabilidad a un microprocesador embebido, y dejando el sistema operativo para tareas de más alto nivel con menores restricciones de tiempo.

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 del cual se obtienen enseñanzas más allá del plano académico. Principalmente se debe destacar la forma de encarar un problema que tiene una gran cantidad de sub problemas asociados que deben resolverse para lograr el correcto funcionamiento del conjunto. La identificación de las diferentes problemáticas a resolver es un ejercicio que hasta el momento no se había realizado. El segundo aspecto a destacar es la autogestión del tiempo para cumplir los objetivos a largo plazo, los plazos del mismo (a pesar de las entregas intermedias) son impuestos fundamentalmente por el grupo a diferencia de la experiencia en el resto de las asignaturas de la facultad.