

# Tesis de Ingeniería Electrónica

## Diseño y Construcción de una Computadora de Vuelo para Vehículos Autónomos con Tolerancia a Fallas

Alumno:

98211    Nuñez Frau Federico Ignacio    fnunezf@fi.uba.ar

Director:

203004    Pose Claudio    cldpose@fi.uba.ar

Co-director:

Garberoglio Leonardo    lgarberoglio@frsn.utn.edu.ar

25 de septiembre de 2023

### 1. Descripción del Proyecto

En los últimos años ha habido un incremento en el uso de vehículos aéreos no tripulados para aplicaciones fuera del ámbito militar, como por ejemplo búsqueda y rescate, uso en construcciones e inspección, agricultura de precisión, vigilancia, entre otros [1]. Teniendo en cuenta la importancia que han tomado en distintas actividades, además del hecho de que en muchas de estas aplicaciones estos sobrevuelan zonas donde circulan personas, resulta mandatorio garantizar cierto grado de confiabilidad en su funcionamiento. En vehículos aéreos tripulados como aviones comerciales y militares, es común que para ello se utilicen técnicas de tolerancia a fallas a partir de redundancias. Esto mismo ocurre con vehículos aéreos no tripulados de uso militar, aunque no es tan común en aquellos de uso civil y comercial.

En este contexto, el objetivo de este trabajo de Tesis es el diseño y construcción de una computadora de vuelo, con la capacidad de implementar mecanismos de tolerancia a fallas, a partir de redundancias, utilizando componentes *commercial off-the-shelf* (COTS) [2, p. 26].

### 2. Antecedentes

El Laboratorio de Automática y Robótica de la FIUBA (LAR) cuenta con plataformas de computadoras de vuelo desarrolladas en el mismo laboratorio, que se utilizan con distintos fines de investigación. Estas computadoras de vuelo han ido incorporando distintas mejoras a lo largo de los años, y se han ido actualizando con nuevos componentes como sensores o microcontroladores. La primera de las versiones cuenta con un microcontrolador ARM Cortex M3, mientras que la última de estas cuenta un ARM Cortex M7 y sensores con mejor rendimiento [3].

El LAR plantea diseñar un vehículo multi-rotor de seis rotores, con capacidad de tolerancia a fallas. En este contexto, en el presente trabajo se quiere diseñar una computadora de vuelo que incorpore sensores de orientación y posición redundantes, con el objetivo de implementar técnicas de tolerancia a fallas a partir de redundancias de hardware.

### 3. Área/s Profesional/es de Relevancia

Para el presente trabajo de Tesis, las áreas profesionales de relevancia encuadradas dentro del alcance del título de Ingeniero/a Electrónico/a de la UBA son las de Sistemas Digitales y Computación, y Automatización y Control.

## 4. Objetivo General y Objetivos Particulares

El presente trabajo de Tesis tiene por objetivo el diseño y construcción de una computadora de vuelo de bajo nivel, a ser utilizada en un vehículo aéreo hexarotor, no tripulado. Como aspecto particular, esta debe contar con la capacidad de tolerar ciertas fallas de hardware que puedan ocurrir en pleno vuelo. Lo que se busca, es que estas fallas no impacten en la misión del vehículo y que puedan ser detectadas para tomar una acción.

El presente trabajo se enmarca en un proyecto más amplio, dirigido por el LAR, el cual consiste en el desarrollo de un vehículo hexarotor tolerante a fallas. Esto contempla el diseño mecánico del vehículo, el diseño de la computadora de vuelo y su correspondiente software, el diseño e implementación de los algoritmos de control adecuados, el diseño de un sistema de estimación y control de velocidad, el diseño de algoritmos de evasión de obstáculos y el diseño de técnicas de detección e identificación de fallas en pleno vuelo.

Los objetivos particulares son:

- Entender el estado del arte, en cuanto a tolerancia de fallas en vehículos aéreos no tripulados y sistemas críticos en general.
- Diseño y construcción de la computadora de vuelo.
- Pruebas del correcto funcionamiento de la misma.
- Desarrollo de un prototipo que ejecute un mecanismo de tolerancia a fallas.
- Validación del prototipo, simulando distintos tipos de fallas en el vehículo.

## 5. Definición de la Necesidad y Evaluación Preliminar de las Soluciones Existentes

El LAR se encuentra trabajando en un proyecto de diseño y construcción de un vehículo aéreo no tripulado con capacidad de tolerancia a fallas. Este proyecto resulta muy amplio, ya que abarca distintos aspectos del vehículo. Uno de ellos comprende la necesidad de un módulo que centraliza toda la información, donde se adquieren mediciones de los sensores, se procesan dichos datos, y se realiza el control de los diversos aspectos del vehículo, denominado computadora de vuelo. Como aspecto a destacar, esta debe integrar mecanismos que permitan implementar distintos tipos de técnicas de tolerancia a fallas. Por ejemplo, una falla en un sensor o en un cálculo de la ley de control, podría traer consecuencias como el fracaso de la misión. Teniendo en cuenta que estos vehículos cada vez sobrevuelan más espacio aéreo civil, resulta necesario garantizar cierto grado de confiabilidad.

Se buscaron trabajos similares que preferentemente utilicen componentes COTS. Dos de los trabajos que se tendrán en cuenta para el desarrollo de esta Tesis son [4] y [5]. Ambos implementan mecanismos de tolerancia a fallas a través del intercambio de información entre los nodos redundantes, como puede ser una medición de un sensor o el resultado del cálculo de la ley de control. En el caso en el que alguno de los nodos presente algún comportamiento anómalo, este entregará información que no se corresponderá con la entregada por los demás nodos. Esto es algo típico de sistemas redundantes, como es el caso de los aviones comerciales y militares, donde las fallas son detectadas utilizando algoritmos de votación de la información entregada por cada nodo [6, p. 217]. En [4] se implementa una arquitectura con redundancia cuádruple para un UAV. Estos típicamente realizan las tareas de relevamiento de datos de sensores, cálculo de la ley de control y aplicación de resultados a sus actuadores, de manera cíclica. La tolerancia a fallas se implementa a través del intercambio de información entre los 4 nodos, buscando lograr un consenso. Esto quiere decir que todos los nodos deben coincidir por ejemplo, en el valor de la medición de un sensor o en el resultado de un cálculo de la ley de control. En [5], el trabajo también implementa la tolerancia a fallas a través del intercambio de sus nodos. Este tiene la particularidad de hacer énfasis en una arquitectura gobernada por el tiempo, es decir que el vehículo funciona de una forma predefinida, lo que le da mayor determinismo y seguridad al sistema. Esto se traduce en que los nodos trabajan de manera sincronizada.

El desarrollo del presente trabajo tendrá en cuenta los requerimientos típicos de un sistema tolerante a fallas, de tiempo real. A su vez se considerarán los requerimientos planteados por el LAR, correspondientes al proyecto en el que este trabajo se enmarca. Esto comprende los sensores e interfaces de comunicación necesarias de propósito general, además de la interfaz de comunicación utilizada para implementar el mecanismo de tolerancia a fallas.

## **6. Descripción del Alcance del Proyecto y Planteo de los Mecanismos que se Utilizarán para Verificar la Calidad de los Resultados Obtenidos**

La principal tarea consiste en el diseño y el desarrollo de la computadora de vuelo, teniendo en cuenta los requerimientos planteados por el proyecto en el que se enmarca. Para ello se realizarán las siguientes tareas:

- Recolectar información sobre las normas comerciales para el hardware, respecto a requerimientos de cada uno de los posibles integrados, componentes, y diseño de un PCB.
- Selección de componentes físicos para una computadora de vuelo. Esto comprende los distintos tipos de sensores necesarios, los módulos que debe controlar la computadora de vuelo y las interfaces de comunicación externas. Particularmente, se tendrá en cuenta la necesidad del stacking de múltiples controladoras de vuelo para redundancia.
- Diseño del circuito esquemático y desarrollo de la placa de circuito impreso de la computadora de vuelo, teniendo en cuenta aspectos de manufacturabilidad.
- Análisis de los requerimientos y las características de un sistema tolerante a fallas de tiempo real.
- Construcción de un prototipo que demuestre la capacidad de tolerar fallas, en la computadora de vuelo.

## **7. Definición de los Entregables**

Se presenta una lista de los entregables. A su vez, en la figura 1, se adjunta un cronograma de actividades.

- Circuito esquemático y diseño de la placa de circuito impreso de la computadora de vuelo, junto con la correspondiente lista de componentes.
- Computadora de vuelo funcional, con la correspondiente interfaz de comunicación para implementar algoritmos de tolerancia a fallas.
- Evidencias que demuestren la capacidad de tolerancia a fallas de la computadora de vuelo, a partir de la construcción de un prototipo funcional.
- Informe final del trabajo.

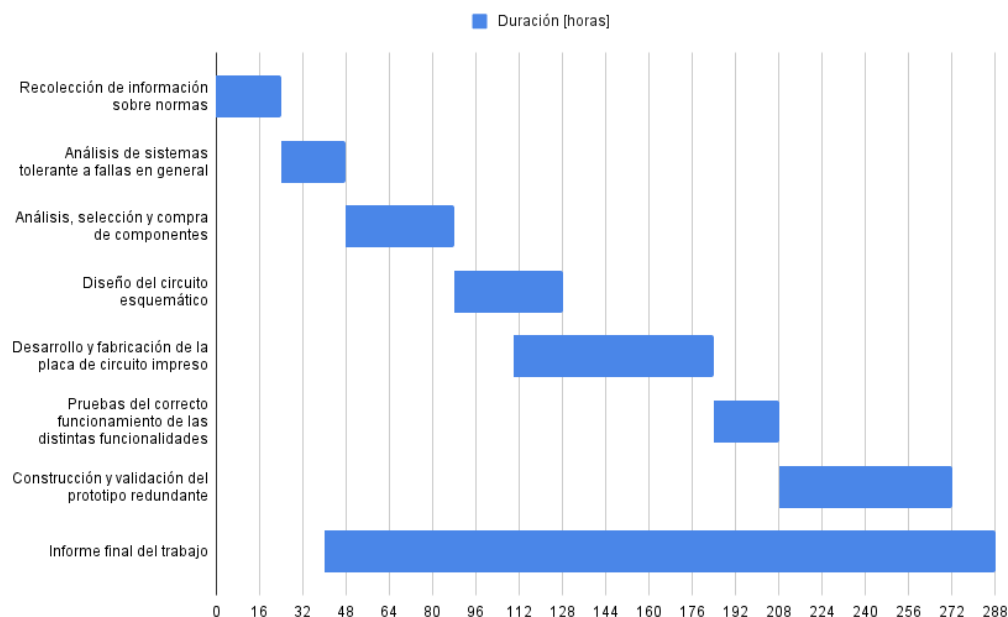


Figura 1: Cronograma de actividades.

## Referencias

- [1] Hazim Shakhatreh y col. «Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges». En: *IEEE Access* 7 (2019), págs. 48572-48634. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2909530.
- [2] Frédéric Faubladiet y David Rambaud. *Safety Implications of the use of system-on-chip (SoC) on commercial off-the-shelf (COTS) devices in airborne critical applications*. EASA, 2008.
- [3] Leonardo Garberoglio y col. «Diseño de un autopiloto para pequeños vehículos no tripulados». En: *Elektron* 3.1 (2019), págs. 29-38.
- [4] Sebastian Hiergeist y Georg Seifert. «Implementation of a SPI based redundancy network for SoC based UAV FCCs and achieving synchronization». En: *2018 IEEE/AIAA 37th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*. IEEE. 2018, págs. 1-10.
- [5] Xunying Zhang y Xiaodong Zhao. «Architecture design of distributed redundant flight control computer based on time-triggered buses for UAVs». En: *IEEE Sensors Journal* 21.3 (2020), págs. 3944-3954.
- [6] Richard PG Collinson. *Introduction to avionics systems*. Springer Nature, 2023.