

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Vuelo autónomo de cuadricóptero Crazyflie 2.1 mediante  
sistema de posicionamiento óptico**

Protocolo de trabajo de graduación presentado por Pablo Caal,  
estudiante de Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2024

## Resumen

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Cras vitae eleifend ipsum, ut mattis nunc. Pellentesque ac hendrerit lacus. Cras sollicitudin eget sem nec luctus. Vivamus aliquet lorem id elit venenatis pellentesque. Nam id orci iaculis, rutrum ipsum vel, porttitor magna. Etiam molestie vel elit sed suscipit. Proin dui risus, scelerisque porttitor cursus ac, tempor eget turpis. Aliquam ultricies congue ligula ac ornare. Duis id purus eu ex pharetra feugiat. Vivamus ac orci arcu. Nulla id diam quis erat rhoncus hendrerit. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Sed vulputate, metus vel efficitur fringilla, orci ex ultricies augue, sit amet rhoncus ex purus ut massa. Nam pharetra ipsum consequat est blandit, sed commodo nunc scelerisque. Maecenas ut suscipit libero. Sed vel euismod tellus.

## Antecedentes

En el campo de investigación de robótica e ingeniería de control, los drones Crazyflie han demostrado ser herramientas de gran relevancia debido a su versatilidad, amplia documentación y facilidad de adaptación en una amplia gama de aplicaciones investigativas. Para continuar con investigaciones futuras y aplicaciones utilizando estos agentes, resulta necesario desarrollar una alternativa de control que sea independiente de cualquier entorno robótico, es decir, un sistema de control autónomo.

## Implementación de una plataforma de pruebas para sistemas de control utilizando el dron Crazyflie 2.0

En la Universidad del Valle de Guatemala, el Ing. Francis Sanabria [1] desarrolló la fase inicial en la línea de investigación con drones Crazyflie. Su trabajo consistió en la implementación de una plataforma de pruebas para cuadricópteros Crazyflie 2.0 sobre la cual se pueden verificar algoritmos de control para un grado de libertad. Con ello en mente, desarrolló una vía de comunicación entre un dron y Python con el fin de registrar sus datos y posteriormente analizarlos con Matlab. Luego diseñó una interfaz gráfica capaz de recuperar y procesar los ángulos de inclinación, manipular la orientación y modificar los parámetros del controlador del dron. Como resultado de la investigación y utilizando las herramientas desarrolladas, se crearon guías de laboratorio para los cursos de sistemas de control en las que se utilizan tanto la plataforma de pruebas como el dron.

## Seguimiento en investigación de drones Crazyflie en la Universidad del Valle de Guatemala

En los primeros intentos por integrar los drones Crazyflie al ecosistema de investigación Robotat de la Universidad del Valle de Guatemala, los resultados fueron menos satisfactorios de lo esperado. El trabajo realizado por Denny Otzoy [2] y José Gordillo [3] se centró en desarrollar la infraestructura necesaria para utilizar el cuadricóptero dentro de un ecosistema robótico basado en el sistema captura de movimiento OptiTrack. Denny se enfocó

principalmente en el desarrollo de las herramientas para la integración con el sistema de captura de movimiento. Empleó una máquina física para la transmisión de datos, desarrolló la representación del dron como cuerpo rígido dentro del ecosistema y codificó las trayectorias en el formato adecuado. Por otro lado, José implementó un paquete de herramientas de software para la ejecución de trayectorias de enjambre. Evaluó dos alternativas para el sistema de control y con base en un listado de ventajas y desventajas, descartó la opción de la librería CrazySwarm y en su lugar optó por implementar un sistema basado en una antena de comunicación WiFi. En ambos casos, a pesar de los esfuerzos, no se logró el control adecuado o seguimiento de trayectorias debido a limitantes en la metodología empleada para el sistema de control del dron.

A raíz de las limitaciones encontradas en anteriormente, Julio Ávila [4] y Brandon Garrido [5] buscaron integrar la librería de control CrazySwarm al ecosistema de investigación Robotat. El trabajo de Julio estuvo centrado mayormente en la integración de los drones por medio del sistema operativo ROS2 en Linux. También desarrolló una vía de comunicación TCP/IP entre el sistema de captura de movimiento y el servidor de los drones. Logrando así el seguimiento de trayectorias por drones individuales. Por su parte, Brandon se enfocó en el desarrollo de infraestructura para la experimentación y control de múltiples drones dentro del ecosistema. Implementó nodos de comunicación de CrazySwarm en ROS2 logrando la comunicación con hasta 5 drones simultáneamente y realizando trayectorias esperadas. Los resultados obtenidos en ambas investigaciones demostraron estabilidad y precisión en el control de los drones. Sin embargo, cabe destacar que la implementación de CrazySwarm requirió el uso de múltiples herramientas y llegó a presentar alta complejidad. Lo que sugiere que su uso puede no ser del todo práctico al requerir de una curva de aprendizaje significativa para su aplicación dentro del entorno de investigación.

## **Vuelo autónomo del microdron Crazyflie 2.1 a través de un curso de obstáculos**

En la Universidad Uppsala [6] se realizó una investigación utilizando drones Crazyflie 2.1 con el objetivo de incorporar vuelo autónomo a través de trayectorias con obstáculos. Para ello se exploraron dos alternativas para el sistema de navegación del dron: un sistema de posicionamiento local mediante la herramienta Loco Positioning System (LPS) y un sistema de navegación óptico mediante la plataforma Flow Deck. Para la detección de obstáculos en las trayectorias se utilizó el sensor de detección Multiranger. Durante los experimentos realizados se observó que el sistema de navegación óptico superó al LPS en términos de estabilidad de vuelo y capacidad para completar las trayectorias. No se logró completar pruebas realizadas con el LPS como sistema de posicionamiento, siendo la razón principal el vuelo inestable causado por perturbaciones inusuales en el entorno. Por otro lado, se completaron satisfactoriamente las pruebas al emplear el sistema de navegación óptico con el Flow Deck, pero con la consideración de diversos factores de calibración en su despliegue. Como recomendación, se sugiere realizar pruebas adicionales para mejorar la precisión del vuelo y considerar la posibilidad de utilizar múltiples sistemas de navegación en conjunto para obtener resultados más robustos.

## Justificación

Importancia de la investigación: desde recomendaciones o cosas pendientes de proyectos anteriores, hasta una justificación social, es decir, el impacto en el entorno de UVG.

## Objetivos

### Objetivo General

Desarrollar una alternativa de control para realizar vuelo autónomo con el cuadricóptero Crazyflie 2.1 mediante un sistema de posicionamiento óptico.

### Objetivos Específicos

- Realizar la integración de la plataforma de posicionamiento Flow Deck a los drones Crazyflie 2.1.
- Desarrollar e implementar una interfaz gráfica para realizar pruebas de control con el Crazyflie 2.1.
- Realizar algoritmos para ejecutar trayectorias planares con los drones Crazyflie 2.1 y el sistema de posicionamiento óptico.
- Desarrollar infraestructura necesaria para el desarrollo de guías de laboratorio para los cursos de sistemas de control en la Universidad del Valle de Guatemala.

## Marco teórico

Es la información que el lector debe conocer para comprender el trabajo. Debe explicar la información, pero asumiendo que el lector ya tiene conocimientos básicos del entorno. Asumir un perfil básico de ingeniería electrónica, mecatrónica, etc. Prácticamente colocar todos los conocimientos extras que yo como investigador tuve que aprender para llevar a cabo el proyecto. Basado en libros, artículos, etc. Probablemente se requieran dividir subtemas: en latex: subsection\*().

## Metodología

Describe cómo se alcanzarán los objetivos específicos y general planteados anteriormente. Como ejemplo: hacer propuesta de experimentos y evaluar eficiencia de los resultados. Deben ir ligados a los objetivos.

## Cronograma de actividades

Planificar por semana las metas que se quieren lograr a lo largo de la investigación. Hacer planificación semana a semana y luego presentar un resumen en forma de gráfico de progresos (diagrama de Gantt).

## Índice preliminar

## Referencias

- [1] F. Sanabria, “Diseño e implementación de una plataforma de pruebas para sistemas de control para el dron Crazyflie 2.0,” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2022.
- [2] D. Otzoy, “Uso del cuadricóptero Crazyflie dentro del ecosistema Robotat para la generación de trayectorias y la evasión de obstáculos,” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2023.
- [3] J. Gordillo, “Diseño e implementación de un paquete de herramientas de software para controlar inalámbricamente un enjambre de drones Crazyflie dentro de un ecosistema robótico basado en captura de movimiento,” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2023.
- [4] J. Avila, “Adaptación del sistema de drones Crazyswarm al ecosistema Robotat,” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2023.
- [5] B. Garrido, “Levantamiento de una plataforma de pruebas para sistemas multidrones con OptiTrack y Crazyswarm,” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2023.
- [6] C. Chadehumbe y J. Sjöberg, “Autonomous flight of the micro drone Crazyflie 2.1 through an obstacle course,” Independent thesis basic level (degree of Bachelor), Universidad Uppsala, 2020.