



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA , ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

**Artículo Académico Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en
Electrónica e Instrumentación**

**Tele operación bilateral de un vehículo aéreo
no tripulado de hélices rotativas**

Autor:

Cumbicos Jiménez Richard Hernán

Ing. Ortiz Moreano Jessica Sofía, Mg,
Tutora



Bilateral Tele-Operation of an Unmanned Aerial Vehicle: Teaching and Learning Priority

Richard Cumbicos, and Jessica S. Ortiz

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga-Ecuador.
(rhcumbicos, jsortiz4)@espe.edu.ec.

Abstract. The present work presents a bilateral tele-operation scheme for a rotary propeller UAV. The development of the controller is based on the kinematic model of the UAV, and the use of a haptic device for the feedback of forces from the environment to the operator. A learning system is presented to test the controller within a virtual reality environment. The virtual reality environment will allow to evaluate the performance of the robot as close as possible to reality, therefore, it is provided within the development of the virtual reality environment to have the UAV digitized and with all the characteristics of kinematic and dynamic movement; and with a partially structured environment with obstacles present in the environment that allow to evaluate the operation of the controller by simulation and finally test the tele-operation control experimentally with the rotating propeller robot.

Keywords: kinematic, learning system, virtual reality, tele-operation.

1 Introduction

Robotics is a field that has made significant progress in recent years. Robots have become more precise, intelligent and versatile, and their use has expanded to a wide range of applications in various fields [1]. From manufacturing industry within industrial robotics to medicine and space exploitation in service robotics. With technological advancement different robots can perform a wide variety of tasks, from cleaning and security to medical care and education [2]. Robots are now safer and more accessible, making them more useful and beneficial to society at large. One such robot that has recently shown significant benefits are those known as Unmanned Aerial Vehicle (UAV) or more commonly known as drones.

UAVs or drones are increasingly being used in service robotics as they are robots that can move from one place to another in the air, with no restrictions on movement. Drones are used for package delivery, drones for inspection of structures and crops, drones for mapping and surveying, drones for monitoring and prevention of natural disasters, drones for search and rescue operations, smaller drones that can be used for surveillance and security in buildings and public events and among other applications that benefit people to perform a task with the minimum possible time and accuracy [3][4]. Most of these tasks can be executed autonomously, semi-autonomously. One of the most widely used techniques for semi-autonomous control of a robot is tele-operation.

Lecture Notes in Networks and Systems



FTC 2023

Future Technologies Conference 2023
2-3 November 2023 | San Francisco, United States

19 June 2023

Acceptance Letter - Future Technologies Conference 2023

Dear Richard Cumbicos, Jessica S. Ortiz,

Congratulations! Your paper "Bilateral Tele-Operation of an Unmanned Aerial Vehicle: Teaching and Learning Priority" has been accepted for oral presentation in the Future Technologies Conference 2023 to be held from 2-3 November 2023 in San Francisco, United States.

The Future Technologies Conference presents the best of current systems research and practice, emphasizing innovation and quantified experience. FTC has emerged as a renowned world-wide gathering of academic researchers, Ph.D. and graduate students, top research think tanks and industry technology developers.

Each of the manuscripts for this conference was reviewed based on the criteria of originality, significance, quality and clarity. We have followed double blind peer review process and each paper was reviewed by at least three regular PC members or two senior PC members.

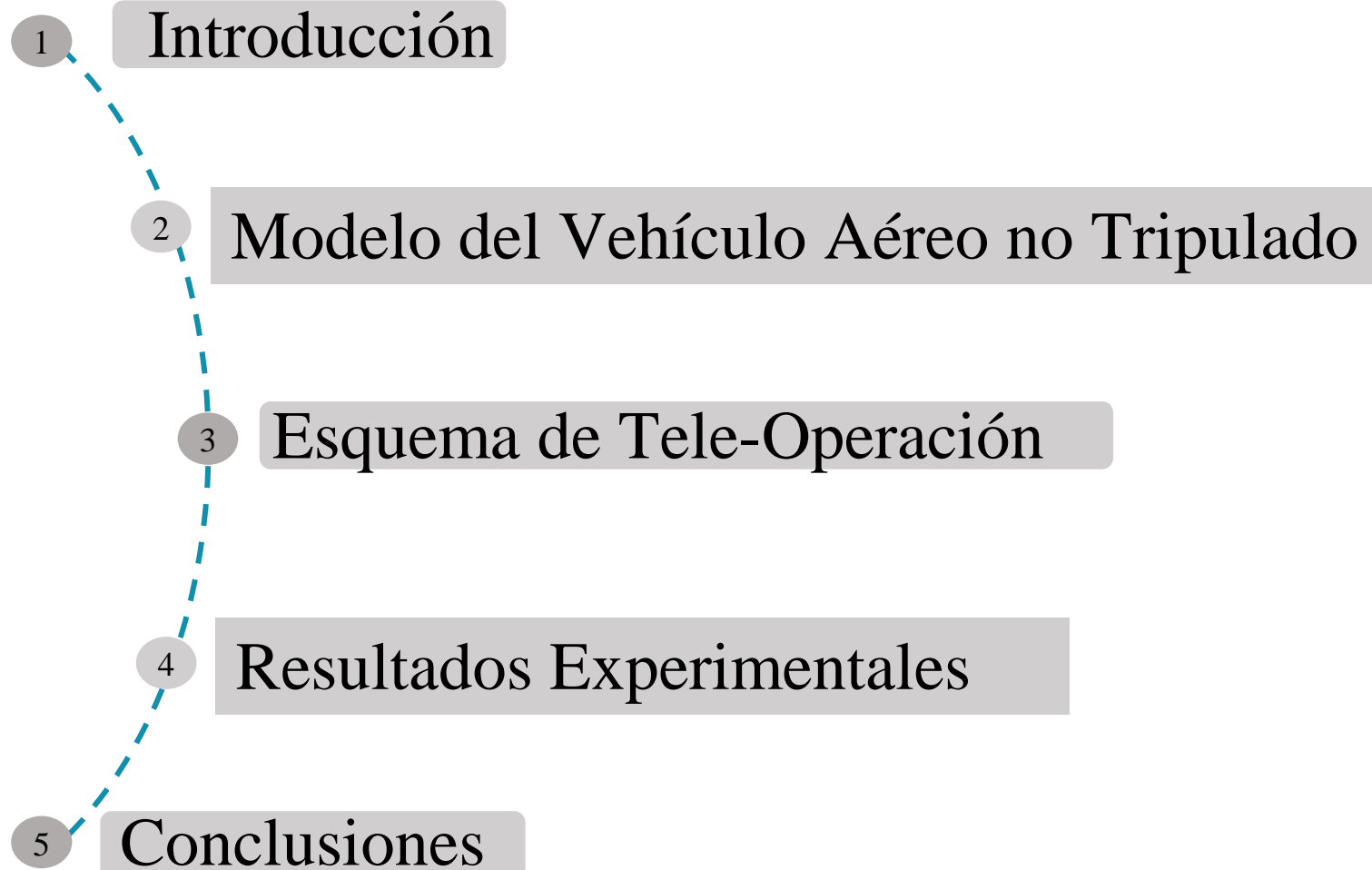
Future Technologies Conference proceedings will be published in Springer series "Lecture Notes in Networks and Systems" (ISSN: 2367-3370) and submitted for consideration to Scopus, Web of Science, DBLP, INSPEC, WTI Frankfurt eG, zbMATH, SCImago.

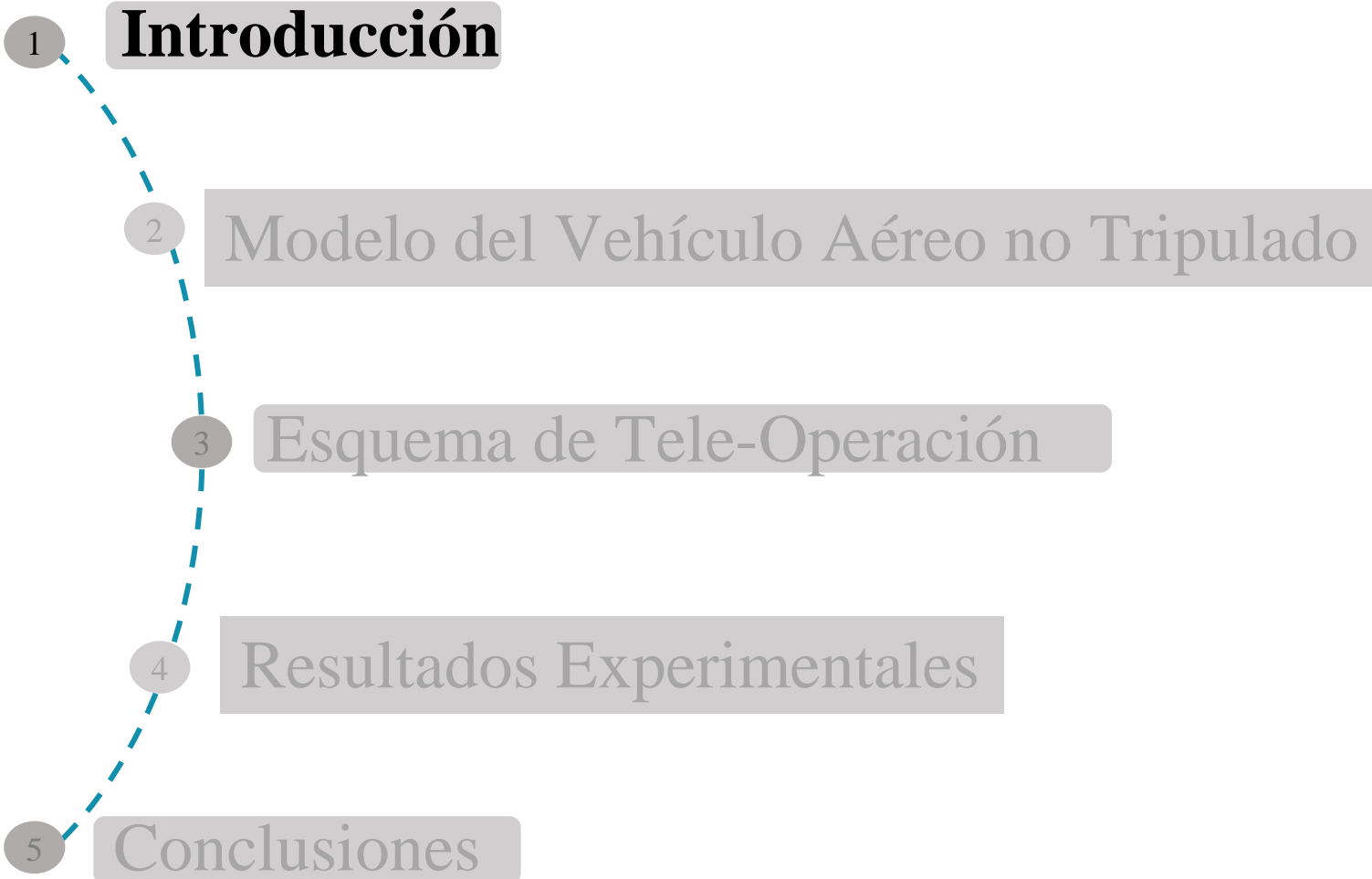
You may now proceed with the registration process for publication and presentation of your paper at Future Technologies Conference 2023.

Online Registration: <https://saiconference.com/FTC>

Regards,
Supriya Kapoor
Conference Manager
Future Technologies Conference 2023
<https://saiconference.com/FTC>







Robótica Industrial



Robots ABB de embalaje



KUKA KR 1000

Robótica De Servicio



Robot Aspirador Irobot
Roomba 606



Astro robot de Amazon



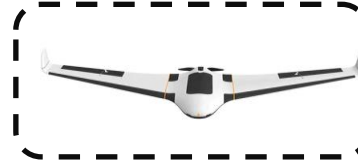
Robot DaVinci



Drone de Amazon

Clasificación de los UAV Según Sus Alas y Rotores

Rotor de ala fija



Rotor simple



Tricóptero



Cuadricóptero



Mapeo



Inspección



Rescate



Ventajas de UAVs:

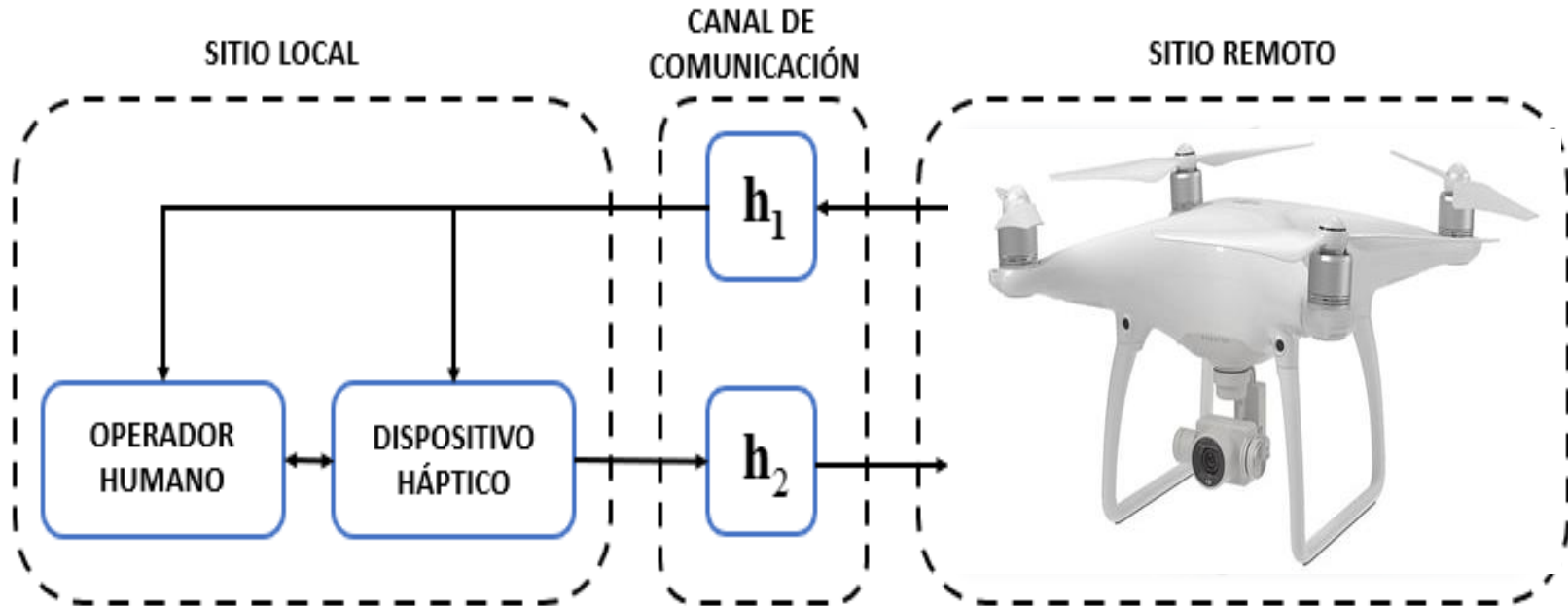
- Difícil Acceso
- Mayor velocidad
- Mayor espacio de trabajo
- Visibilidad Completa

Tareas:

Autónoma

Tele-Operada

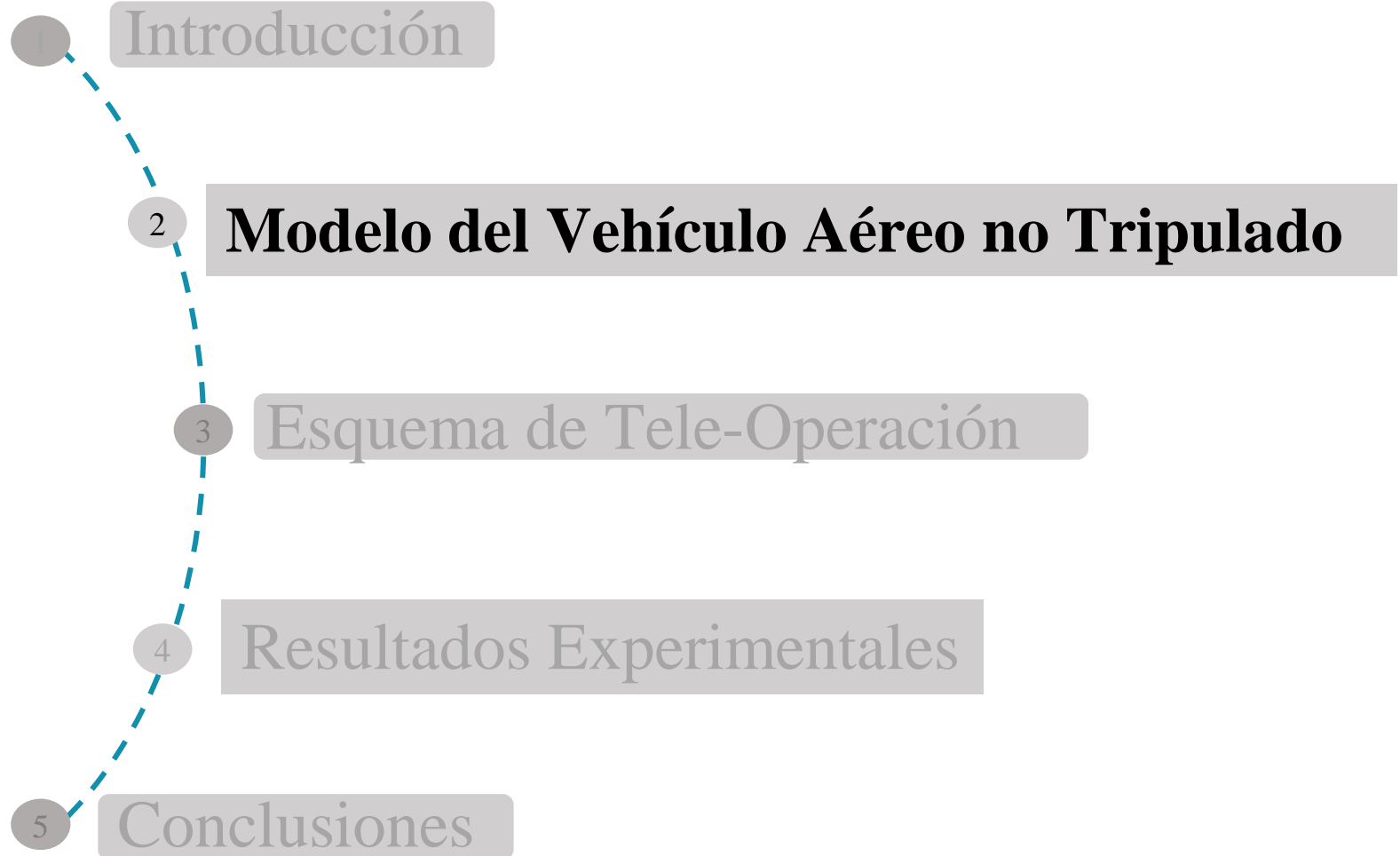
Semi Autónoma



Implementar **esquema de teleoperación bilateral** para un vehículo aéreo no tripulado de hélices rotativas, a fin de ejecutar **tareas de navegación.**

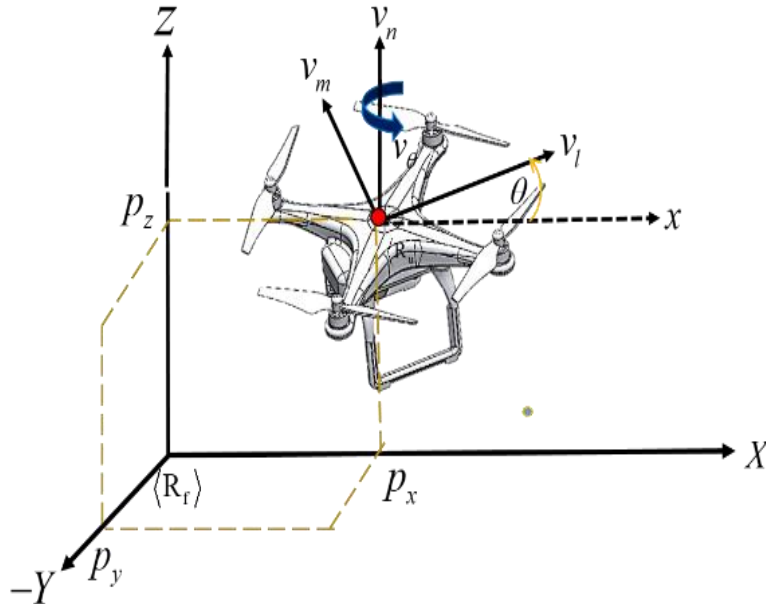
- Investigar en las diversas **bases de datos científicas** acerca de la **modelación**, y **técnicas de control tele operado** para un vehículo aéreo no tripulado.
- Determinar las **características y restricciones** del movimiento de un vehículo aéreo no tripulado de hélices rotativas, a fin de encontrar un **modelo matemático** que represente el movimiento del UAV.
- Proponer un **esquema de teleoperación bilateral** para un vehículo aéreo no tripulado, a fin de ejecutar tareas de navegación.

- Desarrollar una Interfaz Hombre Máquina que **permita monitorear y controlar de manera remota** un vehículo aéreo no tripulado, para lo cual se considerará un dispositivo háptico de 3DOF.
- Desarrollar **pruebas experimentales** con un vehículo aéreo no tripulado, con el propósito de evaluar el **esquema de teleoperación propuesto**.



El modelo matemático permite describir la relación entre las entradas de control, como la velocidad y las salidas del UAV (Posición y Orientación)





Vector Posición y Orientación del UAV

$$p(t) = [p_x \ p_y \ p_z \ p_\theta]^T$$

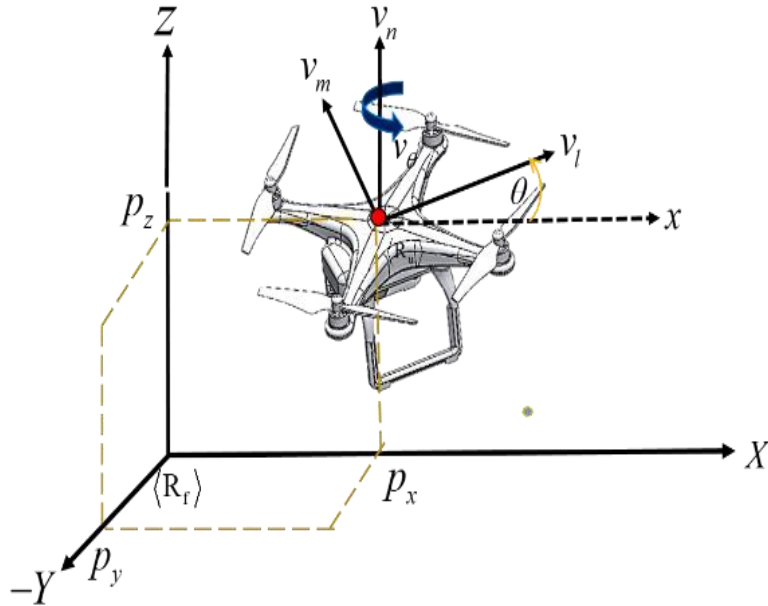
Velocidades de Maniobra del UAV

v_l Velocidad lineal frontal

v_m Velocidad lineal lateral

v_n Velocidad lineal elevación

v_θ Velocidad angular de rotación



Modelo Cinemático Diferencial

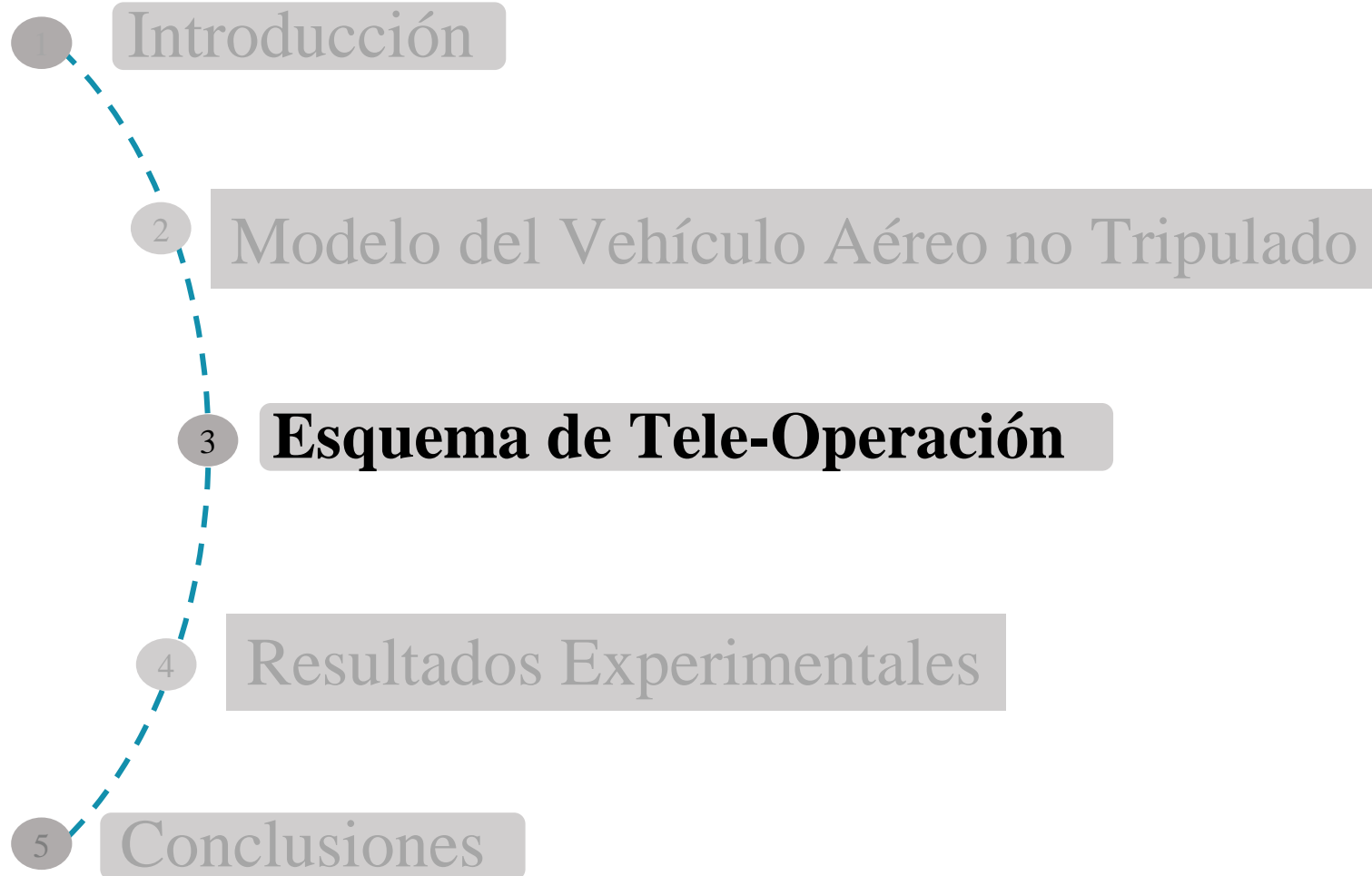
$$\begin{bmatrix} \dot{p}_x \\ \dot{p}_y \\ \dot{p}_z \\ \dot{p}_\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_l \\ v_m \\ v_m \\ v_\theta \end{bmatrix}$$

$$\dot{\mathbf{p}}(t) = \mathbf{J}(\theta)\mathbf{v}(t) \quad (1)$$

Donde:

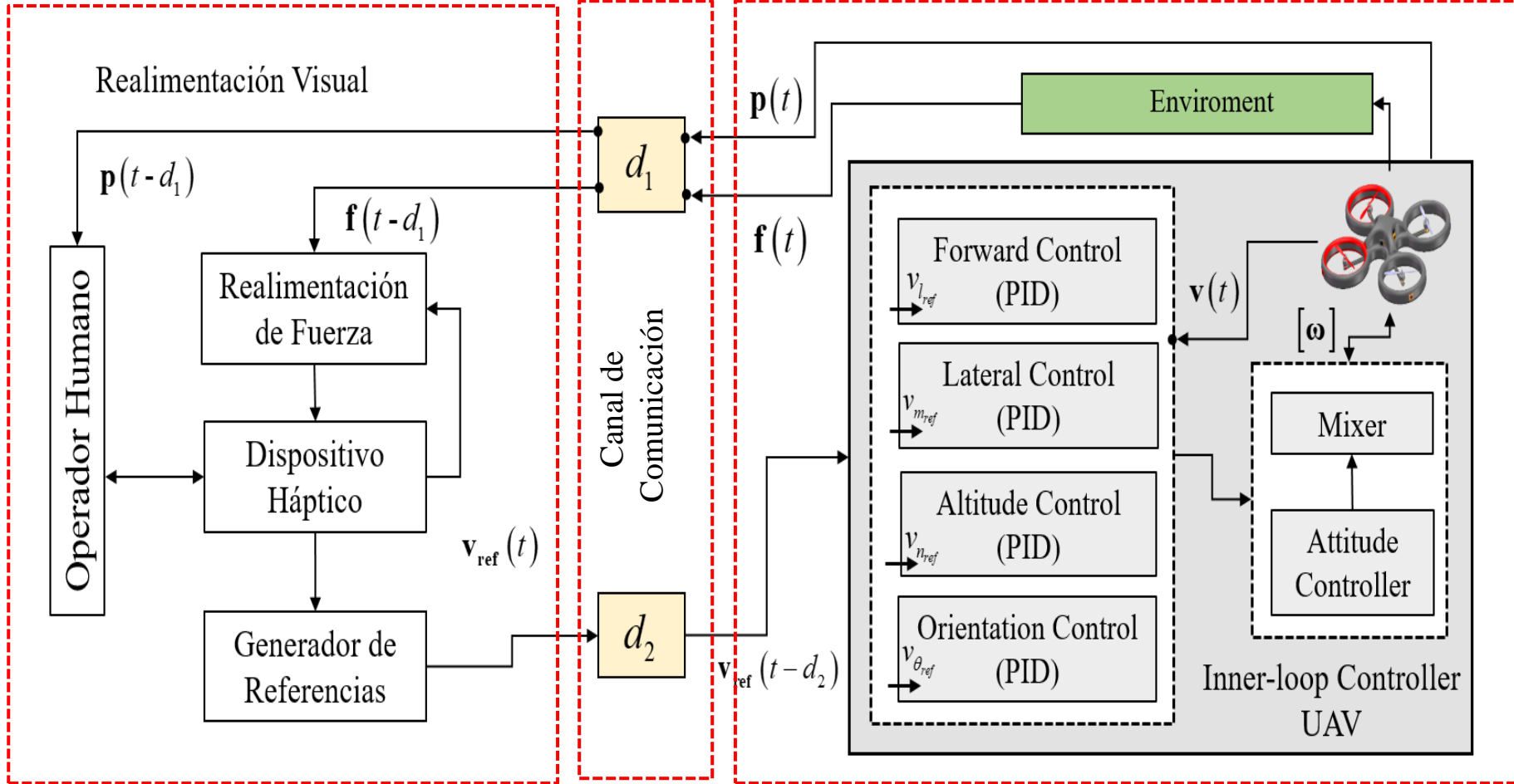
$$\mathbf{v}(t) = [v_l \quad v_m \quad v_n \quad v_\theta]^T$$

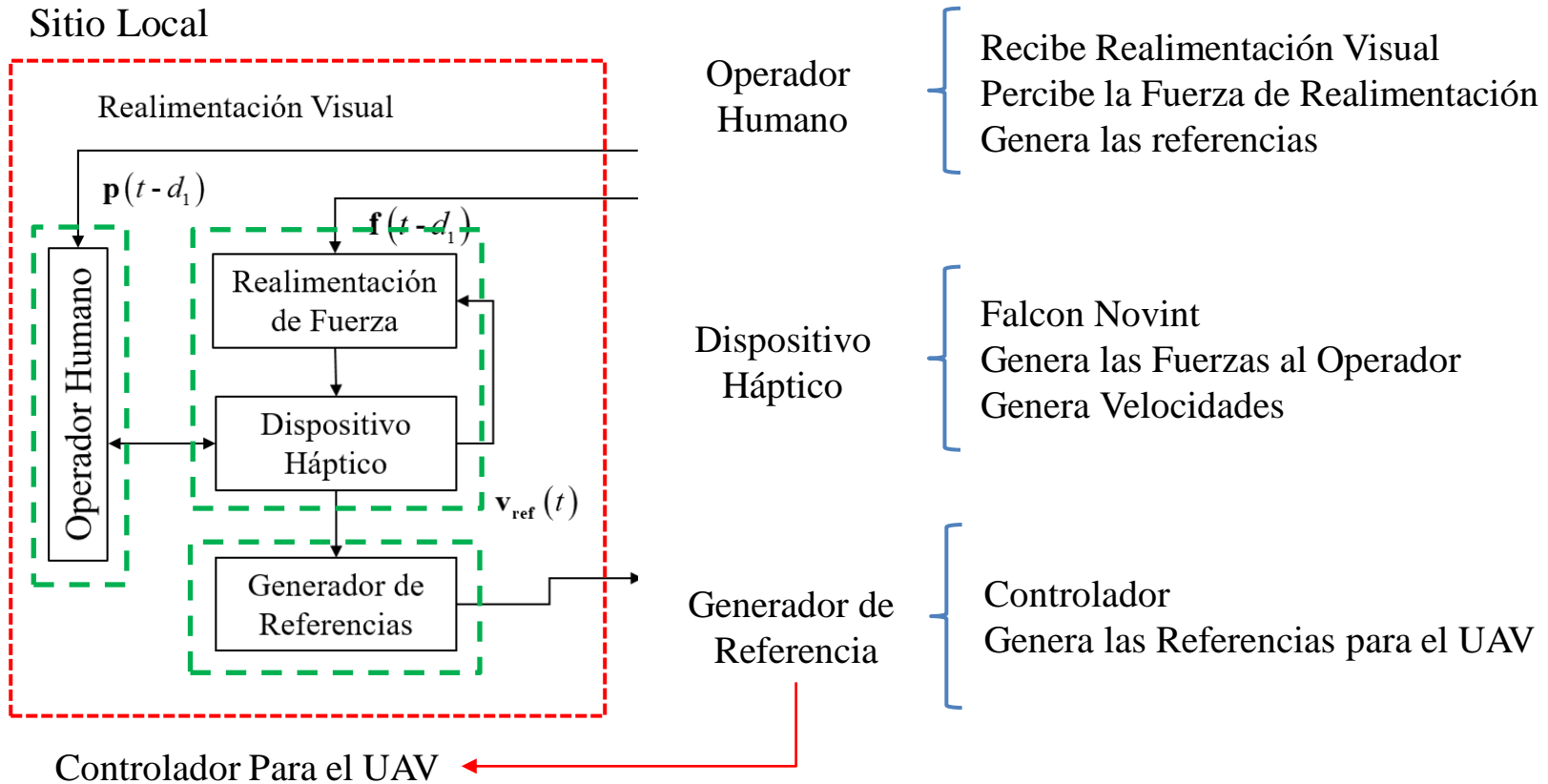
$$\dot{\mathbf{p}}(t) = [\dot{p}_x \quad \dot{p}_y \quad \dot{p}_z \quad \dot{p}_\theta]^T$$



Sitio Local

Sitio Remoto





$$\mathbf{v}_{ref}(t) = \mathbf{J}^{-1}(\theta)(\dot{\mathbf{p}}_h(t) + \mathbf{K}_1 \tanh(\delta \tilde{\mathbf{p}}(t))) \quad (2)$$

Controlador Para el UAV

$$\mathbf{v}_{ref}(t) = \mathbf{J}^{-1}(\theta)(\dot{\mathbf{p}}_h(t) + \mathbf{K}_1 \tanh(\delta \tilde{\mathbf{p}}(t)))$$

Donde:

$\mathbf{J}^{-1}(\theta)$: Es la inversa del Jacobiando del UAV

$\dot{\mathbf{p}}_h(t)$: Velocidad de referencia que genera el Operador Humano

$\tilde{\mathbf{p}}(t)$: Es el Error de Control

$$\tilde{\mathbf{p}}(t) = \mathbf{p}_h(t) - \mathbf{p}(t - d_1)$$

$\mathbf{p}_h(t)$: Posición deseada

$\mathbf{p}(t - d_1)$: Posición del robot en el instante $(t - d_1)$

$\mathbf{K}_1 > \mathbf{0} \in \mathbb{R}^{4 \times 4}$: Matriz definida positiva que pesa los errores de control

$\tanh(\cdot)$: Función impar que satura los errores de control

δ : Real positivo

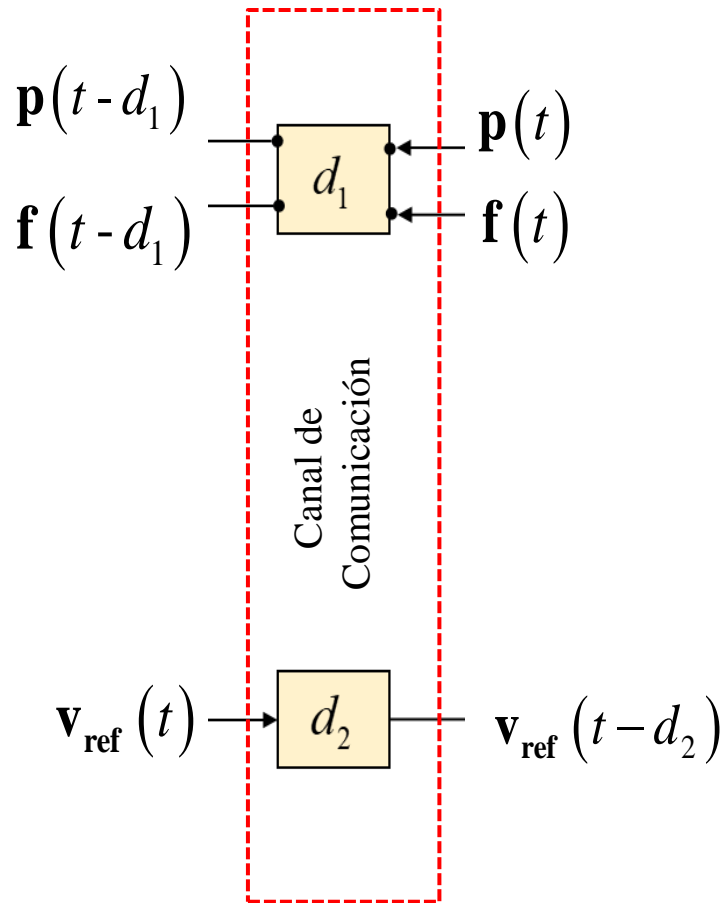
Fuerza Ficticia

$$f_x = -k_x \tilde{p}_x \quad f_y = -k_y \tilde{p}_y \quad f_z = -k_z \tilde{p}_z$$

Donde:

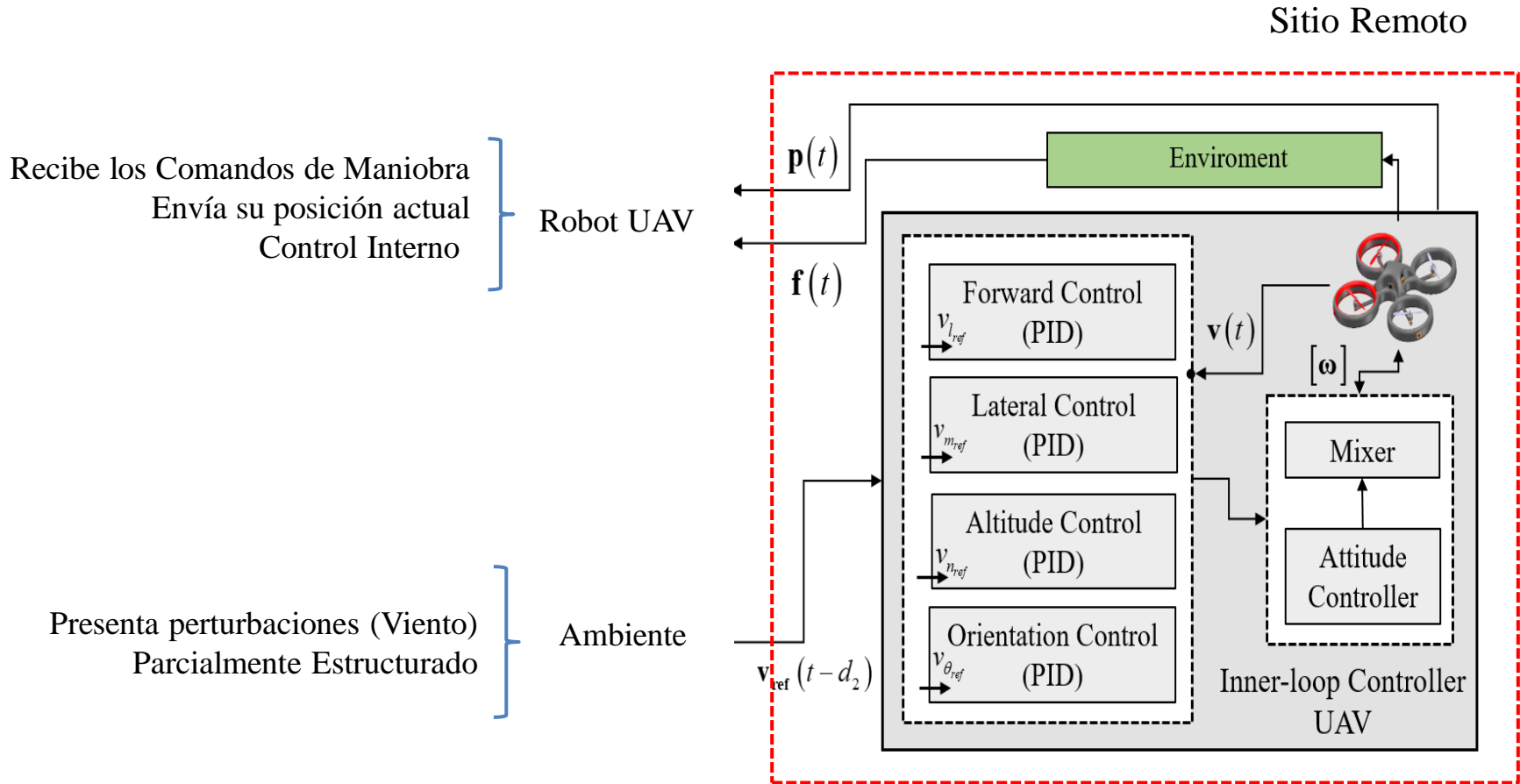
$\{\tilde{p}_x, \tilde{p}_y, \tilde{p}_z\}$: Errores del UAV en x, y, z

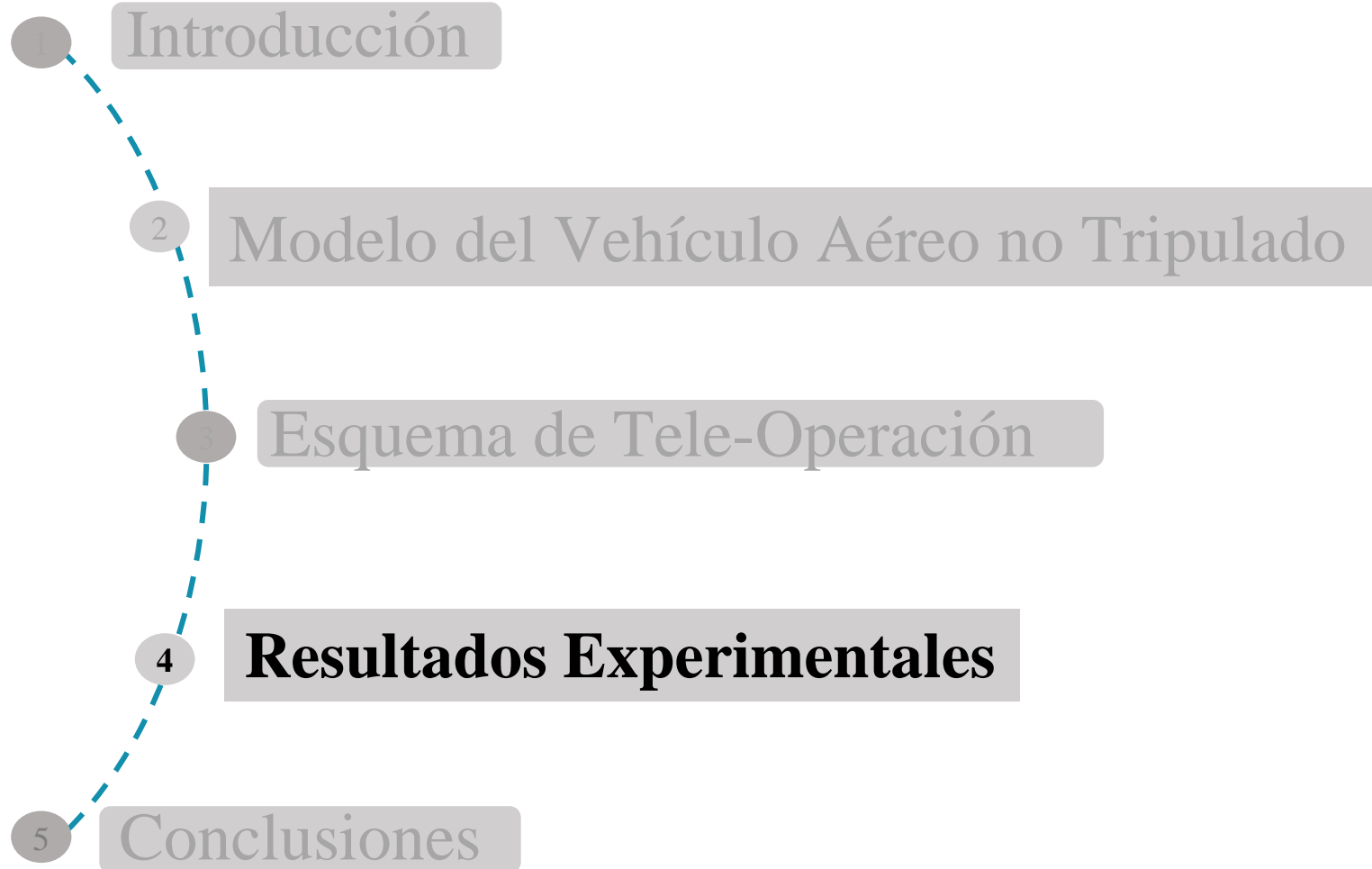
$\{k_x, k_y, k_z\}$: Ganancias en proporciones para generar fuerza



d_1 : Retardos de tiempo en la recepción

d_2 : Retardos de tiempo en la transmisión

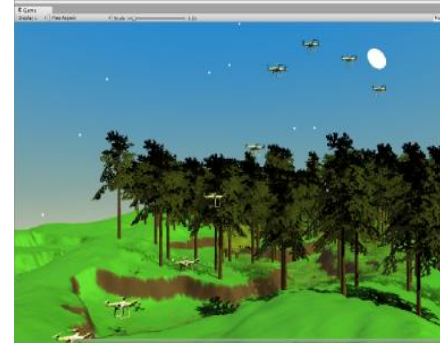




Validar el Esquema

Simulación: Se realiza pruebas de simulación en el **entorno virtual**, ajustar las ganancias de los controladores

Experimentación: Se realiza pruebas con el robot en un ambiente parcialmente estructurado



Entorno Virtual
Unity3D



Novint
Falcon



DJI
Phantom
4PRO

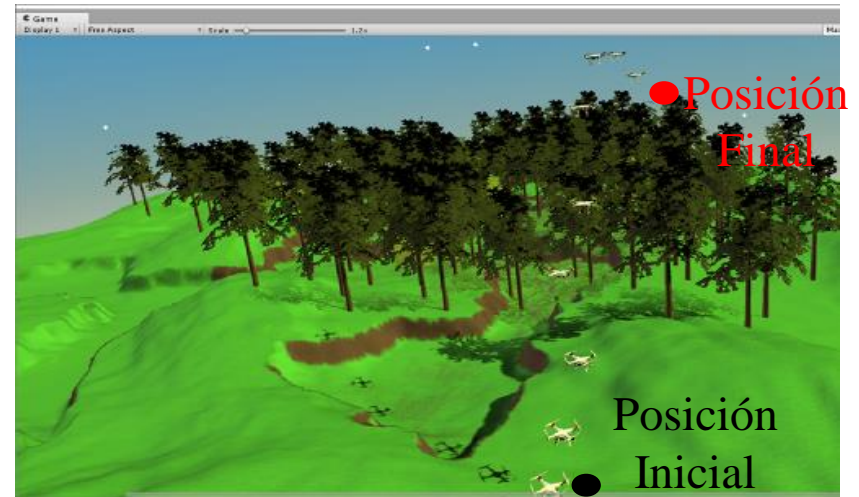


Sitio Remoto

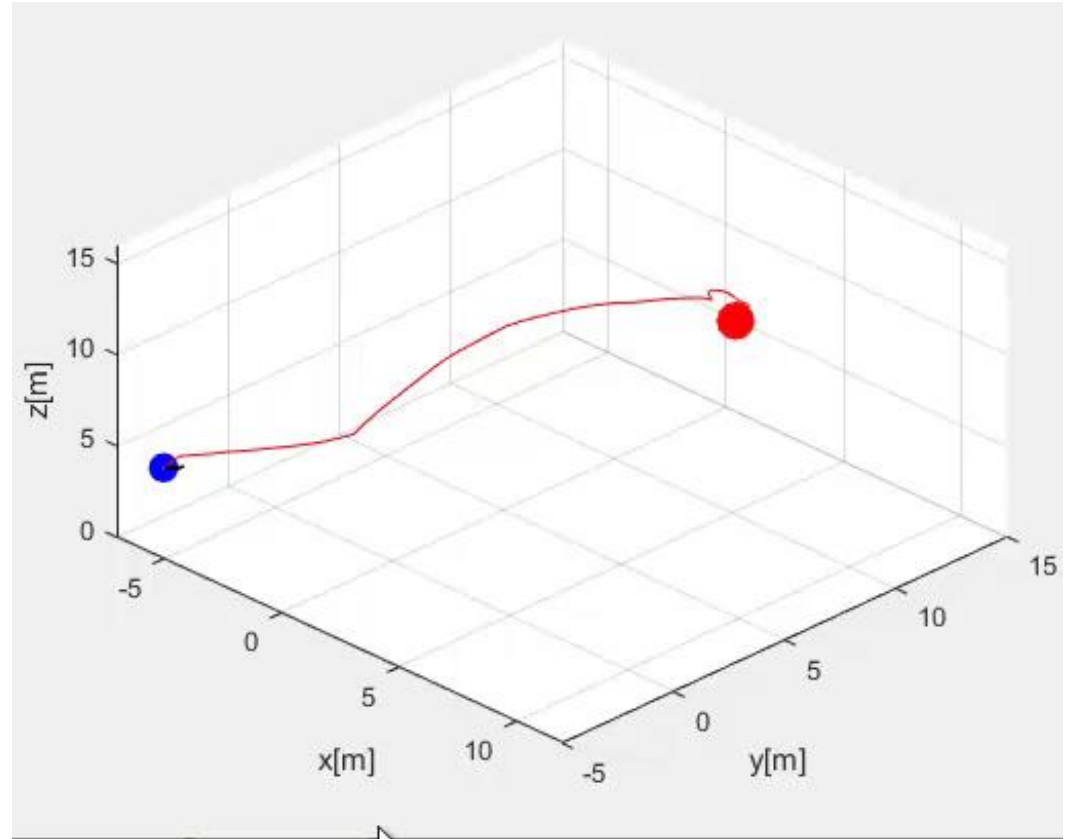
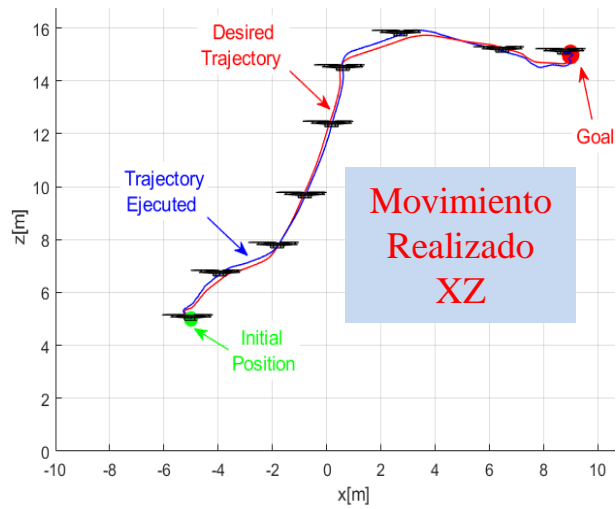
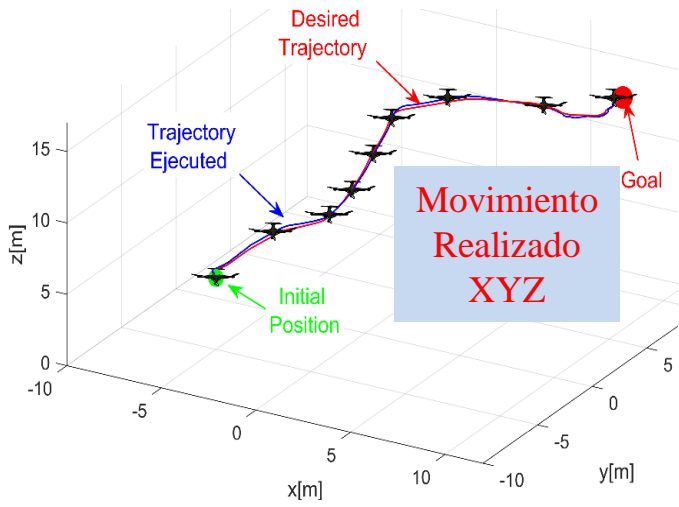
- Operador humano
- Dispositivo háptico



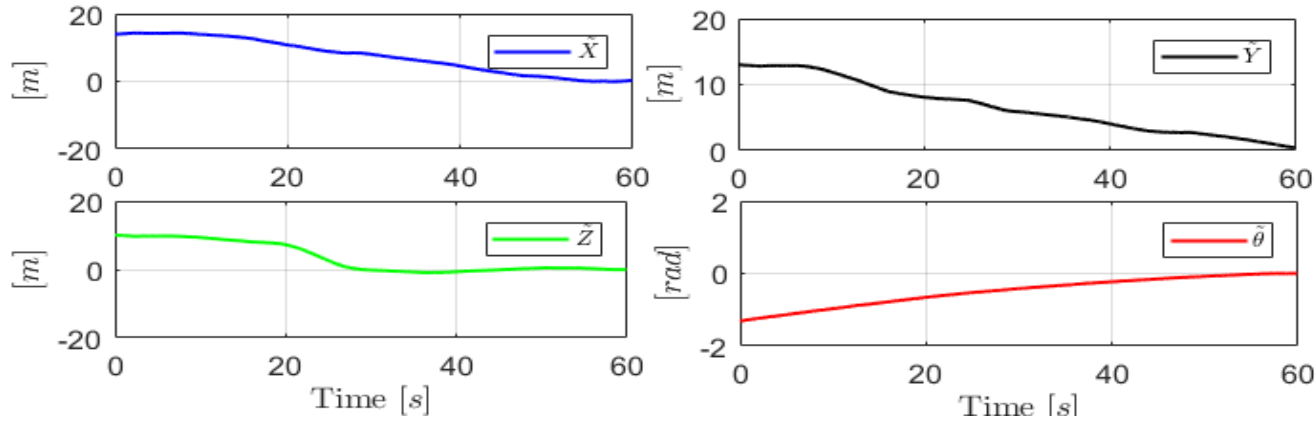
Entorno Virtual



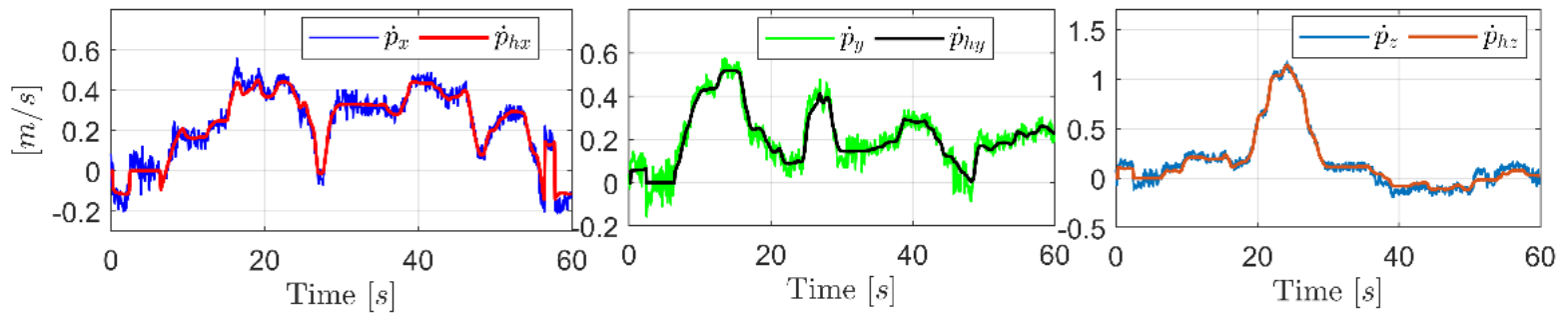
Resultados (Simulación)



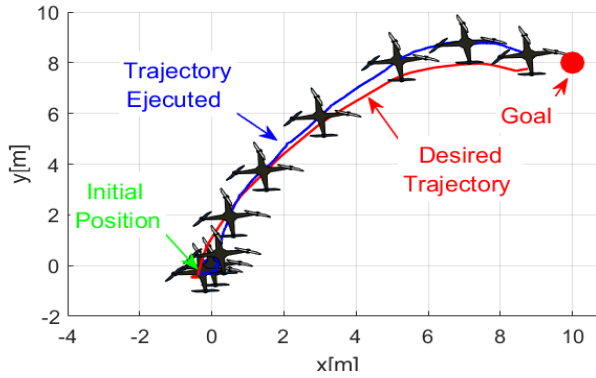
Errores de Posición



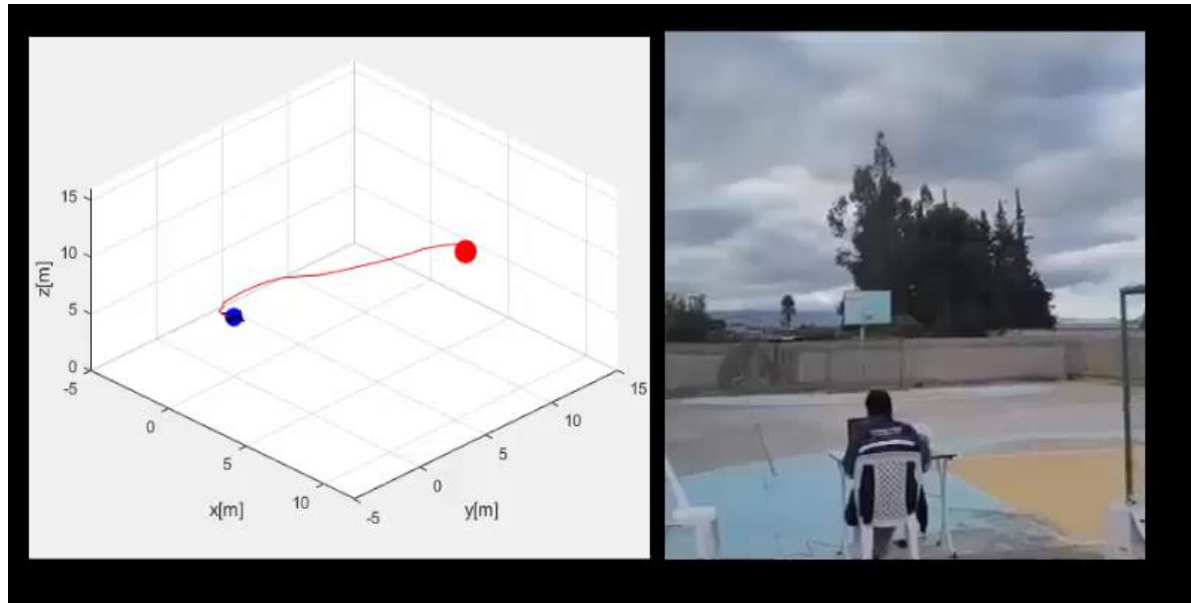
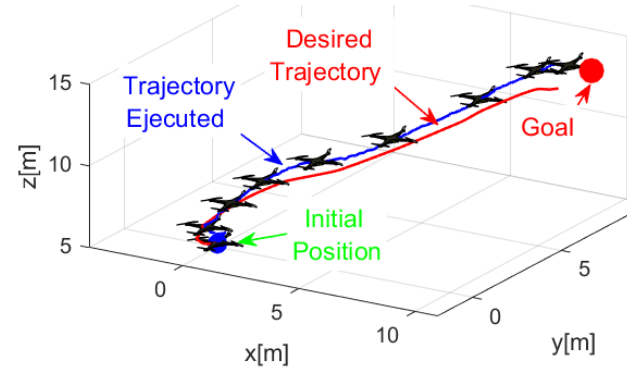
Velocidades (Referencia y Ejecutadas)



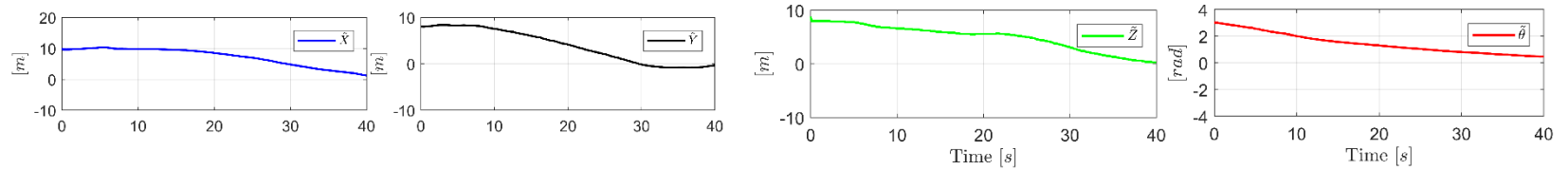
a) Movimiento en el plano XY



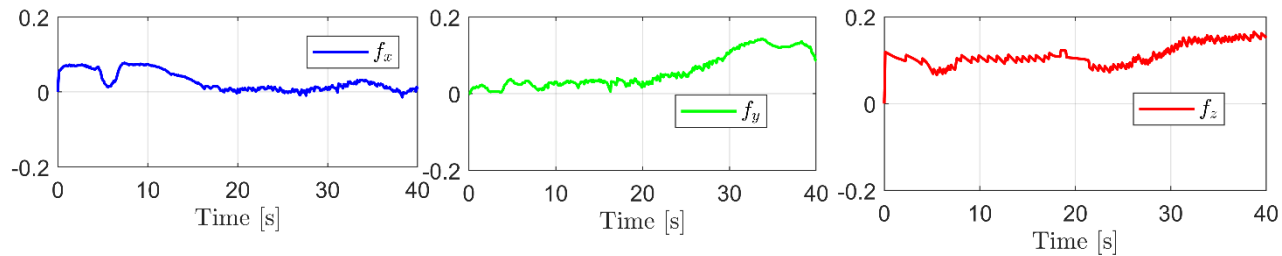
b) Movimiento en el plano XYZ



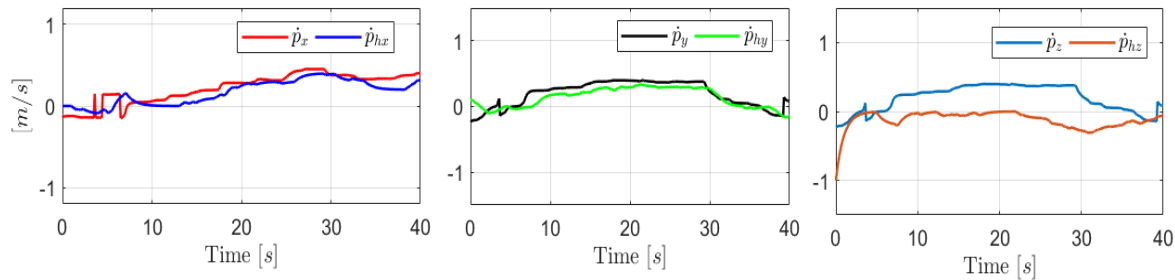
a) Error del Robot con respecto al punto deseado

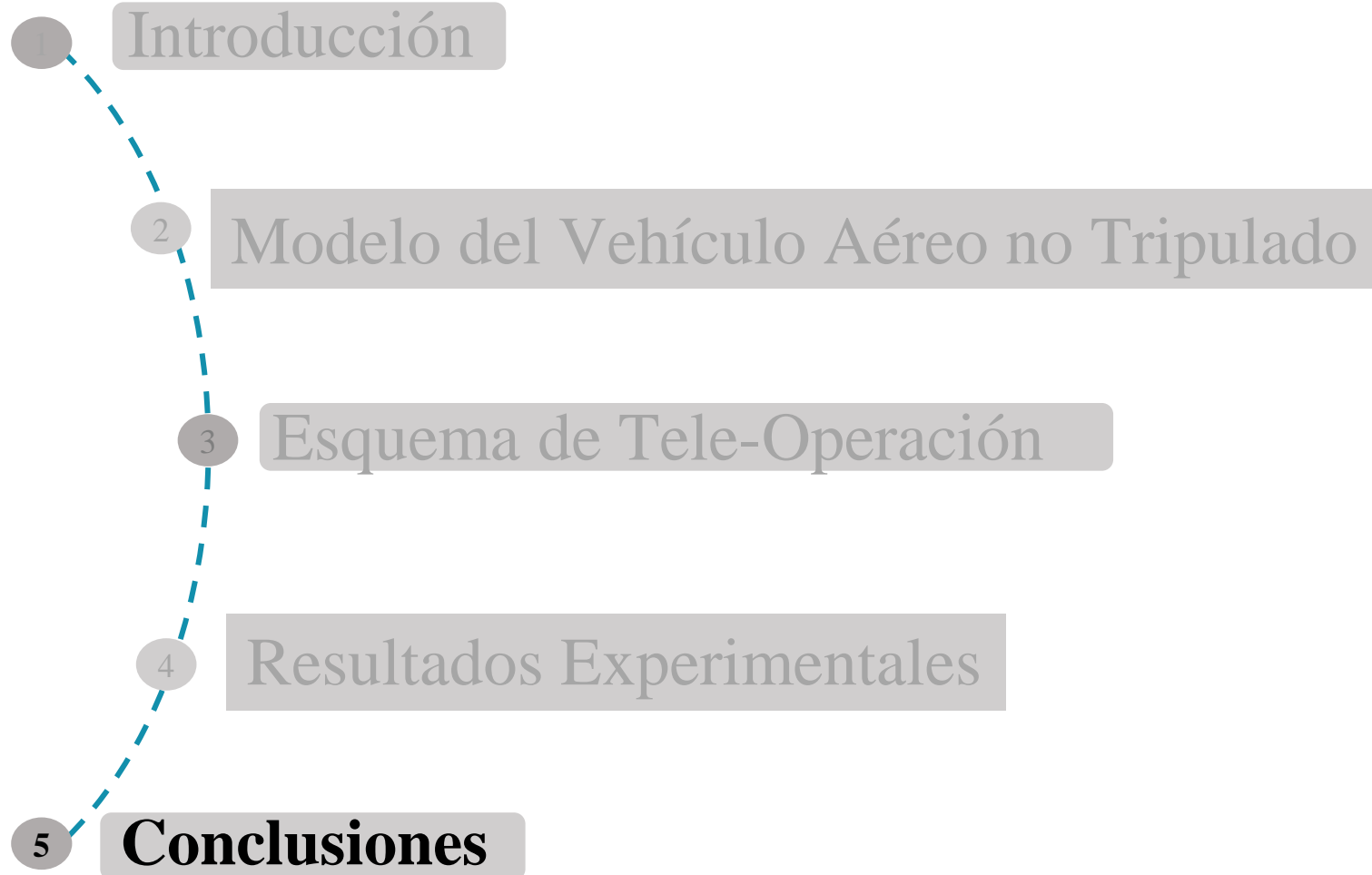


b) Fuerza de realimentación al Operador



c) Velocidades (Referencia y Ejecutadas por el robot)





- El modelo cinemático obtenido del robot ha permitido **establecer el controlador** para realizar la tele-operación, permitiendo así conducir el UAV por medio de sus **velocidades de maniobrabilidad**.
- El simulador desarrollado en realidad virtual permitió ajustar las ganancias del controlador y a su vez, capacitar al operador para el manejo del dispositivo háptico
- El esquema propuesto de tele-operación permitió conducir al robot de forma remota hacia una posición deseada, mientras que la realimentación de fuerzas permite al operador percibir el entorno en el que el robot ejecuta la tarea.
- Mediante los resultados experimentales se demuestra el funcionamiento del esquema propuesto de tele-operación. Primeramente por medio del simulador se ajusta los controladores y posteriormente se realiza la prueba experimental con el robot físico.



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA , ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

**Artículo Académico Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en
Electrónica e Instrumentación**

**Tele operación bilateral de un vehículo aéreo
no tripulado de hélices rotativas**

Autor:

Cumbicos Jiménez Richard Hernán

Ing. Ortiz Moreano Jessica Sofía, Mg,
Tutora

