



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**Ingeniería Mecatrónica**

# Virtualización de Entornos Reales para la Navegación Autónoma y Tele-Operada de Robots Manipuladores Aéreos

**MENDEZ HURTADO MARÍA GABRIELA  
TORRES CASTILLO DIANA CAROLINA**

*PhD. Víctor H. Andaluz, Tutor*



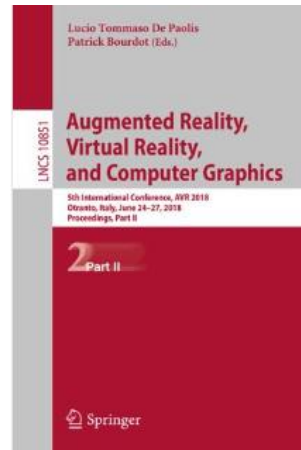


Lecture Notes in  
Computer Science

LNCS    LNAI    LNBI

Springer

Scopus®



### Autonomous and Tele-Operated Navigation of Aerial Manipulator Robots in Digitalized Virtual Environments

Christian P. Carvajal<sup>(✉)</sup>, María G. Méndez<sup>(✉)</sup>, Diana C. Torres<sup>(✉)</sup>, Cochise Terán<sup>(✉)</sup>, Oscar B. Arteaga<sup>(✉)</sup>, and Víctor H. Andaluz<sup>(✉)</sup>

Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga, Ecuador  
 chriss2592@hotmail.com, {mgmendez, dtorres, heteran, obarteaga, vandaluz1}@espe.edu.ec

**Abstract.** This paper presents the implementation of a 3D virtual simulator that allows the analysis of the performance of different autonomous and tele-operated control strategies through the execution of service tasks by an aerial manipulator robot. The simulation environment is developed through the digitalization of a real environment by means of 3D mapping with Drones that serves as a scenario to execute the tasks with a robot designed in CAD software. For robot-environment interaction, the Unity 3D graphics engine is used, which exchanges information with MATLAB to close the control loop and allow for feedback to compensate for the error. Finally, the results of the simulation, which validate the proposed control strategies, are presented and discussed.

**Keywords:** Environment digitalization · Service robotic · Aerial manipulators

#### 1 Introduction

In recent years, the robotics has taken boom in different application fields, introducing sustainable solutions to solve problems within multiple areas as military, industry, medicine, among many areas, taking advantage of the new technologies that allow to optimize the intelligence and the mobility of the robotic prototypes [1, 2]. The services that present the different types of robots depend on how they are structured mechanically, presenting a wide variety of robotic systems as they are terrestrial, aquatic, spatial, air, among others; and simultaneously each of these using shaped systems of

Q2



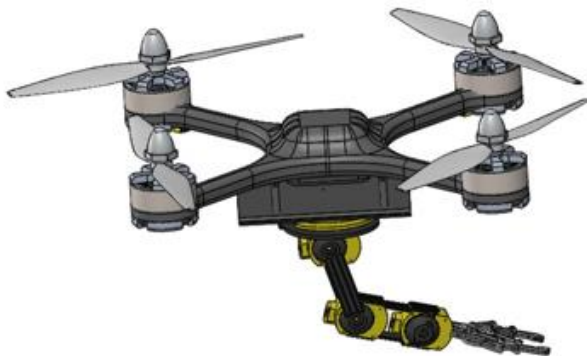
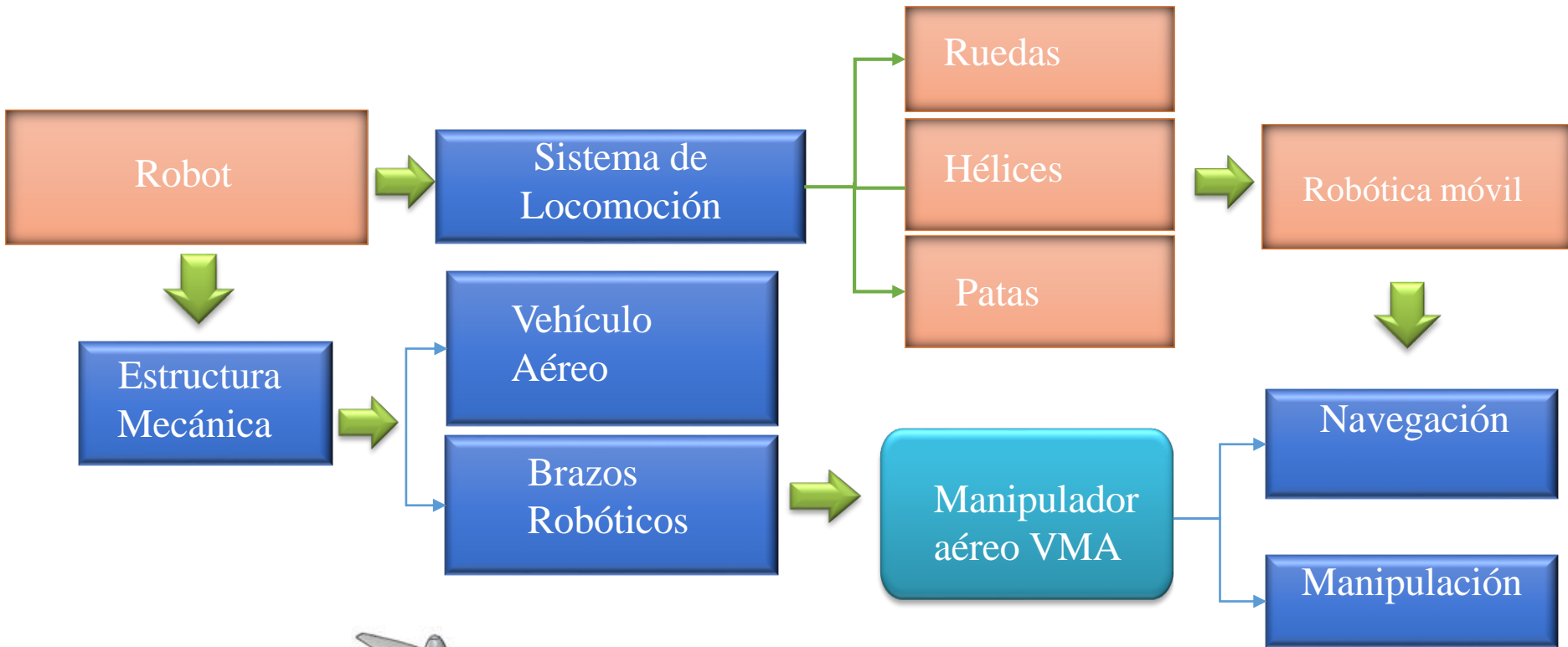
**SJR** SCImago  
Journal & Country  
Rank



## Contenido

- **Introducción**
- **Objetivos**
- **Modelo del Robot Manipulador Aéreo**
- **Desarrollo del Entorno 3D**
- **Esquema de Control**
- **Resultados**
- **Conclusiones**







## Introducción

Antecedentes  
Realidad Virtual  
(RV)  
Entorno de escenas

1860  
Aprox.

Oculus  
VR

Importantes  
Avances

Monitoreo y Control  
Industrial  
Información tiempo  
real  
Entrenamiento

### RV Educación virtual



### Entrenamiento Industrial



### Realidad Virtual aplicada en la Robótica



# Introducción



PRUEBAS  
EXPERIMENTALES

SE REQUIERE



• Prototipo  
Físico

LIMITACIONES



- Costos Adquisición, Licencia, Mantenimiento.
- Fallos en Pruebas.
- Fallos por Condiciones Meteorológicas.
- Control Cooperativo costoso.



SIMULADOR 3D

SE REQUIERE



• Equipo  
Necesario

VENTAJAS



- Entorno Flexible.
- No Costos Adicionales





## Contenido

- Introducción
- **Objetivos**
- Modelo del Robot Manipulador Aéreo
- Desarrollo del Entorno 3D
- Esquema de Control
- Resultados
- Conclusiones



## Objetivos

### Objetivo General

- Modelar y proponer un esquema de control avanzado para la ejecución de tareas de navegación autónoma y tele-operadas de un robot manipulador aéreo en ambientes virtuales digitalizados a través de mapeo 3D.

### Objetivos específicos

- Digitalizar entornos reales a través de un mapeo 3D a fin de **implementar un simulador 3D en realidad virtual que permita la inmersión e interacción** del operador humano para el análisis del desempeño del algoritmo de control propuesto.
- **Modelar la cinemática de un robot manipulador aéreo** conformado por dos brazos robóticos montado sobre un vehículo aéreo no tripulado (UAV) en la que se considere la posición de cada uno de los extremos operativos de los brazos robóticos como un sólo sistema.
- Proponer un **esquema de control basado en la cinemática del robot para tareas de navegación autónomas y tele-operada** de un robot manipulador aéreo en espacios de trabajos parcialmente estructurados.





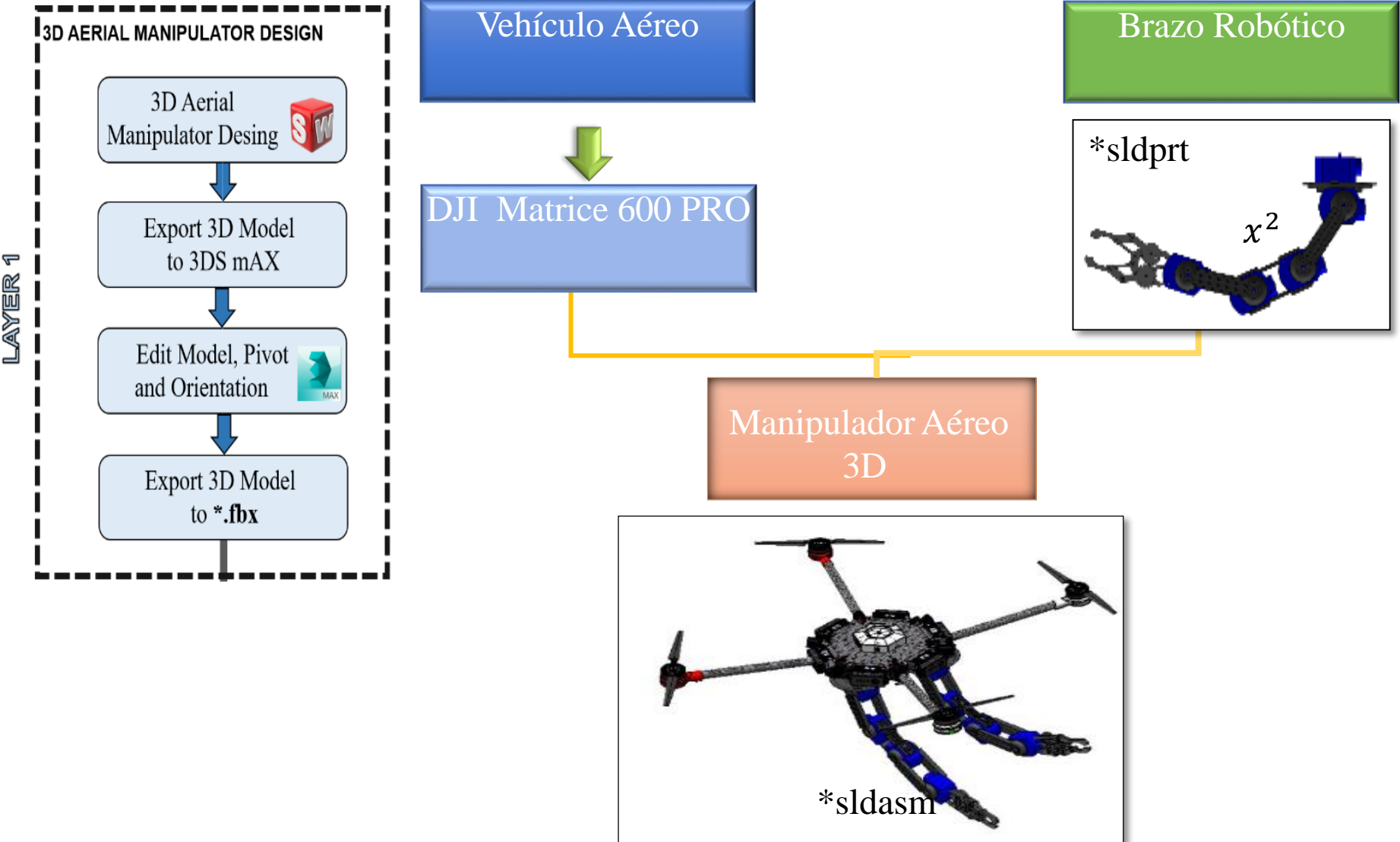
## Contenido

- Introducción
- Objetivos
- **Modelo del Robot Manipulador Aéreo**
- Desarrollo del Entorno 3D
- Esquema de Control
- Resultados
- Conclusiones



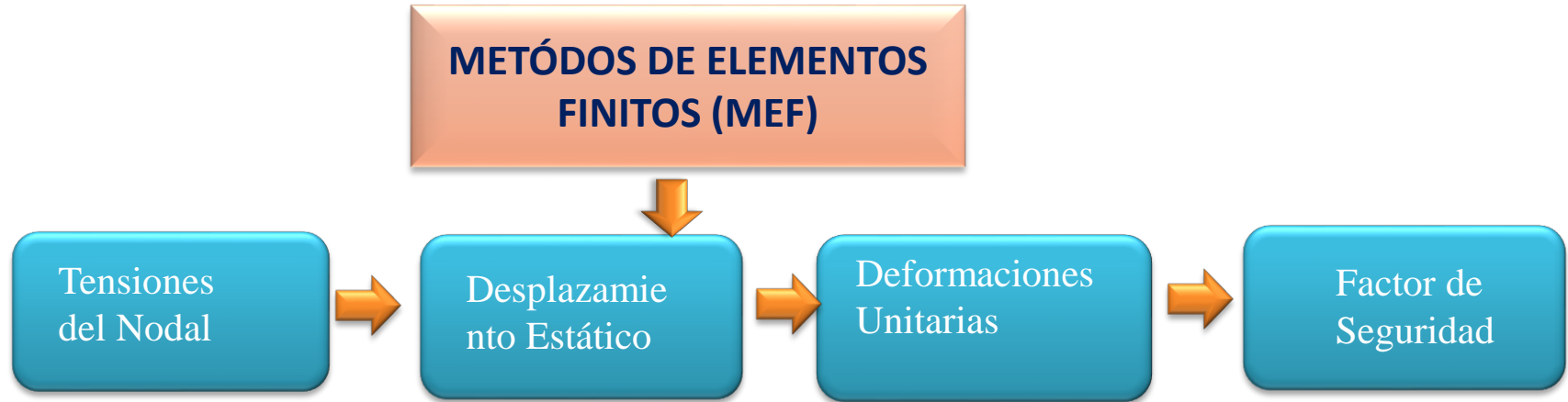


## CAD Modelo del Manipulador en 3D





## Análisis Estructural del Modelo del Manipulador en 3D





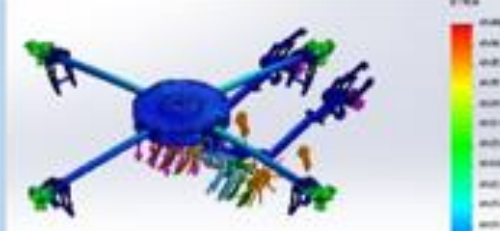

VALORES ADMISIBLES



Fuerzas aplicadas	Valor
Fuerza puntual	25 N
Momento Torsor	5 N.m





RESULTADO DE ESTUDIO	MODELO ANALIZADO	VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS	CONCLUSIÓN
TENSIÓN NODAL (von MISES)		Valor Máx. 810390272 (N/m <sup>2</sup> ) Valor Min. 9.11 (N/m <sup>2</sup> )	El manipulador aéreo, no posee tensiones que superen su límite elástico (2.400e+9.0 N/m <sup>2</sup> ).
DESPLAZAMIENTO ESTÁTICO		Valor Máx. 226.31 mm Valor Min. 0 mm	El manipulador aéreo, se desplaza un valor máximo de 22.6 cm. Este desplazamiento se producirá en los <u>gripper</u> .
DEFORMACIÓN UNITARIA		Valor Máx. 0.06834 Valor Min. 0	No posee una deformación unitaria alta. Siendo esta de 6.8%, en los gripper, por ser las piezas en mayor contacto.
FACTOR DE SEGURIDAD		Valor Máx. 263,472,256.0 Valor Min. 2.96	El factor de seguridad es constante en toda la superficie. No hay consideración que tomar en algún punto específico del modelo.





## Exportación a 3DS Max Modelo del Manipulador en 3D

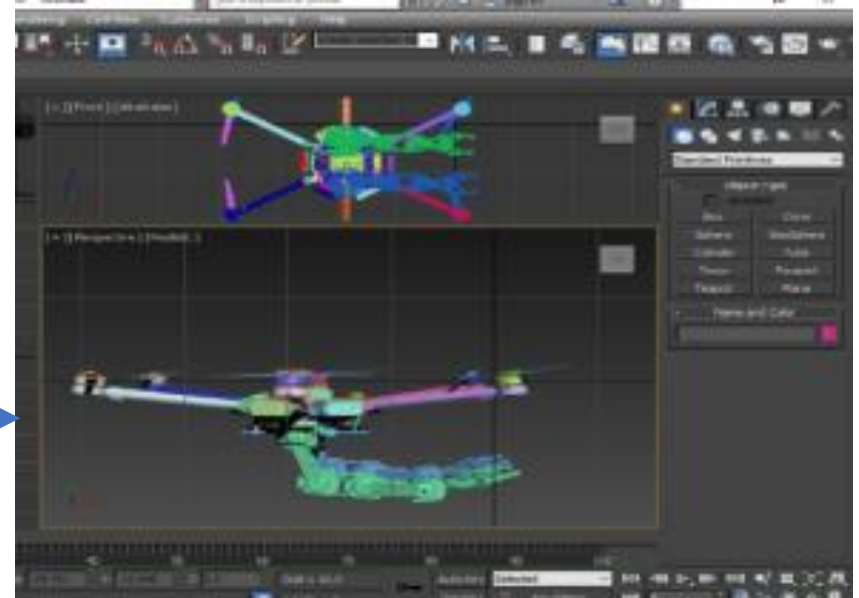
Modelo Compatible

Exportación 3ds Max

Puntos de Referencia PIVOTE

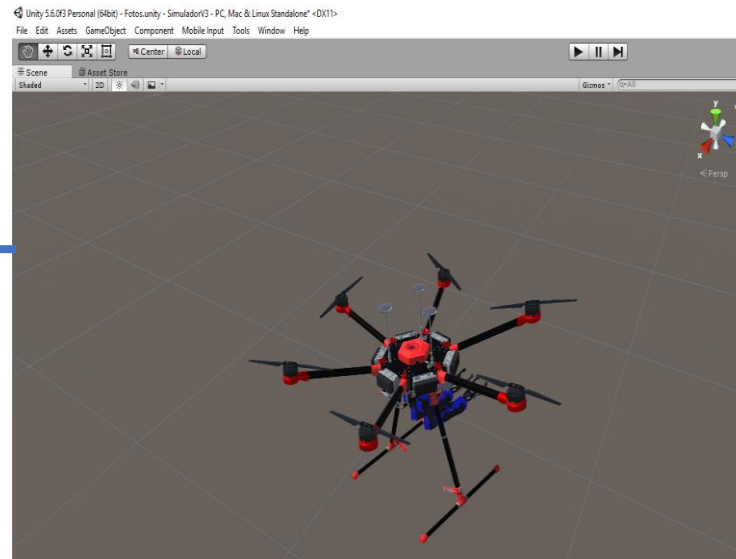
Puntos Rotación en las Articulación

Valoes Max y Min de Trabajo



\*.fbx

Compatible  
Unity 3D





## Contenido

- Introducción
- Objetivos
- Modelo del Robot Manipulador Aéreo
- **Desarrollo del Entorno 3D**
- Esquema de Control
- Resultados
- Conclusiones





## Desarrollo del Entorno 3D

Seleccionar el Entorno



Planificación de Vuelo



Levantamiento de Información



Entorno 3D



Exportamos el Modelo \*.fbx



Digitalización 3D





## IMPORTAR MODELOS 3D

ROBOT MANIPULADOR  
AÉREO

↓  
\*.fbx

ESTABLECER PUNTOS  
DE ROTACIÓN



DEFINIR LIMITES DE  
MOVIMIENTO EN CADA  
PUNTO



ENTORNO  
DIGITALIZADO

↓  
\*.fbx

ESTABLECER UN  
COLISIONADOR DE MALLA



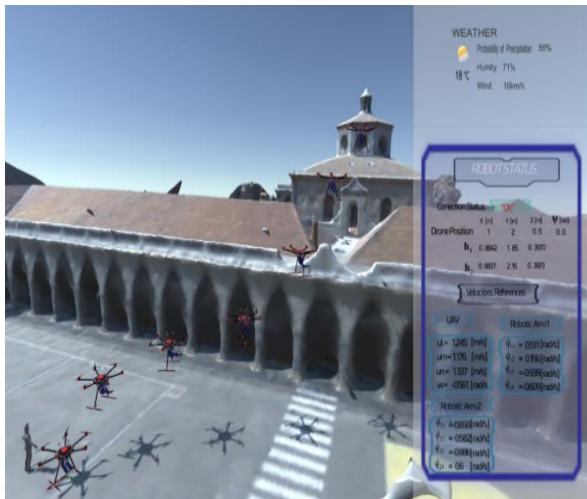
ESTABLECER PROPIEDADES  
FISICAS PARA  
MOVILIZACIÓN

APLICAR MATERIAL

EJECUTOR DE  
MOVIMIENTO

ADMINISTRADOR DE TAREAS

INTERACCIÓN AMBIENTAL





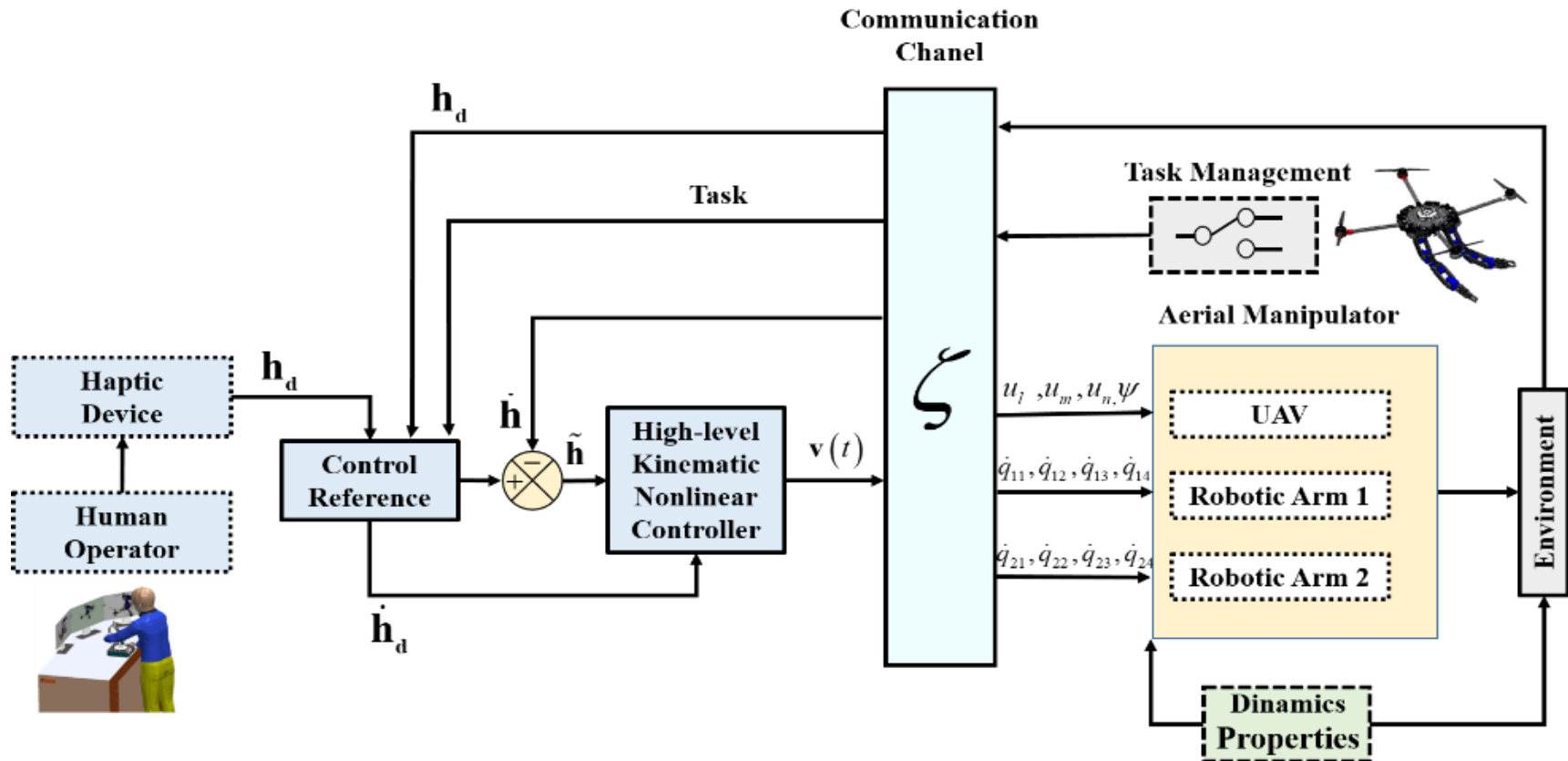


## Contenido

- Introducción
- Objetivos
- Modelo del Robot Manipulador Aéreo
- Desarrollo del Entorno 3D
- Esquema de Control
- Resultados
- Conclusiones

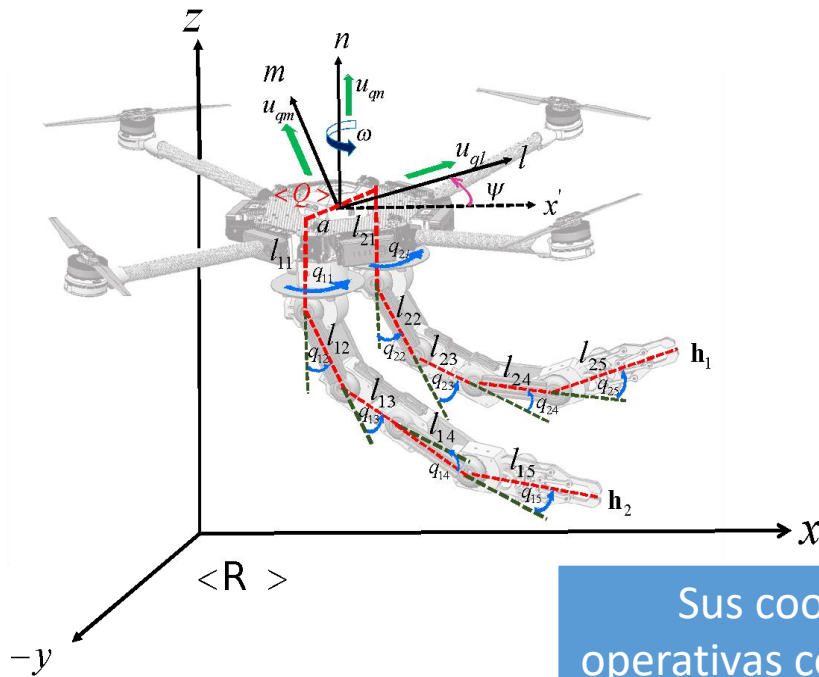


# Esquema de Control





## Esquema de Control



MODELO  
CINEMÁTICO

RESULTADO

Sus coordenadas operativas como funciones de las coordenadas generalizadas de los dos brazos robóticos y las coordenadas operativas del vehículo aéreo

$$\dot{\mathbf{h}}(t) = \mathbf{J}(\mathbf{q}_q, \mathbf{q}_{a1}, \mathbf{q}_{a2}) \mathbf{v}(t)$$

$\dot{\mathbf{h}}(t)$  Vector de Velocidades de los Efectores Finales

$$\mathbf{v} = [\mathbf{v}_q \ \mathbf{v}_{qa1} \ \mathbf{v}_{qa2}]^T$$

Vector de Control de la Movilidad del Manipulador

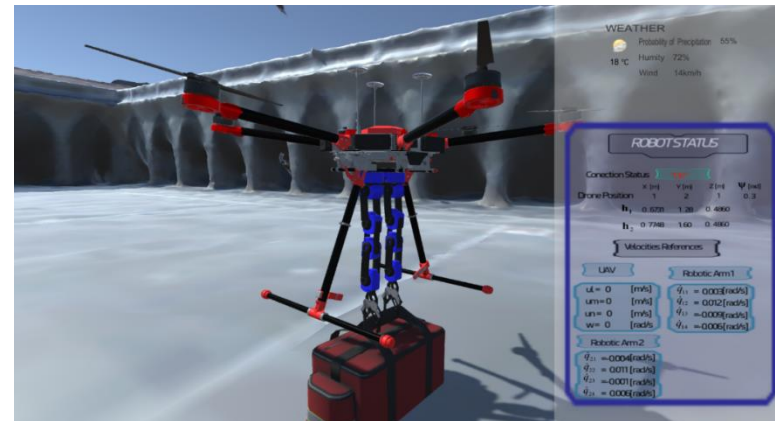
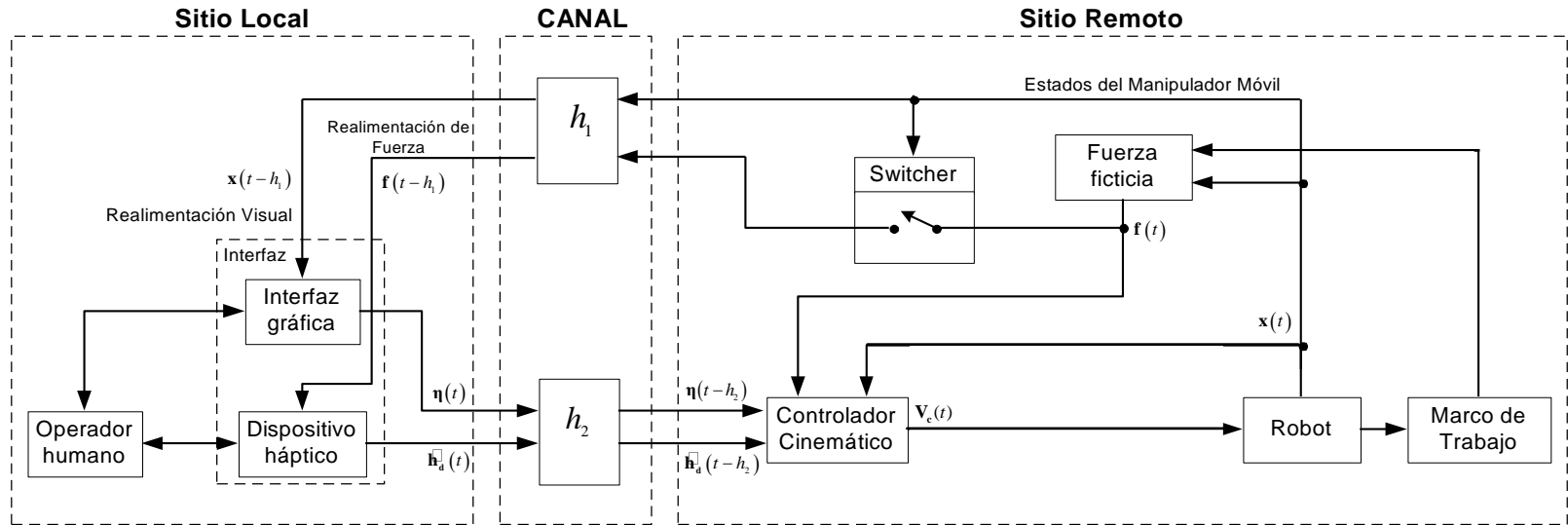
$$\mathbf{J}(\mathbf{q}_q, \mathbf{q}_{a1}, \mathbf{q}_{a2})$$

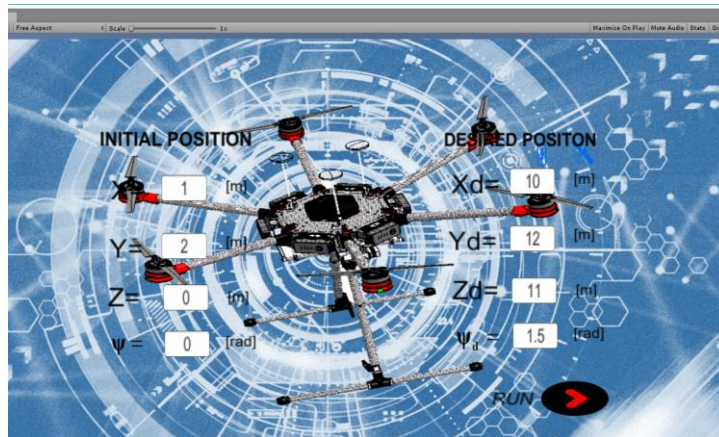
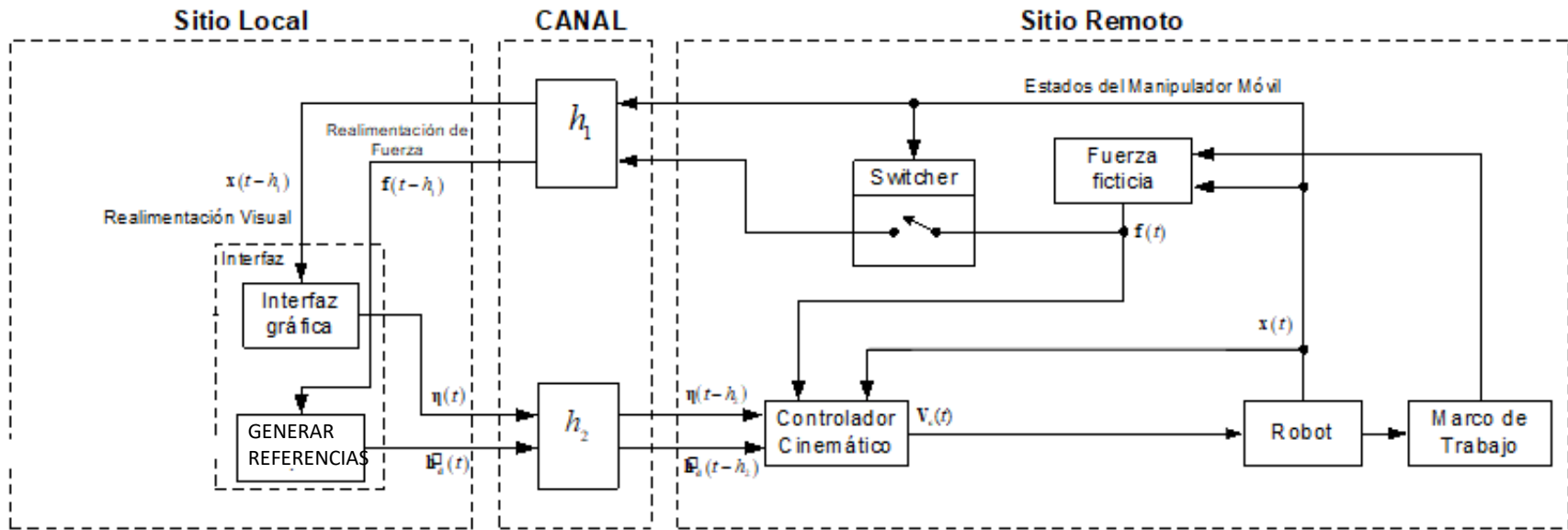
Matriz Jacobina que Define Un Mapeo Lineal Entre el Vector de las Velocidades del Manipulador Aéreo Y el Vector de las Velocidades de los Efectores Finales.





## Control Tele-Operado







## Contenido

- Introducción
- Objetivos
- Modelo del Robot Manipulador Aéreo
- Desarrollo del Entorno 3D
- Esquema de Control
- **Resultados**
- Conclusiones





## Experimento 1

Validación del Desempeño del Simulador y la Ley de Control Implementada



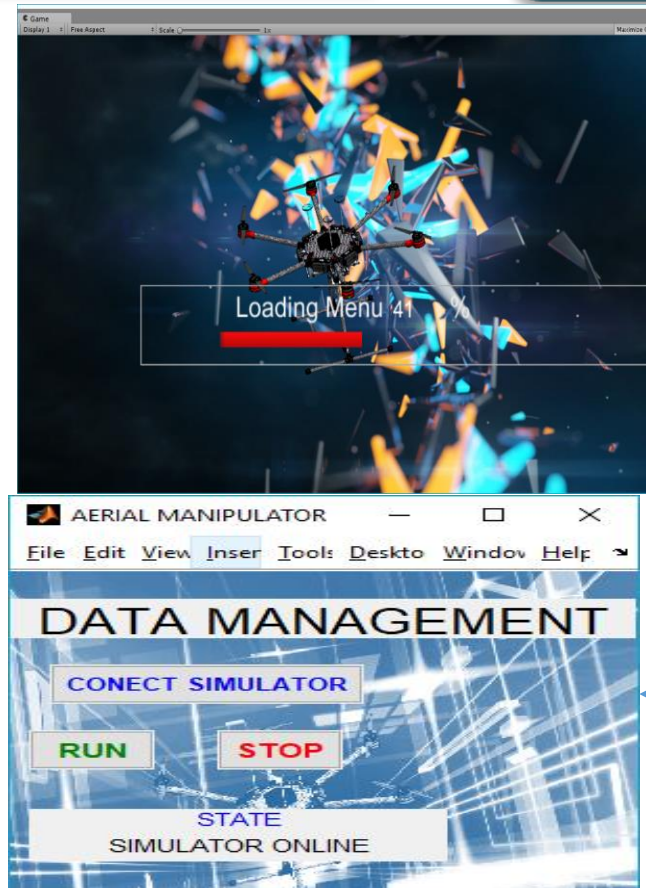
Realización de Experimentos.



Designación del manipulador aéreo de manera Autónoma



Comunicación Unity3D-Matlab



## Resultados

Establecida la  
Comunicación con Matlab



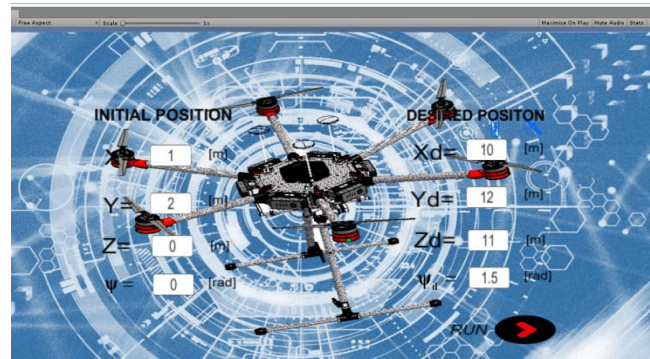
Menú  
Administración de  
Tareas



Seleccionar  
Navegación  
Autónoma



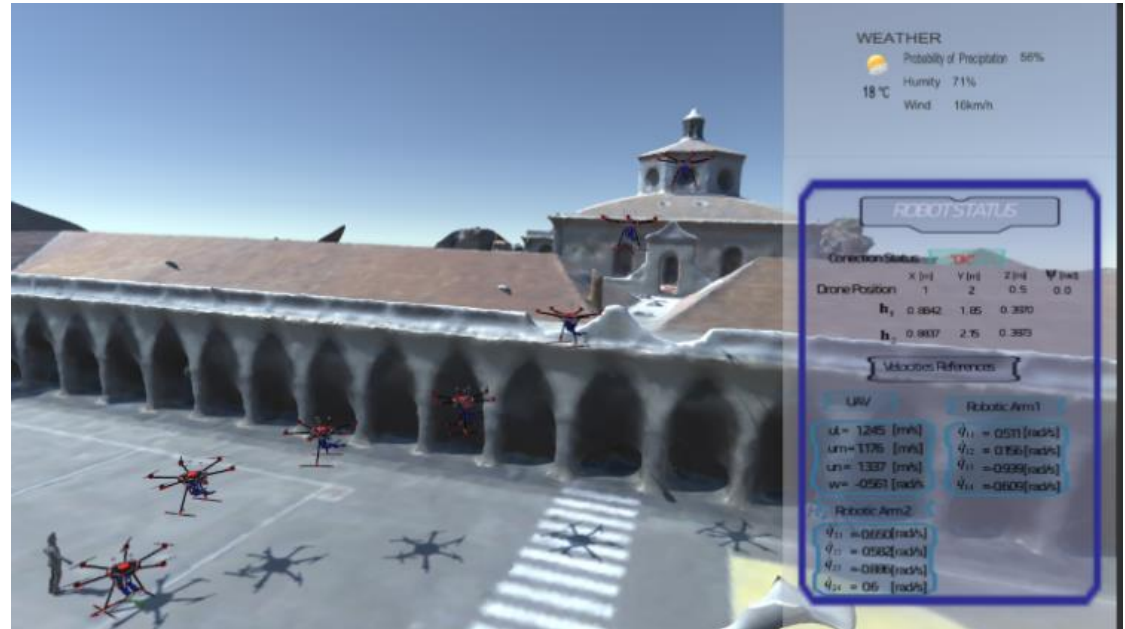
Estableciendo  
condiciones Iniciales  
y la posición deseada





## Resultados

Datos Ingresados en el Simulador recibidos en Matlab



Movimiento Estroboscópico



Velocidades Aplicadas



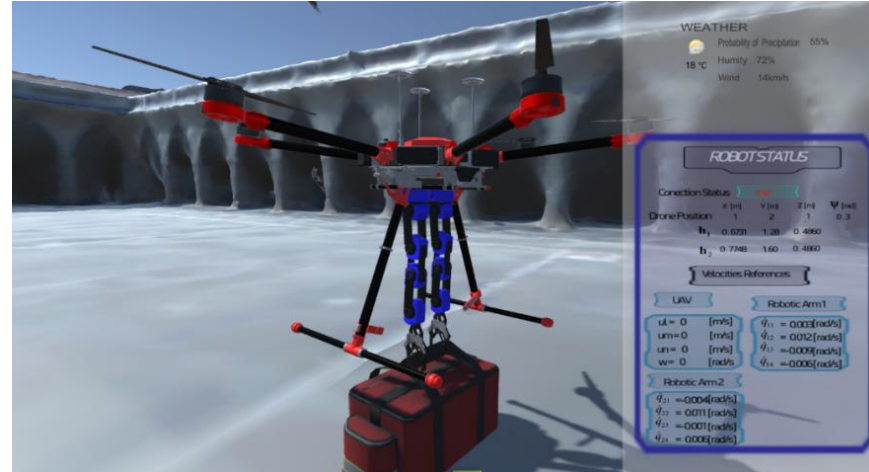
Posiciones extremos Operativos





## Experimento 2

Ejecución de una tarea de tele-operación



Transporte de un objeto



Controlar el extremo Operativo de cada brazo

Comandar la movilidad de la plataforma aérea



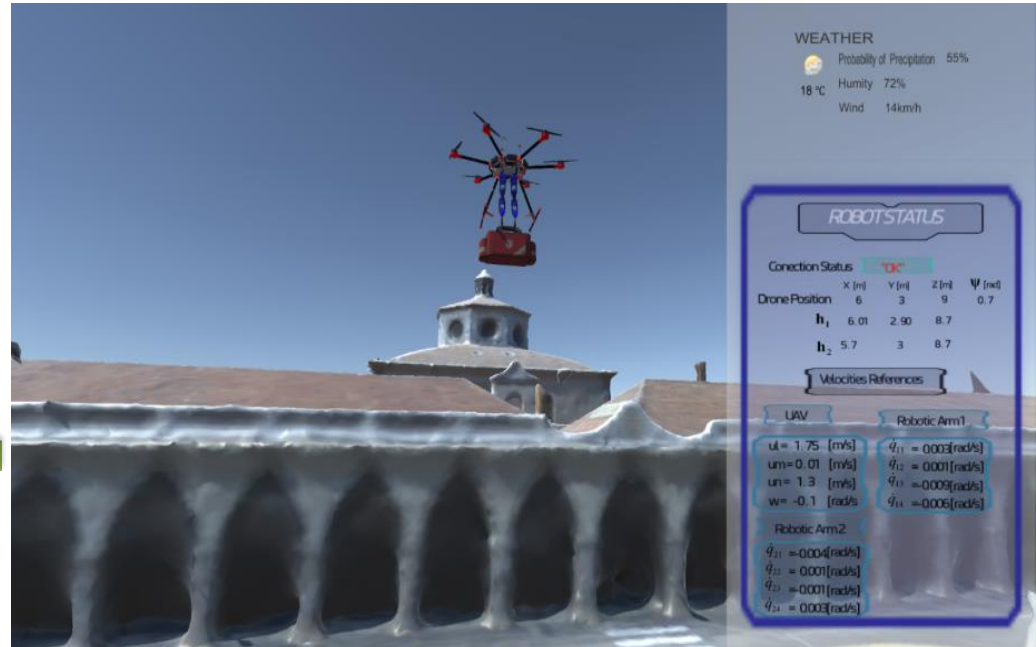


## Experimento 2

El operario logre sostener con los extremos operativos el objeto

Transporte de un objeto

Controlando Velocidades





## Contenido

- Introducción
- Objetivos
- Modelo del Robot Manipulador Aéreo
- Desarrollo del Entorno 3D
- Esquema de Control
- Resultados
- Conclusiones





## Conclusiones

- Para realizar el simulador en 3D de un vehículo aéreo y dos brazos robóticos, se vinculó varias herramientas de diseño 3D, en el modelo digital del terreno se utiliza Unity conjuntamente con un software CAD obteniendo un ambiente muy cercano al real.
- En el manejo del manipulador se emplea un dispositivo háptico el cual simula el transporte y la manipulación de objetos con las diferentes estrategias de control verificando la capacidad de responder a las perturbaciones como datos meteorológicos de un ambiente real.





**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**Ingeniería Mecatrónica**

# Virtualización de Entornos Reales para la Navegación Autónoma y Tele-Operada de Robots Manipuladores Aéreos

**MENDEZ HURTADO MARÍA GABRIELA  
TORRES CASTILLO DIANA CAROLINA**

*PhD. Víctor H. Andaluz, Tutor*

