



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA YELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

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

**CONTROL COLABORATIVO HOMBRE-ROBOT PARA
MANIPULACIÓN Y TRASLADO DE OBJETOS**

Autores:

De La Cruz Shingon, Nelson David

Moreno Garzón, Geovanny Patricio

Ing. Andaluz Ortiz, Víctor Hugo, PhD *Tutor*



About this paper



Check for updates

Cite this paper as:

Moreno G.P., De la Cruz N.D., Ortiz J.S., Andaluz V.H. (2021) Human-Robot Collaborative Control for Handling and Transfer Objects. In: Botto-Tobar M., Montes León S., Camacho O., Chávez D., Torres-Carrión P., Zambrano Vizuete M. (eds) Applied Technologies. ICAT 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1388. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71503-8_8

First Online
01 April 2021

Print ISBN
978-3-030-71502-1

[Buy this book on publisher's site](#)

[Reprints and Permissions](#)

DOI
https://doi.org/10.1007/978-3-030-71503-8_8

Publisher Name
Springer, Cham

eBook Packages
[Computer Science](#)
[Computer Science \(R0\)](#)

Human-Robot Collaborative Control for Handling and Transfer Objects

Geovanny P. Moreno, Nelson D. De la Cruz, Jessica S. Ortiz and Víctor H. Andaluz

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

{gpmoreno1, ndde2, jsortiz4, vhandaluz1}@espe.edu.ec

Abstract. The document proposes the development of a 3D virtual environment, oriented to the common work activities between a unicycle type mobile manipulator robot and a human operator, in collaborative tasks. This strategy is focuses on the incorporation of virtual reality (VR), in which the operator will have access to visualize in an immersive way the behavior of the mobile manipulator robot in common tasks where the human being and the mobile manipulator robot interact. For the interaction between the human operator and the mobile manipulator robot, the graphic engine Unity 3D is used, which exchanges information with the mathematical software Matlab, in order to execute the control algorithm through the use of shared memories. The Novint Falcon haptic device allows human-robot interaction, which provides the operator with force feedback on what is happening in the virtual environment generated by the Unity 3D software and the interaction it has with the mobile manipulator. The HTC Vive immersion device allows the operator to visualize the virtual environment created for the execution of the task. In this work, the design and simulation of the locomotion system of a mobile manipulator robot is carried out for manipulation and object transfer tasks together with the human operator. Finally, the simulation results that validate the proposed control strategy are presented and discussed.

Keywords: Virtual Reality, Mobile Manipulator, Collaborative Control, Matlab, Unity 3D

1 Introduction

Immersive technology, together with the development and technological advances in the last decade, focuses on different applications, in which a distributed group of users share a common 3D virtual environment [1]. It has Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) technology, where the development of virtual environments allows an intuitive interaction through input and output devices, in which several senses of human perception are used, this allows to have an immersion and interaction with the virtual environment as the manipulation of bodies, so it is possible to handle or operate different materials, with the purpose of performing tasks and meet achievable goals [2]. Within this scope, virtual reality (VR) allows to create realistic environments that acquire sensorial information for the interaction with the 3D virtual model [3]. The applications of VR in different training areas motivate the user to learn new skills or

II International Conference on Applied Technologies

ICAT 2020



II International Conference on Applied Technologies

ICAT 2020



CERTIFICATE OF PARTICIPATION

This is to certify that
Nelson David De La Cruz

Has participated in the 2nd International Conference on Applied Technologies ICAT 2020, held on December 2 - 4, 2020 at Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, in Latacunga-Ecuador, and orally presented the paper entitled: **Human-Robot Collaborative Control for Handling and Transfer Objects**

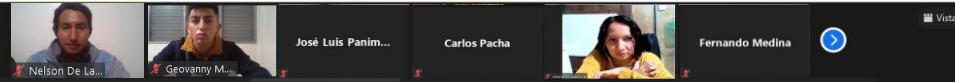
Miguel Botto-Tobar
 Miguel Botto-Tobar
 Organizing Committee
 Eindhoven University of Technology

Sergio Montes-León
 Sergio Montes-León
 Organizing Committee
 Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Jose Bucheli Andrade
 Jose Bucheli Andrade
 Organizing Committee
 Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE



Zoom Reunión

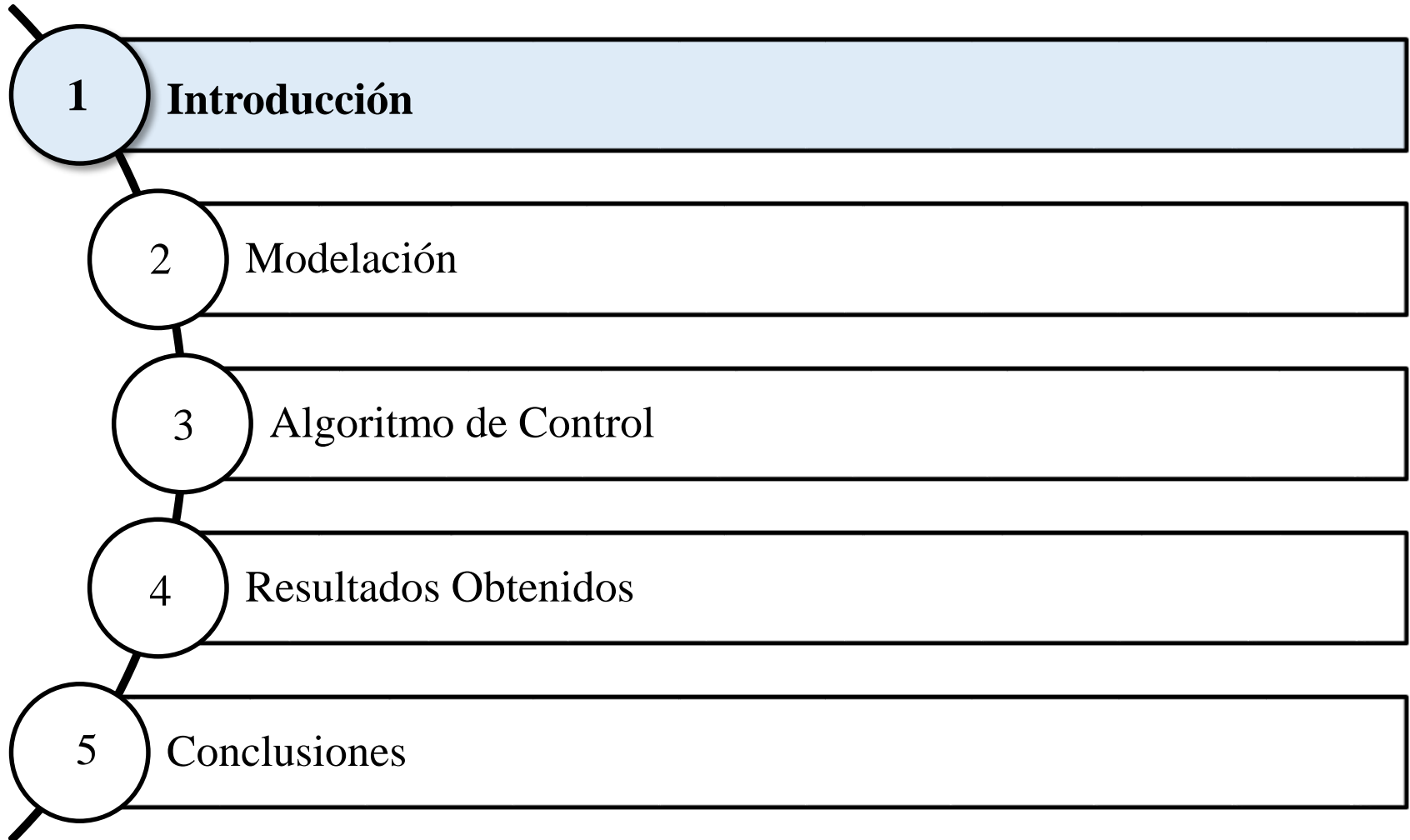


SYSTEM STRUCTURE

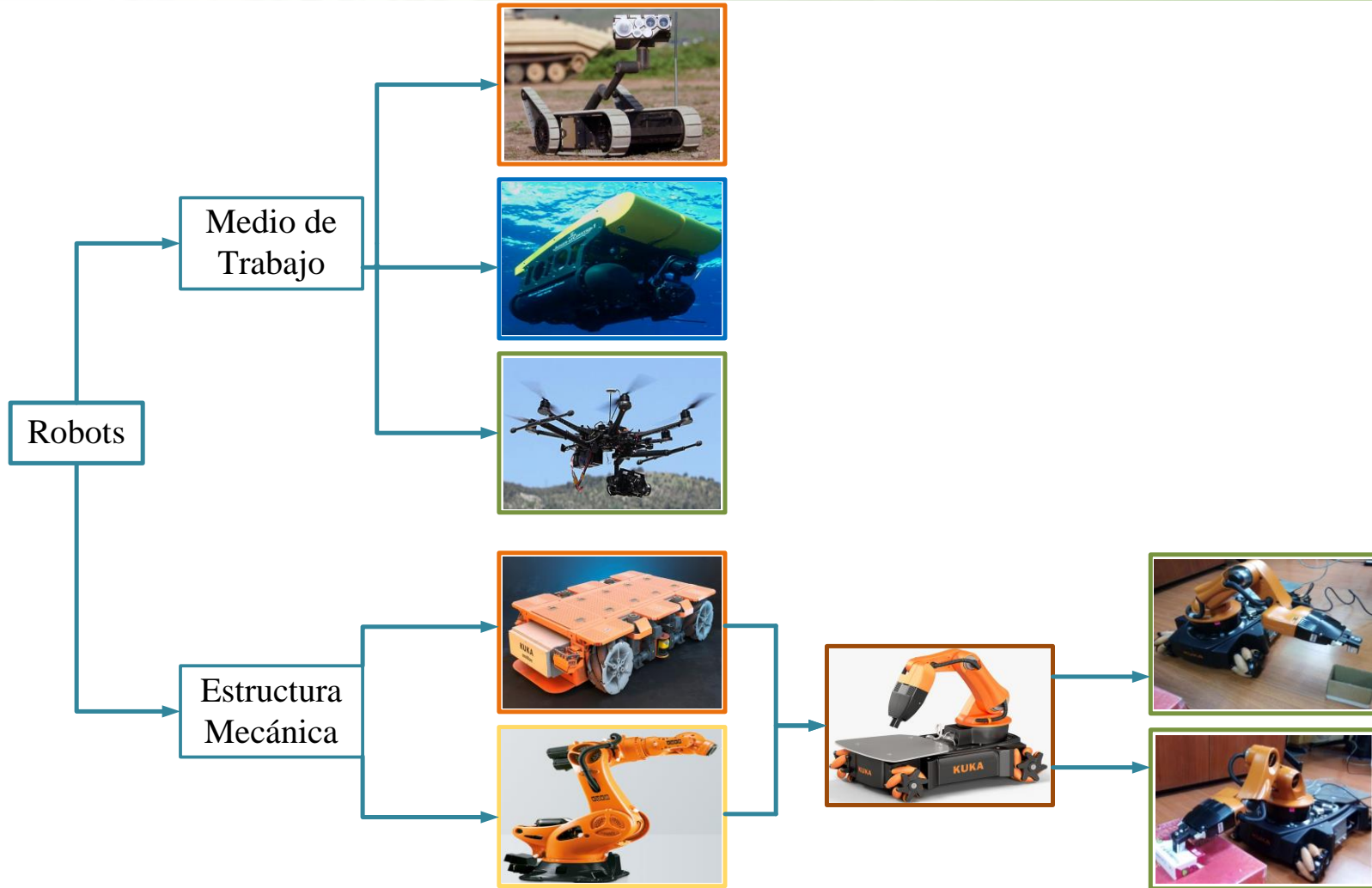
The development of virtual VR environments is a tool to support the process of execution and validation of control algorithms.

The diagram illustrates a system structure for developing virtual VR environments. It starts with a **Mobile Manipulator Robot** (represented by a blue robot) which is modeled in **Solidworks**. The model is then imported into **Autodesk 3DS MAX**. From there, the process moves to **Input** (represented by a person at a computer) and a **Control Algorithm** (represented by the **MATLAB** logo). The control algorithm is implemented in **Unity** (Virtual Environment), which is connected to the robot via an **dll** (dynamic link library) interface.





Introducción



Robótica de Servicio



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

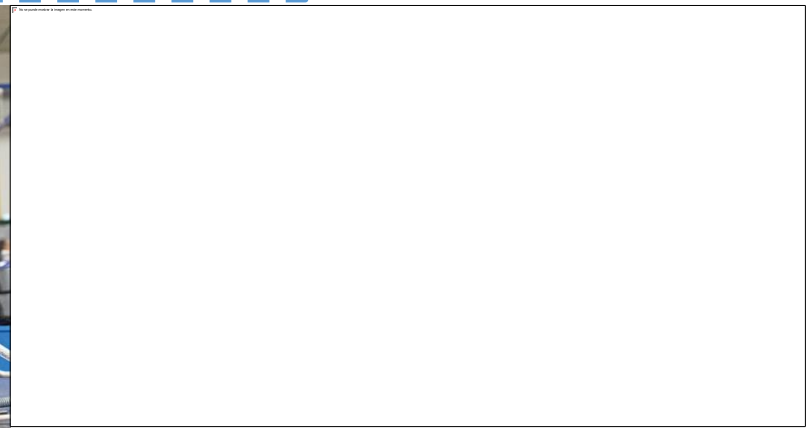
Investigación



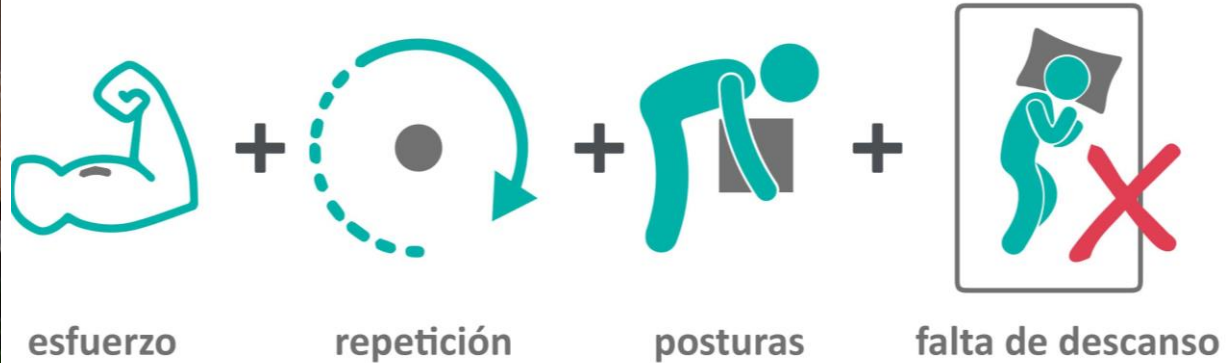
Medicina



Industria



Planteamiento del Problema



Tareas repetitivas, generando fatiga al operario.

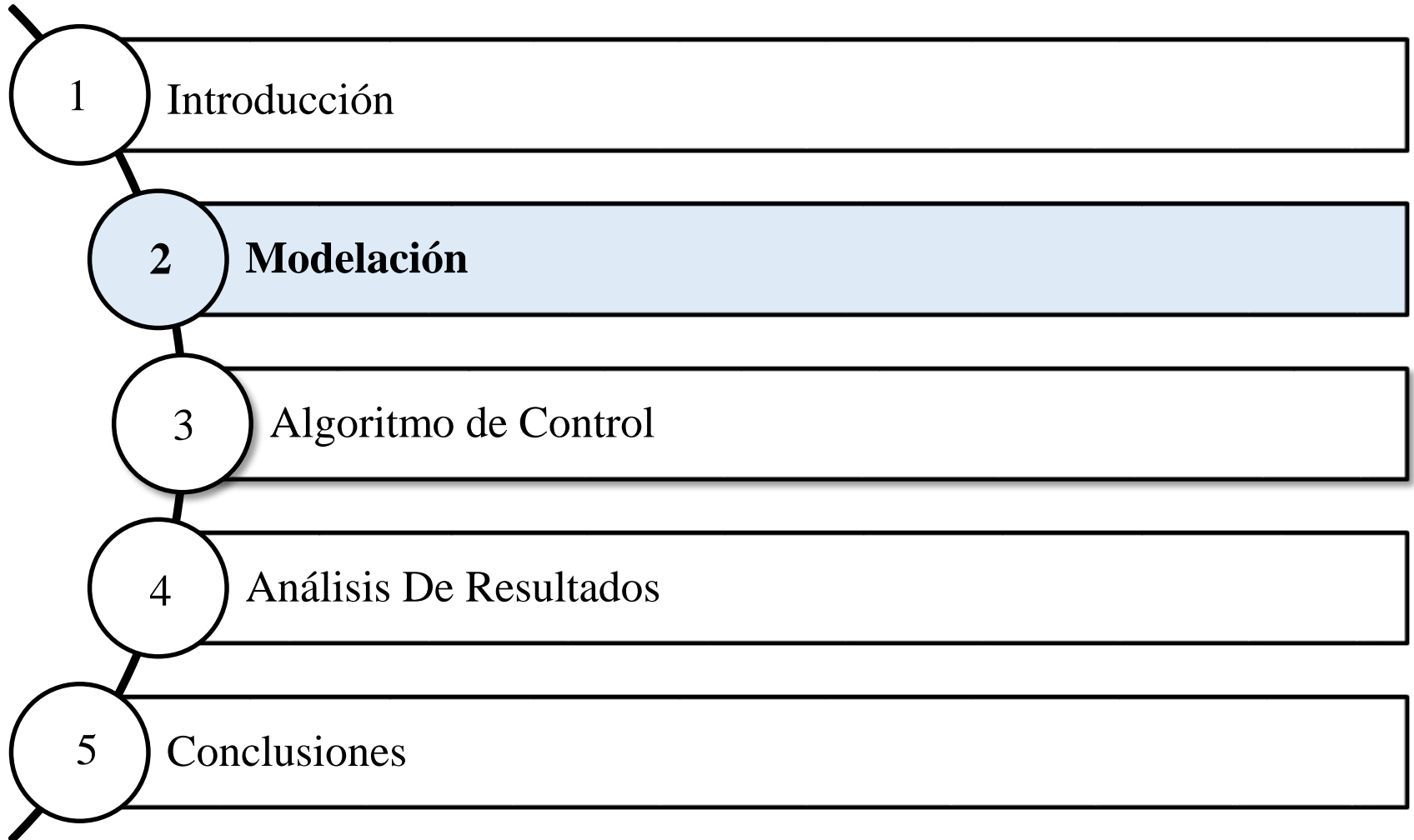
Asistencia a los seres humanos.

Desarrollar un esquema de control colaborativo hombre-robot, que permita ejecutar tareas que requieran tanto la capacidad de manipulación y traslación.

- **Investigar las diferentes estrategias de control hombre-robot**, con el propósito de proponer algoritmos de control avanzado, que permitan ejecutar tareas colaborativas.
- Determinar las **características cinemáticas de un robot manipulador móvil**, conformado por un brazo robótico sobre una plataforma móvil tipo unicycle.
- Determinar el **modelo matemático de un robot manipulador móvil**, que considere la inercia del robot, como a su vez, las fuerzas internas y externas que actúan en el robot manipulador móvil.

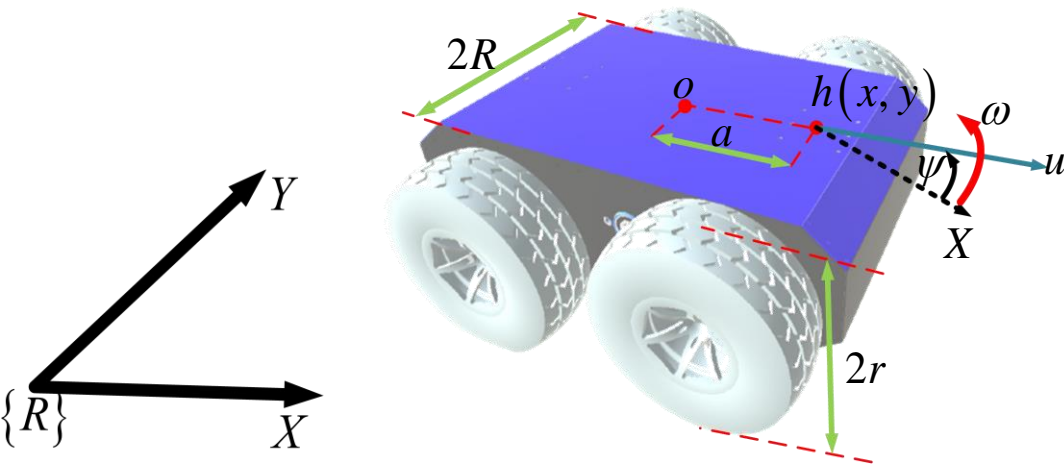
Objetivos Específicos

- Proponer un **algoritmo de control avanzado** que permita ejecutar tareas **colaborativas** entre un operador humano y un robot manipulador móvil, a fin de trasladar y manipular un objeto en común.
- **Analizar de manera matemática la estabilidad del algoritmo de control** colaborativo propuesto, a fin de determinar el comportamiento de los errores de control en lazo cerrado.
- Evaluar el **desempeño del algoritmo de control propuesto**, a través de un entorno de realidad virtual, en el que se considere la interacción hombre-robot, con el propósito de ejecutar tareas colaborativas.



Modelación Cinemática

Plataforma Móvil



Donde:

- a : distancia desde $\mathbf{0}$ al punto de control.
- \mathbf{h} : punto de control.
- \mathbf{u} : velocidad lineal.
- ω : velocidad angular.
- ψ : orientación de la plataforma.

Modelo Geométrico

$$\mathbf{h}(t) = \begin{bmatrix} h_x \\ h_y \\ h_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_r + a \cos(\psi) \\ y_r + a \sin(\psi) \\ \psi \end{bmatrix}$$



Modelo Cinemático

$$\begin{bmatrix} \dot{h}_x \\ \dot{h}_y \\ \dot{h}_\psi \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \cos(\psi) & -a \sin(\psi) \\ \sin(\psi) & a \cos(\psi) \\ 0 & 1 \end{bmatrix}}_{\mathbf{J}(\psi)} \begin{bmatrix} u \\ \psi \end{bmatrix} = \mathbf{v}(t)$$

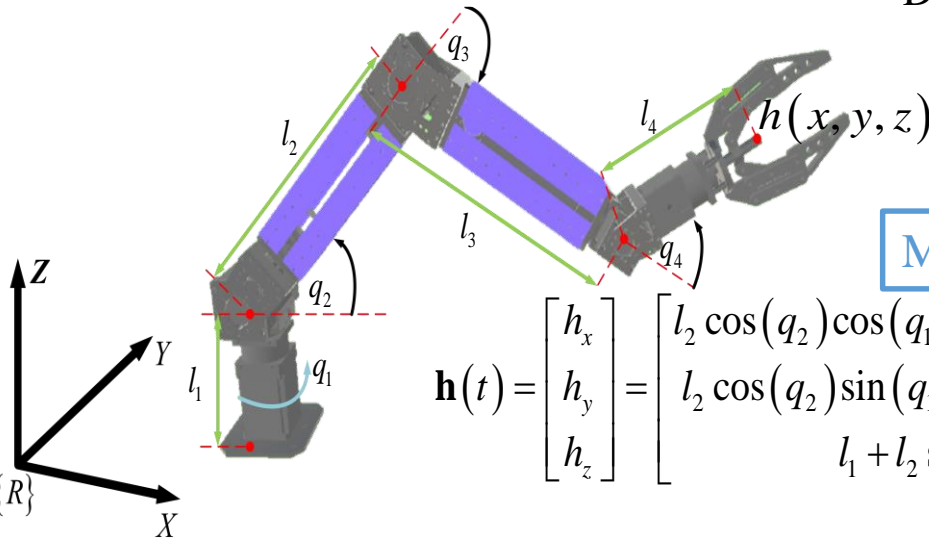
$$\dot{\mathbf{h}}(t) = \mathbf{J}(\psi) \mathbf{v}(t)$$

Modelación Cinemática

Brazo Robótico

Donde:

- l_1, l_2, l_3, l_4 : dimensiones del brazo robótico.
- q_1, q_2, q_3, q_4 : ángulos de giro de cada DOF.
- $h(t)$: posición del punto de interés.



Modelo Geométrico

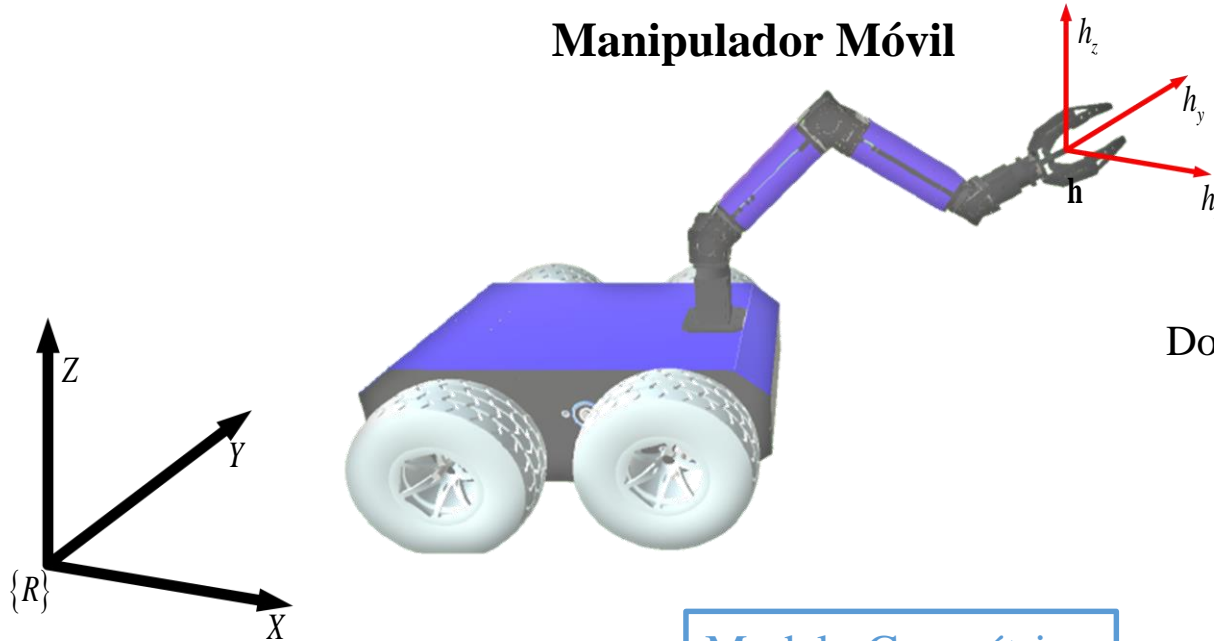
$$\mathbf{h}(t) = \begin{bmatrix} h_x \\ h_y \\ h_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_2 \cos(q_2) \cos(q_1) + l_3 \cos(q_2 + q_3) \cos(q_1) + l_4 \cos(q_2 + q_3 + q_4) \cos(q_1) \\ l_2 \cos(q_2) \sin(q_1) + l_3 \cos(q_2 + q_3) \sin(q_1) + l_4 \cos(q_2 + q_3 + q_4) \sin(q_1) \\ l_1 + l_2 \sin(q_2) + l_3 \sin(q_2 + q_3) + l_4 \sin(q_2 + q_3 + q_4) \end{bmatrix}$$

Modelo Cinemático

$$\begin{bmatrix} \dot{h}_x \\ \dot{h}_y \\ \dot{h}_z \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} (-l_2 C_2 - l_3 C_{23} - l_4 C_{234}) S_1 & (-l_2 S_2 - l_3 S_{23} - l_4 S_{234}) C_1 & (-l_3 S_{23} - l_4 S_{234}) C_1 & (-l_4 S_{234}) C_1 \\ (l_2 C_2 + l_3 C_{23} + l_4 C_{234}) C_1 & (-l_2 S_2 - l_3 S_{23} - l_4 S_{234}) S_1 & (-l_3 S_{23} - l_4 S_{234}) S_1 & (-l_4 S_{234}) S_1 \\ 0 & l_2 C_2 + l_3 C_{23} + l_4 C_{234} & l_3 C_{23} + l_4 C_{234} & l_4 C_{234} \end{bmatrix}}_{\mathbf{J}(q)} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \\ \dot{q}_4 \end{bmatrix}$$

$\dot{\mathbf{h}}(t) \qquad \qquad \qquad \dot{\mathbf{q}}(t)$

Manipulador Móvil



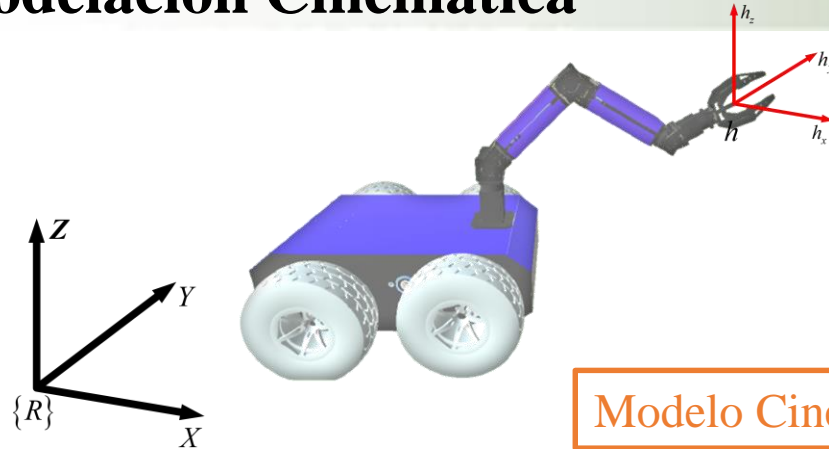
Donde:

\mathbf{h} : posición del extremo operativo.

Modelo Geométrico

$$\mathbf{h}(t) = \begin{bmatrix} h_x \\ h_y \\ h_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_r + a \cos(\psi) + l_2 \cos(q_2) \cos(q_1 + \psi) + l_3 \cos(q_2 + q_3) \cos(q_1 + \psi) + l_4 \cos(q_2 + q_3 + q_4) \cos(q_1 + \psi) \\ y_r + a \sin(\psi) + l_2 \cos(q_2) \sin(q_1 + \psi) + l_3 \cos(q_2 + q_3) \sin(q_1 + \psi) + l_4 \cos(q_2 + q_3 + q_4) \sin(q_1 + \psi) \\ z_r + l_1 + l_2 \sin(q_2) + l_3 \sin(q_2 + q_3) + l_4 \sin(q_2 + q_3 + q_4) \end{bmatrix}$$

Modelación Cinemática



Modelo Cinemático

$$\dot{\mathbf{h}}(t) = \mathbf{J}(q) \mathbf{v}(t)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{h}_x \\ \dot{h}_y \\ \dot{h}_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{\psi} & -aS_{\psi} - (l_2C_2 + l_3C_{23} + l_4C_{234})S_{1\psi} & (-l_2C_2 - l_3C_{23} - l_4C_{234})S_{1\psi} & -(l_2S_2 + l_3S_{23} + l_4S_{234})C_{1\psi} & -(l_3S_{23} + l_4S_{234})C_{1\psi} & -l_4S_{234}C_{1\psi} \\ S_{\psi} & -aC_{\psi} + (l_2C_2 + l_3C_{23} + l_4C_{234})C_{1\psi} & (l_2C_2 + l_3C_{23} + l_4C_{234})C_{1\psi} & -(l_2S_2 + l_3S_{23} + l_4S_{234})S_{1\psi} & -(l_3S_{23} + l_4S_{234})S_{1\psi} & -l_4S_{234}S_{1\psi} \\ 0 & 0 & 0 & (l_2C_2 + l_3C_{23} + l_4C_{234}) & (l_3C_{23} + l_4C_{234}) & l_4C_{234} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ \omega \\ q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix}$$

$\left. \begin{matrix} u \\ \omega \end{matrix} \right\}$ Velocidad lineal y angular de la plataforma móvil
 $\left. \begin{matrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{matrix} \right\}$ Velocidades angulares de las articulaciones del brazo
 $\mathbf{v}(t)$

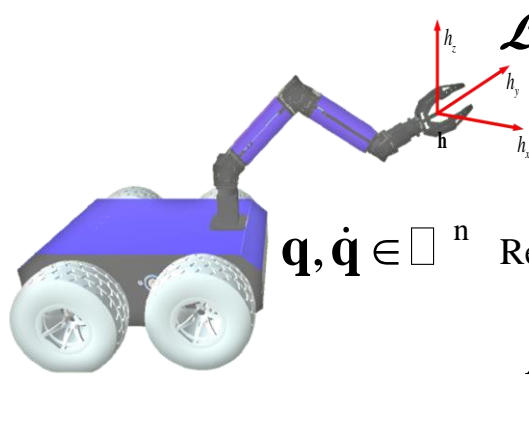
Donde:

$\dot{\mathbf{h}}(t) = [\dot{h}_1 \quad \dot{h}_2 \quad \dots \quad \dot{h}_m]^T$ Velocidad del efector final M.M.

$\mathbf{v}(t) = [v_1 \quad v_2 \quad \dots \quad v_n]^T$ Velocidades del M.M.

$\mathbf{J}(q) = \frac{\partial f}{\partial \mathbf{q}}(q)$ Matriz Jacobiana.

Método basado en la energía del sistema:



$$\mathcal{L}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \underbrace{K(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})}_{\text{Energía Cinética}} - \underbrace{U(\mathbf{q})}_{\text{Energía Potencial}}$$

Energía Cinética

Energía Potencial

$\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}} \in \mathbb{R}^n$ Representan los vectores de posición y velocidad articular

$$K(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \frac{1}{2} m \dot{\mathbf{h}}^T(t) \dot{\mathbf{h}}(t)$$

$$U(\mathbf{q}) = mgh_z$$

Ecuación de movimiento de Euler-Lagrange

$$\tau_i = \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial \mathcal{L}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})}{\partial \dot{\mathbf{q}}_i} \right] - \left[\frac{\partial \mathcal{L}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})}{\partial \mathbf{q}_i} \right] \quad \text{Para } \mathbf{i} = 1, \dots, n$$

Modelo Dinámico

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{g}(\mathbf{q}) = \mathbf{v}_{\text{ref}}(t)$$

vector de las señales de control de velocidad

Donde $\mathbf{v}_{\text{ref}}(t) = [f_x \quad f_y \quad \tau_\psi \quad \tau_1 \quad \tau_2 \quad \tau_3]$

$$\mathbf{q} = [x \quad y \quad \psi \quad q_1 \quad q_2 \quad q_3]$$

$$\mathbf{M}(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} & M_{15} & M_{16} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} & M_{25} & M_{26} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} & M_{35} & M_{36} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & M_{44} & M_{45} & M_{46} \\ M_{51} & M_{52} & M_{53} & M_{54} & M_{55} & M_{56} \\ M_{61} & M_{62} & M_{63} & M_{64} & M_{65} & M_{66} \end{bmatrix}$$

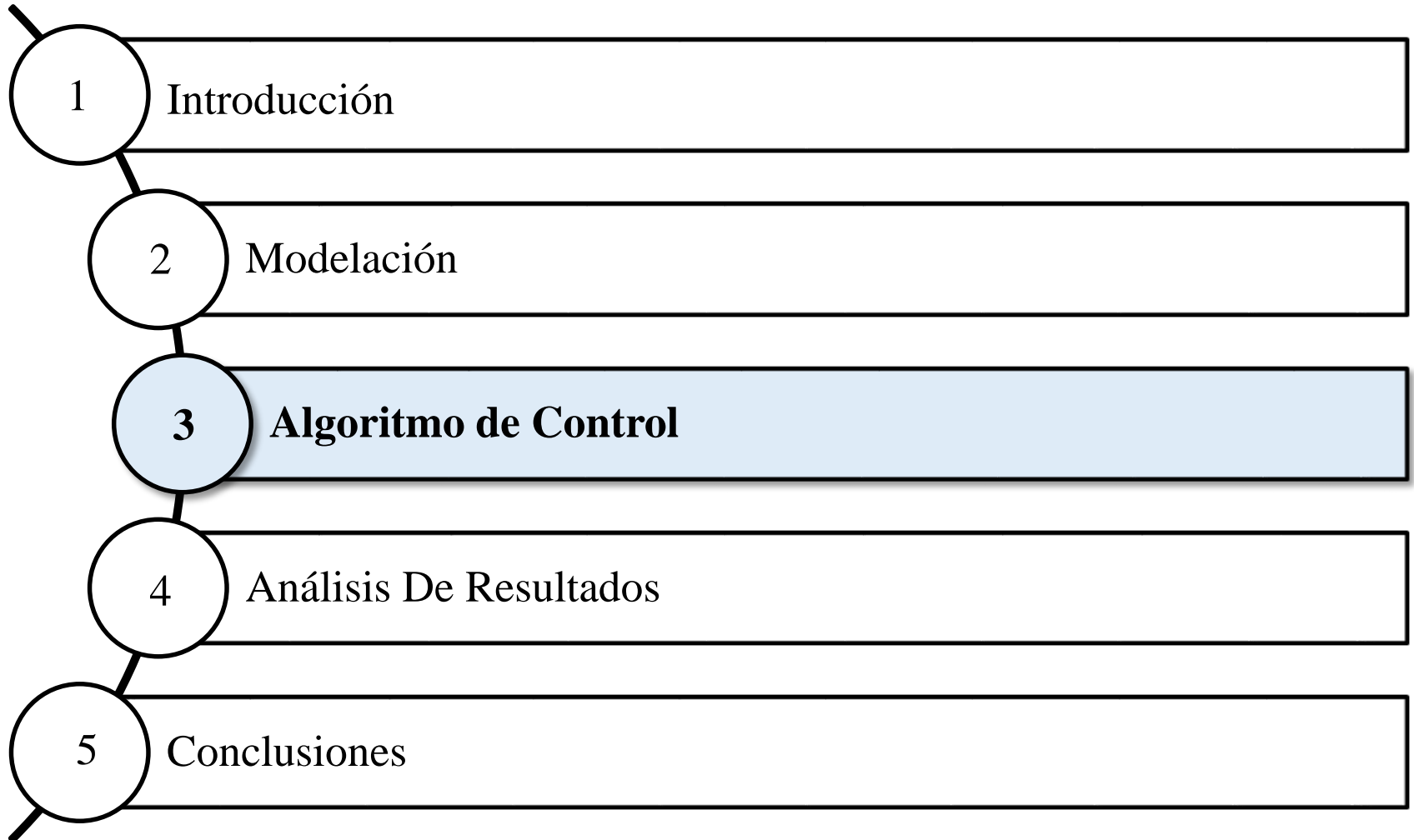
$$\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ 0 & 0 & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ 0 & 0 & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ 0 & 0 & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ 0 & 0 & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} \\ 0 & 0 & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} \end{bmatrix}$$

Matriz de fuerzas centrípetas y centrifugas

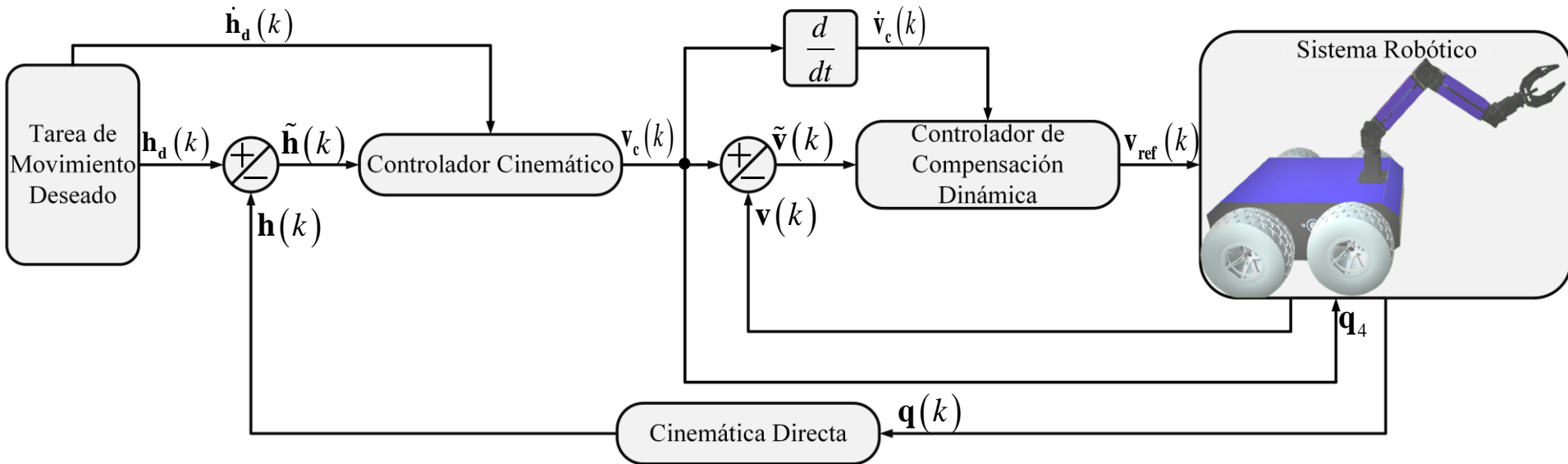
Matriz de Inercia

$$\mathbf{g}(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ mg(l_3 \cos(q_2 + q_3) + l_2 \cos(q_2)) + mgl_2 \cos(q_2) \\ mgl_3 \cos(q_2 + q_3) \end{bmatrix}$$

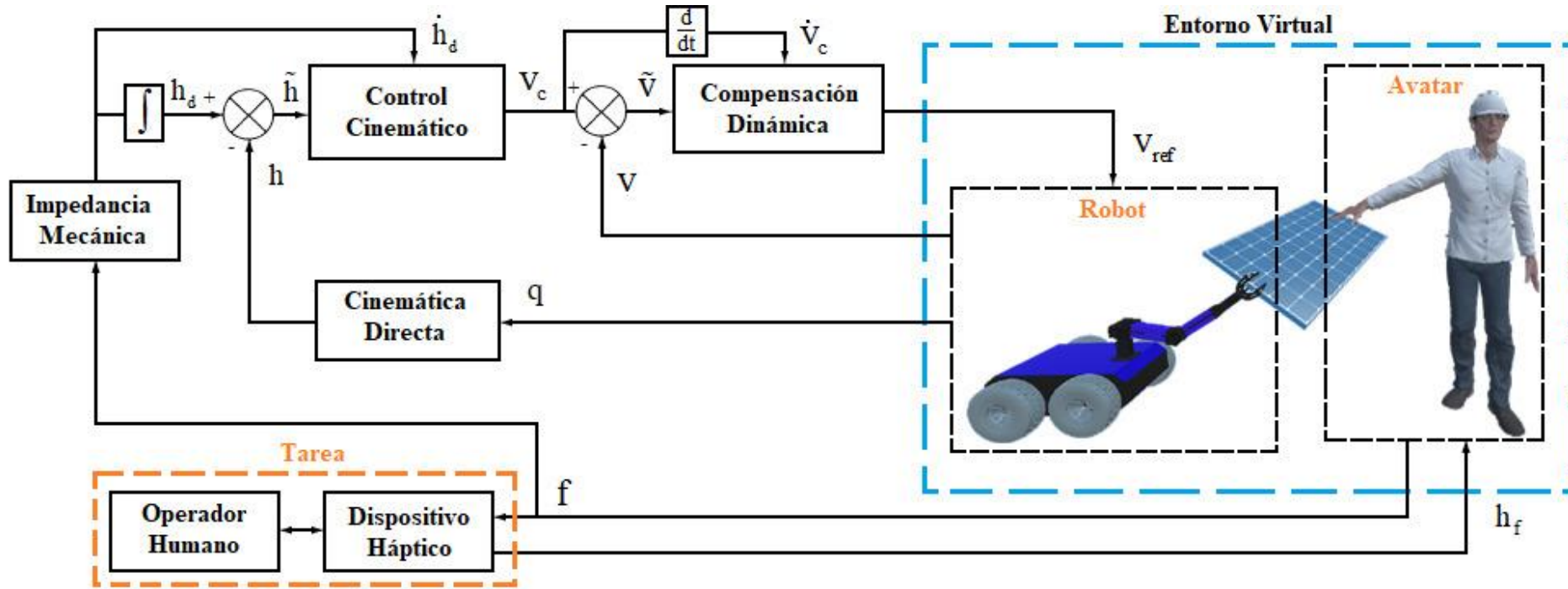
Vector de gravedad



Esquema Control Del Manipulador Móvil



Esquema General de Control Hombre-Robot



Impedancia Mecánica

Impedancia Mecánica del robot:

$$Z(s) = \frac{F(s)}{V(s)} \quad (1)$$

Fuerza externa aplicada:

$$F(s) = MXs^2 + DXs + KX \quad (2)$$

Fuerza ejercida:

$$\mathbf{F} = M \cdot \mathbf{a} \quad (3)$$

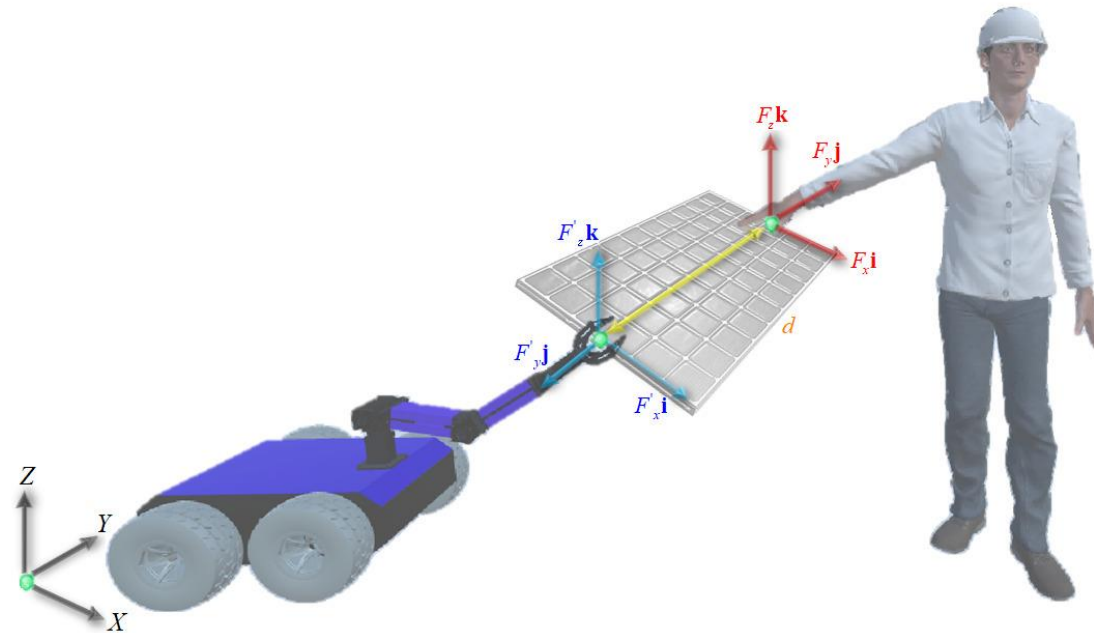
Igualando (2) y (3) se tiene:

$$\mathbf{a} = s^2 + \frac{DsX(s+K)}{M} \quad (4)$$

Integrando (4) y después (5) se tiene:

$$\dot{\mathbf{h}}_d = \frac{s^2(2(DX+M)s + 3DKX)}{6M} \quad (5)$$

$$\mathbf{h}_d = \frac{s^3((DX+M)s + 2DKX)}{12M} \quad (6)$$



Control Cinemático

A partir de (5) y (6), se tiene: $\mathbf{h}_d(t) = [h_{xd} \quad h_{yd} \quad h_{zd}]$ y $\dot{\mathbf{h}}_d(t) = [\dot{h}_{xd} \quad \dot{h}_{yd} \quad \dot{h}_{zd}]$.

Se aplica la inversa (7) al modelo, considerando $\mathbf{J}^\# = \mathbf{W}^{-1} \mathbf{J}^T (\mathbf{J} \mathbf{W}^{-1} \mathbf{J}^T)^{-1}$:

$$\mathbf{v}(t) = \mathbf{J}^\# \dot{\mathbf{h}}_d(t) \quad (7)$$

Donde se tiene: $\tilde{\mathbf{h}}(t) = [\tilde{h}_x \quad \tilde{h}_y \quad \tilde{h}_z]$ a partir de $\tilde{\mathbf{h}} = \mathbf{h}_d - \mathbf{h}$, obteniendo:

$$\mathbf{v}_c = \underbrace{\mathbf{J}^\# (\dot{\mathbf{h}}_d + \mathbf{L}_K \tanh(\tilde{\mathbf{h}}))}_{\text{Objetivo Primario}} + \underbrace{(\mathbf{I} - \mathbf{J}^\# \mathbf{J}) \mathbf{L}_D \tanh(\boldsymbol{\eta})}_{\text{Objetivo Secundario}} \quad (8)$$

Objetivo Primario

Objetivo Secundario



Controlador

Control Redundante

Con $(\mathbf{I} - \mathbf{J}^\# \mathbf{J}) \mathbf{L}_D \tanh(\boldsymbol{\eta})$ se fija la configuración del robot, siendo \mathbf{L}_K y \mathbf{L}_D matrices de ganancia.

Estabilidad del Controlador

Para su estabilidad se asume $\mathbf{v} = \mathbf{v}_c$.

Y se puede reemplazar (8) en el modelo:

$$\mathbf{J}^{\#} \dot{\mathbf{h}} = \underbrace{\mathbf{J}^{\#} \left(\dot{\mathbf{h}}_d + \mathbf{L}_K \tanh(\tilde{\mathbf{h}}) \right)}_{\text{Ley de control}}$$
$$\dot{\mathbf{h}}_d - \dot{\mathbf{h}} + \mathbf{L}_K \tanh(\tilde{\mathbf{h}}) = 0$$

Si $\tilde{\mathbf{h}} = \dot{\mathbf{h}}_d - \dot{\mathbf{h}}$, se tiene:

$$\dot{\tilde{\mathbf{h}}} + \mathbf{L}_K \tanh(\tilde{\mathbf{h}}) = 0 \quad (9)$$

El método de Lyapunov se aplica:

$$V(\tilde{\mathbf{h}}) = \frac{1}{2} \tilde{\mathbf{h}}^T \tilde{\mathbf{h}} \quad (10)$$

Derivando (10) : $\dot{V}(\tilde{\mathbf{h}}) = \tilde{\mathbf{h}}^T \dot{\tilde{\mathbf{h}}}$, se reemplaza en (9):

$$\dot{V}(\tilde{\mathbf{h}}) = -\tilde{\mathbf{h}}^T \mathbf{L}_K \tanh(\tilde{\mathbf{h}})$$

$\dot{V}(\tilde{\mathbf{h}})$ debe ser función definida negativa y $\mathbf{L}_K > 0$, asegurando que $\tilde{\mathbf{h}}(t) \rightarrow 0$ cuando $t \rightarrow \infty$.

Compensación Dinámica

Los efectos dinámicos generan $\tilde{\mathbf{v}} = \mathbf{v}_c - \mathbf{v}$.

A partir del modelo dinámico se propone:

$$\mathbf{v}_{\text{ref}} = \mathbf{M}(\mathbf{q})\boldsymbol{\sigma} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \mathbf{v})\mathbf{v}_c + \mathbf{g}(\mathbf{q}) \quad (11)$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \dot{\mathbf{v}}_c + \mathbf{L}_v \tanh(\tilde{\mathbf{v}}) \quad (12)$$

Ley de control

Para garantizar estabilidad se iguala (11) con el modelo:

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{g}(\mathbf{q}) = \mathbf{M}(\mathbf{q})\boldsymbol{\sigma} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \mathbf{v})\mathbf{v}_c + \mathbf{g}(\mathbf{q})$$

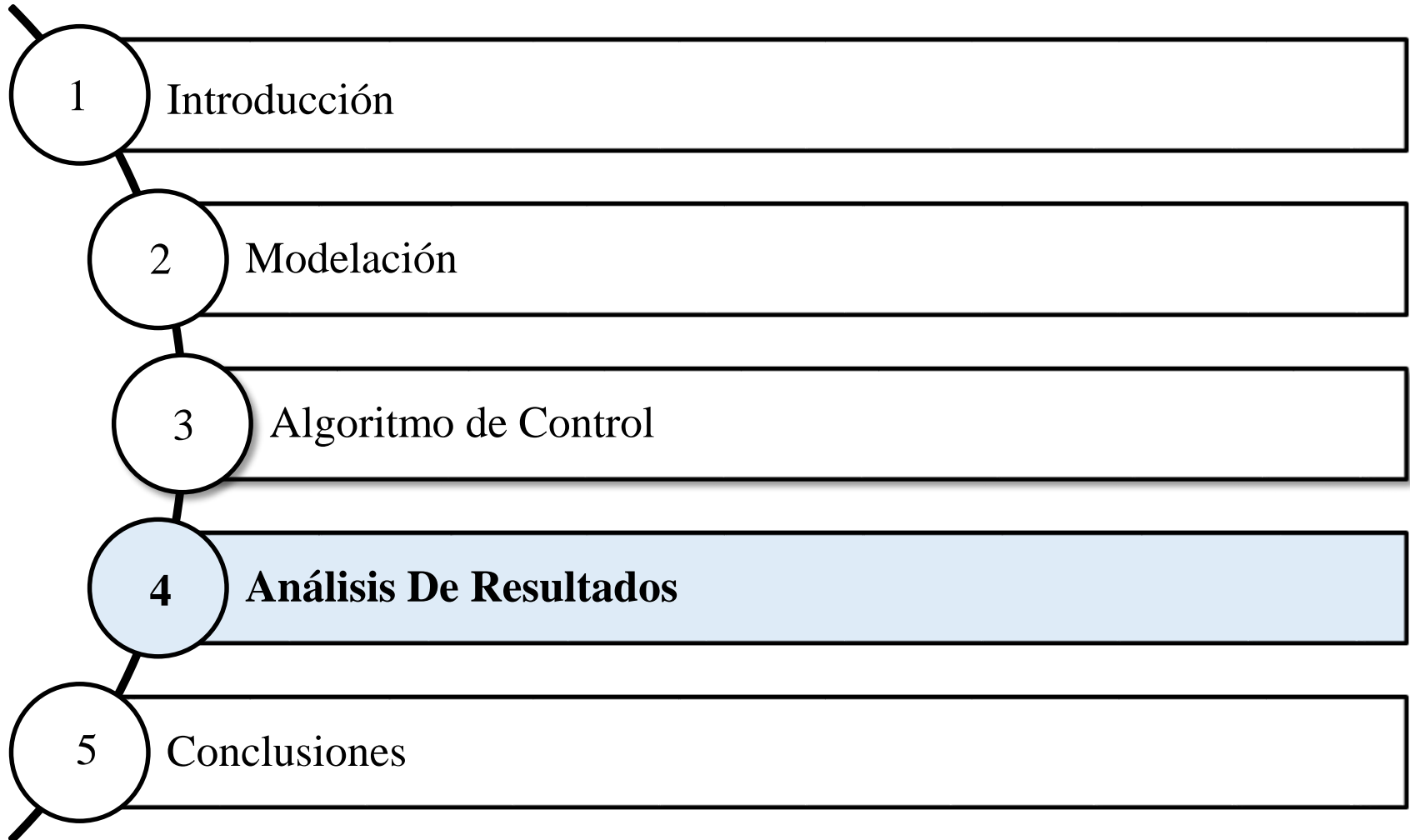
Se tiene: $\ddot{\mathbf{q}} = \boldsymbol{\sigma} = \dot{\mathbf{v}}_c + \mathbf{L}_v \tanh(\tilde{\mathbf{v}})$; considerando $\dot{\tilde{\mathbf{v}}} = \dot{\mathbf{v}}_c - \dot{\mathbf{v}}$:

$$\dot{\tilde{\mathbf{v}}} = -\mathbf{L}_v \tanh(\tilde{\mathbf{v}}) \quad (13)$$

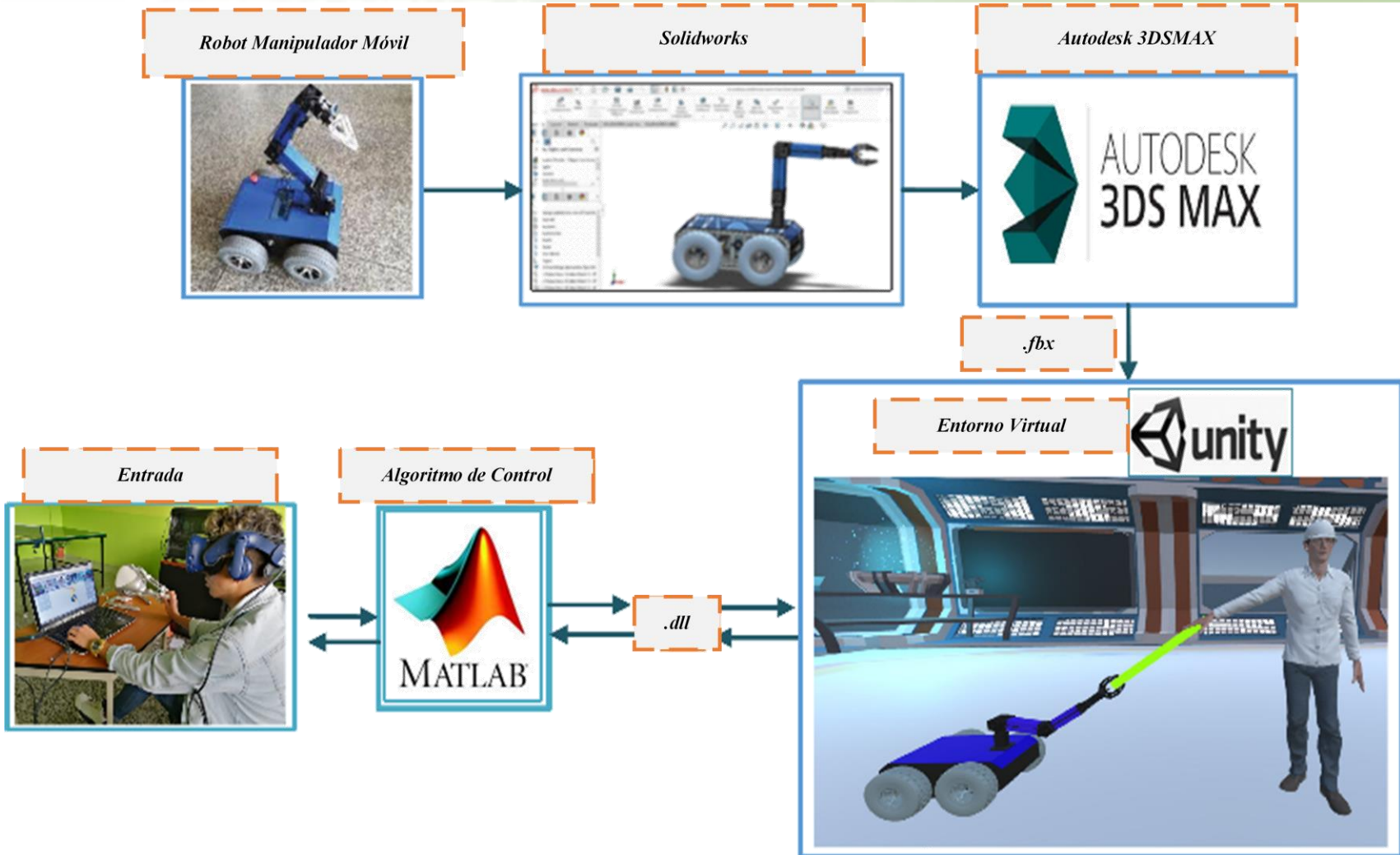
A partir del criterio de Lyapunov: $V(\tilde{\mathbf{v}}) = \frac{1}{2} \tilde{\mathbf{v}}^T \tilde{\mathbf{v}}$, y su derivada $\dot{V}(\tilde{\mathbf{v}}) = \tilde{\mathbf{v}}^T \dot{\tilde{\mathbf{v}}}$ en (13) :

$$\dot{V}(\tilde{\mathbf{v}}) = -\tilde{\mathbf{v}}^T \mathbf{L}_v \tanh(\tilde{\mathbf{v}})$$

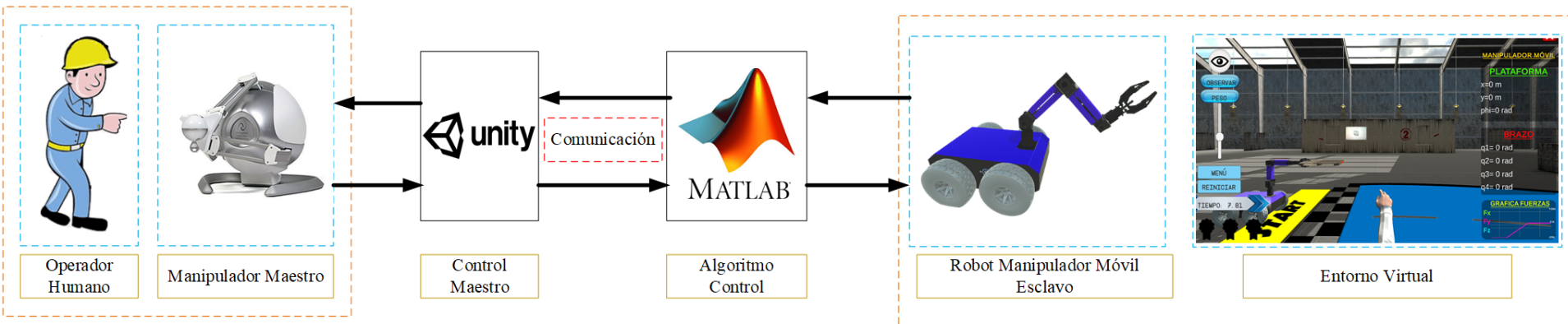
$\dot{V}(\tilde{\mathbf{v}})$ garantiza estabilidad si $\mathbf{L}_v > 0$,para $\tilde{\mathbf{v}}(t) \rightarrow 0$ cuando $t \rightarrow \infty$.



Estructura del Sistema



Estructura del Sistema





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA YELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

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

**"CONTROL COLABORATIVO HOMBRE-ROBOT PARA MANIPULACIÓN Y
TRASLADO DE OBJETOS"**

Autores:

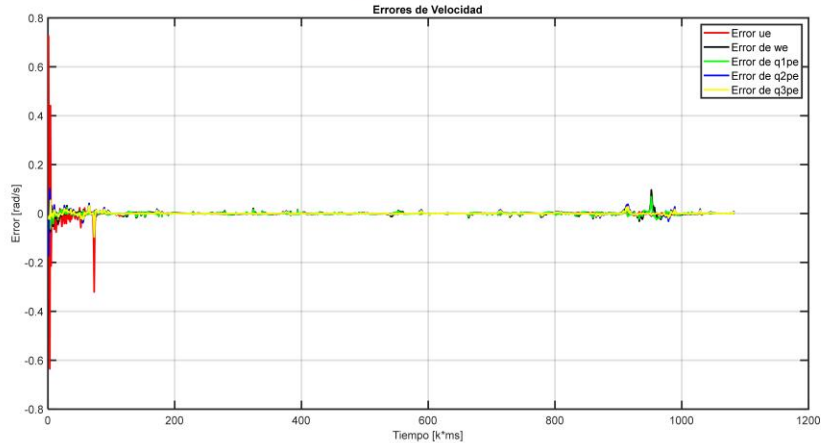
De La Cruz Shingon, Nelson David
Moreno Garzón, Geovanny Patricio

Ing. Andaluz Ortiz, Víctor Hugo, PhD *Tutor*

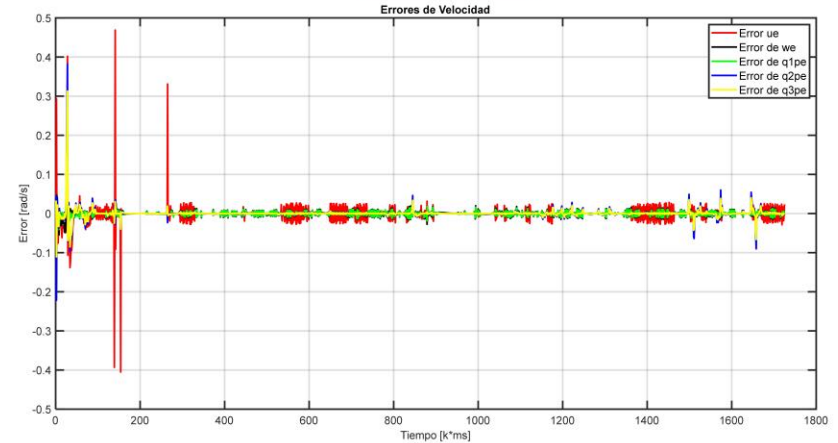


Respuestas y Errores de Velocidad del Robot

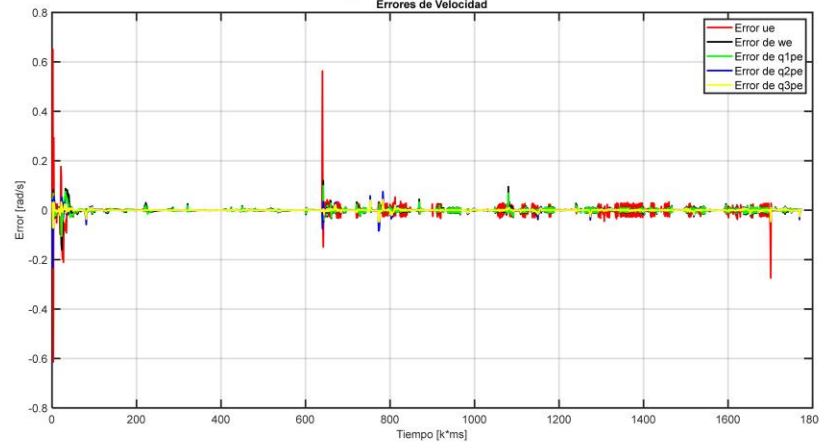
Escenario I

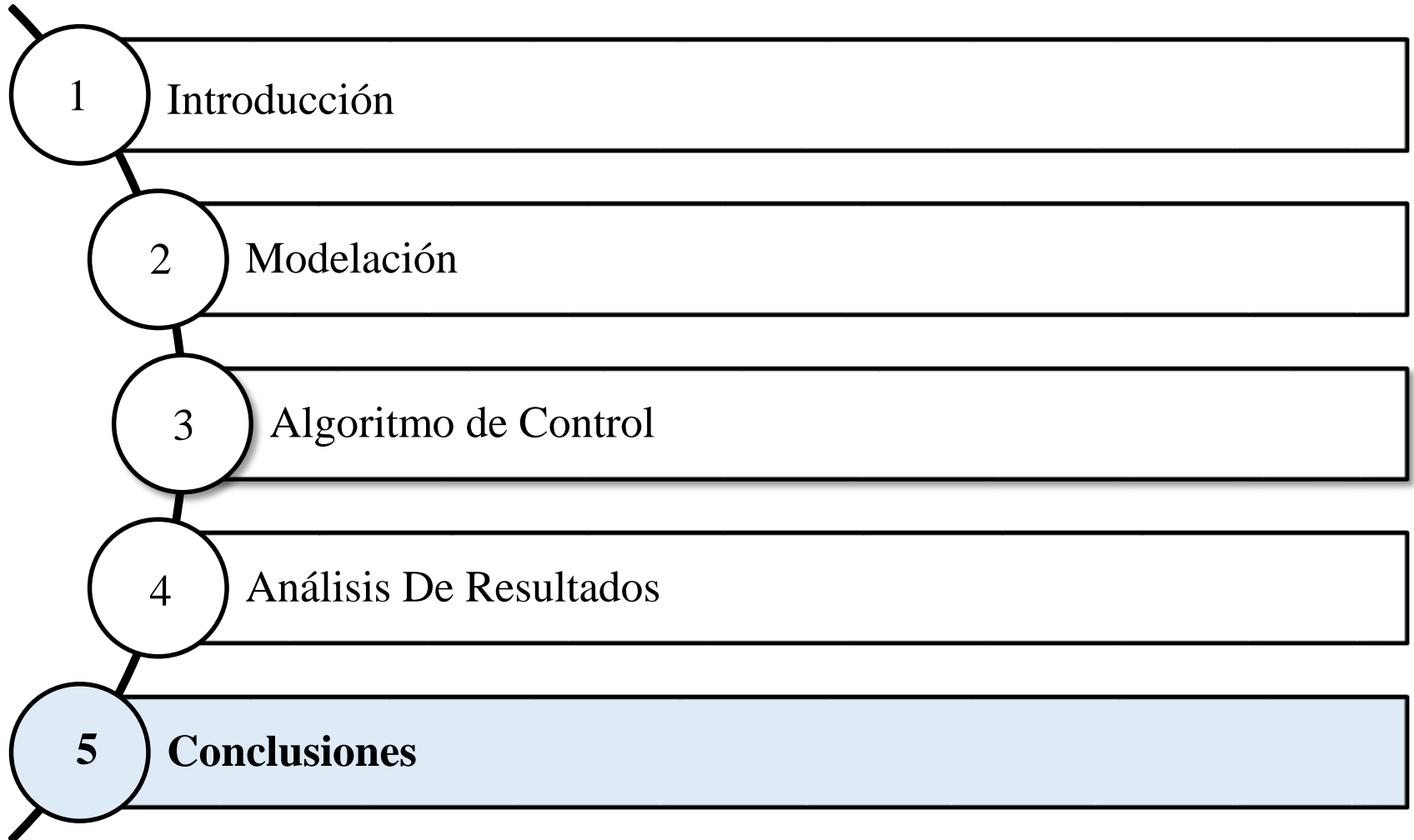


Escenario II



Escenario III





- El uso de robots en la actualidad permite ejecutar tareas en conjunto con el ser humano, lo cual conlleva a proponer algoritmos de control avanzados que permitan ejecutar tareas en común entre humano-robot.
- El modelo cinemático determina la acción del robot considerando velocidades y posiciones del sistema; el modelo dinámico describe los efectos de la gravedad, fuerzas y torques que actúan en el robot en respuesta a su velocidad.

- El controlador implementado al sistema robótico se analizó su estabilidad y robustez mediante la teoría de Lyapunov, la cual garantiza estabilidad cuando el tiempo tiende a infinito llevando los errores de control a cero, corrigiendo las velocidades producidas debido a la dinámica del robot.
- Las pruebas desarrolladas en un entorno virtual, mediante un dispositivo háptico con retroalimentación de fuerzas se validó de manera eficiente el desempeño del algoritmo de control para la ejecución de tareas colaborativas.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA YELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

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

**"CONTROL COLABORATIVO HOMBRE-ROBOT PARA MANIPULACIÓN Y
TRASLADO DE OBJETOS"**

Autores:

De La Cruz Shingon, Nelson David
Moreno Garzón, Geovanny Patricio

Ing. Andaluz Ortiz, Víctor Hugo, PhD *Tutor*

