



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

Rediseño e implementación de manipuladores para  
un robot de servicio de propósito general

TESIS

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Mecatrónico**

P R E S E N T A N

Rafael Cuéllar Ramírez  
Marco Elian Soriano Pimentel

DIRECTOR(A) DE TESIS

Dr. Jesús Savage Carmona



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2026

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. Robótica de servicio doméstico . . . . .	3
1.2. Planteamiento del problema . . . . .	4
1.3. Justificación . . . . .	4
1.4. Alcance . . . . .	5
1.5. Objetivos . . . . .	5
1.5.1. Objetivos específicos . . . . .	5
1.6. Organización del trabajo . . . . .	6
<b>2. Antecedentes</b>	<b>7</b>
2.1. Mecanismos y manipuladores robóticos . . . . .	7
2.2. Control de posición y trayectoria . . . . .	7
2.3. Medición de par y fuerza en robótica . . . . .	7
2.4. <i>Robot Operating System</i> . . . . .	7
2.5. Robot <i>Justina</i> . . . . .	7

# Capítulo 1

## Introducción

En 1920, el término **robot**, derivado de la palabra eslava *robota* que significa trabajo subordinado, fue introducido por el dramaturgo checo Karel Čapek en su obra *Rossum's Universal Robot* [1]. Más adelante, en 1961, se inició la robótica como disciplina con la invención de los brazos autónomos para asistir a la manufactura en líneas de producción con el robot *Unimate* [2].

Debido al reciente estudio y desarrollo en robótica, aún existen diversas definiciones de **robot**, que varían de acuerdo con el campo de aplicación y el área de investigación. Debido al enfoque industrial inicial, las definiciones tanto de la *International Standard Organization* en el estándar ISO 8373 como de la *Robot Institute of America* reducen el término de robot a un manipulador [3]. Por otro lado, Bajd [4] amplía la definición de la robótica contemporánea como la rama de la ciencia que estudia a aquellos sistemas cuya principal característica es el movimiento.

Durante las últimas décadas se han diseñado y construido una gran cantidad de robots en dos ejes principales: su grado de autonomía y su capacidad de actuar en entornos complejos. Ambos relacionados directamente con su inteligencia [2].

De esta forma, la definición que resulta más útil para el desarrollo de este trabajo es la de Arkin [5], quien propone que un robot inteligente es una máquina capaz de extraer información de su ambiente y usar el conocimiento acerca de su mundo para moverse de manera segura y significativa, con un propósito específico.

### 1.1. Robótica de servicio doméstico

Durante décadas, la robótica hizo a un lado el ideal del sirviente antropomórfico debido a la limitante que suponía generar una representación del entorno, sólo posible con el uso de complejos sensores y gran capacidad de cómputo para **percibir**, **abstraer** y **modelar**. La solución adoptada para superar esa limitante fue reducir el número de variables y minimizar en lo posible eventos inesperados, descartando ambientes dinámicos como hogares [3].

El objetivo de los robots de servicio es reducir o eliminar el trabajo físico de las

personas en lugares como casas. Los dispositivos robóticos ayudarán a las personas con discapacidad a moverse o servirán de compañía a ancianos. Los robots pueden ayudar a hacer los espacios más seguros recogiendo objetos para evitar tropezones hasta verificar que hemos cerrado la llave del gas [3].

El progreso en la robótica ha sido creciente y se prevee una demanda masiva de robots de servicio. Su definición complementa la de Arkin como una máquina móvil reprogramable autónoma o semiautónoma diseñada para operar en entornos dinámicos de manera segura, confiable y robusta, y ser capaz de realizar tareas específicas [3].

En las últimas décadas, la robótica de servicio se ha consolidado como un área de investigación y desarrollo en constante expansión. La competencia internacional RoboCup@HOME se fundó con el objetivo de evaluar anualmente las capacidades de la tecnología emergente en robótica de servicio, incluyendo, entre otras, la interacción y cooperación humano-máquina, la navegación en ambientes dinámicos y la manipulación de objetos [6].

## 1.2. Planteamiento del problema

Los manipuladores de *Justina* exhiben deficiencias críticas que impidieron su participación en la RoboCup@HOME 2025. Los actuadores carecen de la capacidad de carga necesaria para las tareas de manipulación doméstica, los componentes estructurales presentan deformaciones permanentes por sobrecarga y el deterioro acumulado del sistema compromete su desempeño. Asimismo, aunque posee dos brazos, la manipulación colaborativa constituye un desafío técnico pendiente.

En respuesta a esta problemática, el presente trabajo plantea el rediseño e implementación integral de los subsistemas mecánico, electrónico y de software que conforman los brazos de *Justina*.

## 1.3. Justificación

El rediseño de los manipuladores de *Justina* responde a múltiples necesidades del ámbito académico y del desarrollo tecnológico en robótica de servicio.

*Justina* es un robot de servicio diseñado para operar en entornos domésticos, concebido como parte de una iniciativa para acercar la robótica a las personas y mejorar su calidad de vida. Sin embargo, la meta principal del proyecto es fomentar la formación científica e ingenieril de los estudiantes, brindándoles la oportunidad de aplicar sus conocimientos en escenarios prácticos utilizando tecnología de vanguardia [8]. Los manipuladores son esenciales para estos fines, ya que constituyen la interfaz de interacción física con objetos y personas.

La integración de manipulación colaborativa amplía significativamente el rango de tareas que *Justina* puede realizar, permitiendo manejar objetos de mayor tamaño, peso y complejidad, y coordinar actividades que requieren ambos brazos, como la apertura de contenedores o el ensamblaje de objetos.

La participación en la RoboCup@HOME promueve el avance tecnológico del laboratorio al establecer estándares internacionales de desempeño y facilitar la comparación con otras instituciones académicas. No poder participar representa una pérdida de oportunidades de evaluación, retroalimentación y visibilidad.

Finalmente, este trabajo fortalece las competencias del Laboratorio de Bio-Robótica de la UNAM. Introduce la manipulación colaborativa como línea de investigación y desarrollo, genera conocimiento técnico documentado sobre el diseño mecatrónico de manipuladores y proporciona un marco para futuros avances.

## 1.4. Alcance

El presente trabajo abarca el rediseño integral de los brazos manipuladores de *Justina* en tres disciplinas:

- **Mecánica:** diseño de manipuladores y efector finales, análisis por elemento finito y manufactura.
- **Electrónica:** arquitectura del sistema de control, integración de sensores y administración de energía.
- **Software:** desarrollo de nodos de control de los manipuladores y efectores finales e infraestructura para la manipulación colaborativa.

Se contempla además la validación experimental mediante pruebas de desempeño en tareas representativas de robótica de servicio.

El alcance del proyecto no incluye modificaciones a otros subsistemas de *Justina*. En cuanto a la manipulación colaborativa, se implementará la infraestructura y funcionalidad básica de coordinación, pero no se desarrollarán algoritmos avanzados de planificación, los cuales constituyen trabajo futuro.

## 1.5. Objetivos

Diseñar e implementar los subsistemas mecánico y electrónico de los brazos de un robot de servicio de propósito general con el fin de manipular objetos de uso común en un entorno doméstico, así como las interfaces para su integración en el *stack* de software.

### 1.5.1. Objetivos específicos

- Diseñar y manufacturar dos manipuladores robóticos.
- Diseñar y manufacturar dos efectores finales (EOAT) para manipular objetos comunes de uso doméstico.

- Implementar el nodo de control en ROS para resolver el modelo de la cinemática directa e inversa de la posición de los manipuladores.
- Implementar un nodo de control en ROS para tomar los objetos.
- Actualizar el paquete de ROS con la descripción del robot.

## 1.6. Organización del trabajo

# Capítulo 2

## Antecedentes

2.1. Mecanismos y manipuladores robóticos

2.2. Control de posición y trayectoria

2.3. Medición de par y fuerza en robótica

2.4. *Robot Operating System*

2.5. Robot *Justina*

El Laboratorio de Bio-Robótica de la UNAM, fundado en 1996, emprendió en 2005 la construcción de robots móviles destinados a ayudar a las personas en sus actividades cotidianas, en entornos domésticos, académicos, laborales y clínicos. El robot de servicio de propósito general *Justina* es resultado de la evolución de otros robots creados en el laboratorio [7].

En la actualidad, *Justina* cuenta con una cámara RGBD, un micrófono direccional, un torso telescópico, un sensor LiDAR, dos brazos manipuladores con siete grados de libertad cada uno y una base móvil FESTO *Robotino 3*.

# Bibliografía

- [1] B. Siciliano and O. Khatib, “Robotics and the handbook,” in *Handbook of Robotics* (B. Siciliano and O. Khatib, eds.), ch. 1, pp. 1–6, Springer, 2da ed., 2016.
- [2] L. E. Sucar Succar, “Introducción,” in *Robótica de Servicio* (E. Sucar and Y. Hernández, eds.), ch. 1, pp. 1–5, Academia Mexicana de Computación, A.C., 2nd ed., 2019.
- [3] J. Savage Carmona, “Robots de servicio,” in *Robótica de Servicio* (E. Sucar and Y. Hernández, eds.), ch. 2, pp. 7–23, Academia Mexicana de Computación, A.C., 2nd ed., 2019.
- [4] T. Bajd and M. Mihelj, *Introduction to Robotics*. Springer, 1st ed., 2013.
- [5] R. C. Arkin, *Behavior-Based Robotics*. MIT Press, 1ra ed., 1998.
- [6] RoboCup Federation, “RoboCup@Home League.” <https://athome.robocup.org/>, 2025. Official website of the RoboCup@Home league for autonomous service robots.
- [7] C. P. Vázquez, “Justina, robot de servicio creado en la unam.” <https://www.uv.mx/prensa/ciencia/justina-robot-de-servicio-creado-en-la-unam/>, mayo 2019. Accessed 2025-08-28.
- [8] BioRobotics Laboratory, UNAM, “Pumas OPL (Justina Robot).” [Online]. Available: <https://biorobotics.fi-p.unam.mx/robot-justina/>, 2025. Accessed: Oct. 1, 2025.