



**FACULTAD  
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

**CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN  
SISTEMAS EMBEBIDOS**

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

**Firmware para robot de navegación  
autónoma**

**Autor:**

**Ing. Alexis Martin Pojomovsky**

Director:

Dr. Pablo De Cristóforis (FCEyN-UBA)

Jurados:

Esp. Ing. Diego Fernández (FI-UBA)

Esp. Ing. Edgardo Comas (CITEDEF/UTN-FRBA)

Esp. Ing. Gerardo Puga (UNLP)

*Este trabajo fue realizado en las Ciudad Autónoma de Buenos Aires,  
entre enero de 2018 y agosto de 2020.*



## *Resumen*

La presente memoria describe el desarrollo del robot móvil “Lubobot”, destinado a utilizarse en entornos educativos de grado universitario a través de las distintas etapas de estudio de la materia “Robótica Móvil”. Como parte del trabajo se realizó la implementación básica requerida para utilizar este robot en el Sistema Operativo Robótico (ROS) tales como odometría, localización y navegación del mismo en entornos de dos dimensiones. Se aplicaron diversos conocimientos adquiridos durante la carrera, entre los que destacan los sistemas operativos, control de versiones y protocolos de comunicación, así como patrones de diseño y modularización de software.



## *Agradecimientos*

Agradezco el apoyo proveído por mi esposa Laura así como el de mis padres Evelyn y Ernesto, presentes durante todo el proceso de mi formación, siempre alentándome a ir un paso mas allá.

Al equipo docente y colaboradores de la Carrera de Especialización de Sistemas Embebidos, por la dedicación y entrega manifestados en cada paso de la cursada.



# Índice general

<b>Resumen</b>	<b>III</b>
<b>1. Introducción General</b>	<b>1</b>
1.1. Robótica móvil	1
1.1.1. Tipos de robots móviles	1
1.2. Estado del arte	2
1.2.1. TurtleBot	2
1.2.2. Clearpath Jackal	2
1.2.3. Fetch Freight 100 Base	3
1.2.4. FESTO Robotino	3
1.2.5. Pioneer 3-DX	4
1.3. Motivación	5
1.4. Objetivos	5
1.5. Alcance	5
<b>2. Introducción Específica</b>	<b>7</b>
2.1. Robot Operating System	7
2.1.1. Organización	7
2.1.2. Herramienta RViz	8
2.1.3. Formato universal de descripción de robots URDF	8
2.1.4. Librería roserial	8
2.1.5. Paquete de navegación ros_navigation_stack	8
2.2. iRobot Roomba 500	8
2.2.1. Consideraciones	8
2.3. Placa de desarrollo STM32-NUCLEO	8
2.3.1. Descripción	8
2.3.2. Consideraciones	8
2.4. Sensor Kinect 360	8
2.4.1. Descripción	8
2.4.2. Comparación con otras cámaras de profundidad	8
2.5. Unidad de medición inercial MPU6050	8
2.5.1. Descripción	8
2.5.2. Comparación con otras IMU	8
<b>Bibliografía</b>	<b>9</b>





# Índice de figuras

1.1. Vista frontal del turtlebot 2 con un sensor Kinect acoplado. <sup>1</sup> . . . .	2
1.2. Vista frontal de la base robótica Jackal con una batería de sensores instalados por el usuario. <sup>2</sup> . . . . .	3
1.3. Vista frontal de la base robótica Fetch Freight donde se puede apreciar su sensor integrado del tipo LIDaR. <sup>3</sup> . . . . .	3
1.4. Vista frontal del Robot FESTO Robotino con una webcam acoplada al mismo. <sup>4</sup> . . . . .	4
1.5. Vista frontal del Robot Pioneer donde se aprecian sus cinco sensores sonar. <sup>5</sup> . . . . .	4
2.1. Organización de archivos en ROS . . . . .	7



# Índice de Tablas



# Capítulo 1

## Introducción General

En este capítulo se introduce al campo de estudio de la robótica móvil. Se aborda una comparativa entre diferentes plataformas didácticas comerciales y se exponen el alcance y las motivaciones que llevaron al desarrollo del presente proyecto.

### 1.1. Robótica móvil

La robótica móvil se encarga del estudio de los robots móviles, haciendo especial hincapié en el desarrollo de capacidades permitan a lo mismos, decidir de manera autónoma cómo, cuándo y a dónde moverse.

En contraste con los robots manipuladores cuya base se encuentra fija con respecto a un sistema de referencia, los robots móviles son aquellos capaces de moverse a si mismos de un lugar a otro. Esta particularidad obliga a que los robots móviles deban ser capaces de interactuar con entornos no determinísticos, es decir, propensos a situaciones impredecibles como por ejemplo, una puerta entreabierta, un objeto o persona obstaculizando el camino, etc.

#### 1.1.1. Tipos de robots móviles

Dependiendo de cómo realizan su locomoción, es posible caracterizar a los robots móviles en los siguientes tipos:

- Robots con patas
- Robots aéreos
- Robots con ruedas

Cada uno de estos tipos plantea su propio set de ventajas y desventajas, así como dificultades para su implementación. En el presente trabajo se hará énfasis solo en el último tipo de la lista, es decir en robots con ruedas.

## 1.2. Estado del arte

Existe una amplia gama de robots móviles con ruedas ofrecidos específicamente para el sector académico. A continuación se ofrece un breve resumen de opciones que se encuentran actualmente en el mercado.

### 1.2.1. TurtleBot

TurtleBot constituye al día de hoy una familia de robots móviles para uso personal de bajo costo. Su uso se extiende tanto a la academia como a roboticistas aficionados en todo el mundo.

Aunque su primera iteración vio la luz en 2010 con un set de características bastante modestas, el lanzamiento de nuevas versiones le aseguró su lugar como dispositivo de referencia para la plataforma ROS.

Muchas de las consideraciones de diseño del robot propuesto en este trabajo fueron del turtlebot 2, mostrado en la figura 1.1.



FIGURA 1.1. Vista frontal del turtlebot 2 con un sensor Kinect acoplado.<sup>1</sup>

### 1.2.2. Clearpath Jackal

El Jackal es un robot móvil 4x4 apto para uso en exteriores. Su robustez lo hacen la elección preferida de muchas universidades a la hora de implementar soluciones "de campo", principalmente debido a su resistencia total al polvo y al agua de lluvia.

Posee una capacidad de carga de hasta 20 kg, lo que lo hace apto para cargar una importante cantidad de sensores, actuadores y manipuladores, tal como el ejemplo mostrado en la figura 1.2.

---

<sup>1</sup>[https://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/177123-10073681.jpg](https://img.directindustry.es/images_di/photo-g/177123-10073681.jpg)

<sup>2</sup>[https://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/177123-10073681.jpg](https://img.directindustry.es/images_di/photo-g/177123-10073681.jpg)



FIGURA 1.2. Vista frontal de la base robótica Jackal con una batería de sensores instalados por el usuario.<sup>2</sup>

### 1.2.3. Fetch Freight 100 Base

Fetch Robotics ofrece con el Freight 100 Base una base robótica para uso en interiores [1]. La misma fue diseñada específicamente para moverse en edificios adaptados a personas en sillas de ruedas que cumplen con la normativa ADA o *Americans with Disabilities Act*.

El Freight 100 incluye un sensor del tipo LIDaR 2D, mostrado en la figura 1.3, lo que lo hace adecuado para tareas de navegación. Además, al estar basado en un robot industrial de carga, la base Freight 100 está diseñada para soportar la impresionante cantidad de hasta 100 kg de peso, por lo que puede cargar con un manipulador industrial en su lomo.



FIGURA 1.3. Vista frontal de la base robótica Fetch Freight donde se puede apreciar su sensor integrado del tipo LIDaR.<sup>3</sup>

### 1.2.4. FESTO Robotino

Robotino es un robot móvil comercializado por la compañía alemana FESTO Didactic. El mismo está diseñado para entornos educativos, de entrenamiento y de investigación. Esta plataforma dispone de un sistema de tracción omni que como

<sup>3</sup><https://www.dymesich.com/wp-content/uploads/2019/06/freight-100-low.jpg>

su nombre sugiere, le otorga libertad de movimiento omnidireccional en dos dimensiones.

Asimismo, Robotino viene equipado de fábrica con una computadora tipo PC de grado industrial, lo que facilita su integración con elementos de hardware y software externos tales como cámaras, sensores y actuadores que utilicen el protocolo RS-232, RS-485 o USB. En la figura 1.4 se puede apreciar una webcam acoplada al mismo.



FIGURA 1.4. Vista frontal del Robot FESTO Robotino con una webcam acoplada al mismo.<sup>4</sup>

### 1.2.5. Pioneer 3-DX

El Pioneer 3-DX es un pequeño robot de tracción diferencial ideal para utilizarse en entornos académicos ya sea de laboratorio o en salón de clases. El mismo incorpora de fábrica cinco sensores del tipo Sonar al frente del robot como los que se pueden apreciar en la figura 1.5, encoders para las ruedas y un microcontrolador con firmware específico.

Su amplia superficie de carga le permite mover cargas de hasta 8 Kg, por lo que es un buen candidato para añadir sensores y actuadores extra, como cámaras o manipuladores.



FIGURA 1.5. Vista frontal del Robot Pioneer donde se aprecian sus cinco sensores sonar.<sup>5</sup>

<sup>4</sup><https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/robotinohome.png>

<sup>5</sup>[https://static.generation-robots.com/6645-large\\_default/robot-mobile-pioneer-3-at.jpg](https://static.generation-robots.com/6645-large_default/robot-mobile-pioneer-3-at.jpg)



### 1.3. Motivación

Los robots móviles expuestos en la sección anterior representan propuestas comerciales listas para usar que permiten a profesores, investigadores y alumnos concentrarse en el estudio o desarrollo de aplicaciones de la robótica móvil, eliminando la necesidad de diseñar un robot desde cero para cada caso de uso específico. Gracias a esto, las instituciones o individuos que adquieren dichos equipos pueden concentrarse de inmediato en las tareas de interés para el estudio de la materia, ahorrando tiempo y esfuerzo.

Resulta tentador entonces preguntarse ¿por qué no todas las instituciones adquieren un robot comercial para el laboratorio de robótica?. La respuesta está en los altos costos asociados a la adquisición de estos equipos. Los robots destinados a investigación son costosos y por ende, son pocas las instituciones educativas en condiciones de invertir en ellos.

### 1.4. Objetivos

Mediante este trabajo se propone una plataforma destinada a la enseñanza de robótica móvil en instituciones educativas de nivel universitario de código abierto y con componentes disponibles en el mercado local argentino.

### 1.5. Alcance

Se procedió a separar el alcance en base al tipo de trabajo realizado, así como lo que no se incluye con el mismo.

El alcance del presente trabajo involucró el desarrollo del firmware para el microcontrolador encargado de:

- Intermediar la comunicación entre la base robótica "Roomba 500" y el framework de robótica ROS (*Robot Operating System*).
- Realizar la interfaz entre la unidad de medición inercial MPU6050 con ROS.
- Port de la librería rosserial para ser utilizada con FreeRTOS y STM32Cube HAL en el lenguaje de programación C++.

Se incluye el desarrollo de software requerido para:

- El paquete para ROS que brinda soporte básico para el robot propuesto "Lubobot", con sus sensores y actuadores.
- Calcular la odometría del robot utilizando las lecturas de los encoders.
- La descripción del robot en formato URDF (*Unified Robot Description Format*), requerido para representar correctamente el robot en la herramienta RViz.
- Una imagen de Docker con todas las dependencias necesarias para utilizar el robot de manera encapsulada y sin la necesidad de modificar la configuración del sistema operativo del usuario.

Se incluye una sección extra en el repositorio oficial en GitHub con una Wiki con la documentación básica necesaria para que un nuevo usuario sea capaz de:

- Armar un nuevo robot idéntico al propuesto.
- Configurar el robot para utilizar el stack de navegación de ROS.

No se incluye con el presente trabajo:

- Ningún algoritmo de navegación local ni global.
- Código requerido para la conexión al microcontrolador mediante Ethernet.

## Capítulo 2

# Introducción Específica

En este capítulo se desglosan las diferentes herramientas tanto de hardware como software, elegidas para el desarrollo del robot propuesto.

### 2.1. Robot Operating System

Típicamente denominado ROS, es un framework de robótica de código abierto, el cual fue diseñado originalmente para robots de uso académico. Sin embargo, al día de hoy su uso se ha extendido tanto a la industria como al público aficionado. ROS ofrece un variado set de herramientas que facilitan las tareas del roboticista en tareas tales como paso de mensajes, computación distribuida e implementación de algoritmos para aplicaciones robóticas.

#### 2.1.1. Organización

Sería adecuado considerar a ROS como algo más que un framework de desarrollo y referirnos a el como un meta-sistema-operativo, ya que ofrece no solo herramientas y librerías sino también funciones similares a las de un sistema operativo tales como abstracción de hardware, manejo de paquetes y un completo *toolchain* de compilación. Tal como un sistema operativo real", los archivos de ROS estan organizados de una manera particular, como se muestra en la figura 2.1.

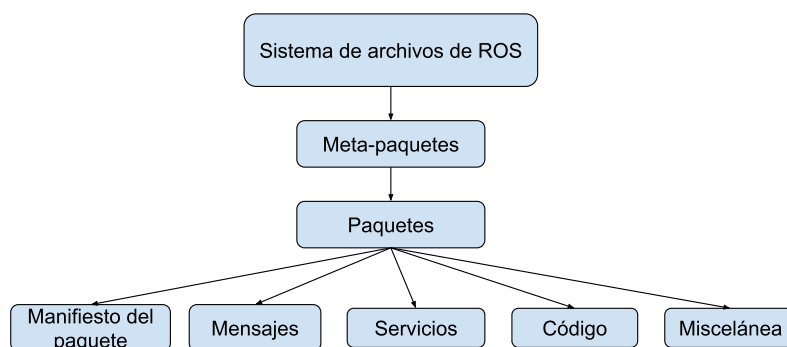


FIGURA 2.1. Organización de archivos en ROS

- 2.1.2. Herramienta RViz**
- 2.1.3. Formato universal de descripción de robots URDF**
- 2.1.4. Librería roserial**
- 2.1.5. Paquete de navegación ros\_navigation\_stack**
- 2.2. iRobot Roomba 500**
  - 2.2.1. Consideraciones**
- 2.3. Placa de desarrollo STM32-NUCLEO**
  - 2.3.1. Descripción**
  - 2.3.2. Consideraciones**
- 2.4. Sensor Kinect 360**
  - 2.4.1. Descripción**
  - 2.4.2. Comparación con otras cámaras de profundidad**
- 2.5. Unidad de medición inercial MPU6050**
  - 2.5.1. Descripción**
  - 2.5.2. Comparación con otras IMU**

# Bibliografía

- [1] Melonee Wise y col. *Fetch & Freight : Standard Platforms for Service Robot Applications*. 2016.