

Diseño e implementación de un robot móvil autónomo para reducir contagios de covid-19 en el servicio urbano de delivery de comida con carga máxima de hasta 10 kg

Quiñones Vega, Jorge Enrique

Universidad Ricardo Palma

Lima, Perú

jorge.quinones@urp.edu.pe

Abstract– The present thesis entitled "design and implementation of an autonomous mobile robot to reduce covid-19 contagions in urban food delivery service with maximum load up to 10 kg", mainly composed by the design of the power supply system, design of the locomotion system, design of the mechanical system of the compartment, design of the avoidance system and design of the redirection system.

A solar panel array was successfully implemented on the top of the mobile robot by harnessing solar energy, which stores the energy in a set of battery cells that pass to a regulator that will power the Raspberry Pi. A locomotion system is also presented, where the actuators and a controller ideal for a robust and stable locomotion are located. The type of wheel assigned for this robot are caterpillars after passing various comparison tests such as response with potholes, up and down stairs, among others.

In addition, it presents an artificial vision system that is responsible for controlling the camera implemented in the mobile robot to analyze the captured images and redirect the robot to the best route by its programmed algorithm. Finally, it presents a radio frequency duplex communication system to transmit all kinds of information to the user in charge of the supervision of the robot.

As a result of the present thesis, the ideal calibration of the proximity sensor to react to the obstacles present is 20 cm radius. In addition, the response time of the algorithm to redirect the mobile robot was 3 minutes to redirect the route plus 2 minutes to activate the motor actuators. On the other hand, in the results of the locomotion system, the measured speed of the mobile robot is 6 km/h (pedestrian speed). This is an approximate average value for a safe transit.

I. INTRODUCCIÓN

La pandemia del COVID-19 ha cobrado la vida de un gran número de personas y animales por su alto nivel de contagio. A nivel mundial, según una recopilación de datos por un portal en línea alemán llamado Statista (2022), reporta que hasta el mes de junio del 2022 alrededor de 6.3 millones de personas han fallecido por COVID-19. Destacando que el continente americano está encabezado esta recolección de datos con 2.8 millones de personas fallecidas, seguido por Europa con 2 millones; y luego, Asia con 1.3 millones.

Según los reportes mensuales del MINSA (2022), los departamentos más afectados por el Covid-19 en el mes de agosto ha sido Lima metropolitana, encabezando la lista con 86 493 fallecidos; seguido de Piura con 13 203; y luego, La Libertad con 10 997.

Entonces, tras el aumento de la tasa de mortalidad por esta enfermedad, el gobierno aprobó el cierre momentáneo de los restaurantes para reducir contagios en los lugares cerrados. Afectando a más de los 200 000 restaurantes que operaban y daban empleo a más de 1 millón de personas a nivel nacional; en consecuencia, el 50% de los negocios pequeños cerraron. (Cámara Nacional de Turismo del Perú – Canatur, 2020).

Con esto, el delivery ha incrementado el número de instalaciones de aplicaciones y número de usuarios, beneficiando a los comercios, los trabajadores y a los mismos usuarios. En consecuencia, algunos servicios descuidaron algunos protocolos de bioseguridad provocando que los repartidores se vuelvan medios de transmisión del virus. Esto se reporta en una intervención realizada en agosto del 2020, la Municipalidad de Miraflores informó que un 40% de las 47 personas que realizan entrega de productos y alimentos a domicilio en el distrito, dieron positivo para covid-19.

II. MARCO CONCEPTUAL

A. Robótica móvil

La robótica móvil ha evolucionado de forma exponencial a lo largo de los años, siendo, actualmente, considerado como un área de la tecnología avanzada capaz de resolver problemas de alta complejidad (Bermúdez, 2002). Este se define como un “dispositivo de transporte automático, es decir, una plataforma mecánica dotada de un sistema de locomoción capaz de navegar a través de un determinado ambiente de trabajo, dotado de cierto nivel de autonomía para su desplazamiento portando cargas” (Bambino, 2008).

Su finalidad está basada en posibilitar el trabajo en ambientes no estructurados y en condiciones cambiantes, lugares de difícil acceso para el hombre o donde la suciedad,

las sustancias presentes o las condiciones climáticas hacen imposible su presencia (Siegwart, Nourbakhsh y Scaramuzza, 2011).

Además, se caracteriza por estar implementado con sensores que permiten monitorear a cada momento su posición relativa de su punto de origen y su punto de destino, su control normalmente es de lazo cerrado y su desplazamiento es proporcionado mediante dispositivos de locomoción, tales como ruedas, patas, orugas, etc. (Barrientos y García, 2007).

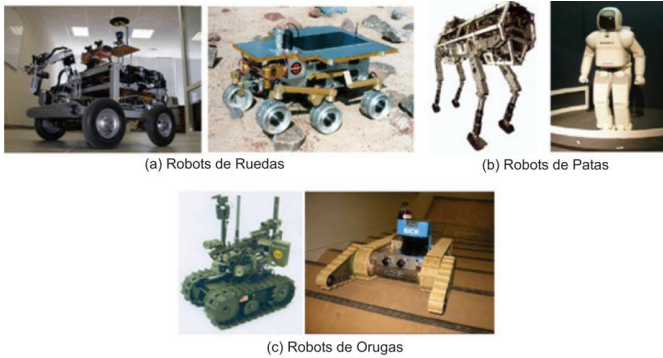


Fig.1 Tipos de locomoción en un robot móvil

B. Morfología de la robótica móvil

La morfología de un robot móvil se conforma de cuatro funciones específicas: El sistema de alimentación, la locomoción o actuadores, la percepción o sistemas sensoricos y los sistemas de control que permitirá que el robot tome decisiones (Garces, 2006). Pero para esta ocasión nos centraremos en su sistema de locomoción.

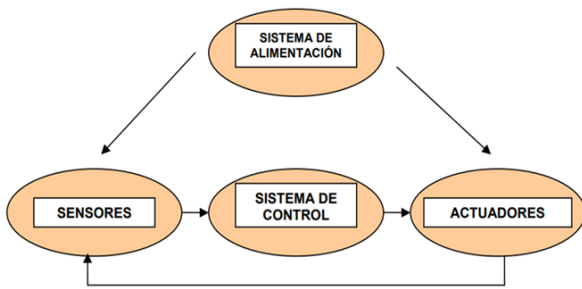


Fig.2 Esquema de un robot móvil

C. Mecanismos de locomoción

Un robot móvil necesita mecanismos de locomoción que le permitan moverse sin límites por su entorno. Pero hay una gran variedad de formas posibles de moverse, por lo que la selección del enfoque de locomoción de un robot es un aspecto importante del diseño de robots móviles (Siegwart y Nourbakhsh, 2004).

Según Siegwart y Nourbakhsh (2004) “en el laboratorio hay robots de investigación que pueden caminar, saltar, correr, deslizarse, patinar, nadar, volar y, por supuesto, rodar. La mayoría de estos mecanismos de locomoción se han inspirado en sus contrapartes biológicas”.

Type of motion	Resistance to motion	Basic kinematics of motion
Flow in a Channel	Hydrodynamic forces	Eddies
Crawl	Friction forces	Longitudinal vibration
Sliding	Friction forces	Transverse vibration
Running	Loss of kinetic energy	Oscillatory movement of a multi-link pendulum
Jumping	Loss of kinetic energy	Oscillatory movement of a multi-link pendulum
Walking	Gravitational forces	Rolling of a polygon (see figure 2.2)

Fig.3 Mecanismos de locomoción utilizados en los sistemas biológicos

D. Sistema de control

Una de las partes fundamental del diseño de un robot móvil es su sistema de control. “La misión del sistema de control es garantizar un seguimiento de trayectoria efectiva que sea estable bajo condiciones de cambio en los actuadores” (Aguilera, Bautista e Iruegas, 2007).

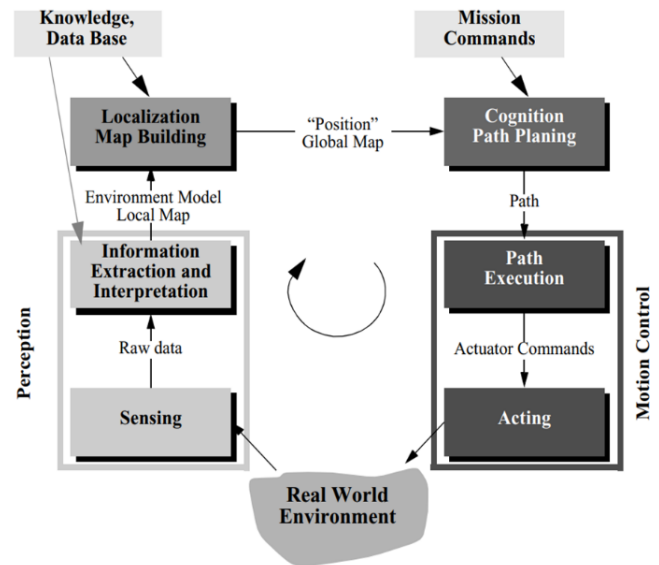


Fig.4 Esquema de control abstracto para sistemas de robots móviles

1) Teleoperado

Los robots teleoperados realizan las tareas de percepción del entorno, planificación y manipulación compleja por medios de usuarios ubicados en una estación remota; es decir, el operador actúa en tiempo real cerrando un bucle de control de alto nivel (Ollero, 2001).



Fig.5 Usuario en una estación remota teleoperando un robot móvil

2) Autónomo

Según Intel (2020) un robot móvil autónomo se define como “un tipo de robot que puede comprender y navegar su entorno de forma independiente”. Además, el calificativo de “autónomo” hace referencia a la capacidad de percibir, modelar, planificar y actuar para alcanzar unos objetivos sin la intervención, o con una intervención muy pequeña, de supervisores humanos (Gonzales y Ollero, 2015).



Fig.6 Robot autónomo de entrega móvil - Starship

III. DESARROLLO DE LA SOLUCION

A. Planteamiento del proyecto

En la Figura 7 se aprecia el diagrama mecatrónico de control con los distintos dispositivos y actuadores involucrados en el funcionamiento del robot móvil autónomo. En el centro del diagrama se encuentra el Raspberry Pi, pieza fundamental que se encarga de controlar los diversos sistemas con sensores y controladores integrados para una mejor respuesta con su entorno.

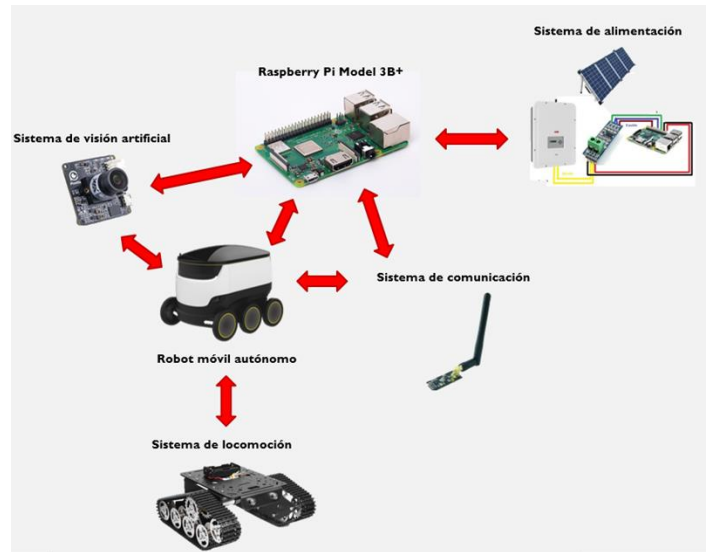


Fig.7 Diagrama mecatrónico de un robot móvil autónomo

En primera instancia se tiene el sistema de alimentación, un pilar fundamental para este robot móvil. Este sistema es autosustentable, ya que tiene incorporado en la parte superior una serie de paneles solares con una configuración mixta aprovechando la energía solar. Para mantener un voltaje estable, se colocó un regulador de voltaje seguido directamente de una batería, siendo este último nuestro almacenamiento de energía para el Raspberry Pi.

También se presenta un sistema de locomoción, donde se encuentra los actuadores y un controlador ideal para realizar una locomoción robusta y estable. El tipo de rueda asignado para este robot son las orugas tras pasar diversas pruebas de comparación como respuesta con los baches, subida y bajada de escaleras, entre otros.

Además, se presenta un sistema de visión artificial que se encarga de controlar la cámara implementada en el robot móvil para analizar las imágenes captadas y redireccionar al robot hacia la mejor ruta por su algoritmo programado. Por último, presenta un sistema de comunicación tipo dúplex por radiofrecuencia para transmitir todo tipo de información al usuario encargado de la supervisión del robot.

B. Ejecución del proyecto

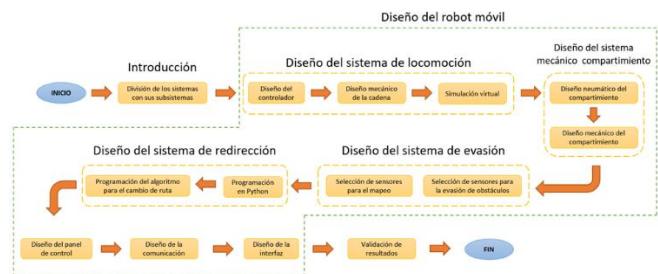


Fig.8 Flujo del desarrollo de la solución propuesta

En primera instancia de la figura anterior, tenemos la introducción, donde mediante una lluvia de ideas y buscando referencias externas escogeremos los sistemas que debe integrar el robot móvil autónomo.

El primer sistema es el de locomoción, en este se diseña un controlador compatible y que presente mejor respuesta con el motor seleccionado, esto permite un desplazamiento estable del robot. Además, se diseña las orugas en un software de diseño 3D con los parámetros deseados.

Luego se diseña el compartimiento en el software de diseño 3D – SolidWorks. Este presenta dimensiones adecuadas para almacenar una variedad de pedidos y un mecanismo de apertura y cierre por pistones.

En la parte del software, el sistema de evasión se da por los resultados obtenidos por los sensores escogidos previamente, recordando que también se implementa un sensor para mapear la ruta del robot móvil. Después, para la redirección, por medio de la programación de Python se programa un algoritmo para redireccionar el robot móvil tras comparar fotografías tomadas de su entorno.

Para el panel de control donde se ubica el Raspberry Pi, la cámara y demás, es ubicado en la parte frontal del robot. En la parte posterior de este, se coloca la antena para la comunicación por radiofrecuencia entre el robot y el supervisor encargado. Estos dos se comunican por medio de un interfaz amigable que recibe y transmite datos a tiempo real. Después de implementar todos estos componentes se procesa a obtener los resultados.

IV. ANALISIS DE RESULTADOS

En estas pruebas se evaluó la fiabilidad de los distintos componentes, el comportamiento de los sistemas desarrollados en un ambiente abierto y la calidad de las piezas elaboradas para la estructura del robot móvil.

A. Pruebas del proyecto

1) Prueba del sistema de evasión de obstáculos

En esta prueba se calibró los sensores de proximidad para conocer cuál es la distancia máxima de detección de objetos en el entorno de trabajo del robot móvil. Además, se realizan pruebas para medir el tiempo de respuesta del algoritmo programado para redireccionar al robot móvil hacia una mejor ruta, evadiendo los obstáculos presentes en su entorno. Todo esto es para diseñar un sistema de evasión de obstáculos que permita un recorrido sin interrupciones.

2) Prueba de la carcasa del robot móvil

Para realizar la prueba en la carcasa del robot móvil, primero se revisa la estructura de las partes que lo conforman mediante el software de simulación 3D. En este software se revisará sus dimensiones, el peso y los parámetros de la resistencia de materiales para cada pieza y su peso total con

todo ensamblado. Todo esto para diseñar un modelo de robot móvil aerodinámico que contrarreste las perturbaciones del ambiente.

3) Prueba del sistema de locomoción

Para realizar las pruebas del sistema de locomoción se optó por utilizar herramientas externas con el fin de obtener los datos de revoluciones por minuto del motor; además se midió el torque máximo que puede generar la locomoción en diferentes ambientes. Por último, se obtuvo los valores de la potencia que consumía el traslado del robot con objetos pesado. Todo esto para diseñar un sistema de locomoción ideal y robusta que se adapte a cualquier superficie de su entorno.

B. Resultados del proyecto

1) Resultados del sistema de evasión de obstáculos

Tras realizar las pruebas en un ambiente cerrado, la calibración ideal del sensor de proximidad para reaccionar a los obstáculos presentes es de 20 cm de radio. Además, el tiempo de respuesta del algoritmo para redireccionar al robot móvil fueron de 3 minutos para redireccionar la ruta más 2 minutos para activar los actuadores del motor.

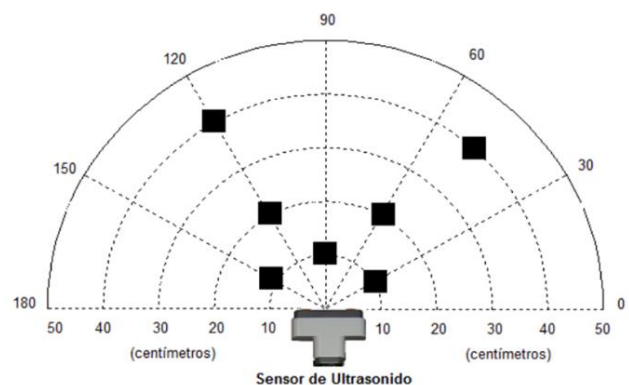


Fig.9 Esquema de la caracterización del sensor de ultrasonido

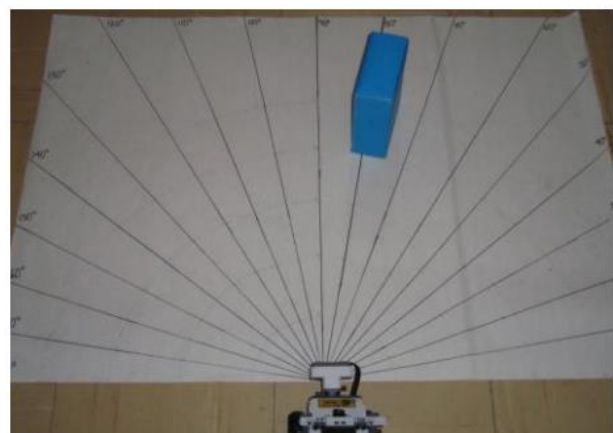




Fig.10 Colocando obstáculos en el área de trabajo para pruebas

2) Resultados de la carcasa del robot móvil

Los resultados obtenidos del software de simulación 3D – SolidWorks2022 indican que la carcasa del robot es ideal para cargas pesadas. Su parámetro del análisis estática de tensiones reporta que su límite elástico es de 169 y las fuerzas aplicadas en todos los lados de la carcasa no llegan a ser de color rojo, máximo llega hasta el verde claro. Por último, su aerodinámica resultó ser óptima tras no presentar alguna disconformidad con las perturbaciones.

3) Resultados del sistema de locomoción

Los resultados del sistema de locomoción se dieron con la ayuda de un encoder para medir los RPM, siendo estos adecuados para un tránsito estable. Con estos datos podemos hallar la velocidad del robot, siendo 6 km/h (velocidad de un peatón) valor promedio aproximado para un tránsito seguro. Por último, el valor de tracción trasera resultó ser de 568J y todas las ruedas motrices de 855; además, la potencia de consumo es de 710 Watts. El consumo eléctrico se determinó sobre la base del Reglamento 692/2008/CE de acuerdo con el NEDC y el Reglamento 2017/1151/UE de acuerdo con el WLTP.

V. CONCLUSIONES

- ✓ Ha sido posible realizar el diseño de una carcasa aerodinámica para el robot móvil que pueda contrarrestar las perturbaciones del ambiente. Para poder llegar a esta conclusión se realizó un análisis de elementos finitos de toda la estructura en el software de simulación SolidWork2022.
- ✓ Ha sido posible realizar el diseño de un sistema de evasión de obstáculos mediante sensores y algoritmos que pueda redireccionar al robot móvil para no interrumpir su recorrido programado. Para poder llegar a esta conclusión se calibraron los sensores de proximidad y se probó el algoritmo con diferentes formas de obstáculos.

RECONOCIMIENTO

Agradezco de todo corazón al profesor Joel Jesus Figueroa Vilcarromero del curso Proyecto Integrador Mecatrónica quien me orientó en la búsqueda del tema de investigación y a su vez me asesoró en el trayecto.

REFERENCIAS

- [1] 100 mil restaurantes cerraron en el Perú por la pandemia. (2020, 9 noviembre). Blog USIL. <https://blogs.usil.edu.pe/novedades/100-mil-restaurantes-cerraron-en-el-peru-la-pandemia>
- [2] Access Denied. (s. f.). <https://www.intel.es/content/www/es/es/robotics/autonomous-mobile-robots/overview.html>
- [3] Attention Required! | Cloudflare. (s. f.). <https://www.america-retail.com/peru/repartidores-de-rappi-y-glovo-en-peru-dan-positivo-en-pruebas-covid-19/>
- [4] Bermúdez, G. (2002). ROBOTS MÓVILES. TEORIA, APLICACIONES Y EXPERIENCIAS. Tecnum 10
- [5] Dimensions.com. (s. f.-a). Autonomous Delivery Vehicles Dimensions & Drawings. <https://www.dimensions.com/collection/autonomous-delivery-vehicles>
- [6] Dimensions.com. (s. f.-b). Starship Robot Dimensions & Drawings. <https://www.dimensions.com/element/starship-robot>
- [7] Ec, R. (2020, 7 septiembre). Municipalidad de Surco realizó pruebas rápidas de coronavirus a repartidores | FOTOS. El Comercio Perú. <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/coronavirus-municipalidad-de-surco-realizo-pruebas-rapidas-de-covid-19-a-repartidores-fotos-nndc-noticia/>
- [8] Enciso, L. (2015). Diseño de un sistema de navegación autónomo para robots móviles usando fusión de sensores y controladores neuro difusos. Pontificia universidad católica del Perú.
- [9] Fernández, C. (2012). Técnicas de navegación para un robot móvil utilizando sistemas de razonamiento espacial. Universidad de Salamanca.
- [10] Gay, R. A. (2021, 7 septiembre). Xavier, así es el robot que ya patrulla por zonas públicas para imponer el orden. AS.com. https://as.com/meristation/2021/09/07/betech/1631003693_750669.html
- [11] Gestión, R. (2020, 4 septiembre). Miraflores advirtió que prohibirá delivery si empresas no hacen pruebas COVID-19 a repartidores. Gestión. <https://gestion.pe/peru/miraflores-advirtio-que-prohibira-delivery-si-empresas-no-hacen-pruebas-covid-19-a-repartidores-nndc-noticia/>
- [12] Ibarra (2009). Navegación autónoma de un robot con técnica de localización y ruteo
- [13] Minsa: 3 de cada 10 repartidores por delivery dan positivo a COVID-19 en San Juan de Miraflores. (s. f.). <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/304721-minsa-3-de-cada-10-repartidores-por-delivery-dan-positivo-a-covid-19-en-san-juan-de-miraflores>
- [14] Miraflores: 35% de 60 repartidores dieron positivo a la COVID-19 en pruebas rápidas. (2020, 30 agosto). RPP. <https://rpp.pe/peru/actualidad/miraflores-35-de-60-repartidores-dieron-positivo-a-la-covid-19-en-pruebas-rapidas-coronavirus-noticia-1289579>

- [15] Naranjo, K. (2013). Implementación de un prototipo de robot móvil con visión nocturna para vigilancia y seguridad. Universidad Estatal Península de Santa Elena
- [16] Negocios de restaurantes disminuyeron 93,78% en abril de 2020. (s. f.). INEI. Recuperado 1 de diciembre de 2022, de <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/negocios-de-restaurantes-disminuyeron-9378-en-abril-de-2020-12271/>
- [17] Negocios de restaurantes disminuyeron 93,78% en abril de 2020. (s. f.). INEI. Recuperado 1 de diciembre de 2022, de <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/negocios-de-restaurantes-disminuyeron-9378-en-abril-de-2020-12271/>
- [18] Ollero A. (2001). Robótica: Manipuladores y robots móviles. Marcombo
- [19] Paiva, J. (2019). Sistema de posicionamiento indoor para el guiado de robots móviles implementado en Robot Operating System (ROS). Universidad de Piura.
- [20] Presidenta ejecutiva Fiorella Molinelli supervisó campaña “EsSalud Te Cuida” donde se tamizó a motorizados que realizan servicio delivery, así como policías y bombero. (2020, 4 octubre). Essalud. <http://noticias.essalud.gob.pe/?inno-noticia=presidenta-ejecutiva-fiorella-molinelli-superviso-campana-essalud-te-cuida-donde-se-tamizo-a-motorizados-que-realizan-servicio-delivery-asi-como-policias-y-bombero>
- [21] Roland Siegwart y Illah R. Nourbakhsh. (2011). Introduction to Autonomous Mobile Robots. Massachusetts Institute of Technology, second edition.
- [22] Sotelo, V. R. B., Sánchez, J. R. G., & Ortigoza, R. S. (2007). Robots móviles: Evolución y estado del arte. Polibits.
- [23] StackPath. (s. f.). <https://www.munisurco.gob.pe/76-repartidores-motorizados-de-270-dieron-positivo-tras-ser-sometidos-a-pruebas-covid-19-en-surco/>
- [24] Starship - ROBOTS: Your Guide to the World of Robotics. (s. f.). Robots. <https://robots.ieee.org/robots/starship/>
- [25] The future of delivery, today. (s. f.). Starship. <https://www.starship.xyz/business/>
- [26] Torres, I. (2019). Diseño de guiado de un robot móvil por visión artificial. Universidad Nacional de Piura.