

Robot de bajo coste para el mantenimiento de carreteras

Julia López Augusto

j.lopeza.2020@alumnos.urjc.es



Trabajo Fin de Grado

18 de diciembre de 2024



(CC) Julia López Augusto

*Este trabajo se entrega bajo licencia **CC BY-NC-SA**.
Usted es libre de (a) compartir: copiar y redistribuir el material en
cualquier medio o formato; y (b) adaptar: remezclar, transformar
y crear a partir del material. El licenciador no puede revocar estas
libertades mientras cumpla con los términos de la licencia.*

Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Objetivos
- 3 Plataforma de desarrollo
- 4 Diseño y construcción del robot
- 5 Soporte software del robot
- 6 Experimentos
- 7 Conclusiones

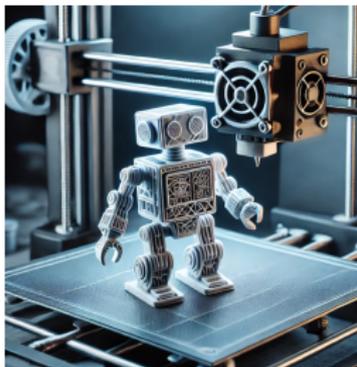
Introducción

Robots de campo



Objetivos

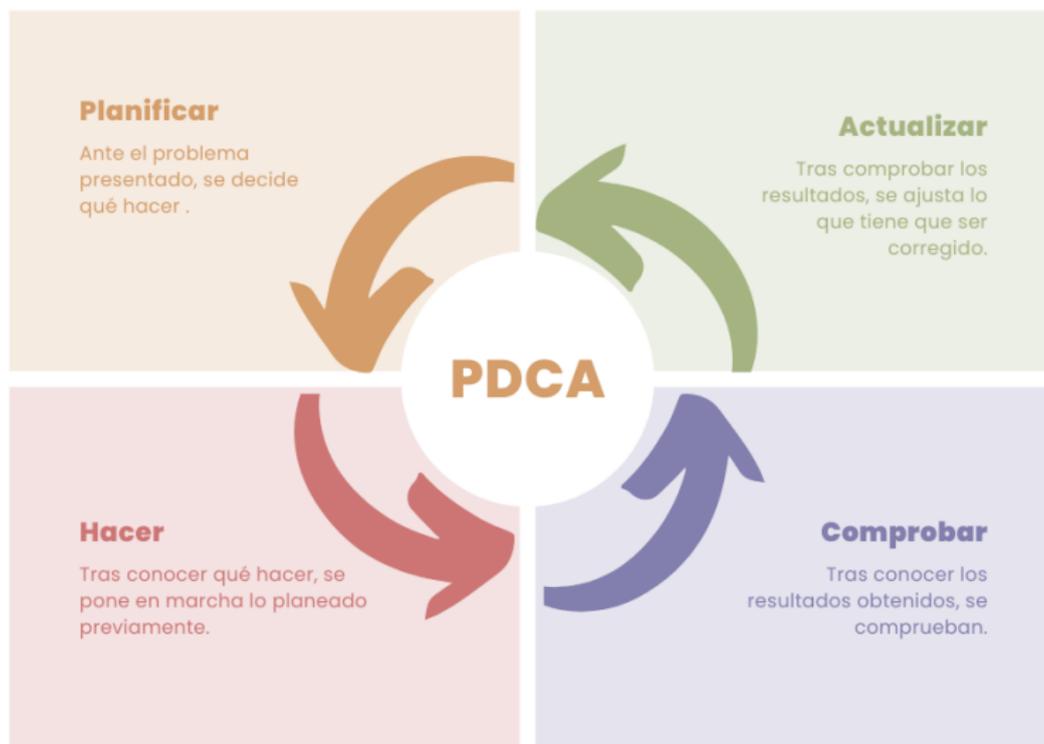
Descripción del problema



Requisitos

- ① Coste inferior a 250€.
- ② Piezas impresas en una impresora convencional.
- ③ Ubuntu como sistema operativo.
- ④ No se requiere tarjeta gráfica dedicada para entrenar modelos.
- ⑤ Modelos adaptados a las limitaciones hardware.
- ⑥ Integración con ROS 2.

Metodología



Plan de trabajo



Repositorio

DIARIO

En este apartado se va a detallar los mínimos avances obtenidos según se desarrolla la investigación. Dentro desplegable podrás encontrar toda la información al respecto.

1. [Septiembre 2023](#)
2. [Octubre 2023](#)
3. [Noviembre 2023](#)
4. [Febrero 2024](#)
5. [Marzo 2024](#)
6. [Abril 2024](#)
7. [Junio 2024](#)
8. [Julio 2024](#)
9. [Agosto 2024](#)
10. [Septiembre 2024](#)
11. [Octubre 2024](#)
12. [Noviembre 2024](#)

EVOLUCIÓN PROYECTO

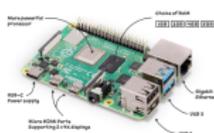
En este apartado se van a incluir todos los datos acerca del proyecto que se incluirán en la memoria final.

1. [Estado del arte](#)
2. [Hardware](#)
 - [Materiales](#)
 - [Raspberry pi 4](#)
 - [Motores](#)
 - [Cámara](#)
 - [Módulo GPS](#)
 - [Estructura](#)
 - [Impresión 3D](#)
3. [Software](#)
 - [Motores](#)
 - [Módulo GPS](#)
 - [Cámara](#)

Wiki

Plataforma de desarrollo

Hardware

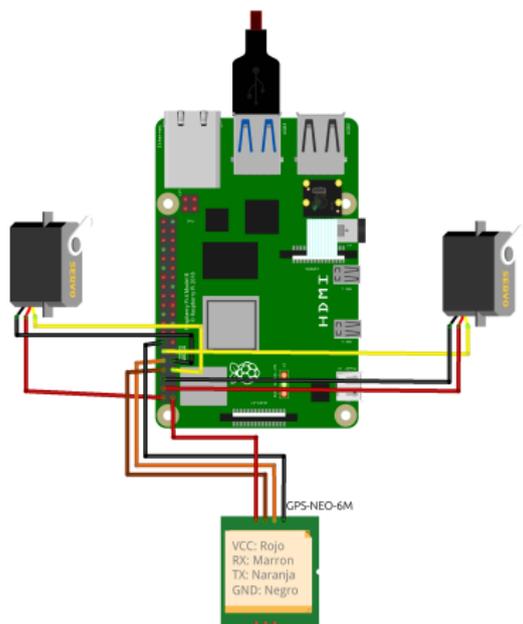
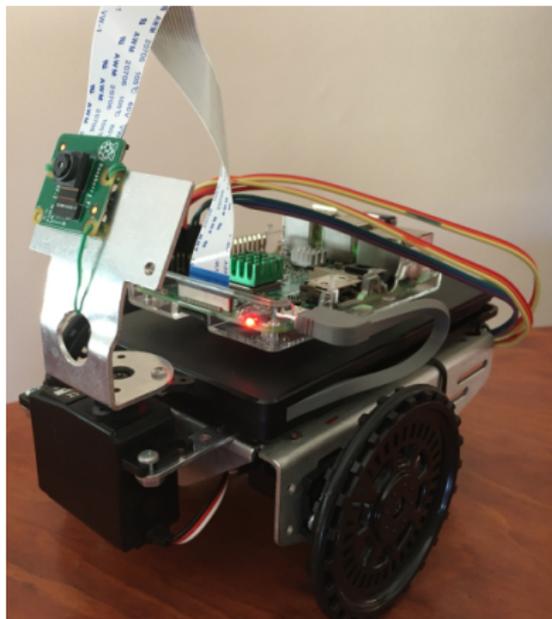


Software



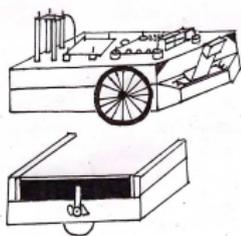
Diseño y construcción del robot

Geometría del robot

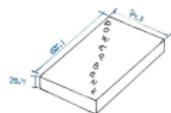


fritzing

Bocetos, maquetas y planos



MEDIDAS POWERBANK



MEDIDAS PLACA ESP32R02

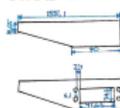


MEDIDAS BASE: Anillo 12 mm

→ Vista Superior:



→ Vista Lateral:



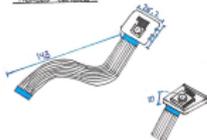
→ Vista Troncal:



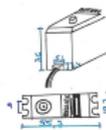
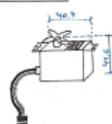
MEDIDAS MÓDULO GPS



MEDIDAS CÁMERA



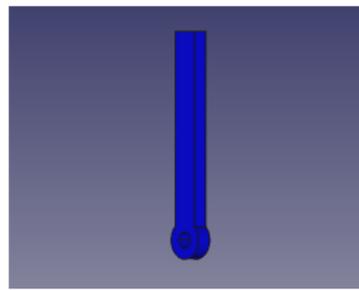
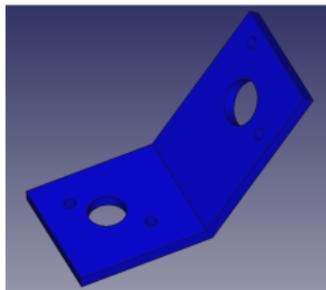
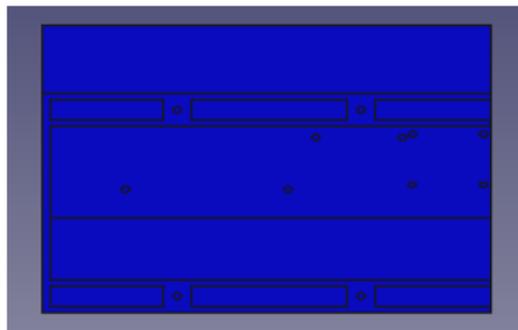
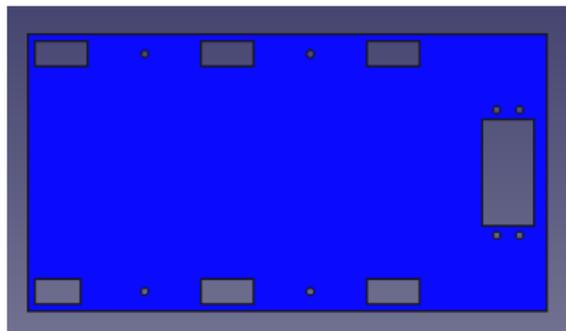
MEDIDAS SERVO



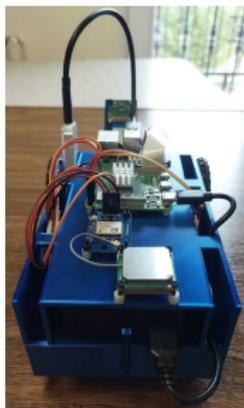
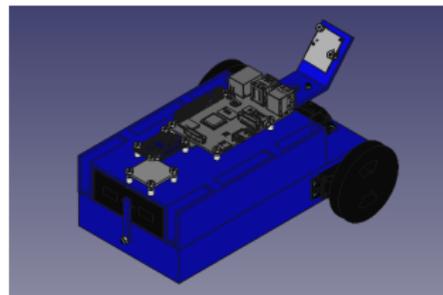
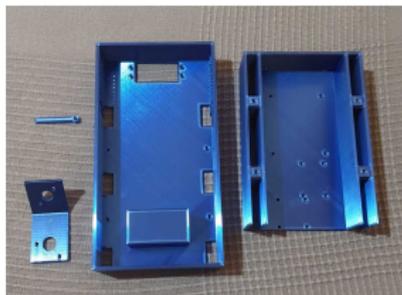
BOLA LONA



Piezas diseñadas

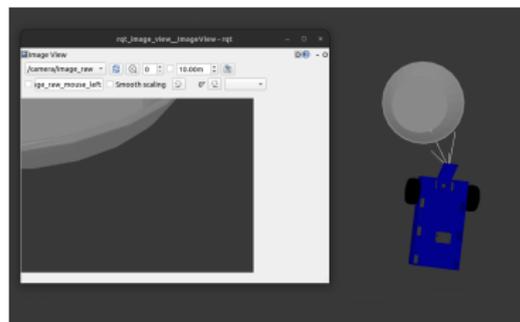
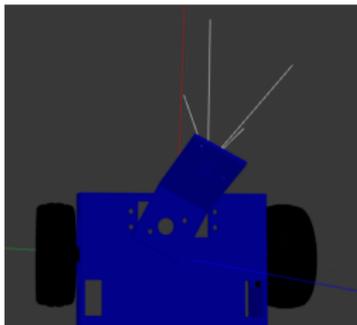
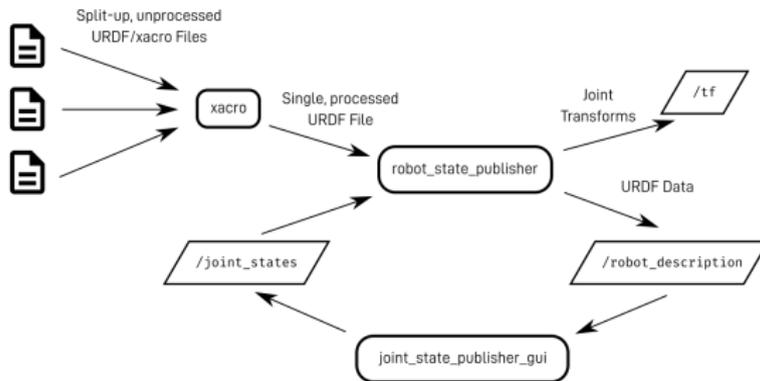


Impresión y montaje



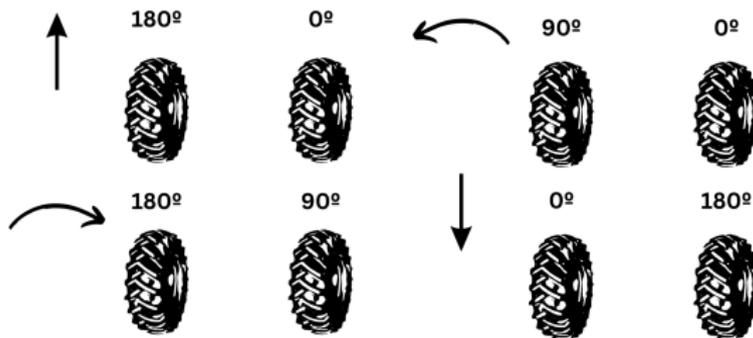
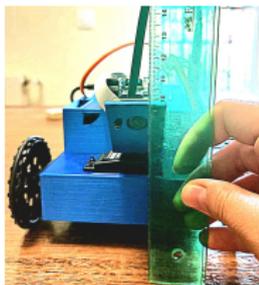
Soporte software del robot

Simulación

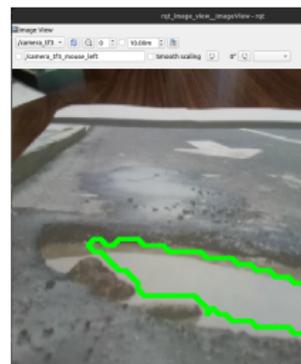
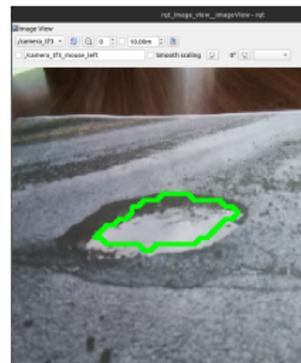
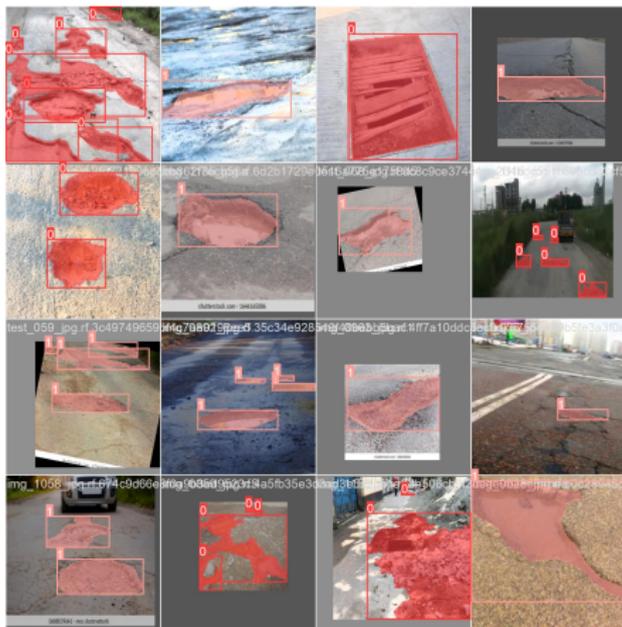


Configuración del robot real

$$\begin{bmatrix} 497,66 & 0 & 325,3 \\ 0 & 502,16 & 240,18 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Detección y obtención del contorno del bache

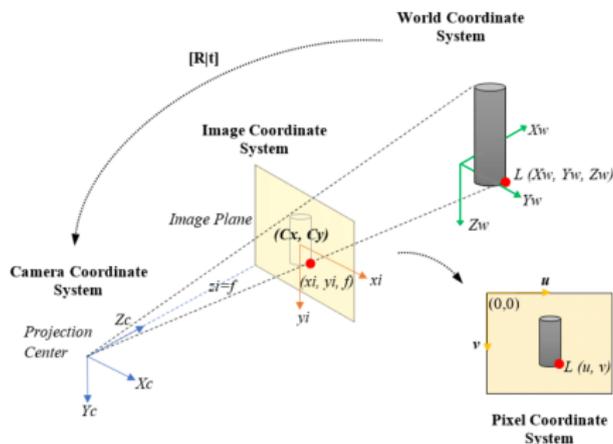


Vídeo de la demostración

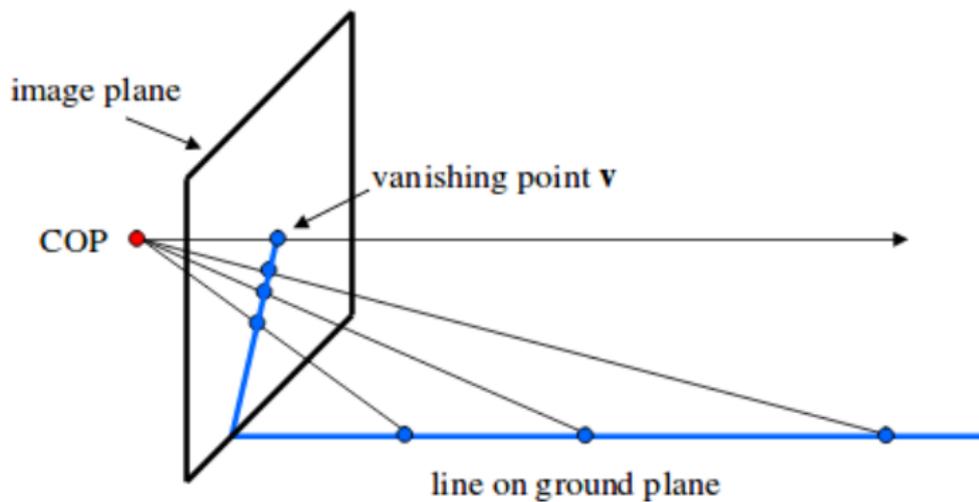
Modelo de cámara pinhole

$$w \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & [s] & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Factor de escala para homogeneizar u y v
 Distancia focal x
 Ángulo de giro
 Centro imagen x
 Centro imagen y
 Distancia focal y
 Coordenadas del punto proyectivo en píxeles
 Parámetros intrínsecos
 Parámetros extrínsecos
 Matrices de rotación y traslación
 Coordenada de un punto 3D en el mundo



Hipótesis suelo



Algoritmo de la lazada

$$A = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^{n-1} x_i y_{i+1} + x_n y_1 - \sum_{i=1}^{n-1} x_{i+1} y_i - x_1 y_n \right|$$

Donde A es el área del polígono, n es el número de lados del polígono y (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$ son los vértices del polígono de forma alternativa.

Ejemplo teórico:



Área del rectángulo = base x altura
 $A = 26 \times 12 = 312$

Algoritmo de la lazada:

$$\begin{matrix} (13, 6) \\ (13, -6) \\ (-13, -6) \\ (-13, 6) \\ (13, 6) \end{matrix} \quad \frac{1}{2} \left| \text{pos} - \text{neg} \right|$$

$$\text{pos} = 13 \cdot (-6) + 13 \cdot (-6) + (-13) \cdot 6 + (-13) \cdot 6 = -312$$

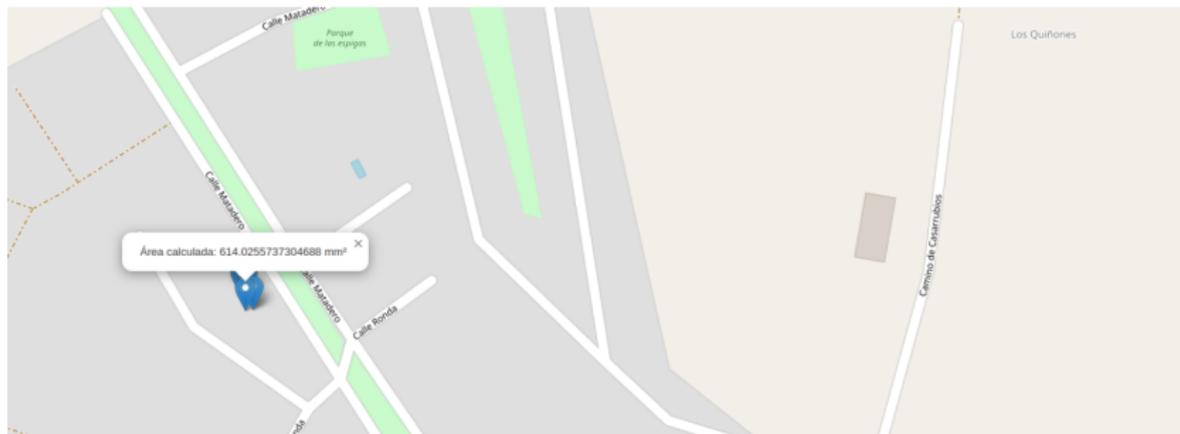
$$\text{neg} = 13 \cdot 6 + (-13) \cdot 6 + (-13) \cdot (-6) + (-13) \cdot (-6) = 312$$

$$\frac{1}{2} \left| -312 - 312 \right| = 312$$

Interfaz web

192.168.5.73:8000/index.html

Mapa de Seguimiento GPS



Mando Controlador



Detección de líneas

Distintos casos de detección de líneas de PiBotj

Detecta 1 línea:

- Va pegado al arcén
- Va por la línea central



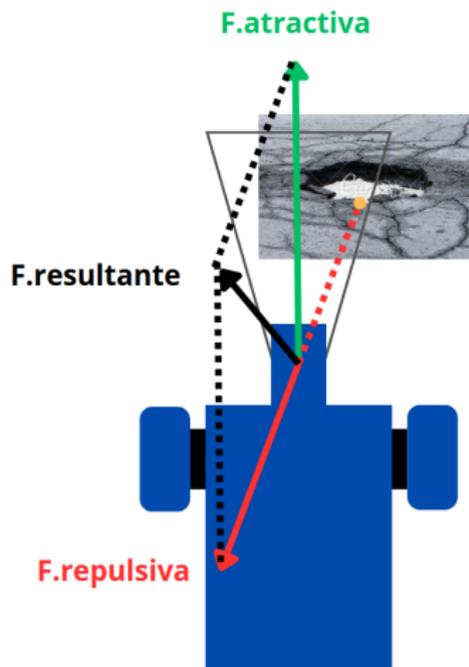
Detecta 2 líneas cuando va por alguno de los dos carriles



No detecta líneas:

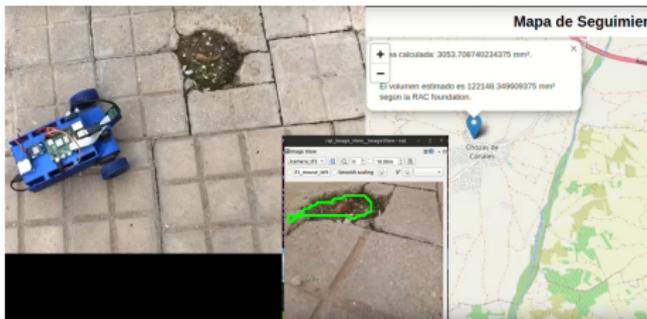
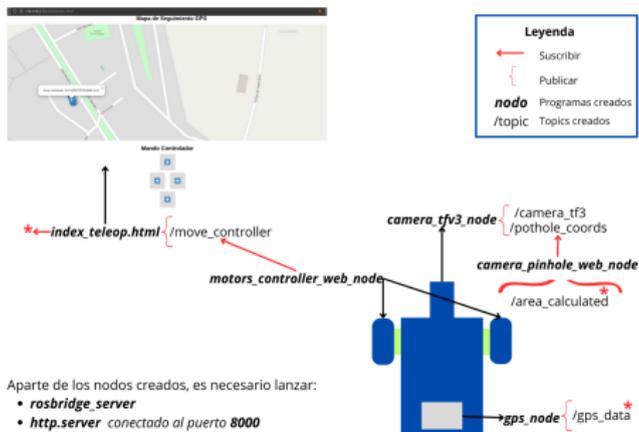
- Va entre medias de los dos carriles cuando no hay línea central
- Cuando se encuentra fuera de la carretera

VFF

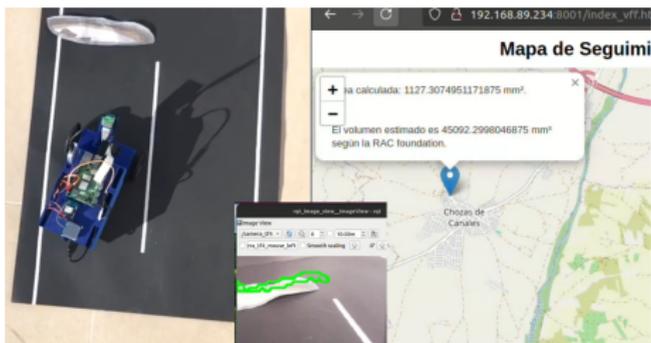
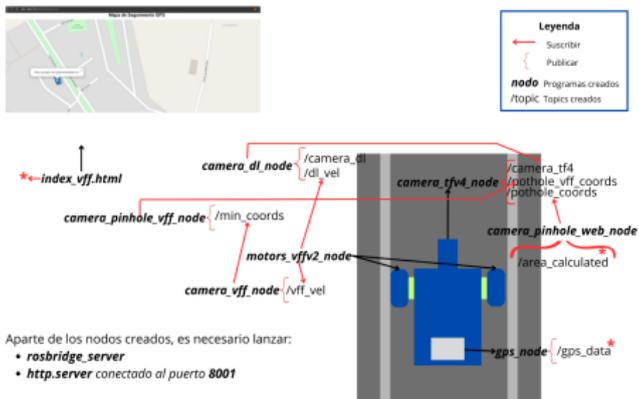


Experimentos

Teleoperado



Autónomo



Conclusiones

Habilidades desarrolladas

- FreeCAD.
- Mecánica y ensamblaje de piezas.
- Crear un robot en simulación.
- ROS 2 Control.
- Modelo de aprendizaje supervisado en una Raspberry Pi.
- Integración de ROS 2 con páginas web.
- Generar documentación de calidad en LaTeX.

Líneas futuras

- Soporte software al robot en simulación.
- Integrar el motor de la cámara.
- Modificar la altura cámara.
- Mantener a PiBotJ en la última versión.
- Implantar una versión más robusta de PiBotJ como un asistente real.

Robot de bajo coste para el mantenimiento de carreteras

Julia López Augusto

j.lopeza.2020@alumnos.urjc.es



Trabajo Fin de Grado

18 de diciembre de 2024