**Entregable público proyecto MOVIBOT**

| | |
|---|---|
| TÍTULO PROYECTO[1] | Desarrollo de un robot móvil para automatización flexible de tareas en entornos industriales |
| ACRÓNIMO | MOVIBOT |

| SOLICITANTE | |
|---|---|
| ACRÓNIMO | AIJU |
| NOMBRE COMPLETO | ASOCIACIÓN DE INVESTIGACIÓN DE LA INDUSTRIA DEL JUGUETE CONEXAS Y AFINES |

# ÍNDICE

1. GARANTÍAS ..... 1
2. OBSERVACIONES IMPORTANTES ..... 1
3. OBJETIVOS ..... 2
4. OBJETIVOS del documento y alcances ..... 2
5. DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS DESARROLLADAS POR AIJU ..... 2

## 1. GARANTÍAS

El Instituto AIJU garantiza la fidelidad de los datos que aparecen en este informe como resultado de los trabajos realizados y en las condiciones que se indican, así como la confidencialidad de su actuación en todo lo referente a los resultados obtenidos. Todos los datos referentes al trabajo realizado serán tratados de manera confidencial.

## 2. OBSERVACIONES IMPORTANTES

1. Se autoriza la reproducción de este informe, siempre que el resultado sea una copia fiel del original y se realice de forma completa.
2. Este informe no podrá ser modificado ni reproducido parcialmente sin autorización por escrito expresa de **AIJU**.
3. Este informe sólo se refiere a los trabajos solicitados que se reflejan en este documento.
4. Este informe, por sí mismo, no constituye o implica, en manera alguna una aprobación del producto o servicio resultante, por **AIJU,** por un organismo de certificación o por cualquier otro organismo.
5. Este informe o parte del mismo no será utilizado con fines promocionales o publicitarios, cuando **AIJU** consideren improcedente tal utilización.
6. La fidelidad de los datos que explícitamente aparezcan en este informe, como exhibidos por el peticionario, es responsabilidad única de éste.

## 3. OBJETIVOS

Con el desarrollo planteado en el proyecto MOVIBOT, se pretende flexibilizar los sistemas robóticos, trasladando los conocimientos adquiridos durante la realización de los proyectos anteriores, con el objetivo de poder alcanzar un TRL6 que permita ofrecer soluciones adaptables a un mayor número de procesos productivos, ampliando los sectores de utilización, disminuyendo los costes de amortización y facilitando su incorporación a las líneas de producción.

Los objetivos específicos del proyecto se centran en el desarrollo de los sistemas necesarios para la creación de un sistema robótico móvil que permita la realización de tareas de transporte de cargas, ensamblado y manipulación entre otras, de forma autónoma y segura en diferentes estaciones de trabajo. En el marco del proyecto MOVIBOT se pretende además desarrollar un sistema de escaneado basado en sistemas de visión artificial que permitan obtener la siguiente información para el procesamiento de las piezas:

1. Identificación de las piezas a tratar.
2. Posición, orientación y distancia de las piezas a tratar.
3. Navegación y cálculo de trayectorias.
4. Control de seguridad durante la navegación

## 4. OBJETIVOS DEL DOCUMENTO Y ALCANCES

El principal objetivo de este documento es mostrar, de manera resumida, los principales resultados obtenidos durante el trascurso del proyecto MOVIBOT.

## 5. DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS DESARROLLADAS POR AIJU

©2020 AIJU

**Paquete de trabajo 2.- Definición de procesos, sistema robótico móvil y herramientas.**

En este paquete de trabajo se realiza la definición de los posibles procesos a realizar mediante el uso de sistemas robóticos móviles y su valoración con el fin de evaluar su viabilidad técnica y las posibilidades de implementación en empresas que puedan ser objeto de transferencia de la tecnología desarrollada.

**Tarea 2.1: Definición de tareas a automatizar**

Tras la realizaron de visitas a las instalaciones de las empresas colaboradoras en el proyecto con la finalidad de obtener el conocimiento necesario sobre la sucesión de operaciones implicadas en el proceso productivo, así como sobre las exigencias del sector, se opta por realizar la automatización de uno de los procesos realizados por una de las empresas colaboradoras. El proceso seleccionado consiste en la captura de anillos de plástico situados sobre un banco de trabajo por un operario tras su desbarbado manual. Las piezas capturadas se deberán transportar e introducir en el interior de unos contenedores de piezas

**Tarea 2.2: Definición de herramientas.**

Tras realizar el estudio de las piezas y de las necesidades del proceso se acuerda con las empresas colaboradoras que las herramientas utilizadas deben de satisfacer las siguientes exigencias.

- Debe ser económicamente accesible.
- Deben ser de fácil utilización y flexible
- Deben servir para piezas de múltiples referencias.
- Los tiempos empleados en la manipulación y procesado de las piezas deben ser cortos.
- Las herramientas no deben de representar peligro alguno para los empleados de la planta.
- Las operaciones de manipulación no deben dejar marcas en las piezas (hay que tener en cuenta que las piezas al salir del molde se encuentran en estado semisólido)
- Las herramientas utilizadas deben soportar el calor transmitido por las piezas y no deben representar peligro alguno para los empleados.

**Tarea 2.3: Definición del sistema robótico.**

Se acuerda con las empresas colaboradoras las características técnicas que debe cumplir el sistema robótico (Robot móvil + brazo robótico)

- Debe ser económicamente accesible.
- Debe mejorar los tiempos empleados en transporte y apilado de piezas
- Debe ser autónomo.
- Debe ser de fácil utilización y flexible
- El sistema debe poder funcionar de forma ininterrumpida durante largos periodos de tiempo.
- Debe ser preciso
- El sistema no debe representar peligro alguno para los empleados de la planta.

©2020 AIJU

**Paquete de trabajo 3.- Diseño y desarrollo de sistemas de automatización móvil**

En este paquete de trabajo se han realizado los diseños y desarrollos para la creación del sistema robótico móvil. La realización del sistema robótico ha requerido del desarrollo de estructuras para el ensamblado del robot móvil con el robot manipulador y la protección del hardware utilizado, soportes para los dispositivos de visión, un sistema de alimentación basado en baterías y un sistema de recarga para las mismas. Además, han sido desarrollados un sistema de seguridad para la navegación basado en visión 3D, y un sistema de visión 2D e iluminación artificial destinado a la realización de aplicaciones de Pick & Place. Estos desarrollos permitirán al sistema robótico obtener información de su entorno de trabajo permitiéndole realizar desplazamientos de forma autónoma y segura y reconocer la localización de las diferentes estaciones de trabajo y la detección de obstáculos o personas.

**Tarea 3.1: Desarrollo del sistema plataforma hardware**

Han sido desarrollados los siguientes elementos estructurales:

1. Una estructura para soportar el robot colaborativo y albergar los elementos de alimentación del robot. Esta estructura ha sido construida utilizando perfilería de aluminio normalizada. Ver Imagen 1

**Imagen 1: Estructura para soportar el robot colaborativo y albergar dispositivos**

2. Soporte para sujetar el inversor a la estructura contenedora. Ver Imagen 2

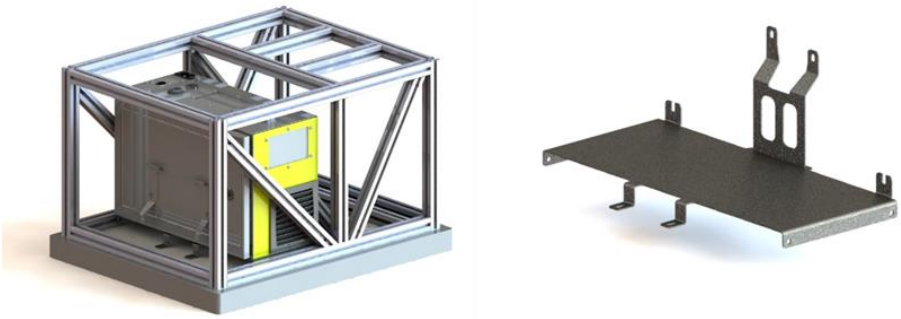

**Imagen 2: Soporte para sujetar el controlador**

**3.** Soporte para sujetar el controlador del sistema de visión a la estructura contenedora. Ver Imagen 3

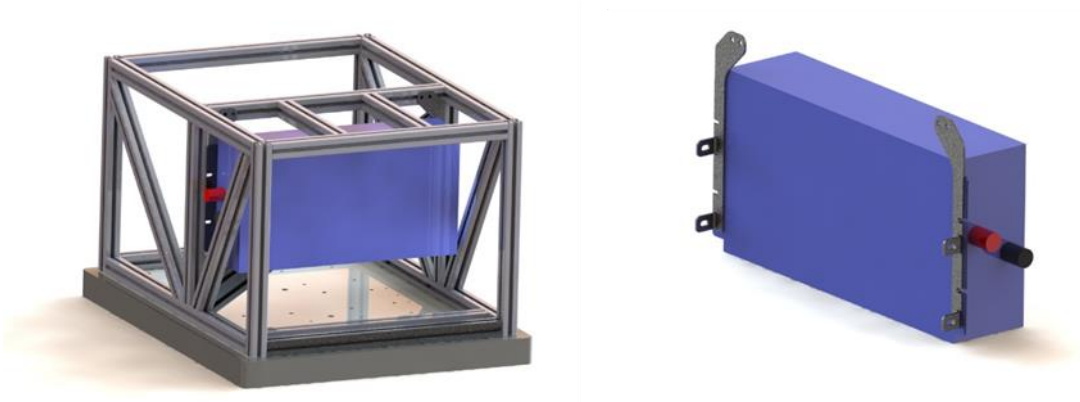

**Imagen 3: Soporte para sujetar el inversor**

4. Soporte para sujetar el controlador del sistema de visión a la estructura contenedora. Ver Imagen 4

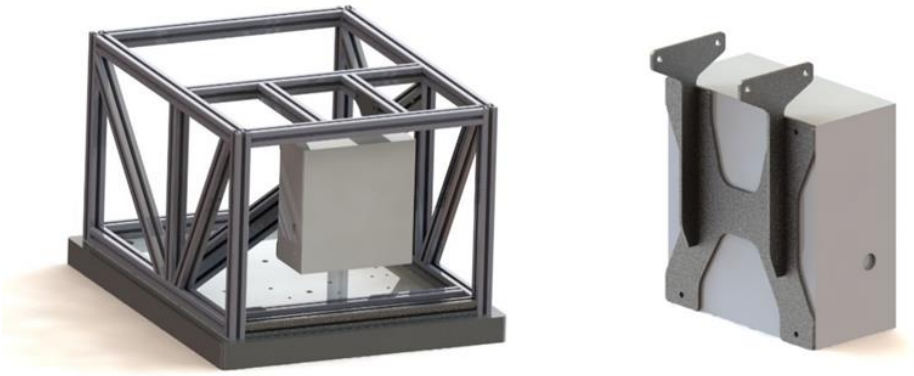

**Imagen 4: Soporte para sujetar el controlador del sistema de visión**

5. Estructuras para el almacenamiento y transporte de anillos de plástico. Ver Imagen 5.

**Imagen 5: Estructuras para el almacenamiento y transporte de anillos**

6. Soportes para la fijación de sensores de visión al robot manipulador. Ver Imagen 6

**Imagen 6: Soporte para la fijación de sensores de visión**

**Tarea 3.2: Desarrollo de sistemas de alimentación**

El sistema robótico ha sido dotado de un sistema de alimentación independiente para cada robot basado en baterías de litio ferroso (LiFePO4) como el mostrado en la Imagen 6**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

**Imagen 7: batería de litio ferroso (LiFePO4**

El robot móvil recibe la alimentación eléctrica desde una batería $LiFePO_4$ de 30 Ah dotando al sistema de una autonomía de más de 4 horas de funcionamiento continuo. La batería, situada entre las ruedas del robot, suministra alimentación a 53,6 V a plena carga por lo que ha sido necesario regular la tensión de funcionamiento a 48V mediante un convertidor DC/DC que alimenta a los dispositivos cuya tensión de funcionamiento coincide con esta tensión. A partir de esta tensión se utilizan dos convertidores reductores de tensión de 12 y 5 Voltios para la alimentación eléctrica del resto de dispositivos electrónicos que componen el sistema.

El sistema de alimentación que proporciona alimentación eléctrica al robot antropomorfo y al resto de dispositivos electrónicos situados en el interior de la estructura contenedora, son independientes al sistema de alimentación del robot móvil. La alimentación eléctrica es proporcionada por una batería de LiFePO4, siendo su capacidad de 15 Ah. La inferior capacidad de esta batería se debe a que el tiempo de funcionamiento y el consumo energético del robot antropomorfo es inferior al del robot móvil.

**Tarea 3.3: Desarrollo de sistemas de navegación**

En el desarrollo del sistema de navegación del sistema robótico, ha sido utilizado el sistema operativo de robot (ROS). Este sistema operativo de código abierto, está constituido por un

conjunto de bibliotecas y herramientas que facilitan la creación de aplicaciones robóticas. El sistema utilizado permite al sistema robótico realizar un mapeado del espacio de trabajo, localizar su posición en el mapa creado y señalar posiciones en el mapa en las que debe situarse el sistema robótico.

- Generación de mapa del entorno de trabajo

El robot necesita conocer el entorno que le rodea para poder ubicarse en las posiciones y orientaciones deseadas. Por esta razón, es necesario realizar el mapeado del espacio de trabajo en el que debe desplazarse el robot. El robot móvil es capaz de crear un mapa 2D del entorno de trabajo del mismo. La creación de este mapa se realiza utilizando los dos escáneres láser incorporados en el robot. En la Imagen 8 se muestra la interfaz utilizada para visualizar y controlar la generación de mapas.

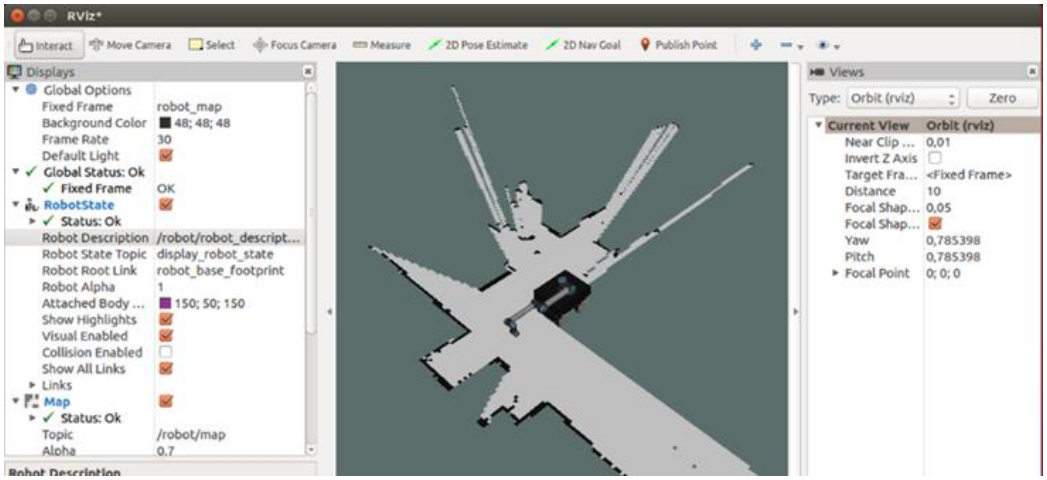


**Imagen 8: Visualización del proceso de generación de mapas**

- Informar al robot sobre su ubicación aproximada

Una vez construido el mapa, es necesario informar al robot sobre su localización dentro del mapa. Para ello utilizamos la herramienta “2D Pose Estimate”, que nos permite situar al robot de forma gráfica en una ubicación aproximada a la real dentro del espacio de trabajo. En la Imagen 9 se muestra el posicionamiento inicial del sistema robótico en el mapa creado.

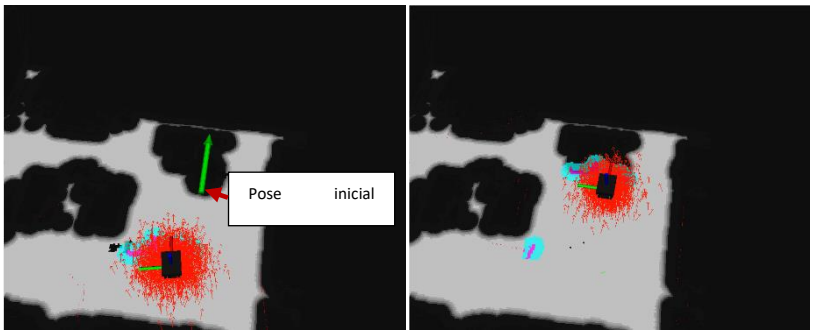


**Imagen 9: Posicionamiento inicial aproximado del robot en el mapa**

- Localización del sistema robótico en el mapa creado

Una vez hemos informado al sistema robótico de su localización aproximada, debemos aumentar la precisión en su localización. Para ello, deberemos mover utilizando el mando manual, al sistema robótico por el espacio de trabajo.

- Posicionamiento del sistema robótico en el mapa.

Una vez realizados los pasos anteriores podemos enviar de forma sencilla posiciones en las que deberá situarse de forma autónoma mediante la herramienta "2D Nav Goal" como muestra la Imagen 10.

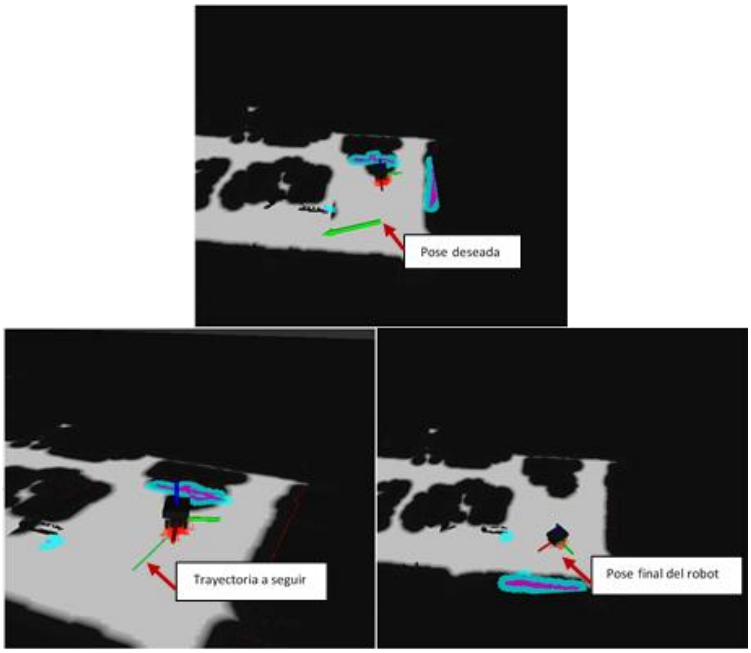


**Imagen 10: Posicionamiento del sistema robótico en una ubicación dentro del mapa**

— T3.4 Desarrollo de sistemas de seguridad para navegación

El sistema de seguridad utilizado para evitar que el robot pueda impactar y causar daños a personas o a las instalaciones está constituido, por un lado, por dos escáneres láser de seguridad S300 controlados por un controlador de seguridad Flexi Soft, ambos de la compañía de SICK (Ver Imagen 11Imagen 11). Estos escáneres detectan la presencia de objetos a baja altura emitiendo un plano de luz láser a una altura de 300 mm desde el nivel del suelo.

**Imagen 11: Escáneres láser de seguridad S300 y controlador de seguridad Flexi Soft**

Por otro lado, ha sido necesario el desarrollo de otro sistema de seguridad para la detección de obstáculos a mayor altura para evitar que el robot antropomórfico instalado sobre el robot móvil pueda causar algún daño. Este sistema de seguridad está basado en sensores 3D realsense D435. La localización de los sensores se muestra en la Imagen 12.

Ç

**Imagen 12: Sistema de seguridad basado en visión 3D**

**Paquete de trabajo 4.- Desarrollo de sistemas de visión**

En este paquete de trabajo se describen las aplicaciones de visión artificial utilizadas para satisfacer un triple objetivo, el primero es el de permitir a la plataforma robótica realizar un posicionamiento adecuado y lo más preciso posible en las estaciones de trabajo, el segundo objetivo el desarrollo de un sistema de seguridad que evite que el sistema robótico impacte con objetos o instalaciones y el tercero, es el de obtener la información necesaria sobre las piezas a manipular para la correcta ejecución de los procesos definidos en el paquete de trabajo 2.

**Tarea 4.1: Desarrollo de aplicaciones de posicionamiento**

Las operaciones de agarre de piezas y de visión artificial requieren de un posicionamiento aún más preciso del que conseguimos con las herramientas explicadas anteriormente. Por esta razón, el posicionamiento del sistema robótico en las estaciones de trabajo se realiza utilizando la cámara 3D del robot móvil y marcadores QR como se muestra en la Imagen 13.

**Imagen 13: Posicionamiento del robot sobre la estación de carga**

**Tarea 4.2: Desarrollo de aplicaciones para el reconocimiento, posicionamiento de piezas y manipulación.**

- Aplicación para el reconocimiento y localización de anillos de plástico.

Ha sido desarrollada una aplicación de visión artificial que realiza las operaciones de reconocimiento y localización de las piezas de plástico a manipular por el sistema robótico. La aplicación ha sido desarrollada utilizando el software estándar para visión artificial MVTec HALCON. El software realiza la detección basándose en los contornos detectados y en su comparación con un patrón preestablecido. El resultado del procesamiento es mostrado en Imagen 14, resaltando el contorno exterior de la pieza detectada y mostrando información sobre el número de aciertos, el porcentaje de correlación obtenido, y la posición del punto central de la pieza en píxeles, y en metros.

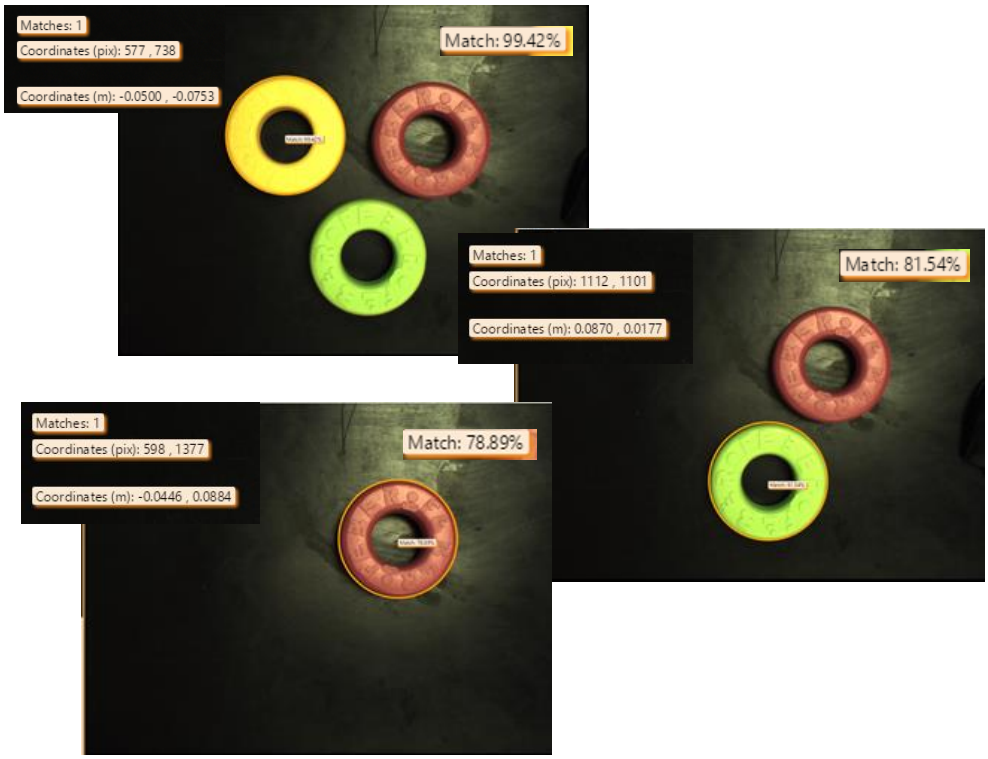


**Imagen 14: Visualización del procesamiento para la localización de anillos**

- Aplicación de visión artificial como sistema de seguridad durante la navegación

El sistema de seguridad basado en visión 3D lo componen cuatro cámaras Intel Realsense modelo 435i instaladas sobre el robot manipulador UR10. Las ubicaciones escogidas para su instalación, permiten captar imágenes cubriendo los 360 grados alrededor del sistema robótico durante sus desplazamientos. Ver
La programación realizada permite configurar las cámaras para obtener imágenes de profundidad como la mostrada en la Imagen 15 en un rango inferior a 2m, mostrando con distintos colores la información sobre la distancia a la que se sitúan los objetos dentro del rango programado. Esta información es utilizada para detener el movimiento del robot cuando se detecta algún objeto dentro de ese rango.

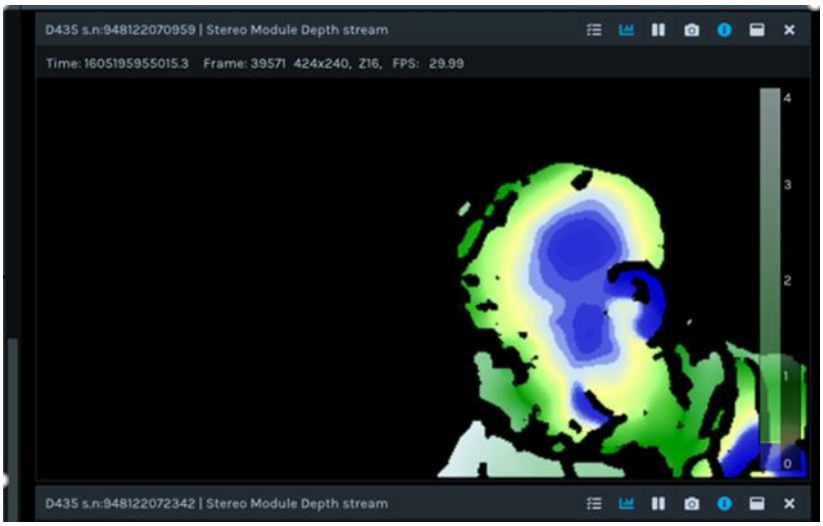


**Imagen 15: Ejemplo de imagen con información de profundidad**

**Paquete de trabajo 5.- Desarrollo del demostrador y herramientas**

En este paquete de trabajo se muestran los desarrollos estructurales realizados para la creación de las estaciones de trabajo según las necesidades de las empresas colaboradoras

**Tarea 5.1: Desarrollo del demostrador**

El proceso que compone el demostrador consiste en la automatización del agarre, desplazamiento e inserción de los anillos de plástico en las estructuras contenedoras de anillos, por lo que se libera al operario de la realización de estas tareas.

Han sido utilizadas dos estaciones de trabajo. La primera estación de trabajo consiste en una mesa de trabajo de metal, en la que el operario realizaría las tareas de desbarbado de los anillos para más tarde depositar las piezas desbarbadas sobre la mesa, en la zona destinada al agarre de las piezas por parte del manipulador móvil. En un extremo de la mesa, se ha fijado la estación de carga permitiendo recargar la batería del robot móvil de forma simultánea a la realización de las tareas de manipulación de piezas. Ver Imagen 16.

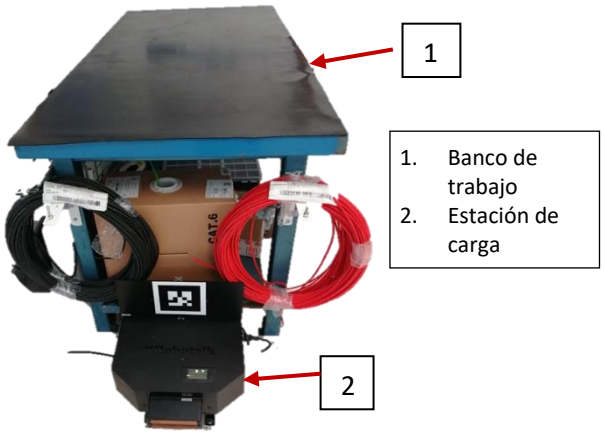


**Imagen 16: Banco de trabajo equipado con estación de carga**

La segunda estación ha sido diseñada para facilitar la descarga de los anillos de plástico. Consiste en una estructura fabricada mediante perfil de aluminio de 20 x 20 mm que aparece en la Imagen 17.

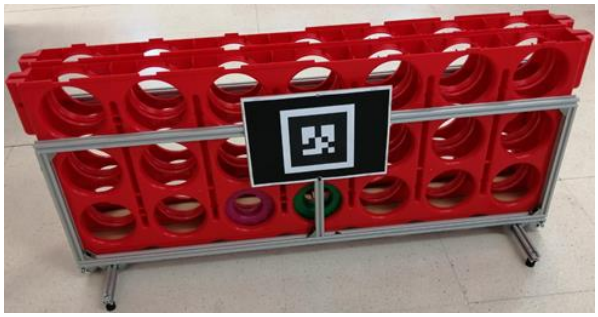

**Imagen 17: Estación de descarga de piezas soportando dos contenedores de piezas y código QR**

### Tarea 5.2: Desarrollo de herramientas

La pinza de dos dedos RG6 mostrada en la Imagen 18, es una pinza de accionamiento eléctrico y colaborativa de dos dedos. Su carga útil es de 6 kg cuando realiza agarres en posición vertical y 10 kg de carga útil en agarres en posición horizontal. Sus dedos tienen un recorrido máximo ajustable de 160 mm y se desplazan con una resolución de 0,1mm. La fuerza de agarre es también ajustable con un rango que va desde los 25N a los 120N

**Imagen 18: Pinza robótica RG6**

Se ha realizado el diseño de unas “yemas” a medida mediante diseño CAD 3D para su instalación sobre los extremos de los dedos de la pinza robótica RG6. Ver Imagen 19

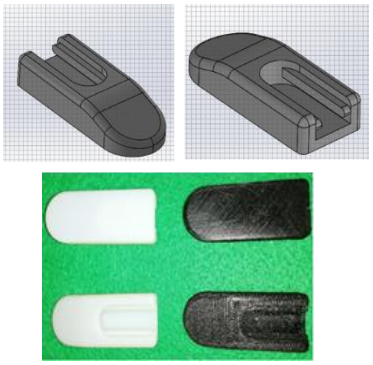

**Imagen 19: Diseño y yemas fabricadas mediante impresión 3D**

La herramienta de vacío VG10 (ver Imagen 20), es una herramienta robótica que incorpora ventosas de vacío. Su funcionamiento no requiere de la utilización de un compresor o un suministro de aire externo, ya que dispone de una bomba de vacío integrada. Dispone de cuatro brazos que pueden desplazarse para adaptarse a la forma de la pieza a manipular. La herramienta VG10 proporciona un caudal de aire de 12 L/min. Sus brazos puedes desplazarse un ángulo de 270°y su carga útil nominal es de 10 Kg

**Imagen 20: Pinza de vacío VG10**

La pinza robótica 3FG15 mostrada en la Imagen 21, dispone de tres dedos que permiten el agarre de piezas por su interior con un diámetro máximo de 176mm o por su exterior, con un diámetro de agarre máximo de 152mm. La resolución durante el desplazamiento de los dedos es de 0,1mm. Esta herramienta permite ajustar la fuerza ejercida durante el agarre desde 10N hasta los 240N con una velocidad de agarre de 125mm/s y una carga útil es de 15 Kg.

**Imagen 21: Pinza de tres dedos 3FG15**

**Paquete de trabajo 6.- Desarrollo de aplicaciones para automatización de tareas**

En esta tarea se han desarrollado los sistemas de comunicación y de control necesarios para la interacción entre los distintos dispositivos que componen el sistema robótico: plataforma robótica, brazo robótico y la estación de control

©2020 AIJU

**Tarea 6.1: Desarrollo de los sistemas de comunicación**

Los diferentes dispositivos que constituyen el sistema robótico, son controlados por cuatro CPUs o Unidades Centrales de Procesamiento. Las CPUs se encuentran instaladas en diferentes ubicaciones:

- CPU Summit XL. Instalada en el interior del Robot Summit XL
- CPU Nuvo 7000. Instalada en el interior de la estructura situada sobre el robot móvil
- CPU Universal Robots. Se encuentra instalada en el interior de la caja de control del robot UR10.
- CPU externa al sistema robótico (Host). Este PC realiza la tarea de controlar los diferentes procesos a ejecutar y obtener información sobre el estado en el que se encuentran.

En la Imagen 22**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestra las direcciones de las comunicaciones y los protocolos utilizados entre los distintos dispositivos.

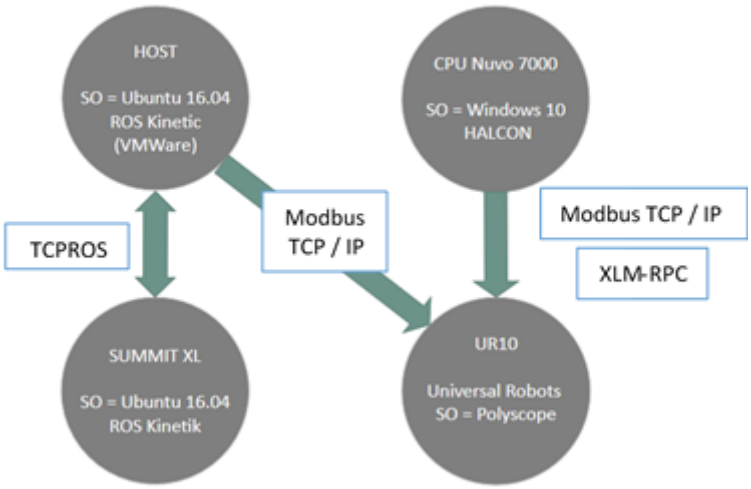


**Imagen 22: Direcciones de las comunicaciones y los protocolos utilizados entre los distintos dispositivos**

**Tarea 6.2: Desarrollo del software de control**

El Host o centro de control del sistema lo compone un PC externo al sistema robótico. El host debe comunicarse con la CPU del robot móvil Summit XL para poder controlar sus funciones y dispositivos.
Ha sido programada la interfaz gráfica en lenguaje Python que se muestra en la Imagen 23 para facilitar la activación de los diferentes procesos, como el inicio de las operaciones de mapeado del espacio de trabajo, el guardado del mapa creado, la carga de la aplicación gráfica para el posicionamiento del robot, posicionamiento mediante códigos QR, la activación o desactivación de la estación de carga, etc.

©2020 AIJU

**Imagen 23. Interfaz gráfica diseñada para el control de los procesos**

**Paquete de trabajo 7.- Integración y validación del sistema en entorno simulado**

En este paquete de trabajo se expone la integración del sistema robótico con las estaciones de trabajo definidas en colaboración con las empresas implicadas en el proyecto y su posterior puesta en marcha con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento de los sistemas implementados.

**Tarea 7.1: Integración del sistema robótico en las estaciones de trabajo**

El proceso a automatizar comienza con el posicionamiento del robot en uno de los laterales del banco de trabajo (ver Imagen 24). Desde esta posición, el robot realizará la captura de los anillos de plástico que el operario sitúe en la zona de captación, situada sobre el banco de trabajo.
El posicionamiento del robot se realiza utilizando el reconocimiento del patrón proporcionado por el código QR situado sobre la estación de carga fijada en la parte inferior del banco de trabajo.

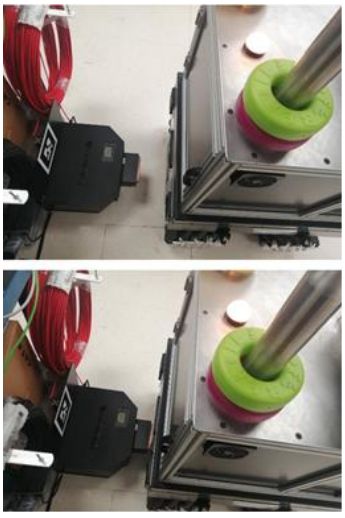

**Imagen 24: Posicionamiento del sistema robótico sobre la estación de carga**

**Tarea 7.2: Puesta en marcha y validación**

El proceso a automatizar comienza con el posicionamiento del robot en uno de los laterales del banco de trabajo. Desde esta posición, el robot realizará la captura de los anillos de plástico que el operario sitúe en la zona de captación, situada sobre el banco de trabajo. Una vez se ha situado el sistema robótico sobre los contactos de la estación de carga es posible activar y desactivar la carga de la batería del robot a distancia, desde la estación de control.
Con el robot situado en esta posición, comienza el proceso de localización de los anillos de plástico. El sistema de visión artificial implementado realiza la captura de una imagen de la superficie del banco de trabajo y realiza la localización de uno de los anillos (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El software Polyscope desarrollado permite realizar el agarre de los anillos y situarlos sobre los posicionadores de piezas para facilitar su transporte. En la realización de esta tarea, es posible utilizar dos herramientas robóticas, la pinza colaborativa de dos dedos RG2 y la pinza de tres dedos 3FG como muestra la Imagen 25

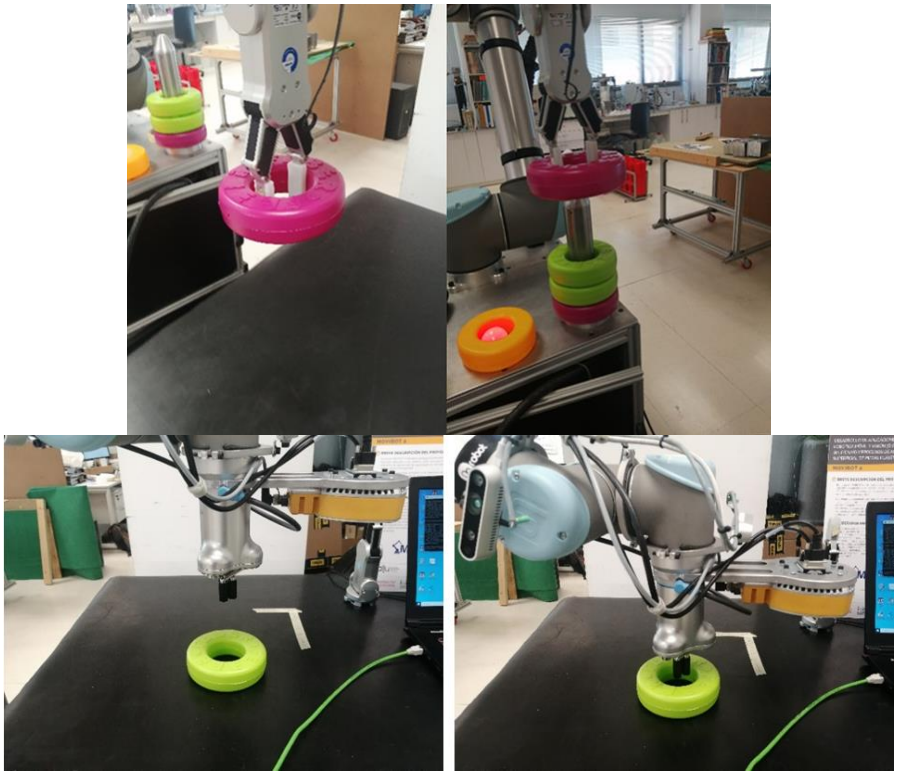

**Imagen 25: Operación de captura de anillos**

Una vez que el robot manipulador ha posicionado las piezas sobre los portamateriales, el sistema robótico debe desplazarse hasta la posición en la que se encuentra la estación de descarga de piezas donde se sitúan las estructuras contenedoras de anillos. En la secuencia de imágenes mostradas en la Imagen 26, se muestra el desplazamiento seguido por el sistema robótico hasta situarse frente a la estación de descarga de piezas

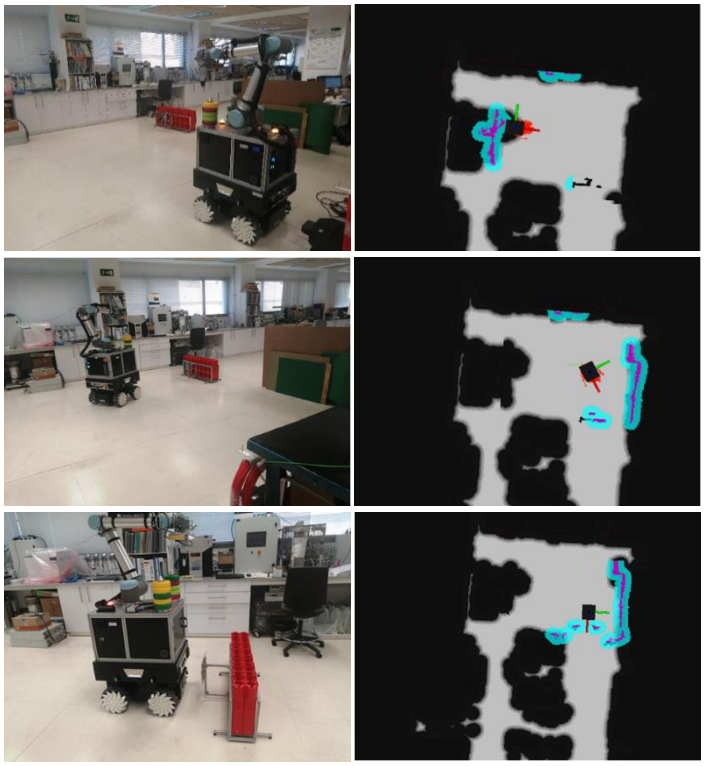

**Imagen 26: Desplazamiento seguido por el sistema robótico**

Al igual que en el posicionamiento en la estación destinada a la carga de los anillos de plástico y recarga de baterías, el posicionamiento en la estación destinada a la descarga de las piezas se realiza utilizando un código QR fijado a la estructura que soporta los contenedores de piezas como muestra la Imagen 27.

**Imagen 27: Posicionamiento del sistema robótico sobre la estación de descarga de piezas**

Tras situarse el sistema robótico frente a la estación de descarga, el robot manipulador realiza la descarga de las piezas transportadas. La herramienta RG2, dotada con dedos especialmente diseñados para la realización de esta tarea, permiten que el robot introduzca el dedo inferior entre los anillos, obteniendo el espacio necesario para la captura de las piezas como se observa en la Imagen 28.

**Imagen 28: Operación de descarga de anillos**

El software Polyscope desarrollado, permite introducir los anillos de forma secuencial en los huecos de la estructura contenedora con precisión como se muestra en la Imagen 29.

**Imagen 29: Inserción de anillos en las estructuras contenedoras**

- Verificación del funcionamiento del sistema de seguridad.

El sistema de seguridad utilizado, permite la detección de objetos o personas cubriendo los 360 grados alrededor del sistema robótico. El sistema de seguridad distingue entre dos zonas de seguridad, una de alarma, cuando detecta la presencia de alguna persona u objeto a una distancia superior a 0,5 m e inferior a 1 m, y otra de peligro cuando la detección se realiza a una distancia inferior a 0,5 m. El comportamiento del sistema difiere según la distancia de detección. Durante la realización de los desplazamientos, al realizar una detección dentro de la zona de alarma, el sistema robótico disminuye su velocidad de desplazamiento. En cambio, si la detección se realiza en la zona de peligro, el robot se detiene. Como se muestra en la Imagen 30, el sistema está dotado de unos indicadores luminosos en la parte superior que señalizan el tipo de detección realizada. Cuando no se ha realizado ninguna detección, los indicadores se muestran apagados. Si existe una intrusión en la zona de alarma, emiten una luz amarilla y si la intrusión se realiza en la zona de peligro, los indicadores emiten una luz roja.

**Imagen 30. Zonas de detección del sistema de seguridad**